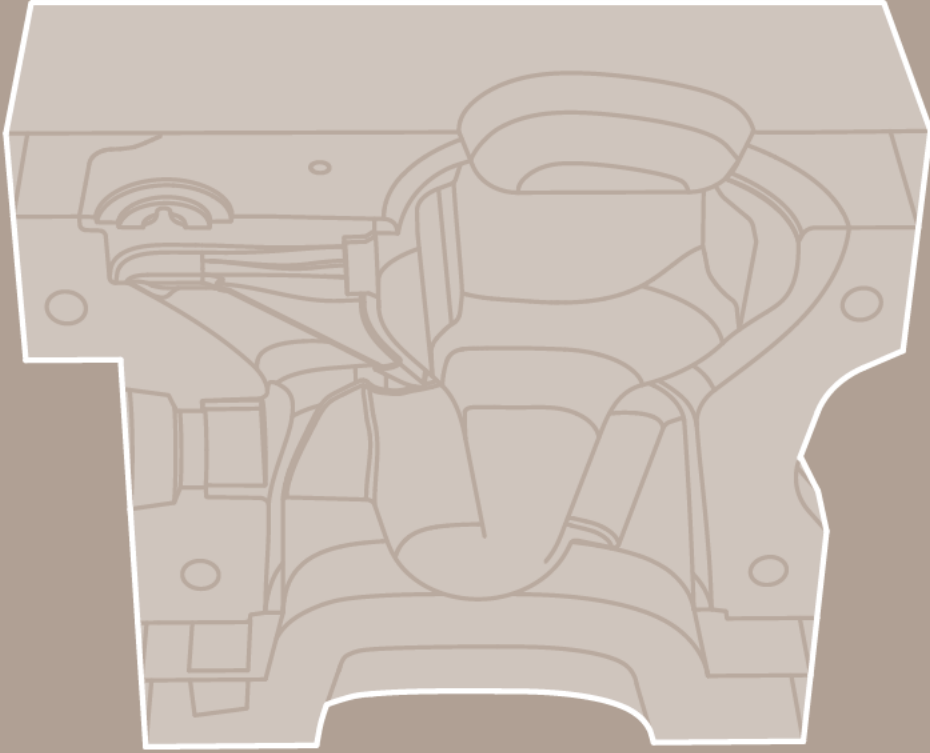
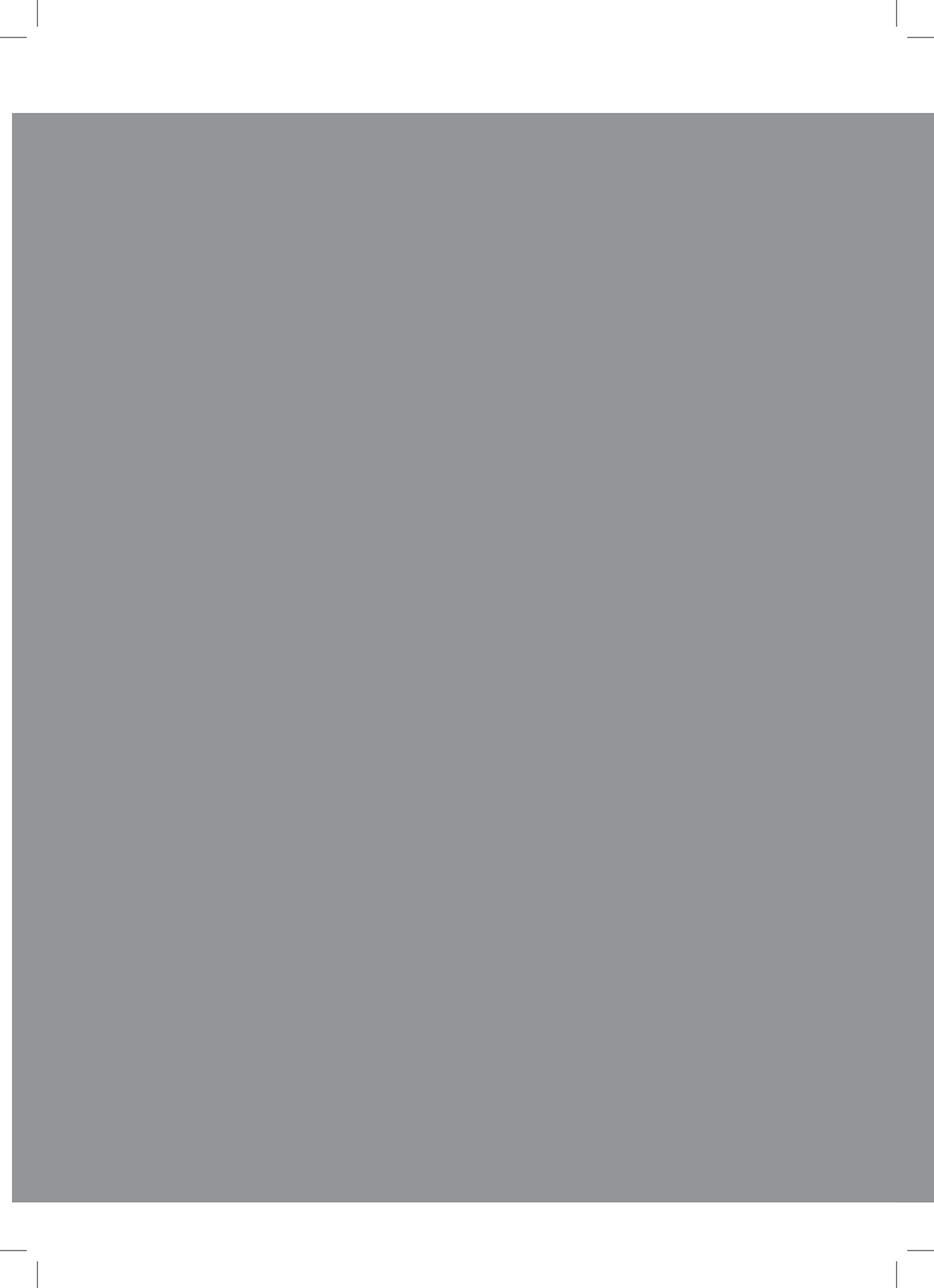


DOMENICO FORTUNA

Seramik
Sağlık
Gereçlerinde
Döküm





DOMENICO FORTUNA

Seramik Sağlık Gereçlerinde Döküm

Bu kitap SERSA tarafından
Seramik Sektörüne ücretsiz
dağıtılmak üzere hazırlanmıştır.



İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	10
BÖLÜM 1.....	11
1. ŞEKİLLENDİRME.....	11
1.1. Genel bilgiler.....	11
1.2. Alçı kalıplarla manüel döküm işlemi.....	14
1.2.1. Kalıpların temizlenmesi	15
1.2.2. Kalıbın hazırlanması.....	17
1.2.2.1. Kalınlık alma hızının ayarlanması.....	17
1.2.2.2. Çamurun sertleşme hızının azaltılması	21
1.2.2.3. Çamurun kalıbın yüzeyine tutunmasını iyileştirme.....	21
1.2.2.4. Döküm parçasının kalıbın alçı yüzeyinden ayrılmasını iyileştirme	22
1.2.2.5. Kalıbın ıslatılması.....	23
1.2.3. Kalıbın sıvı çamur ile doldurulması.....	24
1.2.4. Kalınlık Alma.....	27
1.2.5. Fazla çamurun boşaltılması.....	28
1.2.6. Parçanın kalıpta sertleşmesi	29
1.2.7. Kalıbın açılması	31
1.2.8. Fonksiyonel deliklerin açılması	33
1.2.9. Çamur giriş/tahliye deliklerinin kapatılması.....	36
1.2.10. Parçanın kalıptan alınması (kalıptan çıkarma).....	37
1.2.11. Parçaya ilk rötuş işlemi uygulanması	40
1.1.12. Kalıbın kurutulması.....	40
1.3. Alçı kalıplarla mekanize döküm işlemi	45
1.3.1. Kalıpların doldurulması	47
1.3.2. Kalıpların boşaltılması	49

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

1.3.3. Döküm parçalarının sertleştirilmesi.....	50
1.3.4. Kalıptan çıkarma.....	51
1.3.5. Kalıpların kurutulması.....	54
1.3.5.1. Kalıpların bir kurutucuyla kurutulması.....	56
1.3.5.2. Basınçlı havanın kalıp içerisindeki damar sistemine girişi.....	58
1.4. Basınçlı döküm.....	64
1.4.1. Basınçlı döküm döngüsü.....	69
1.4.1.1. Kalıpların kapatılması ve kenetlenmesi.....	72
1.4.1.2. Kalıp doldurma.....	73
1.4.1.3. Kalınlık Alma.....	73
1.4.1.4. Kalıp basıncının azaltılması.....	75
1.4.1.5. Çamurun boşaltılması.....	75
1.4.1.6. Sertleştirme.....	76
1.4.1.7. Kalıbın açılması.....	76
1.4.1.8. Kalıptan çıkarma.....	77
1.4.1.9. Hava besleme borularının yıkanması.....	78
1.4.1.10. Kalıp geri yıkama işlemi.....	78
1.4.1.11. Döküm parçasının rötuşlanması.....	79
BÖLÜM 2.....	82
2. DÖKÜM KALIPLARI VE KALINLIK ALMA MEKANİZMALARI.....	82
2.1. Giriş.....	82
2.2. Döküm kalıpları.....	83
2.2.1. Alçı kalıplar.....	83
2.2.1.1. Hammadde.....	83
2.2.1.2. Alçının endüstriyel üretimi.....	86
2.2.1.3. Alçının sertleşmesi.....	90

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

2.2.1.4. α -alçı ve β -alçı	92
2.2.1.5. Alçı kalıpların kapilaritesi	94
2.2.1.6. Alçı kalıpların üretimi	102
2.3. Alçı kalıplarda kalınlık alma	109
2.3.1. Kalınlık alma sürecinin fiziği	110
2.3.2.3. Çamur partiküllerinin partikül boyutu dağılımı	128
2.3.2.4. Çamurun özgül ağırlığı (Yoğunluğu-litre ağırlığı)	134
2.3.2.5. Çözünme(açılma) sırasında çamura verilen enerji miktarı	138
2.3.2.6. Sıcaklık.....	142
2.4. Basınçlı döküm: kalıplar ve kalınlığın şekillenmesi	143
2.4.1. Reçine kalıplar	143
2.4.2. Basınç altında kalınlık alma şekli	148
2.4.2.1. Kalıbın etkileri	150
2.4.2.2. Sıcaklığın etkisi	151
2.4.2.3. Besleme basıncının etkisi	153
2.4.2.4. Deflokülasyon durumu ve özgül ağırlığın etkisi	158
2.4.2.5. çamur tipinin etkisi	162
2.4.3. Basınçlı dökümün kuru küçülme üzerindeki etkisi	165
BÖLÜM 3.....	167
3.REOLOJİNİN DÖKÜM ÇAMURUNA UYGULANMASI.....	167
3.1. Giriş.....	167
3.2.Viskozite	167
3.2.1. Newton Akışkanları.....	170
3.2.2.Newton yasalarına uymayan akışkanlar	171
3.2.2.1.Plastik veya Bingham akışkanları.....	171
3.2.2.2.Yapışkanlığı ve kıvamı hızla azalan plastik (Psödoplastik) akışkanlar	175

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

3.2.2.3 Dilatant(Stres uygulandığında viskozitesi artan) akışkanlar	176
3.2.3. Zamana bağımlı akışkanlar	177
3.2.3.1. Tikotropik akışkanlar	178
3.2.3.2. Reopektik akışkanlar	182
3.3. Viskozimetreler	183
3.3.1. Giriş	183
3.3.2. Akışlı viskozimetreler	183
3.3.3. Gallenkamp viskozimetreleri	184
3.3.4. Brookfield viskozimetreleri	186
3.3.5. Mutlak döner reometreler (akışölçerler)	187
3.4. Deflokülasyon.....	188
3.4.1. Su – seramik partikül sistemi	190
3.4.2. Elektriksel çift tabaka	197
3.4.3. Süspansiyonların deflokülasyonu ve kararlılığı	207
3.4.4. Deflokülanlar	215
3.4.4.1. İnorganik deflokülanlar	219
3.4.4.2. Organik deflokülanlar	226
3.5. Sağlık gereçleri çamurunun reolojisi	229
3.5.1. Sağlık gereçleri çamurlarının deflokülasyon durumu	229
3.5.2. Reolojik davranışı etkileyen faktörler	234
3.5.2.1. Çamurun bileşimi	235
3.5.2.2. Partikül boyutu dağılımı	241
3.5.2.3. Sıcaklık	247
3.5.2.4. Özgül ağırlık (Litre ağırlığı)	248
3.5.2.5. Organik maddenin içeriği	249
3.5.2.6. Çözünebilir tuzların içeriği	254

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

3.5.2.7. Çözündürme(açma) suyu	256
3.5.2.8. Çözünme(açılma) enerjisi	258
3.5.2.9. Deflokülant tipi ve miktarı	261
BÖLÜM 4.....	272
4. DÖKÜM ÇAMURLARI	272
4.1. Giriş	272
4.2. Döküm çamurlarına yönelik ham maddeler	273
4.2.1. Killler	273
4.2.1.1. Killerin mineralojisi	273
4.2.1.2. Killerin reolojik davranışları	275
4.2.1.3. Killerin plastikliği ve mekanik mukavemetleri	281
4.2.1.4. Pişirme sırasında killerin davranışları	283
4.2.1.5. Kil seçim kriterleri	290
4.2.2. Kaolenler	293
4.2.2.1. Kaolenlerin mineralojisi	293
4.2.2.2. Kaolenlerin reolojik özellikleri	293
4.2.2.3. Kaolenlerin plastikliği ve kırılma katsayıları	295
4.2.2.4. Pişirme sırasında kaolenlerin davranışları	298
4.2.2.5. Kaolen seçim kriterleri	301
4.2.2.6. Sağlık gereçleri endüstrisine yönelik kaolenler	301
4.2.3. Kuvars	303
4.2.4. Ergiticiler	307
4.2.5. Feldspat	308
4.2.6. Feldspatımsılar ve diğer ergiticiler	314
4.2.7. Şamot	316

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

4.2.7.1. Vitrifiye sağlık gerci şamotu (Öğütülmüş Iskarta kırığı)	316
4.2.7.2. Fire clay şamotu	318
4.3. Sağlık gereçleri çamurlarının reolojik eğrileri	321
4.3.1. Vitrifiye çamurlarına ilişkin reolojik eğriler	321
4.3.2. Fire clay'e ilişkin reolojik eğriler	330
4.4. Çamur dökümünü etkileyen diğer fiziksel parametreler	336
4.4.1. pH	336
4.4.2. Yüzey gerilimi	336
4.4.3. Laboratuvar döküm testleri	337
4.4.4. V-788D'nin endüstriyel uygulaması	338
BÖLÜM 5	339
5. DÖKÜM KUSURLARI	339
5.1. Giriş	339
5.2. Döküm çıkıntıları	340
5.3. Döküm lekeleri	340
5.4. Döküm halkaları	343
5.5. Düzensiz yüzey yivleri	344
5.6. Düzensiz kordonlar	344
5.7. Çamur durgunluğu	344
5.8. Nem ve kararsız döküm	345
5.9. Sert, pek plastik olmayan döküm	345
5.10. Fazla döküm zarı	346
5.11. Kalınlık boyunca boşluklar olması	346
5.12. Hava delikleri	347
5.13. Kuruma sırasında çatlamalar	348

GİRİŞ

Su gerektiren fonksiyonel özellikleri nedeniyle, sağlık gereçleri son derece karmaşık şekillerle ve üç boyutlu bir geliştirme ile karakterize edilirler. Bu karmaşıklık üretim sürecinin her bir aşamasında vardır. fakat özellikle de model kalıp aşamasında belirgin bir etkisi görülür : Aslında, endüstriyel amaçlarla kullanılabilen (ve dolayısıyla ekonomik olarak uygun olan) tek şekillendirme tekniği dökümdür. Bu söylemin ardındaki sebebi anlamak için bir klozet kesitindeki modeli (Şekil 1) analiz etmek yeterli olacaktır. Örneğin ,parça içerisindeki, klozetin kendine özgü teknik ve fonksiyonel özelliklerini oluşumu için boş alanların elde edilmesi sadece döküm tekniği mümkündür.



Şekil 1 – Klozet kesiti şemasıdır.

Ayrıca, kalıbın özelliklerini uygun şekilde değiştirmek suretiyle, herhangi bir tasarım sınırlandırılması olmadan döküm ile şekillendirme yaparak her şekilde sağlık gereçleri üretimini mümkündür. . En sonuncusu fakat en önemlisi de, döküm tekniğinin otomatik imalata da imkan vermesi ve böylelikle endüstriyel imalat döngüsünde kullanım için uygun olmasıdır.

Bu kitabın amacı, işin teknolojik yönüne odaklanmak suretiyle, sağlık gereçleri sektöründe döküm tekniğinin incelenmesidir. Dolayısıyla, döküm sürecine yön veren temel parametreler (çamurların ve kalıpların özellikleri gibi) ayrıntılı olarak incelenecek ve bir döküm çamurunun reolojisine özellikle değinilecektir.

Esasen, döküm tekniğinde sıvı çamurlar kullanılır; dolayısıyla, reolojik değişkenlerin çamurların davranışlarını nasıl etkilediklerine ilişkin dikkatli bir analiz, dökümü karakterize eden bütün olayların doğru bir şekilde anlaşılması açısından son derece önemlidir. Döküm çamuru incelenirken, vitrifiye ve fire clay ürünlerine değineceğiz, zira bu iki çamur türü, ufak farklar göstermelerine rağmen, sektörde kullanılan bütün çamurları temsil ederler.

Hem düşük basınçlı hem de yüksek basınçlı döküm tekniği analiz edilecektir. Dolayısıyla, kalıpların özellikleri analiz edilirken, hem alçı kalıplara hem de reçine kalıplara değinilecektir. Kalıpların (hem alçı hem de reçine) mikro-yapıları incelenecek ve bunların çalışma mekanizmaları ele alınacaktır. Öte yandan, bu kitapta üretim tesisleri ile ilgili bütün bölümler incelenmeyecektir, dolayısıyla döküm makineleri de açıklanmayacaktır.

Döküm makinelerinin çalışma sistemlerinden sadece kısaca bahsedilecek ve döküme yön veren “mekanizmalara” ilişkin bilgilerin geliştirilmesine ağırlık verilecektir. Kitabın son kısmında, dökümden kaynaklanan en önemli kusurlar ele alınacaktır. Bu kusurların analiz edilmesine ve olası çarelerin tespit edilmesine özellikle dikkat gösterilecektir. Dökümden kaynaklanan kusurlar aynı zamanda çamurun özelliklerine, kalıbın koşullarına veya üretim biriminin mikro-iklimlendirmesine bağlı olan kusurları da kapsayacaktır. Bunun sebebi, dökümle kalıplamada çamur/kalıplar/üretim birimindeki mikro-iklim arasında (en azından alçı kalıplar kullanılarak döküm söz konusu olduğunda) son derece yakın teknik ve üretimle alakalı ilişkiler olmasıdır. Dolayısıyla, dökümle şekillendirme açısından kilit öneme sahip unsurların birinden doğrudan kaynaklanan kusurları göz önünde bulundurmamak doğal ve etkili olmayan, zor bir yaklaşım olurdu. Doğal olduğu üzere, bu metin döküme ilişkin sorunları mümkün olduğunca ayrıntılı bir şekilde incelemesine rağmen, konunun büyük ölçekli karmaşıklığı ve döküme yön veren parametrelerin her birinde bir değişiklik olduğunda değişiklik gösteren sorunların çokluğu göz önünde bulundurulduğunda, eksiksiz olamaz. Örneğin, farklı ham maddeler ve/veya kalıplar söz konusu olduğunda, farklı teknolojik durumların ortaya çıkması aslında doğaldır. Dolayısıyla, bu kitap sağlık gereçlerine şekil verilmesine yönelik döküme yön veren mekanizmaların anlaşılmasına basit bir katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

BÖLÜM 1

1. ŞEKİLLENDİRME

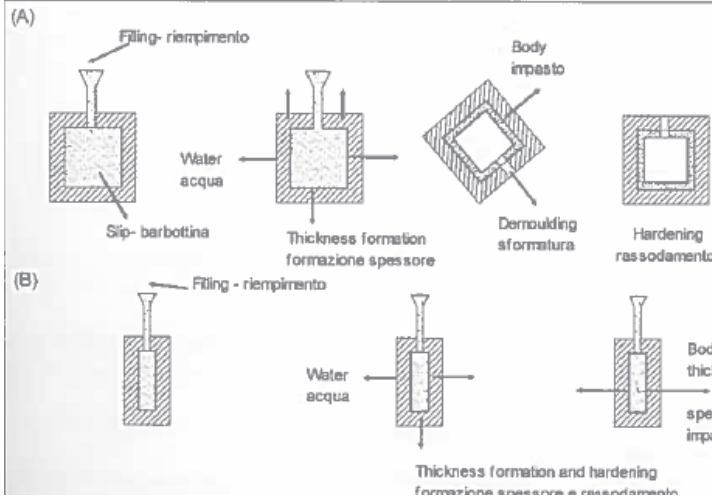
1.1. Genel bilgiler

Alçı kalıplarla şekil verme ve döküm prosedürü (daha sonra reçine kalıplara ilişkin örnek olay incelemesi yapılacaktır) bir kalıp içerisine teknik terimle çamur olarak bilinen sıvı bir süspansiyonun enjeksiyonunu içermektedir; döküm genellikle masif ve boş döküm şeklinde ikiye ayrılmaktadır, Şekil 1.1 (A) ve (B).

Birinci durumda, (B) diğer bir deyişle masif dökümde, kalıba dökülen çamura ait kalınlık değeri, kalıbın iki duvarı arasındaki mevcut boş alana göre belirlenir.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

İkinci durumda,(A) yani boş dökümde ise, kalınlık yalnızca kalıp içerisinde geçen süreye göre (diğer tüm çalışma koşulları eşitse) belirlenir: Dolayısıyla, kalınlık birden fazla değere sahip olabilmesi bakımından bağımsız bir değerdir.



Şekil 1.1 - İki döküm tipi: (A) boş döküm ve (B) masif döküm.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Filling – Doldurma

Water – Su

Body – Bünye-masse- et

Slip – Çamur

Thickness formation – Kalınlık alma

Demoulding – Kalıptan çıkarma

Hardening – Sertleştirme

Thickness formation and hardening – Kalınlık alma ve sertleştirme

Body thickness – Et kalınlığı

Belirli bir süre sonra, kalıbın gözenekliliği çamurda bulunan suyun bir kısmının

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

emilmesine izin verecek ve bu da kalıbın yüzeyine bitişik katı bir çamur tabakasının oluşmasına neden olacaktır. Sadece boş döküm söz konusu ise, artan çamur kalıptan akıtılır ve ardından döküm parçasının sertleştirilmesi aşamasına geçilebilir.

Bu aşamanın ardından kalıp açılır ve bu işlem sırasında kalıpta delikler açılır , kesme ve markalama işlemleri yapılır . Sonrasında parçanın ilk rötuş işlemi gerçekleşir.

Yukarıda açıklanan tüm işlemler Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1 - Döküm aşaması işlemleri



TABLO ÜZERİNDE:

mould preparation = kalıp hazırlama

filling with slip = çamur doldurma

thickness formation = kalınlık alma

removal of excess slip = fazla çamurun boşaltılması

hardening = sertleşme

opening of mould = kalıbın açılması

cast punching = delikleri delme

demoulding = kalıptan çıkarma

first touch-ups = ilk rötuşlar

Açıkça görüldüğü üzere endüstriyel döküm kalıplama uygulaması farklı teknikler kullanılarak yapılmaktadır:

Alçı kalıplarla manüel döküm işlemi

Alçı kalıplarla mekanize döküm işlemi

Reçine kalıplarla otomatik yüksek basınçlı döküm işlemi

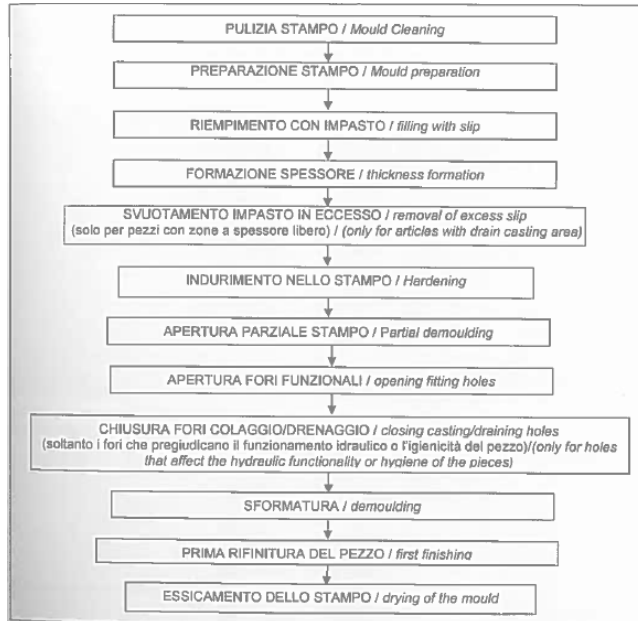
Birkaç yıl öncesine kadar, orta basınçlı (5 bara kadar) döküm teknolojisinde yüksek mekanik dayanıma sahip kimyasal alçılar da kullanılmaktaydı. Döküm parçası başına düşen kalıp masrafının yüksek olması ve istinaden kalıpların kullanım sürelerinin kısa olması nedeniyle bu sistemden vazgeçilmiştir. Bu sebeple bir sonraki bölümde bu tür döküm işlemi incelenmemekte, ancak hâlihazırda endüstride kullanılan tekniklere dair çalışma aşamalarının ayrıntılı analizi sunulmaktadır.

1.2. Alçı kalıplarla manüel döküm işlemi

Alçı kalıplara döküm işlemi el ile yapıldığında uygulanacak işlemlere ait aşamalar Tablo 2’de gösterilmektedir.

Aşağıdaki paragraflarda ilgili işlem aşamaları yer almaktadır.

Tablo 2 - Alçı kalıplarla döküm aşaması işlemleri



Kalıp Temizleme

Kalıp hazırlama

çamur doldurma

kalınlık alma

fazla çamurun boşaltılması

(yalnızca boş döküm alanlı parçalar için)

Sertleştirme

Kısmen kalıp açma

bağlantı deliklerinin açılması

döküm/boşaltma deliklerinin kapatılması

(hidrolik işlevi olan ve/veya parçaların hijyenini etkileyen delikler için)

kalıptan çıkarma

ilk rötuş

kalıbın kurutulması

1.2.1. Kalıpların temizlenmesi

Kalıpların temizlenmesi, yarı mamulün ve sonrasında nihai ürünün kalitesi buna bağlı olduğu için oldukça önemli bir ön işlemdir. Esasen, işlemler sırasında başta içbükey parçalar olmak üzere kalıba ait parçalarda kuru çamur, alçı parçaları, pudra tabakaları ve plastik kırıkları kalması gibi çeşitli türlerde kir ve yabancı maddeler birikebilir. Bunun yanı sıra, önemli miktarda hava akışının gerçekleştiği geceleri kurutma aşamasında, kalıplar üzerinde havayla yayılan tozların birikmesi ve/veya kalıpların binadaki sabit yapılar üzerinde, lambalarda veya hava kanalı borularında toplanmış olan tozları kolayca çekmesi söz konusudur. Şekiller 1.2, 1.3 ve 1.4'te döküm esnasında kalıbın içerisindeki bünyede var olan yabancı maddelere ilişkin bazı örnekler gösterilmiştir.



Şekil 1.2 – Kuru çamur girmiş döküm parçaları



Şekil 1.3 – Plastik malzeme atıkları girmiş döküm parçaları



Şekil 1.4 – Alçı kırıkları girmiş döküm parçaları

Dolayısıyla, bu yabancı maddeleri uzaklaştırmak için kalıbın temizlenmesi gerekmektedir. Bunun için çeşitli sistemler (fırçalama, süngerle temizleme, vb.) kullanılır.

Hafif olan tozun havaya yayılmasının minimizasyonu söz konusu olduğunda en güvenilir yöntem olması bakımından tercihen yabancı maddelerin emilerek uzaklaştırılması tekniği kullanılır.

Büyük miktarda havada asılı toza neden olması, bunun da operatörlerin sağlığına zarar vermesi ve üretim kalitesinin seviyesini düşürmesi sebebiyle basınçlı havanın kullanımından kaçınılmalıdır. Kalıbın temizlenmesi aynı zamanda çamuru kalıba besleyen borunun ve döküm faaliyetlerinde kullanılan çeşitli araç ve gerecin (huniler, kovalar, vb.) temizlenmesini de gerektirir. Özellikle, çamur besleme borusu çapı biraz daha küçük olan (Şekil 1.5 borunun temizlenmesi) gereçler borunun içerisine sokularak ve çamur kalıntıları sıyrılmak suretiyle giderilerek temizlenir.

Araç-gerecin (huniler gibi) temizliği elle veya özel yıkama makineleri kullanılarak her bir döküm faaliyetinin sonunda su ile yapılır.



Şekil 1.5 - Çamuru kalıba besleyen borunun temizlenmesi

1.2.2. Kalıbın hazırlanması

Öncelikli olarak, alternatif şekilde aşağıdakileri gerçekleştirmek için kalıbın farklı şekilde hazırlanması gerekir:

- Kalınlık almış massenin kalıbın alçı duvarına yapışmasını sağlamak
- Kalınlık almış massenin kalıbın alçı duvarından ayrılmasını sağlamak
- Kalınlık almış massenin sertleşme hızını düşürmek
- Kalınlık alma hızını ayarlamak
- Çok kuru olan kalıbı ıslatmak

Boş döküm ve masif dökümden oluşan sağlık gereçlerinin şekillerinin genellikle oldukça karmaşık olması nedeniyle, aynı kalıbın başka bir bölgesi çamurun kalınlık almasını hızlandıracak şekilde hazırlanırken diğer bir kısmı çamurun kalınlık almasını yavaşlatacak şekilde muamele edilen bir kalıp (örneğin lavabo) bulunması alışılmadık bir durum değildir.

Sorunun karmaşıklığı göz önünde bulundurulduğunda, zaman zaman çeşitli kalıp hazırlama faaliyetlerinin nasıl ve niçin yapıldığını detaylı olarak incelemek gerekir.

1.2.2.1. Kalınlık alma hızının ayarlanması

Kalınlık alma hızının ayarlanmasında genelde aşağıdaki sistemler kullanılır:

- Nemli bir sünger (şekil 1.6) veya bir püskürtme tabancası vasıtasıyla kalıbın bir kısmına su uygulanır. Kalıp üzerindeki su miktarı alçının kapiler boşluklarını kısmen doldurarak suyun emilebilirliğini azaltır.



Şekil 1.6 - Kalıp üzerine nemli süngerle su uygulanması

- Suyun çamurdan alçıya aktarılma hızının azaltılmasının gerektiği durumlarda alçı kalıbın yüzeyine çok ince talk pudrası uygulanır. Bu ince talk tabakasını uygulamak için, uygun torba veya kaplar kullanılır. Talk, genellikle talk pudrasına batırılmış kuru bir sünger vasıtasıyla kalıbın yüzeyine dağıtılır (şekil 1.7). Çok ince talk tabakası su moleküllerinin çamurdan kalıba geçişini engelleyen bir bariyer oluşturur, böylece kalınlık alma süresi (sertleşme süresinin yanı sıra) azalır



Şekil 1.7 –Kalıp üzerine nemli süngerle talk pudrası uygulanması

- Kalınlık alma (ve sertleşme) hızını azaltmanın üçüncü yolu kalıbın işlem yapılacak bölgelerine su ve talk karışımı püskürtmektir (şekil 1.8). Bu

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

son işlem daha önce anlatılan iki işlemin etkilerini bir araya getirerek iyi bir verimlilik seviyesi sergiler. Buna ek olarak, sprey uygulaması kalıbın işleminden geçirmesi zor bölgelerine erişimin kolaylaşması anlamına da gelmektedir. Bu teknik, tozun çevreye yayılmasını büyük oranda azaltarak operatörün uygulaması gereken doğru talk miktarının belirlenmesi konusunda iyi bir deneyim yaşamasına imkân tanır.



Şekil 1.8 – Su ve talktan oluşan karışımın kalıp üzerine uygulanması ve püskürtülmesi

Kalınlık alma hızlarını ayarlamamızı kolaylaştıracak yöntemleri inceledikten sonra, şimdi bazı durumlarda çamur kalınlık alma hızını (ve sertleşme hızını) niçin azaltmamız gerektiğini analiz edeceğiz. Şekil 1.9'da bir klozetin masif dökümle yapılmış bir bölgesini görebileceğimiz bir kesit gösterilmektedir.



Şekil. 1.9 – İnce bir kalınlığa sahip çekirdek dökümlü bir klozetin kesit resmi

Klozetin bu kısmının belirleyici özelliği, kalınlığının (yaklaşık 6 mm) gerek masif dökümle elde edilen plastik parçaların (yaklaşık 12-13 mm) kalınlığından gerekse boş döküm kullanılarak oluşturulan alanların kalınlığından (8-9 mm) çok daha altında olmasıdır.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Klozetin bu kalınlık geçiş bölgelerinde istenmeyen kanallar oluşturabilecek hiçbir açıklığın kalmaması bakımından bilerek tasarlanmış olan bu kalınlık değişkenliği gereklidir. Aksi takdirde oluşan istenmeyen kanallar sağlık gerecinin su sızdırmaz olmama özelliğini sağlamadığından kullanılmaz hale gelmektedir. ve atılması gerekmektedir.

Bu nedenle, tasarımcı klozeti değişken kalınlıklar kullanarak yapılandırmakla yükümlüdür. Söz konusu parçanın bazı kısımlarında kalınlık alması sağlamak için kalıp işleminden geçirilmeksizin dökümü sırasında kaçınılmaz şekilde aşağıdaki durum meydana gelir:

- Daha küçük olan masif dökümlü alan kalınlık almasını diğer masif dökümlü alanlardan birkaç dakika önce tamamlar;
- Sonuç olarak, kalınlık alma aşaması bu bölgede daha önce başlar;
- Klozetin daha büyük bir kalınlıkla olması gereken alanları ile boş dökümlü alanların kendi yapısının oluşması aşamalarını tamamlayıncaya kadar kalıp birkaç dakikalığına açılmaz;
- Bu ekstra dakikalar kalınlığı azalan bölgelerin küçülmesinin başlamasına neden olur;
- Kalıp duvarlarının yakınlığından oluşan ince masif alanlarda küçülme diğer yerlere göre erken başladığından bu bölgede sonradan çatlakların oluşmasına yol açar (şekil 1.10).

Kalınlık alma ve sertleşme (ve dolayısıyla da küçülmenin başlaması) hızı yavaşlatılacak şekilde kalıba muamele edilmesi , kalıbın boyutu küçülen masif dökümden etkilenmiş olan alanına kalınlık almayı düşürecek müdahalenin yapılması gerektiği aşikârdır.



Şekil 1.10 –Boyutu küçülen çekirdek dökümlü bir alanda çatlak oluşumları

1.2.2.2. Çamurun sertleşme hızının azaltılması

Çamurun sertleşme hızının düşürmek için kullanılan sistemler, kalınlık alma hızının ayarlanması için paragraf 1.2.2.1'de anlatılan sistemlerle aynıdır.

Parçanın bazı alanlarında bünyenin küçülmeye başlamasının geciktirilmesi ve bunun mümkün olduğunca sağlık gerecinin diğer kısımları ile aynı zamanda meydana gelmesinin sağlanması gerektiğinde massenin sertleşme hızı düşürülmelidir.

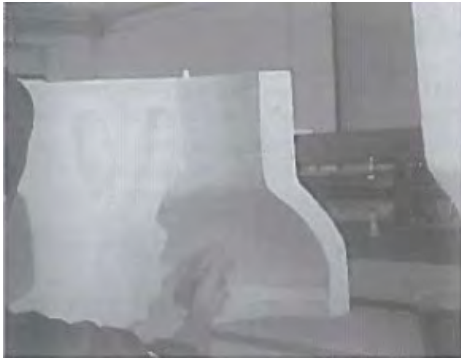
Sağlık gerecini oluşturan ürünün çeşitli kısımlarındaki nem seviyesini mümkün olduğunca homojen hale getirmek için esasen alçı kalıbın çeşitli alanlarına farklı şekillerde muamele edilmesi gerekir.

Açıkça görüldüğü üzere, kalıbın sertleşme hızının düşürülmesi gereken alanlarında daha önce açıklanan yöntemler uygulanmaz

1.2.2.3. Çamurun kalıbın yüzeyine tutunmasını iyileştirme

Kalıba döküm sırasında oluşan çamur tabakasının tutunabilirliğinin arttırılması gerektiğinde, kalıp aşağıdaki gibi hazırlanır: Söz konusu alanlara az miktarda çamur içeren suyla nemlendirilmiş bir süngerle sürülür. Dolayısıyla, söz konusu sıvı, döküm (şekil 1.11) için kullanılan aynı çamurun belirli bir miktarını içeren bir çözelti halindeki bulanık sudur.

Bu işlem kalıp yüzeyinde ince bir çamur tabakası birikmesini mümkün kılar. Bu, döküm çamurunun bu şekilde işlem gören alçı duvara daha iyi tutunmasına yardımcı olan özel bir hiledir. Buna ek olarak, bu yöntemle hazırlanmış olan kalıp yüzeyinin hemen yanında bulunan çamurun daha iyi sertleşmesi de söz konusudur. Şekil 1.12'de bu tür kalıp hazırlığının gerekli olduğu tipik bir örnek olay gösterilmektedir.



Şekil 1.11 – Belirli miktarda çamur içeren bulanık sulu kalıbın işleminden geçirilmesi.



Şekil 1.12 - Klozet dökümü bu tür kalıp hazırlığı ile işlem yapılmasının zorunlu olduğu tipik bir vakadır.

Şekil 1.12'de esasen boş dökümlü alanın sözü edilen kısım açıldığında kalıba tutunarak nasıl bağlı kalması gerektiği gösterilmektedir.

Aşağıdaki paragraflarda alçı kalıbın kalınlık alma mekanizmaları ile belirleyici özellikleri incelenmektedir. Ayrıca, kalıp hazırlığının döküm işlemi üzerinde niçin bu etkilere sahip olduğu da açıklanacaktır.

1.2.2.4. Döküm parçasının kalıbın alçı yüzeyinden ayrılmasını iyileştirme

Döküm massesinin kalıbın alçı duvarından ayrılmasının sağlanması gerektiğinde, kalıp hazırlığı söz konusu yüzeylere talk pudrası uygulanmasını gerektirir. Aslında, talk tabakasının massenin kalıba yapışmasını önleyerek kalıptan ayrılmasını kolayştırdığını görmek mümkündür

Şekil 1.13 ve Şekil 1.14'te bu tür işleme başvurunun gerekli olduğu tipik vakalara örnekler verilmektedir.

Şekil 1.13'te, döküm parçasının dişi kalıp yarımında kalmasına olanak tanımak amacıyla erkek kalıp yarımının masseden ayrılmasını sağlayacak şekilde talk ile nasıl işlem gördüğü gösterilmektedir.

Şekil 1.14'te, parça üzerinde herhangi bir çatlak oluşumu söz konusu olmaksızın masseden ayrılmasını kolaylaştırmak amacıyla bir klozet kalıbının en alt kısmına talk sürülerek ne şekilde işlem yapıldığını görebiliriz.



Şekil 1.13 - Rezervuarın masif dökümlü alana sahip kalıp yarımına talk ile işlem yapılması



Şekil 1.14 - Klozet ayağına talk pudrası ile işlem yapılması

1.2.2.5. Kalıbın ıslatılması

Bir alçı kalıp gereğinden fazla kuruduğu takdirde, yani çok uzun süre kurumaya bırakılmışsa, kalıbın hazırlanması sırasında yüzeyinin ıslatılması gerekir. Bu işlem normalde suya batırılmış temiz bir sünger yardımıyla veya kalıba su püskürtme yapılarak gerçekleştirilir.

Islatma işleminin amacı, kaçınılmaz surette sıkı bir film (döküm "zarı") oluşumuna yol açan bir durum olan, suyun kalıp tarafından çamurdan çok hızlı şekilde emilmesini önlemektir.

Bu oluşum, suyun çamurdan kalıba normal geçiş süreci bakımından bir engel oluşturmakta, bu da daha uzun bir kalınlık alma süresine ve oluşan massenin kalınlığında eşit olmayan bir nemliliğe neden olmaktadır.

Kalıp ile temas halindeki bu alanda, oldukça sıkı ve kuru bir masse oluştururken, kalınlığın kalan kısmı ise yumuşak ve aşırı derecede nemli olacaktır.

Bu, pişirilmemiş seramik yarımamülün kurutulduğu bir sonraki aşama için ciddi bir sorun olup, dökülen ürünün bütünlüğünü tehlikeye atabilir.

Kalıp normalde her ne kadar kurumuş olsa da, kalınlık almasını ve/veya sertleşme hızını yavaşlatmak istediğinizde veya çatlak oluşturma eğilimi daha yüksek olan daha az plastik çamur kullanıldığında da ıslatılmalıdır.

1.2.3. Kalıbın sıvı çamur ile doldurulması

Çamur kalıba elle doldurulur. Çoğunlukla, genel amaçlı bir çamur dağıtım devresine bağlanan, manüel vanalı bir hortum kullanılır. Operatör vanayı açarak çamuru huni vasıtasıyla kabına aktarır (şekil 1.15).

Sözü edilen son işlem ayrıca kalınlık alma sırasında kalıba besleme yapılmasını sağlayan dengeleyici bir sistem işlevi de görür. Normalde kalıba en az iki delik açılır: Bir tanesi doldurma, diğeri ise fazla çamurun tahliyesi için (sadece boş dökümlü alanlar olması durumunda) kullanılır (Şekil 1.16).



Şekil 1.15 – Hastahane tipi klozet dökümü



Şekil 1.16 – Kalıbın ayak kısmında çamur giriş deliği ve bir çıkış deliği bulunan hastahane tip kalıp

Bazı hallerde, döküm yapılacak kısmın geometrisine bağlı olarak döküm için veya fazla çamurun tahliyesi için daha fazla delik gerekli olabilir. (Şekil 1.17).

Kalıba aynı zamanda kalıbın üstündeki bir açıklıktan da dolum yapılabilir (Şekil 1.18).



Şekil 1.17 - Dört delikli klozet kalıbı



Şekil 1.18 – Klozet için kalıbın üst kısmındaki bir kaynaktan çamur doldurma

Bununla birlikte, tercihen, sözde döküm noktalarından kaçınmak için (5. Bölümde resmedilmiştir), kalıp aşağıdaki bir kaynaktan (Şekil 1.19) doldurulmalıdır.

Burada ayrıca dolum aşaması boyunca kalıbın pozisyonu da önem arz etmektedir.

Kalıp pozisyonu, yatay bir pozisyondan hafif eğik bir pozisyona, oradan da çok eğik bir pozisyona hareket ederek döküm yapılacak parçanın şeklinde bağlı olarak oldukça farklılık gösterebilir. Bu varyasyonlar, döküm birleşme parçalarının, olukların veya çamurun kalıba çarpan yerinde oluşan farklı yapı oluşumunu önleme ihtiyacına göre gereken yapılır. Bunların tamamı nihai ürünün kalitesini etkileyen kusurlar olup, çamurun kalıbın içerisine akış şekline göre geriye doğru izlenebilir.



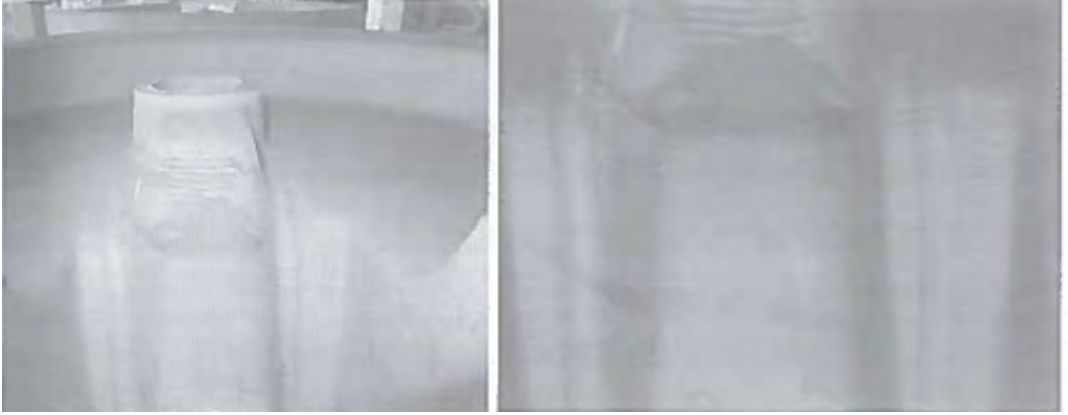
Şekil 1.19 – Lavabo için kalıbın aşağısındaki bir kaynaktan çamur doldurulması

Kalıpların doldurulması sırasında alınması gereken bir başka önlem de çamurun akış hızını ayarlamaktır. Aşırı kalıp dolum hızı (çeşitli ebatlarda) hava kabarcıklarının oluşumuna neden olabilir. İdeal döküm hızı çeşitli faktörlere bağlı olduğundan ve aşağıdaki unsurlara göre farklılık arz ettiğinden buna yönelik belirgin bir kural yoktur:

- Çamurun reolojik özellikleri
- Parçanın şekli
- Parçanın boyutları
- Boş dökümlü alanların varlığı
- Boş dökümlü alanların boyutu

Döküm hızı, sözde paralel döküm çizgisi lekelerinin veya halkalarının oluşumunu önleme (Şekil 1.20) ve hava kabarcığı oluşumlarından kaçınma ihtiyacı ile tutarlı olarak mümkün olduğunca yüksektir (birkaç dakikalık bir dolum süresi, yaklaşık 2-3 dak.).

Bu kusur, çamurun yüzey gerilimine göre geriye dönük izlenebilir, ancak yüksek kalıp dolum süresinin söz konusu olduğu hallerde oldukça belirgindir.



Şekil 1.20 - Paralel döküm çizgi lekeleri veya halkaları

1.2.4. Kalınlık Alma

Çamur kalınlık alma, alçının tipik özelliği olan kapillerlerin bizzat çamurdaki suyu alarak daha sonra katı bir tabaka oluşturmaya başlayan suyun çekildiği kalıp duvarı ile temas halinde gerçekleşir. Gerçekte, kalınlık alma süreci kimyasal bir işlemi de beraberinde getirir: Alçı (kalsiyum sülfat hemihidrat) kalıpta, kalsiyum

iyonlarının yerini, daha küçük ve daha hareketli olan, çamurda yer alan sodyum iyonları alır. Bu geçiş, çamura komşu olan tabakada pıhtılaşmaya (yumaksı çökeltme) neden olur ve bu adım kalınlık almasına yönelik atılan ilk adımdır. Bu mekanizma ilerideki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

Kalınlık almayı kontrol eden birçok parametre mevcuttur. Başlıcaları şunlardır:

- Çamura bağımlı olanlar: Plastiklik, tane boyutu, tane morfolojisi, mineral bileşimi, deflokülasyon hali, özgül ağırlık.
- Kalıba bağımlı olanlar: Gözeneklilik, kapillerlerin şekli ve büyüklüğü, nem içeriği.

Kalınlık alma süresinin kalıbın meydana geldiği alçıya bağlı olmasının nedeni aşikâr ve anlaşılması kolay bir durumken, bunun çamurun kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre değişmesinin nedeninin de açıklanması gerekir. Sıvı çamurdan alçıya geçen su kalıp duvarıyla temas halindeki yeni oluşmuş katı yarı mamül tabakasından geçmek zorundadır. Kalınlaşan bu katman filtre işlevi görür. Dolayısıyla suyun akış hızının ve buna bağlı kalınlık alma süresinin bu filtrenin ne kadar sıkı olduğuna bağlı olması açıktır. Ancak, bu katmanın tabakasının geçirgenliği kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre değişmektedir.

Sağlık gerecinin imalatı sırasında, oluşturulacak boş döküm kalınlığı 8 ile 10 mm arasında değişmektedir (parçanın tipine ve çamur türüne göre); bu kalınlık milimetrelerinin oluşumuna imkân vermek için gerekli süre 50 dakika ile 105 dakika arasında olup, kalıbın ve çamurun yukarıda bahsedilen özelliklerine bağlıdır.

1.2.5. Fazla çamurun boşaltılması

Kalınlık alma için gerekli süre dolduğunda, fazla çamurun (boş döküm alanlarında bulunan) akıtılması gerekir. Masif dökümlü parçaların kullanıldığı özel olarak üretilen sağlık gereğine döküm yapılması sırasında bu aşama gerçekleştirilmez.

Akıtma işlemi kalıp birkaç derece (7-10°) eğilerek, çamurun akmasını önleyen herhangi bir kapalı parça giderilerek ve çamur akıtma işleminin parça içerisinde negatif basınç oluşumuna neden olmasını önleyecek bir hava girişi mevcudiyeti sağlanarak gerçekleştirilir. Akıtılan çamur taşınabilir kaplarda veya toplama

kanalları vasıtasıyla yeraltında veya taşınabilir depolarda toplanır. Akıtma süresi döküm parçasının boş dökümlü alanlarının boyutuna bağlıdır, ancak genelde birkaç dakikadır.

1.2.6. Parçanın kalıpta sertleşmesi

Kalıp akıtma işleminin ardından, döküm parçasını kalıptan almadan önce kendi ağırlığında deforme olmasını önlemek için sertleşmesi gerekir; sertleşme veya sertleştirme işlemi döküm parçasının atılacak nemin bir kısmını elimine etmek için yeterli bir zaman boyunca parçayı kapalı kalıp içerisinde bırakılıp böylece deformasyona karşı direncini artırılarak gerçekleştirilir. Massedeki su içeriği azaltılarak parçanın plastikliği kendini taşıyıcaya kadar azaltılır, bu sayede dökümden mamul sağlık gerecinin yerçekimi etkisi altında plastik bir biçimde deformasyonu önlenmiş olur. Su çamurdan, alçı kalıbın su emme kabiliyeti sayesinde uzaklaştırılır ve aşağıdakilere bağlı olarak 30 ila 90 dakika arasında sertleşme meydana gelir:

- Çamurun tipi (çamur ne denli plastikse o denli zaman alır);
- Kalıbın gözenekliliği ve nemi: Kalıp ne denli gözenekliyse, sertleşme de o denli hızlı olur. Bunun aksine kalıp ne denli nemliyse, sertleşme de o denli uzun sürer.
- Döküm yapılmakta olan sağlık gerecinin türü: Uzamış boş dökümlü alanların mevcudiyeti ile karakterize edilen sağlık gereciyle kıyaslandığında çekirdek dökümlü bir parçanın belirleyici özelliği, daha kısa bir sertleşme süresi olup diğer tüm koşullar eşittir;
- Parçanın kalınlığı: Parça ne denli kalın olursa, parçanın iç kısmından alçı duvar ile temas halindeki yüzeye suyun geçiş süresinin de o denli uzun olacağı aşikârdır.

Sertleşme işlemi sonundaki su içeriği çamurun türüne ve döküm parçasındaki mevcut boş dökümlü alanların sayısına göre değişiklik gösterebilir. Özellikle aşağıdaki değerler tespit edilebilir [1]:

- Vitrikiye çamurlar: Masif dökümlü parçalar % 15-17 karma dökümlü parçalar %17-20
- İnce fire clay çamurlar: Masif dökümlü parçalar %10-13
- Karma dökümlü parçalar %12-15

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Bu işlem aşaması doğru sertleşme süresine özel dikkat gösterilerek gerçekleştirilmelidir. Sertleşme süresi çok kısa olduğu takdirde, döküm parçalar deforme olur (Şekil 1.21).

Diğer taraftan, sertleşme süresinin gereğinden uzun olması halinde, elde edilen döküm parçalar çok sert olacak, ancak parçanın kalıp içerisinde uzun zaman geçirmesinden kaynaklanan çatlakların (Şekil 1.22) varlığından etkilenecektir: Esasen, yarı mamül pişirilmemiş olmasına rağmen küçülmeye başlar ve söz konusu küçülmeyi alçı kalıbın varlığı engellediği için çatlaklar oluşur.

Bu aşamada, doğru sertleşmeyi gerçekleştirmek adına çamurun karakteristik özellikleri de önemli bir rol oynar. Özellikle yarımamülün düzensiz şekilde (çok sert dış kalınlık ve yumuşak iç kısım) sertleşmemesini sağlamak için çamurun mineralojik bileşiminin ve deflokülasyon seviyesinin doğru olması gerekir. Döküm çamurlarının bu son derece karmaşık ve spesifik yönleri 2. Bölümde detaylı olarak incelenecektir.



Şekil 1.21- Çok yumuşak kalıptan çıkarıldıkları için deforme olan döküm parçaları



Şekil 1.22 - Aşırı sertleşme nedeniyle çatlakların olduğu parçalar

1.2.7. Kalıbın açılması

Bir sonraki işlem aşaması, kalıbın engellenmesinden kaynaklanan küçülmeyi önlemek adına aşağıdaki üretim döngüsü faaliyetlerini yürütmek amacıyla kalıbın kısmen açılmasını ve döküm parçasının kısmen ayrılmasını gerektirir. Bu açma işlemi aynı zamanda sağlık gerecinin de herhangi bir çatlak oluşumu söz konusu olmaksızın sertleşmesine de imkân tanır. Aslında, yarı mamülün havaya maruz kalan kısmı içerdiği su miktarının bir kısmını hızla kaybeder. Aynı zamanda, söz konusu parça kalıbın henüz açılmamış kısmı tarafından desteklenir ve bu da deformasyon riskini önler.

Açıkça görüldüğü üzere, bu aşamaları gerçekleştirme yöntemleri ürünün türüne bağlıdır. Özellikle, süreç genelde aşağıdaki gibi işler:

- Lavabo: Kalıbın erkek kısmı, kalıbın dişi kısmındaki parçada bırakılarak açılır (Şekil 1.23).
- Tuvalet klozeti/bide: Kalıbın kapak veya çekirdek olarak bilinen kısmı açılır ve iç takozlar (varsa) çıkarılır (Şekil 1.24).
- Ayak: Kalıbın erkek parçası çıkarılır ve döküm parçası dişi kalıp yarımı içerisinde kalır (Şekil 1.25).
- Rezervuar: Bir kez daha, parça dişi kalıp yarımı içerisinde bırakılarak erkek kalıp yarımı kaldırılır (Şekil 1.26)

Spesifik sorunlara ek olarak döküm parçasının çatlakların başlamasına neden olacak şekilde küçülmesini önlediğinden erkek kalıp yarımının çıkarılması gerektiği aşikârdır.



Şekil 1.23 – Bir lavabo kalıbının açılması



Şekil 1,24 – Bir klozet kalıbının açılması



Şekil 1,25 – Bir ayak kalıbının açılması



Şekil 1,26 – Bir rezervuar kalıbının açılması

1.2.8. Fonksiyonel deliklerin açılması

Sağlık gereci ürünündeki fonksiyonel delikler parçanın ve/veya tesisatın su ile fonksiyon işleyişini kolaylaştırmak amacıyla açılması gereken bir dizi açıklıklardan ibarettir. Örnek olarak yüzeysel şekilde çeşitli ürünlere yönelik en yaygın delik açmalaradan bazıları aşağıdaki gibidir:

- Lavabo: Taşma deliği ve armatür deliği (Şekil 1.27)



Şekil 1.27 – Bir lavaboda fonksiyonel delikler açılması

- Klozet: sifon çıkış deliği kapanının (Şekil 1.28.) veya delikli olması gereken ring üzerindeki su çıkış deliklerinin (Şekil 1.29) açılması. Bazı durumlarda söz konusu deliklerin kalıbın bir parçası olan silikon lastik pim'ler kullanılarak deliklerin oluşması sağlanır. Kalıp üretim aşamasında bu silikon veya kauçuk malzemeler delik sayısı kadar kalıba yerleştirilir. Bu durumlarda operatör delik açmaz, ancak boşlukları rötuşlar ve/veya kontrol eder.
- Bide: Taşma deliği ve armatür deliği (Şekil 1,30)
- Rezervuar: Su girişi ve çıkışı deliği (Şekil 1,31)



Şekil 1.28 – Ayaklı bir klozette sifon deliğinin açılması



Şekil 1.29 – Ayaklı bir klozette ring üzerinde su çıkış deliklerinin açılması



Şekil 1.30 – Ayaklı bir bidede fonksiyonel deliklerin açılması



Şekil 1.31 – Bir rezervuarda işlevsel delikler açılması

Bu işlemleri gerçekleştirmek için yarı mamülün plastik vaziyette olmasına rağmen açılan deliklerde çatlakların oluşumuna neden olmamak için özel kesici aparatların kullanılır. (Şekil 1.32) . Yine de, yüzeyi yuvarlak hale getirmek ve keskin kenarların oluşumunu önlemek amacıyla kesilen yüzeyin (yalnızca büyük delikler için belirgindir) nemli bir sünger veya ıslak parmaklarla silinmesi tavsiye edilir. Esasen, özellikle kurutma aşaması sırasında bu kenarlar üzerinde gerilme birikimleri meydana gelebilir ve bu da çatlakların oluşmasına yol açabilir (Şekil 1.33). Çatlak oluşumunun başka bir nedeni de deliklerin oldukça kuru bir yarı mamül üzerinde açılması ve bu nedenle plastikliğini yitirmiş olmasıdır. Bu durumda, aletin delme işlemi küçük ve düzensiz çatlakların oluşmasına sebebiyet verebilir.

Aynı sorun deformasyona uğramış bir aletin kullanılması durumunda veya söz konusu aletin artık keskin olmayan ve aşınma nedeniyle kütleşmiş bir kesme yüzeyine sahip olması halinde meydana gelebilir. Bu nedenle, mükemmel çalışma koşulundaki aletlerle çalışılması önemlidir.



Şekil 1.32 – Delik delme , kesme ve yarı mamülün rötuşlanmasında kullanılan özel aletler



Şekil 1.33 – Çıkış deliği iç yüzeyinin parmakla düzeltilmesi

1.2.9. Çamur giriş/tahliye deliklerinin kapatılması

Önceki paragraflarda sağlık gereçleri ürünlerinin dökümü yapılırken üründe en az bir giriş deliği ve bir çıkış deliği bulunması gerektiği gösterilmiştir. Bazı hallerde, bu delikler görünmeyecekleri yerlerde bulduklarından ve parçanın fonksiyonel devreleriyle temas halinde olmadıklarından söz konusu açıklıklar parçanın fonksiyonel işleyişini, hijyenik doğasını ve estetik değerini etkilemezler. Bu tür deliklere bir örnek ise, normalde parçanın arka kısmında bulunan, montajda duvara yapışan yüzeyde ve lavabodaki taşma deliği veya sifon deliği ile temas halinde olmayan besleme/tahliye deliğidir.

Bununla birlikte, diğer durumlarda parçada su kaçağı oluşumunu veya kötü kokuların yayılmasını önlemek adına bu deliklerin kapatılması gerekir. Buna ilişkin tipik örnekler besleme delikleri ile fazla çamurun lavabodan tahliye edilmesi için açılmış deliklerdir. Bu delikler döküm pozisyonuna bağlı olarak farklı şekilde konumlandırılabilir. Normalde, çamura ekleme ve/veya yarı mamülden tahliye yapılması için açılan delikler ile veya sifon açıklığı ile temas edebilecek (kalınlıkla kusurunun kapatılması nedeniyle) yan bölmelerle iletişim içerisindedir.

Bu yüzden bu deliklerin kapatılması gereklidir. Normalde bu işlem yarı mamülün, delikleri kapatmak için tutkal vazifesi gören çamurun yardımıyla uygulanan küçük dairesel tamir tapaları vasıtasıyla gerçekleştirilir. Yarı mamül rölyefli uygulanabilir veya çevreleyen yüzeye mükemmel seviyede eşitlenebilir.



Şekil 1.34 – Yarı mamül parçalardaki deliklerin kapatılması için uygulama yapılan kısımları

Delikleri düzgün şekilde kapatmak için, döküm parçasına ait parçaların nemi ile uygulama yapılacak bölümün nem içeriğinin kontrol edilmesi hayati öneme sahiptir. Nem içeriğinde aşırı farklılık söz konusu ise, bu durum kurutma sırasında farklı seviyelerde küçülmeye yol açar ve bu da küçük çatlakların açılmasıyla sonuçlanarak deliklerin mükemmel şekilde kapanmadığı anlamına gelir.

Bu sorunu azaltmak adına, delikleri kapatmak için daha az plastik ve/veya daha refrakter çamurlar kullanılır. Daha düşük plastiklik seviyesi kurutma sırasında (ve aynı zamanda daha refrakter çamurlarda pişirme sırasında) küçülmeye alakalı çatlak oluşumuna karşı büyük bir garanti sağlayarak daha az küçülmeye neden olur.

1.2.10. Parçanın kalıptan alınması (kalıptan çıkarma)

Neredeyse her durumda yarı mamülün kalıptan alınması işleminde, alınacak parçaya geçirilen bir ceket kullanılır. Bu ceket parçanın destek yüzeyinin mükemmel bir kopyasını **oluşturan, genellikle plastik malzemenen mamul bir kalıptan çıkarma desteği (ceket- plaka) yardımıyla çıkarılır.** Elbette her bir mamulün kendi ceketini kullanılır.

Aşağıdaki resimlerde sağlık gereçleri üretimindeki en yaygın durumlar gösterilmektedir.

- Lavabo (Şekil 1.35)
- Klozet/bide (Şekil 1.36)
- Ayak (Şekil 1.37)



Şekil 1.35 – Lavabo ceketi



Şekil 1,36 – Klozet ceketi



Şekil 1,37 – Ayak ceketi

Çıkarma prosedürü kalıp/parça/plaka –ceket ile kalıbın nihai boşluğunu ters yüz etmek suretiyle, kalıbın hâlihazırda çıkarılmış olan kısmının yerine kalıba ceketin bağlanmasını gerektirir, bu da döküm parçanın plaka üzerinde serbest kalmasına imkân tanır (Şekil 1.38). Kalıptan çıkarma işlemi önceden anlatılan tüm işlem adımları doğru şekilde uygulandığı takdirde hiç de zor değildir. Gerçekten de, döküm parçası iyi takviye edilirse, deformasyon riski oluşmaz.



Şekil 1.38 – Lavabonun ceket üzerinde konumlandırılması prosedürü

1.2.11. Parçaya ilk rötuş işlemi uygulanması

Döküm parçası plaka üzerindeyken, bazı ilk rötuş işlemlerine tabi tutulabilir. Bunlar, mümkünse iki kalıp yarımı arasındaki bağlantı yerlerindeki kabarıklığın giderilmesi, küçük çatlak veya kusurların tamir edilmesi gibi oldukça basit ve sınırlı işlemler olabilir.

Döküm işlemleri ile ilgili yöntemler uygulayacak şirketin tercihi yalnızca teknolojik parametrelere değil, aynı zamanda zaman sınırlamalarına da bağlıdır.

Örneğin, her biri bir mola ile bölünmüş dört saat süren iki yarım vardiyaya ayrılmış çalışma döngüsüyle çalışmanın mümkün olması durumunda veya çamurun karakteristik özellikleri buna imkân tanıdığına, henüz tamamen kurumamış olsa dahi parçanın komple rötuşlama işlemi yapılabilir. Bu da, parçanın deformasyona uğramadan işleme tabi tutulmasına imkân verecek kadar düşük bir nem içeriği ile sağlık gerecinin bitirilmesini mümkün kılar. Aynı zamanda, parça henüz nemliyken rötuş işlemi daha kolay ve daha az zahmetli olup, kuru bir parça rötuşlanırken yaşandığı gibi toz yayılmasına da neden olmaz. Rötuş aşamalarına ilişkin tam açıklama kolaylık olması açısından daha sonra üretim süreci anlatılırken yapılacaktır.

1.1.12. Kalıbın kurutulması

Kalınlık alma ve sertleşme aşaması sırasında, alçı kalıp massedeki suyu emer. Emilen su miktarı mamulün tipine ve çamur türüne bağlı olarak değişir. Tablo 3'te vitrifiye ve fire clay çamurunun bir sağlık gereğine ilişkin tahmini değerler gösterilmektedir.

Tablo 3 – Farklı mamullerde ve döküm tipinin ağırlığına göre alçı kalıp tarafından emilen suya ilişkin değerler.

Mamuller	Kg cinsinden kuru ürün ağırlığı	Alçı kalıp tarafından emilen su (kg)
Vitrifiye klozet	20	3.5
Vitrifiye rezervuar	10	1.9
Fire clay duş teknesi	30	2.3

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Emilen su miktarı yalnızca mamulün türüne değil, aynı zamanda çamurun türüne de bağlıdır. Örneğin her ne kadar vitrikiye klozetten daha ağır olsa da fire clay çamurundan mamul bir duş teknesi farklı bir masif döküm/ boş döküm oranı nedeniyle, ancak her şeyden önce virteous china çamuruna kıyasla fire clay çamurundaki daha düşük başlangıç suyu içeriği nedeniyle alçı kalıba daha az su aktarır.

Bu nedenle, döküm aşaması tamamlandıktan sonra, biriken suyu uzaklaştırmak ve böylece yeni bir döküm işleminde su emme kapasitesini eski haline getirmek amacıyla alçı kalıbın kurutulması gerekir.

Gerçekte, bir çalışma haftası boyunca aynı kalıptan uzaklaştırılması gereken suyun aynı olmadığı hususu dikkate alınmalıdır. Manüel döküm yöntemini kullanan işletmelerde kurutma işlemi kalıptan emilen suyun tamamen uzaklaştırılmasına imkân tanımaz. Çalışma haftası boyunca, Pazartesi'den Cuma'ya kadar ağırlıkça artma eğilimi gösterecek şekilde kalıpta tedrici bir su birikimi söz konusudur. Tablo 4'te, örnekleme yoluyla bir klozetin [2] haftanın farklı günlerindeki ağırlığı ve buna ilişkin bir dizi ölçüm sonucu gösterilmektedir.

Tablo 4 – Çalışma haftası boyunca bir klozete ait alçı kalıbın ağırlığı.

Gün	Alçı kalıbın ağırlığı	Bir önceki güne ilişkin su birikimi (kg)
Pazartesi	98.7	/
Salı	99.7	1.0
Çarşamba	100.2	0.5
Perşembe	100.6	0.4
Cuma	101.0	0.4
		2.3 kg.lık sudaki nihai birikim

Verilerin analizinde kurutma sırasında buharlaşmamış olan suyun birikmesi nedeniyle kalıp ağırlığındaki artışın gün geçtikçe nasıl azalan bir eğilim sergilediği gösterilmektedir.

Bunun nedeninin kalıbın gözenekliliğindeki kısmi doygunluk ve dolayısıyla da kalıbın bizzat suyu emme kapasitesinin azalması olduğu aşikârdır.

Kalıbın emme kapasitesindeki azalma nedeniyle endüstride Pazartesi'den Cuma'ya kalınlık alma ve sertleşme sürelerini arttırmanın yaygın bir uygulama olması bu hususu doğrulamaktadır.

Açıkça görüldüğü üzere, yukarıdaki tabloda sunulan veriler belirli bir üretim sürecine yönelik olup, bu nedenle mutlak bir referans teşkil etmezler, ancak kalıp kurutma sürecinde dökümhane ortamına yayılmış sıcak havanın kullanıldığı her manüel döküm bölümünde görülen genel bir trendi gösterirler.

Bu da yukarıda açıklanan çalışma koşulları altında çalışma haftası boyunca birikmiş olan kilolarca suyu uzaklaştırmak için hafta sonu (Cumartesi ve Pazar) süresince uzun süren bir kurutma dönemine duyulan ihtiyacı doğrulamaktadır. Yalnızca kurutma işlemine yönelik saat sayısını arttırmak suretiyle kalıbı, Pazartesi günü itibarıyla mükemmel biçimde kuru olacak şekilde ilk çalışma koşullarına geri döndürmek mümkündür.

Şimdi kalıpların kurutulmasında kullanılan ana sistemi, yani dökümhanenin ısıtılmasını detaylı olarak inceleyelim.

Bu örnek olayda, kalıpları ısıtmak için nemli havanın çıkarılmasına yönelik bir sistemle birleştirilmiş olan, döküm bölümündeki ısıtma tesisi kullanılmaktadır. Burada amaç, döküm bölümünde suyun kalıptan buharlaşmasını sağlayacak ısı ve nem koşullarını oluşturmaktır. Söz konusu buharlaşmayı kolaylaştırmak amacıyla geniş kanatçıklı, ancak düşük devirli (ayarlanabilen) (Şekil 1.39), (kalıbın yaklaşık 2.5 - 3.0 metre yukarısına yerleştirilmiş) fanlar kullanılır. Bu fanlar ilk olarak yayılım yoluyla ısı transfer katsayısını arttırıp kalıp üzerindeki sınırlayıcı buhar tabakasını uzaklaştırmak suretiyle suyun buharlaşmasını kolaylaştırarak kalıplara doğrudan hava akışı üretirler. İkinci olarak, odadaki ısı dağılımını ve döküm bölümünün alçak kısmı (zemin) ile yüksek kısmı (tavan) arasındaki sıcaklık homojenliğini iyileştirmek suretiyle odaların yüksek kısmında tabakalaşma eğilimi gösterecek sıcak havanın kalıplara nakledilmesini mümkün kılarlar.

Isı ve nemli hava tahliye sisteminin klasik konstrüksiyonu Şekil 1.40'daki diyagramda gösterilmektedir.

Temelde, bu sistem nemli havayı tahliye etmek amacıyla dolaylı bir sıcak hava üreticinden (dumanlar döküm holüne girmez ancak bacadan tahliye edilir), sıcak havanın eşit oranda dağılması için kanallardan (kalıpların yukarısında, üst kısımda bulunan) ve bir dizi fandan (veya merkezi bir tesisteki vakada kanal) oluşur.

Bu son işlem havanın tesis içerisindeki akışını optimize etmek ve nemin daha iyi

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

tahliye edilmesini sağlamak amacıyla zemin seviyesinin aşağısında gerçekleştirilir.

Bu tesislerden elde edilebilecek sıcaklık ve bağıl nem değerleri büyüklüklerine ve yerel iklim şartlarına göre değişir. Elde edilebilecek ortalama ideal değerler aşağıdaki gibidir:

- sıcaklık 33 ila 36°C

- bağıl nem %40 ila %50

Daha önce belirtildiği gibi, bu mikro-klimatik koşullar bir döküm işlemi ile bir sonraki arasında geçen yaklaşık 16 saat içerisinde kalıp tarafından emilen suyun sadece kısmen uzaklaştırılmasını sağlar.

Bu nedenle, çalışma haftası boyunca alçı kalıpta birikmiş olan tüm nemin uzaklaştırılmasını sağlamak için daha uzun bir kurutma süresi (hafta sonunda en az 40 saat) gereklidir.

Tesislerde aynı zamanda kurutma havasındaki nemi de gideren klima kullanılması durumunda kalıpların kurutulması bakımından daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir; ancak elde edilebilecek faydaların ek maliyetler ile kıyaslanması mümkün olmadığından, gerek başlangıç yatırımı gerekse işletim maliyeti bakımından bu çözüm oldukça pahalıdır

Ek olarak, kalıpların kurutulmasında kullanılan hava döküm parçalarının ilk kurutulmasında (yeşil mamullerin kurutulması) kullanılanla aynıdır, dolayısıyla, havanın çok nemli olmaması durumunda, döküm parçalarının kurutulmasındaki gelişmeyi kontrol etmek güç olabilir ve bu da kurutma esnasında çatlamaların önemli ölçüde artmasıyla sonuçlanabilir.

Isıtma/hava tahliyesinin kullanıldığı bu kalıp kurutma sistemi aşağıdaki karakteristik özelliklere sahip olması nedeniyle enerji bakımından oldukça maliyetlidir:

- Büyük hacimde ısıtılması gereken hava
- Taze hava nedeniyle önemli termik kayıplar
- Endüstriyel binalarda büyük kayıplar (özellikle soğuk kışların yaşandığı bölgelerde).

Tesisin kurulu olduğu iklim kuşağına, tesisin tür ve verimliliğine ve işletme

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

yöntemlerine (hava değişimi, maks. kurutma sıcaklığı, vb.) bağlı olarak 500 ile 1000 kcal/kg arasındaki değişken değerlerde pişirilmemiş mamulün üretildiği bu tür bir tesisin genel tüketimini ölçmek mümkündür.

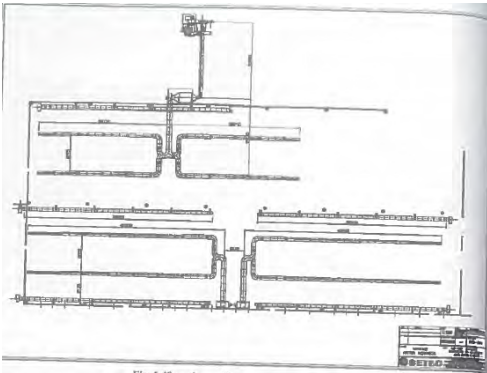
Kalıpların kurutulması için termal enerji dağılımının başlıca unsurlar arasında ne şekilde paylaşılacağı ayrıntılı olarak vurgulanabilmektedir:

- Toplam %21-35 arasında su buharlaşması nedeniyle kcal
- Toplam %18-45 arasındaki hava değişimleri nedeniyle kcal
- Toplam %33-51'lik kcal kaybı

Farklı iklimlerde tesislerin çalışma sistemlerinde tespit edilen değişikliklere müsamaha gösterilse dahi, kullanılan termal enerjinin büyük bir bölümünün toplamda randımsız şekilde yitirildiği açıkça görülmektedir. Dolayısıyla, bir sonraki adımda bu kalıp kurutma sisteminin düşük verimlilik ve çok daha düşük bir tüketilen termal enerji verimi ile karakterize edilmesi yer almaktadır.



Şekil 1.39 – (a) Geniş kanatçıklı, ancak düşük devirli fanlar; (b) döküm bölümünde kullanılan fanlar



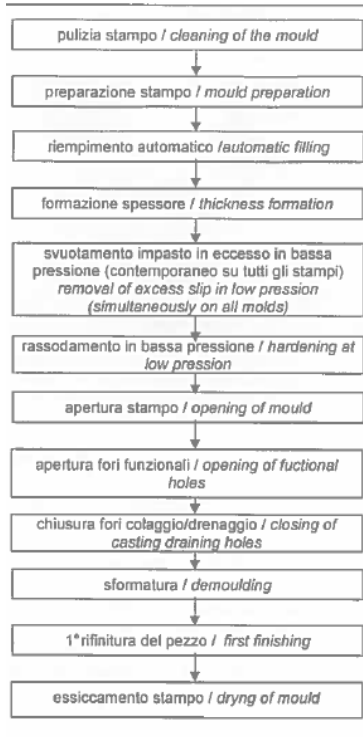
Şekil 1.40 – Isıtma ve nemli hava tahliye sistemi şeması

1.3. Alçı kalıplarla mekanize döküm işlemi

Alçı kalıplarla mekanik dökümün belirleyici özelliği, bazı varyasyonlarla, manüel döküm olayında açıklanan işlem adımları ile aynı adımların söz konusu olmasıdır. Bu nedenle, bu paragrafta önceden incelenmiş olan işlemlerin açıklamaları tekrar edilmeyecek olup, yalnızca mekanik döküme özgü işlemlerin analizi yapılacaktır.

İşlem adımlarının akış çizelgesi Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5 – Mekanik döküm işlemleri



ŞEKİL ÜZERİNDE:

cleaning of the mould = Kalıbın temizlenmesi

mould preparation = Kalıp hazırlama

automatic filling = Otomatik dolum

thickness formation = Kalınlık alma

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

removal of excess slip in low pression (simultaneously on all molds)= Düşük basınçta fazla çamurun uzaklaştırılması (aynı zamanda tüm kalıplarda)

hardening at low pression = Düşük basınçta sertleştirme

opening of mould = Kalıbın açılması

opening of fuctional holes = Fonksiyonel deliklerin açılması

closing of casting draining holes = Çamur tahliye deliklerinin kapatılması

demoulding = Kalıptan çıkarma

first finishing = İlk rötuş

dryng of mould = Kalıbın kurutulması

Açıklanan sürecin anlaşılmasını kolaylaştırmak amacıyla bir dizi lavabonun mekanik döküm işlemine yönelik tezgâhtan söz edilerek örnekleme yoluyla bir diyagram kullanılacaktır (şekil 1.41).

Manüel döküm ile mekanik döküm arasındaki temel farklılık ilk durumda işlem münferit kalıplarda yapılırken ikinci durumda ise kalıp setlerinde(bataryasında) çalışma gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.46). Manüel döküme kıyasla farklılık arz eden işlem adımlarının normal sırası aşağıdaki gibidir:

- A. Kalıpların doldurulması
- B. Kalıpların Boşaltılması
- C. Döküm parçalarının sertleştirilmesi
- D. Kalıptan çıkarma
- E. Kalıpların kurutulması

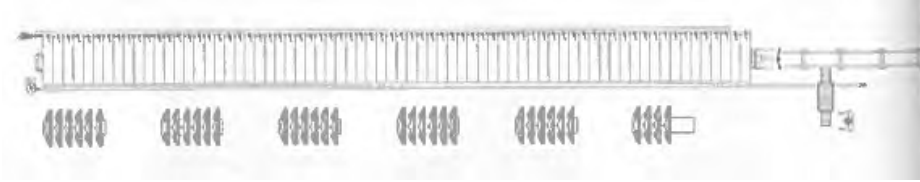
Mekanik döküme özgü işlem döngüsü aşamaları aşağıda açıklanmaktadır:



Şekil 1.41 –Lavabolar için döküm tezgâhı

1.3.1. Kalıpların doldurulması

Manüel dökümde, bu işlem operatör tarafından bir hortum ve söz konusu operatörün çalıştırdığı bir vana vasıtasıyla kalıp kalıp yapılırken, mekanik dökümde tüm kalıpların aynı anda otomatik olarak dökülmesini mümkün kılan bir devre mevcuttur. Şekil 1.42’de, her makine üreticisinin/kullanıcısının özel çözümler geliştirmiş olduğu hatırlatılarak bu tip bir devre şeması gösterilmektedir. Tamamı, bütün kalıp setinin eş zamanlı dökülmesine imkan veren pek çok muhtemel değişken söz konusudur.

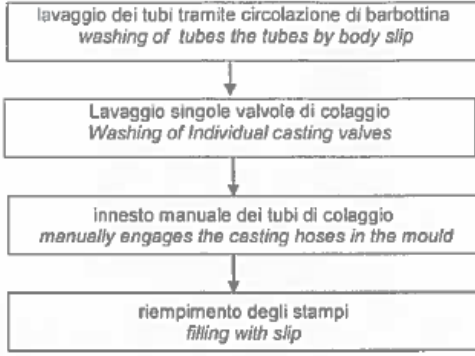


Şekil 1.42 – Bu tip bir döküm devresine ait şema

Mekanik dökümün gerçekleştirilmesine ilişkin yöntemler aşağıdaki Tablo 6’da gösterilmiştir:

Tablo 6 –Mekanik döküm aşamasına ait işlemler

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM



ŞEKİL ÜZERİNDE:

washing of tubes the tubes by body slip = Boruların döküm çamuru ile yıkanması

Washing of Individual casting valves = Münferit döküm vanalarının yıkanması

manually engages the casting hoses in the mould = Döküm hortumlarının kalıp üzerindeki döküm ağzına manüel olarak yerleştirilmesi

filling with slip = Çamur doldurma

Döküm tezgâhındaki borular birkaç dakika süreyle cebri çamur sirkülasyonu ile yıkanır. Burada amaç, doğru reolojik karakteristik özelliklere sahip olmayabilecek beklemiş çamurun boru içerisinden çıkarılarak yerine homojen çamuru doldurmaktır.

Buna ek olarak, cebri çamur sirkülasyonu yarı mamülde hiç kalın tabaka oluşmayacak şekilde döküm borularının temiz tutulmasına yardımcı olur.

Bu işlem tamamlandığında, münferit döküm vanaları (musluklar- kalıp başına bir musluk) cebri çamur sirkülasyonu yoluyla bir kez daha yıkanır. Tesisin türüne bağlı olarak, bu aşama manüel veya otomatik olarak gerçekleştirilebilir. Bu da iki yönlü bir sonuç sağlar:

1. Çamurun koyulaşan kısımlarının kalıbın içerisine girmesini önler
2. Çamur döküm tesisinin ana boru tesisatında devridaim gerçekleştirirken çamur tarafından absorbe edilmiş olabilecek olası hava kabarcıklarını uzaklaştırır.

Bu prosedür tamamlandıktan sonra, operatör döküm borularını kalıp bağlantı elemanına manüel olarak kenetler.



Şekil 1.43 –Operatör döküm borularını kalıp bağlantı elemanına manüel olarak kenetler

Ardından, kalıpların aynı zamanda doldurulmasını gerektiren döküm sırası gerçekleşir. Burada çeşitli sistemler kullanılmakta olup (yerçekimi ile döküm, pompayla döküm), bu sistemler fiili kalıp doldurma aşaması ile, ardından suyun kalıplar tarafından emilmesinin neden olduğu seviye azalmasını telafi etmek amacıyla çamurun doldurulduğu bir aşamayı içermektedir.

1.3.2. Kalıpların boşaltılması

Mekanize dökümde, boşaltma işlemi tüm kalıplarda aynı anda yapılır. Ancak, çamuru akıtmak için kullanılan vanalar açılmadan önce, döküm parçalarının içerisine (yani boş dökümlü alanlara) düşük basınçlı (maks .0.2- 0.25 bar) sıkıştırılmış hava girmesi şarttır. Söz konusu hava uygun basınca düşürme işleminin tamamlanmasının ardından genel amaçlı sıkıştırılmış hava devresinden çekilebilir veya doğrudan makinede kurulu bulunan bir üfleyici vasıtasıyla üretilebilir. Daha yüksek bir enerji verimiyle (elektrik tasarrufu sağlayan ve daha iyi basınç kontrolü temin eden) sonuçlanacağı için, üfleyici ile hava üretme yöntemi kesinlikle daha iyi bir çözümdür. Üflenmiş (veya sıkıştırılmış) hava uygun plastik borulardan geçerek (Şekil 1.44 kalıpların içerisine girer; bu işlem, tamirin ötesinde parçaya zarar verebilecek miktarda fazla çamurun akıtılması sonucunda

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

deformasyona uğramış (emilmiş) alanlar (Şekil 1.45) oluşturmak suretiyle döküm parçalarının içi boş kısımlarında çöküntülere neden olunmasını önlemek açısından hayati bir adımdır. Buna ilaveten, üflenen (veya sıkıştırılmış) hava düşük çamur miktarı ile karakterize edilen alanlarda dahi çamurun akıtılmasını kolaylaştırır.



Şekil 1.44 – Sıkıştırılmış hava uygun plastik borulardan geçerek kalıpların içerisine girer



Şekil 1.45 – Döküm parçalarının, deformasyona uğramış (emilmiş) alanlar parçaya zarar verebilecek içi boş kısımları

1.3.3. Döküm parçalarının sertleştirilmesi

Bu aşama, parçaların kalıptan çıkarılması esnasında yeterince sertleşmiş olmalarının sağlanması ve dolayısıyla da kendi ağırlıkları veya kalıptan çıkarma aletinin kullanılması nedeniyle deformasyona maruz kalmayacak vaziyette olmaları bakımından hayati önemdedir. Aslında, mekanik dökümde örneğin lavabolar

kalıptan çıkarılarak regale dik pozisyonda yerleştirilirler: Bu yapılandırmada, yeterince sertleşmemiş bir parçanın yalnızca kendi ağırlığı nedeniyle dahi deformasyona uğrayabileceği ortadadır.

Sertleştirme işlemi, kalıpların boşaltılması aşamasına benzer bir şekilde, ancak kalıpları çamur çıkış vanasını kapatmak suretiyle basınçlandırarak düşük bir basınçta (yaklaşık 0.08 ila 0.12 bar) üflenmiş (veya sıkıştırılmış) hava kullanılarak gerçekleştirilir. Sisteme hava kaçırıyormuşçasına basınç uygulamak gerekmekte olup, döküm parçalarının iç kısımlarında düzensiz sertleşme söz konusudur. Özellikle, bazı alanlarda üflenmiş seçimli hava akışları meydana gelecek, bu nedenle sağlık gerecinin iç yüzeyindeki farklı bölgelerde farklı kuruma seviyeleri söz konusu olacak, bunu da çatlama izleyecektir. Aynı alçıda dahi sertleşme süreci parçanın geometrik yapılanmasına ve çamurun türüne bağlı olarak oldukça değişkendir. 15-20 dakikadan yaklaşık 80 dakikaya kadar (daha fazla plastik çamurla ve parçalar daha fazla deformasyona uğradığında) sürebilir.

1.3.4. Kalıptan çıkarma

Manüel kalıptan çıkarma işleminde, herhangi bir türdeki parçanın nihai konumu genellikle yataydır: Örneğin lavabolar, ayaklar ve klozetler.

Bununla birlikte, mekanik döküm işleminde, önceki paragrafta da belirtildiği üzere kalıptan çıkarma işleminde döküm parçası çoğu kez dikey konumda bırakılır: lavabolar (Şekil 1.46), ayaklar (Şekil 1.47), klozetler (Şekil 1.48).



Şekil 1.46 – Mekanik dökümde lavaboların kalıptan çıkarılması



Şekil 1.47 – Mekanik dökümde ayakların kalıptan çıkarılması



Şekil 1,48 – Mekanik dökümde klozetin kalıptan çıkarılması

Bunun yanı sıra, mekanik dökümde kalıptan çıkarma işlemi neredeyse her zaman yarı otomatik veya otomatik mekanik cihazlar yardımıyla gerçekleştirilmekte olup, söz konusu cihazlar operatörün fiziksel çabasına olan gereksinimi ortadan kaldırarak işlemi daha kolay hale getirir: (Şekil 1.49) lavabolar, (Şekil 1.50) klozetler.



Şekil 1.49 – Lavabolar için yarı otomatik cihazlar yardımıyla gerçekleştirilen kalıptan çıkarma işlemi



Şekil 1.50 – Klozet için otomatik cihazlar yardımıyla gerçekleştirilen kalıptan çıkarma işleminin üç aşaması

Bazı durumlarda, kalıptan çıkarma işlemi tamamen otomatik hale getirilebilir ve tezgahtaki tüm dökülen parçalarda eş zamanlı olarak gerçekleştirilebilir.

Bu, klozet dökümüne ait bir makine türüne örnektir (Şekil 1.51).



Şekil 1.51– Tamamen otomatikleştirilmiş ve makinedeki tüm döküm parçalarında eş zamanlı olarak gerçekleştirilen kalıptan çıkarma işlemi

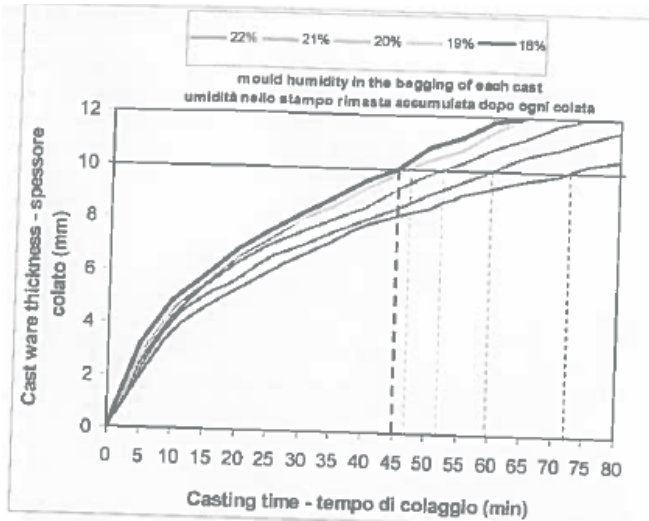
Tüm parçaların eş zamanlı olarak kalıptan çıkarılması aşağıdaki nedenlerden ötürü oldukça önemlidir:

- 1 Ekonomik bakış açısıyla incelersek, çalışma süresinde azalma söz konusu olduğu için (parçanın tek tek kalıptan ayrılması işleminde gereken 50-60 dakikalık sürenin aksine burada 3-4 dakika içerisinde 40 kalıp ayrılabilir).
- 2 Teknolojik bakış açısıyla incelersek, döküm parçaları sertleşme bakımından tamamen homojen olduğu için (kalıplara aynı sürenin harcanması, gereğinden fazla ıslak ve deforme olabilecek parçalar ile aşırı sertleşme nedeniyle çatlaklar barındırabilecek parçalar elde etme riskini önler. Bu noktada sözü edilecek son risk ise tipik şekilde tek parçanın kalıptan ayrılmasıdır.

1.3.5. Kalıpların kurutulması

Mekanik dökümde, bir günde yalnızca bir döküm faaliyeti gerçekleştiği takdirde kalıplar hâlihazırda manuel döküm faaliyetinde olduğu gibi tam olarak kurutulabilir. Diğer taraftan, 24 saat içerisinde iki veya üç vardiyada günde iki ya da daha fazla döküm faaliyeti gerçekleştiği takdirde ise, daha etkili ve hızlı kurutma yöntemlerinin kullanılması gerekir.

Kalıptaki su içeriğinin döküm aşamasındaki davranışını etkilediği bilinmektedir. Şekil 1.52'de, kalıptaki farklı nem seviyesine bağlı olarak farklılık gösteren, döküm süresine göre oluşan masse kalınlığının trendi gösterilmektedir. Öte yandan, Şekil 1.53'te kalıp nem seviyesinin bir fonksiyonu olarak masse sertleşme değerleri gösterilmektedir.



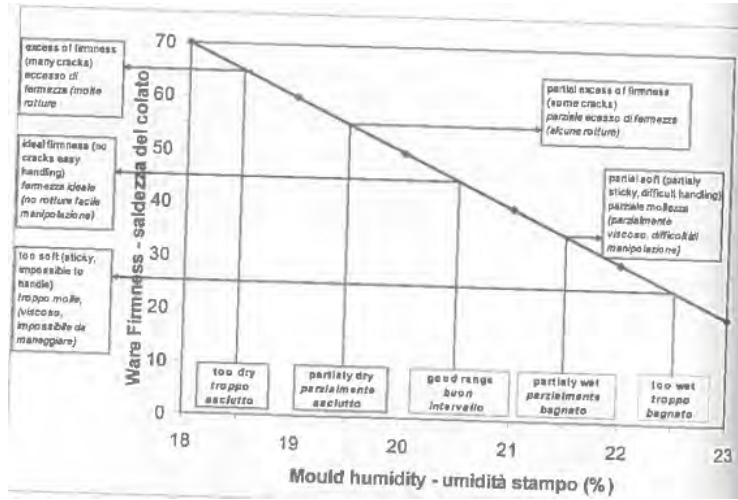
Şekil 1.52 – Kalıptaki farklı nem seviyelerine bağlı olarak farklılık gösteren, döküm süresine göre oluşan çamur kalınlığının trendi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

mould humidity in the begging of each cast = Her bir dökümün başlangıcında kalıp nemi

Cast ware thickness (mm) = Dökülen ürünün et kalınlığı (mm)

Casting time (min) = Döküm süresi (dak)



Şekil 1.53 – Kalıp nem seviyesinin bir fonksiyonu olarak çamur sertleşme değerleri.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Ware Firmness = Ürün Sertliği

excess of firmness (many cracks) = Aşırı sertlik (birçok çatlak)

ideal firmness (no cracks easy handling) = İdeal sertlik (çatlak yok, kolay işlem)

too soft (sticky, impossible to handle) = Aşırı yumuşak (yapışkan, işlem yapılamaz)

Mould humidity (%) = Kalıp nemi (%)

Too dry = Aşırı kuru

Partially dry = Kısmen kuru

Good range = İyi aralık

Partially wet = Kısmen nemli

Too wet = Çok nemli

partial excess of firmness (some cracks) = Kısmen aşırı sertlik (bazı çatlaklar)

partial soft (partially sticky, difficult handling) = Kısmen yumuşak (kısmen yapışkan, işlem yapılması zor)

Bu iki şeklin analizi, oluşan kalınlığın büyüklüğünün ve elde edilen sertleşme seviyesinin kalıptaki nem içeriğine ciddi ölçüde nasıl bağlı olduğunu göstermektedir.

Kalıpların kurutulmasıyla ilgili olarak endüstride kullanılan birçok çözüm mevcuttur, ancak aralarında en yaygın olarak kullanılan iki sistem vardır:

1. Sıcak havalandırma ve nem tahliyesi yoluyla cebri kalıp kurutma. Uygulamada, döküm tezgâhı üzerine bir kurutucu yerleştirilir.
2. Döküm işlemi sırasında biriken suyu uzaklaştırmak üzere alçı kalıp bölümünde kalıbı hazırlayan, alçı içerisindeki bir ağ yapısı sistemine basınçlı hava verilmesi.

Her iki sistem de aşağıda ayrıntılı olarak incelenmektedir.

1.3.5.1. Kalıpların bir kurutucuyla kurutulması

Endüstride kullanılan farklı versiyonların tümü şekil 1.54'te gösterilen diyagram ile ilgilidir. Bu, temelde döküm tezgâhı üzerine monte edilmiş bir kurutucudur; söz konusu kurutucunun tavanı ve nihai başlıkları genellikle rijit yalıtkan panellerden yapılırken, yan duvarlar ise haddelenebilir PVC plakalardan imal edilir.

Bu konfigürasyon esasen kalıplara dökümcü tarafından erişilmesine imkan verecek gereksinime göre hazırlanmıştır. Kurutucu, sıcak hava dağıtım boruları

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

(özel bir brülör tarafından üretilen veya fırınlardan alınan hava ya da diğer sıcak hava kaynaklarından elde edilen hava) ve nemli havayı da tahliye edecek bir sistem ile tamamlanır.

Suyun kalıptan buharlaşma olayını kontrol eden unsurlardan ikisi hava sıcaklığı ve havanın hızı olduğundan, hava dağıtımına ve havalandırmaya son derece özen gösterilmelidir.

Sıcak hava dağıtımının ve havalandırmanın homojenliğini optimize etmek için kurutucu içerisinde hemen her yerine uygun fanlar yerleştirilir.

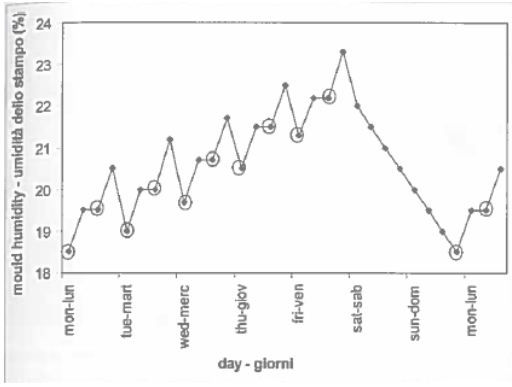


Şekil 1.54 – Döküm tezgâhına kurutucunun yerleştirilmesi

Yüksek bağıl nem değerinin kurutma kapasitesini olumsuz etkileyecek olması nedeniyle, nemli hava tahliye sisteminin verimliliği de kritik önemdedir. Alçının karakteristik özelliklerinin değişmesini önlemek ve kalıbın doğru işlenmesini tehlikeye atmamak adına kalıpların kurutulmasında kullanılan sıcaklık 50 °C'nin üzerinde olmamalıdır. Aslında, aşırı sıcaklık kırılabilirliği artırıp su emilim kapasitesini düşürerek alçıda değişikliklere yol açar. Cebri kalıp kurutma yöntemiyle elde edilen sonuç Şekil 1.55'te detaylı olarak resmedilmiş olup, şekilde her döküm işleminin ve müteakip kurutma işleminin ardından kalıbın haftanın farklı günlerindeki nem içeriği gösterilmektedir.

Her ne kadar cebri kurutma kullanılmış olsa da, gün geçtikçe kalıpta önemli miktarda nem birikimi olacağı aşikârdır. Buda, haftanın her günü aynı çalışma yöntemlerinin kullanılmayacağını ve döküm işlemini gerçekleştiren kişinin kalıp hazırlama yöntemlerine ve çalışma sürelerine (kalınlık alma ve sertleşme) uyması gerektiğini ifade etmektedir.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM



Şekil 1.55 – Her döküm işleminin ve müteakip kurutma işleminin ardından kalıbın haftanın farklı günlerindeki nem içeriği

ŞEKİL ÜZERİNDE:

mould humidity (%) = Kalıp nemi (%)

Gün

Pazartesi

Salı

Çarşamba

Perşembe

Cuma

Cumartesi

Pazar

Pazartesi

1.3.5.2. Basınçlı havanın kalıp içerisindeki damar sistemine girişi.

Emilen suyu uzaklaştırmak amacıyla, bu kalıp kurutma sisteminde ısının aksine alçı kalıp içerisine bir dizi kanal vasıtasıyla beslenen hava kullanılır. Şekil 1.56'da,

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

bu kanalların kalıp kalınlığı içerisinde nasıl konumlandırıldığına dair bir örnek gösterilmektedir.

Bu kanallar normalde alçı döküm işlemi öncesinde kalıp içerisine geçirgen materyalden mamul bir boru şebekesi yerleştirilerek elde edilir. Açıkça görüleceği üzere, söz konusu boruların tamamı daha sonra sıkıştırılmış hava kaynağına bağlanacak olan bir ya da birden fazla kollektöre bağlıdır. Son yıllarda, alçı döküm işlemi sırasında kalıp içerisine önceden belirlenen bir mesafede uygun ebatlarda birçok silindir içeren bir şablon yerleştirilmek suretiyle damar sistemi oluşumunun planlandığı, bu sisteme ilişkin bir varyant geliştirilmiştir. Bunun sonucunda da, kalıbın arka kısmından, kalıbın döküm yüzeyinden yaklaşık 1.5 cm. ila 2 cm.lik mesafeye ulaşan bir dizi düzenli silindir şeklinde boşluk meydana gelmiştir.



Şekil 1.56 – Bu kanalların kalıp kalınlığı içerisinde nasıl konumlandırıldığına dair örnek.

Bu yöntemle elde edilen kalıbın arka kısmı, altında tüm silindirik kanalların bağlantılı olacağı bir plaka ile kapatılmalıdır, dolayısıyla plakanın altındaki serbest alan kollektör vazifesi görecektir. Genellikle, bu ikinci sistem aşağıdaki nedenlerden ötürü ilk sistemden daha etkilidir:

Başta kanal şebekesinin daha büyük geometrik düzenliliğe sahip olması nedeniyle basınçlı hava dağıtımı daha homojendir.

Basınç düşüşleri azalır ve dolayısıyla da daha düşük bir hava basıncı kullanılabilir.

Kalıplar içerisinde boş kanallar meydana getirmek için kullanılan hortumların konumlandırılmasına yönelik maskeler oluşturulduğunda, kalıp inşa yöntemi karmaşık olmaktan çıkar. Ayrıca, tüm kalıpların aynı şekilde ve

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

bağlantılı kanallara sahip olacağı da kesin bir gerçektir. Bu da bir kalıp ile bir diğer kalıp arasındaki en düzenli işleyişi sağlar.

Hava aynı zamanda kalıbın özellikle karmaşık noktalarında da eşit şekilde dağıtılabilir. Alçı içerisine yerleştirilecek geçirgen boru kullanımının yer aldığı teknikle bunu gerçekleştirmek güç olabilir.

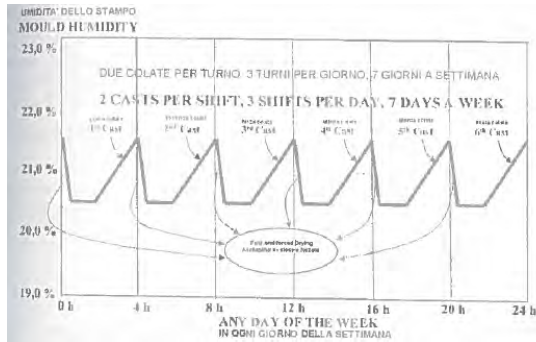
Ancak, bu sistem çok kısıtlı bir kullanım ömrüne sahip alçı kalıplarla kullanılamayacak kadar pahalıdır.

Alçı kalıp içerisinde bir damar şebekesi oluşturulmasında kullanılacak teknik her ne olursa olsun, kalıp içerisine basınçlı hava verilmesi döküm aşaması boyunca alçı tarafından emilen suyun hızla uzaklaştırılmasını mümkün kılar. Sonuç olarak, bu teknik kullanıldığında, vardiya başına iki/üç döküm işleminin gerçekleştiği durumlarda dahi kesintisiz üç vardiyada çalışmak mümkündür. Şekil 1.57'de, 24 saat içerisinde 6 defa döküm yapılan kalıpta nem birikiminin seyrinin vurgulandığı bir diyagram gösterilmektedir.

Şekle ilişkin analizde ise basınçlı hava girişinin herhangi bir müteakip döküm işlemi öncesinde ideal kalıp koşullarını nasıl sağladığı belirtilmektedir.

Öncelikli olarak, basınçlı hava kalıp içerisine 1.5 ile 2 atm arasında (makaron sistemine ve kullanılan alçının özelliklerine bağlı olarak) değişken bir basınçta verilir. Basınçlı havaya ilişkin uygulama süresi normalde 10 ile 20 dakika arasındadır, ancak aşağıdakilere bağlı olarak değişebilir:

1. Alçı kalıbın özelliklerine
2. Döküm türüne (boş veya masif döküm): Kalıp tarafından emilen suyu miktarındaki değişimlere
3. Damar şebekesinin türüne



Şekil 1.57 - 24 saat içerisinde 6 defa döküm yapılan kalıpta nem birikimine göre değişimin gösterildiği diyagram.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

ŞEKİL ÜZERİNDE:

MOULD HUMIDITY = KALIP NEMİ

2 CASTS PER SHIFT, 3 SHIFTS PER DAY, 7 DAYS A WEEK = VARDİYA BAŞINA 2 DÖKÜM, GÜNDE 3 VARDİYA, HAFTADA 7 GÜN

1ST CAST = 1. DÖKÜM

2ND CAST = 2. DÖKÜM

3RD CAST = 3. DÖKÜM

4TH CAST = 4. DÖKÜM

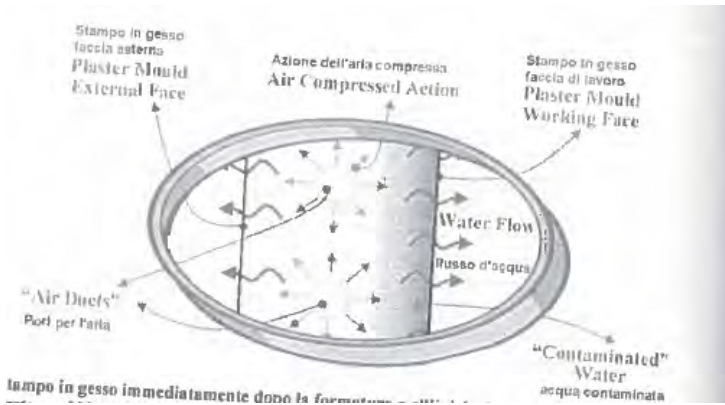
5TH CAST = 5. DÖKÜM

6TH CAST = 6. DÖKÜM

ANY DAY OF THE WEEK = HAFTANIN HERHANGİ BİR GÜNÜ

Fast and forced drying = Hızlı ve cebri kurutma

Basınçlı hava sürüklenmesinden kaynaklanan mekanik baskı etkisi nedeniyle özellikle erken aşamalarda kalıp tarafından emilen su uzaklaştırılır (Şekil 1.58). Buharlaştırma yoluyla yalnızca az miktarda su uzaklaştırılır. Bu işlem suyun yanı sıra kalıptaki çözünebilir incelticilerin de (sodyum silikat ve sodyum karbonat gibi) yok edilmesini mümkün kılar, bu da alçıya kimyasal olarak etki edip zarar veren bileşikler olup, alçıdan neredeyse tamamen uzaklaştırılması anlamına gelir.



Şekil 1.58 – Şekillendirmeden hemen sonra ve kurutma başlangıcında sıkıştırılmış hava verilen alçı kalıp

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Plaster Mould External Face = Alçı Kalıbın Dış Yüzeyi

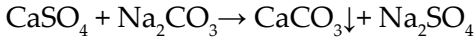
Air Compressed Action = Basınçlı Havanın Etkisi

Plaster Mould Working Face = Alçı Kalıbın İşleyen Yüzeyi

“Contaminated Water” = “Kirlenmiş Su”

“Air Ducts” = “Hava Kanalları”

Örneğin sodyum karbonat sodyum sülfat aşağıdaki reaksiyon gibi tepkimeye girer (alçı kalıbın bazik bileşeni):

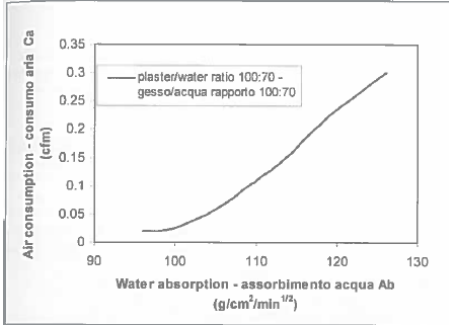


Kalıptaki çözünebilir karbonat tuzundaki azalma basınçlı havanın damar devresine girmesi nedeniyle kalıbın kendi kullanım ömründe bir artışa dönüşür. Bu işlem aynı zamanda dayanımın artırılmasına katkıda bulunarak suyun kalıp içerisinde daha az zaman geçirmesi anlamına da gelir.

Bununla birlikte, endüstriyel bakış açısıyla ele aldığımızda, bu teknolojinin idame ettirilmesi için çalışma düzenliliğini ve sonuçların tekrarlanabilirliğini sağlayacak birtakım koşulların sağlanması gerekir:

1. Damar sisteminin işleyişi üzerinde belirleyici etkiye sahip olan parametreler dikkatli biçimde kontrol edilmelidir. Özellikle, alçı/su karışımının hazırlanması ve işlenmesi yönteminin yanı sıra alçının ve mikro-yapısının kalıpların içerisindeki granülometrik dağılımının standart hale getirilmesi de gerekmektedir.
2. Alçı kalıbın su emme kapasitesinin ve hava geçirgenliğinin kontrol edilmesi son derece önemlidir. Bu nedenle, alçı/su oranının buna göre ayarlanması gerekir.

Yukarıda anlatılanların tamamı yalnızca basınçlı hava yoluyla suyun uzaklaştırılmasına ilişkin yöntemin doğru çalışmasını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda ve özellikle basınçlı hava tüketimini de etkiler (bkz. Şekil 1.59).



Şekil 1.59 – Su emmenin bir fonksiyonu olarak sıkıştırılmış hava tüketimi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Air consumption (cfm) – Ca = Hava tüketimi (cfm) – Ca

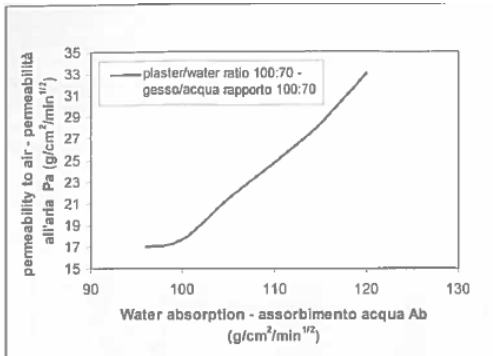
plaster/water ratio 100:70 = Alçı/su oranı 100:70

Water absorption (g/cm²/min¹/²) = Su emilimi (g/cm²/min¹/²)

Bu teknoloji için basınçlı hava (ve dolayısıyla elektrik) tüketiminin oldukça yüksek olması nedeniyle, hava tüketimi optimizasyonunun bu tip kalıp kurutmanın seçilmesinde veya vazgeçilmesinde ne denli temel kriter olabileceğini anlamak mümkündür. Şekil 1.60'ı incelersek, kalıbın suyu emme kapasitesi arttıkça (diğer tüm koşullar eşitken) basınçlı hava tüketiminin hızla nasıl arttığını görebiliriz.

Şekil 1.60'ta, su emme kapasitesinin bir fonksiyonu olarak alçının hava geçirgenliğinin değişimini gösterilmektedir.

Kalıbın bu son özelliği olan geçirgenliğin aynı zamanda kalınlık alma ve sertleşme süresi gibi başlıca döküm parametreleri üzerinde de önemli bir etkisi vardır.



Şekil 1.60 – Su emme kapasitesinin bir fonksiyonu olarak alçının geçirgenliği

ŞEKİL ÜZERİNDE:

permeability to air - Pa ($\text{g/cm}^2/\text{min}^{1/2}$) = Hava geçirgenliği - Pa ($\text{g/cm}^2/\text{min}^{1/2}$)

plaster/water ratio 100:70 = Alçı/su oranı 100:70

Water absorption – Ab ($\text{g/cm}^2/\text{min}^{1/2}$) = Su emme– Ab ($\text{g/cm}^2/\text{min}^{1/2}$)

Bu nedenle, döküm işleminin kontrol edildiği parametreleri ve basınçlı hava tüketimini optimize edebilmek için bir orta yol bulunması gerekmektedir.

1.4. Basınçlı döküm

Suyu çamurdan uzaklaştıran itme kuvveti basınç olduğundan, basınçlı döküm düşük basınçlı dökümden oldukça farklı olup, bu da suyun çamurdan kalıba geçmesine neden olur.

Basınçlı döküm ilk defa kullanıldığında, kalıplar yüksek mekanik dayanım seviyesine sahip alçıdan yapılmıştır. Bu nedenle dayanabilecekleri azami basınç 5-5.5 atm'dir.

Günümüzde, bu kalıplar neredeyse hiç kullanılmamakta olup, bu nedenle orta basınç seviyelerinde döküme bu kitapta yalnızca özet bilgi olarak yer verilmiştir.

Hâlihazırda, kalıplar mikro-gözenekli reçineler kullanılarak üretilmektedir. Alçıya kıyasla, bunlar daha yüksek mekanik dayanıma sahip olup, kalıp içerisinde yüksek basınç kullanılmasına (14 barın üzerinde dahi) imkân verirler. Sonuç itibarıyla, kalıbın temel rolü artık su "ayırıştırıcı" değildir, ancak filtre gibi işlev görür.

Bu aynı zamanda döküm işleme yöntemleri konseptine de yansımaktadır. Basınçlı döküm söz konusu olduğunda, gerek uygun bir karşı basınçla kalıpların hava sızdırmazlıklarını sağlama ihtiyacı, gerekse kalıpların genellikle çok yüksek olan kendi ağırlıkları nedeniyle manüel dökümü düşünmek mümkün değildir. Ayrıca, basınçlı döküm makineleri de alçı kalıplarla döküm söz konusu olduğunda açıklanandan yapısal olarak farklılık gösterirler. Söz konusu yapısal farklılıklar spesifik bir tasarım gerektiren (hem yapısal anlamda hem de işlem döngüsü bakımından) bu teknikte basıncın kullanımından kaynaklanmaktadır.

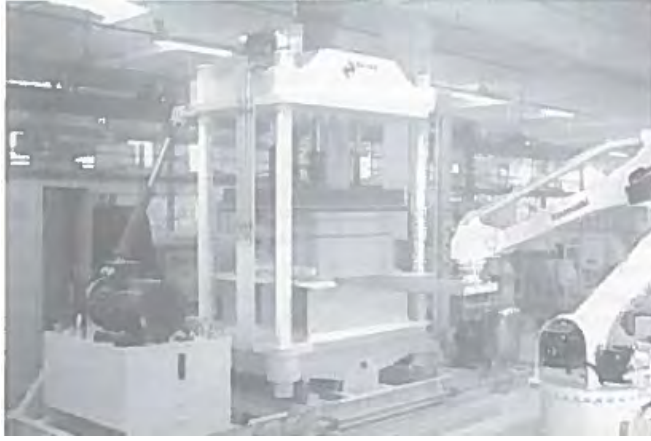
Bunlar genelde oldukça karmaşık ve ağır makinelerdir, ancak hepsinden önemlisi, belirleyici özellikleri döküm yapılacak parçanın özelliklerine ve

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

kullanılan teknik çözüme bağlı olarak pek az kalıp (1ile 12 arasında) montajı için boyutlandırılmalarıdır. Şekiller 1.61, 1.62, 1.63 ve 1.64'te, farklı konstrüksiyon konseptlerine dayalı olarak farklı imalatçılardan alınan basınçlı döküm makinelerine ilişkin bazı örnekler gösterilmektedir.



Şekil 1.61 –Lavabolar için dikey döküm makinesi (SACMI)



Şekil 1.62 – Lavabolar için yatay döküm makinesi (SETEC)



Şekil 1.63 – Ringli Klozet dökümü için döküm makinesi (Garoll)



Şekil 1.64 – Açık ringli klozet için döküm makinesi

Döküm yapılacak ürüne, her bir ürün için imal edilecek parça sayısına ve makinenin yerleştirileceği döngünün (ve buna dair otomasyonun) türüne göre bir başkasından ziyade tek bir çözüme dair seçim yapılır. Açıkçası tek bir ideal çözüm yoktur, ancak kullanıcının spesifik teknik/ticari gereksinimlerine göre bir seçim yapılması gerekmektedir. Alçı kalıplarla gerçekleştirilen döküm işleminin aşağıda belirtilen tipik dezavantajlarının ortadan kaldırmaya çalışılması için basınçlı döküm uygulanmıştır:

1 kalınlık alma ve sertleşme süresinin (yani geniş anlamda oluşum süresi) çok uzun olması;

2 Bir döküm işlemi ile diğeri arasında kalıpları kurutma ihtiyacı. Bu aşama geleneksel döküm hatlarında verimliliğin azalmasına neden olarak döküm parçası için yüksek bir m² gereksinimi doğurur.

3 Alçı kalıpların ve döküm parçalarının kurutulması için büyük termal enerji tüketimi

4 Alçı kalıpların düşük dayanıma sahip olmaları. Dolayısıyla süreç de kalıp değiştirme bakımından son derece emek yoğun ve pahalıdır. Ayrıca, yedek kalıpların depolanması için önemli miktarda alan da gerektirir.

5 Kalıpların tekrar eden şekilde ve pahalı olarak elden çıkarılmaları;

6 Deformasyon riski olmaksızın kalıplardan henüz çıkarılmış olan parçalar üzerinde çalışırken yaşanan önemli güçlükler

Aslına bakılırsa, mikro-gözenekli reçine kalıpların oluşturulmasıyla mümkün hale gelen basınç uygulama işlemi (genellikle 10 ile 14 bar arasında) alçı kalıplarla döküm sürecinde tipik olarak yaşanan ve yukarıda değinilen dezavantajları büyük oranda azaltabilir. Basınçlı dökümün belirleyici özelliği esasen aşağıdaki gibidir:

1 Daha kısa döküm süreleri (kalınlık alma ve sertleşme): Söz konusu süreler alçı kalıp kullanılarak döküm işleminde 90 ila 140 dakika iken, basınçlı dökümde ise 6-13 dakikadır.

2 İdeal kalıp koşullarına geri dönmek için uzun bekleme sürelerine gerek kalmadan kesintisiz bir döngü içerisinde döküm. Bunun sonucunda, basınçlı dökümden yüksek verim elde edilir ve sonradan duyulacak alan gereksinimi azaltılmış olur. Buna ek olarak, termal enerji tüketiminde bir azalma ve elektrik tüketiminde bir artış da söz konusu olacaktır. Yine de, mutlak veriler ışığında basınçlı döküm lehine enerji dengesi söz konusudur.

3 Döküm parçaları daha tutarlıdır, bu nedenle ele alınıp işlenmeleri de daha kolaydır.

4 Çok daha yüksek kalıp dayanıklılığı (40,000'in üzerinde döküm işlemi).

Şu ana kadar belirtilen hususlardan yola çıkılarak, basınçlı dökümün gelecekte alçı kalıplarla yapılan geleneksel döküm işleminin yerini tamamen alacak bir çözüm olması konusu üzerinde müzakere edilebilir.

Gerçekte, yukarıda anlatılan avantajları barındırmasına karşın, basınçlı dökümün aynı zamanda geleneksel döküme kıyasla aşağıdaki dezavantajları içermesi nedeniyle bu varsayım doğru değildir:

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

1. Makine ve kalıp satın alınmasına ilişkin yatırımların maliyeti oldukça yüksek olup, bu da yüksek amortisman maliyeti ile sonuçlanmaktadır; bazı durumlarda, basınçlı dökümle döküm işlemi gerçekleştirilen parça başına üretim maliyetinin geleneksel dökümdeki ilgili üretim maliyetinden yüksek olması söz konusudur. İlâveten, bu teknolojinin yüksek maliyetli olduğu yalnızca yüksek hacimli üretim bakımından doğrulanmaktadır.
2. Fonksiyonel ve tasarım açısından kompleks olan klozetlerin dökümü için hazırlanan reçine kalıplar için uzun tasarım ve hazırlık süresi
3. Geleneksel makineler için olandan çok daha yüksek makine bakım masrafları.
4. Özellikle daha karmaşık klozetlerde olduğu gibi tüm klozet şekillerine, döküm yapılacak parçada önemli estetik, yapısal ve fonksiyonel değişiklik yapılmadan basınçlı döküm tekniği kullanılarak döküm yapılamayabilir.
5. Kalıpların yıkanması için yüksek su tüketimi.

Sonuç olarak, ideal kullanım alanlarının oldukça farklı olmasından ötürü gelecekte farklı döküm teknolojilerinin (alçı kalıplar ve reçine kalıplar) kullanılmaya devam edeceğini ileri sürülebilir. Basınçlı dökümün en iyi kullanım alanı bulduğu şirketlerin belirleyici özellikleri şöyledir:

1. Yüksek işçilik maliyetleri ve dolayısıyla yüksek seviyede süreç otomasyonu.
2. Birden fazla ürüne odaklanan yüksek üretim kapasitesi.
3. Kullanılabilir alanın azalması.
4. Değişkenliğin görülmediği birçok yıldır üretimine devam edilen mamuller.

Buna karşılık, alçı kalıplar ile üretim işlemi aşağıdaki özelliklere sahip üretim şirketleri için daha uygun olacaktır:

1. Düşük işçilik maliyetleri.
2. Küçük üretim kapasiteleri veya çok sayıda farklı ürün üzerinden sınıflandırılan büyük üretim hacimleri
3. Üretim türünün sık değişmesi.

Bu sonuçlar genel mahiyette bir değere haiz olup, mutlak geçerliliğe sahip bir kural teşkil etmezler.

1.4.1. Basıncılı döküm döngüsü

Paragrafın başında da belirtildiği gibi yüksek mekanik dayanıma sahip alçı kalıpların kullanıldığı, orta basınç (5 atm) altında döküm tekniğine yönelik özet bilgiler verilmektedir. Yukarıda belirtildiği üzere, bu teknik basınçlı dökümde kullanılan ve ardından yüksek çalışma basınçlarının kullanılabilmesi için reçine kalıpların giderek artan yaygın kullanımıyla yerini yüksek basınca bırakan ilk tekniklerden birisi olmuştur.

Kalıplar, geleneksel alçıdan 4 kata kadar daha fazla mekanik basınç dayanımı ve bilhassa, yine geleneksel alçıdan 10 kat daha fazla aşınma direnci ile karakterize edilen özel alçı (alçı + katkı maddeleri) kullanılarak üretilmiştir. Bu özellikler doğal olarak gözeneklilik açısından ve dolayısıyla da alakasız durumlar haricinde basınç faktörünün kalınlık alma sürecinde itici güç olduğu düşünüldüğünde su emme kapasitesi bakımından önemli bir azalmaya tekabül etmektedir. Bu nedenle, söz konusu kalıplar öncelikle yüksek aşınma dirençleri sayesinde geleneksel alçı kalıplara kıyasla sekiz ila on kat daha yüksek dayanımları sayesinde birçok döküm faaliyetinde kullanılabilir. Kompleks kalıp konstrüksiyonunun yanı sıra yüksek malzeme maliyeti ve büyük kalıp ağırlığı nedeniyle geleneksel olanlardan 12 ila 15 kat fazla maliyetli olmalarına rağmen bu kalıplar yaklaşık 700 ile 900 arasında döküm faaliyetinde kullanılabilir. Aslında, bu kalıbın en yaygın varyantında bir ya da birden fazla kollektörle bağlantılı olanı geçiren bir sentetik kumaştan mamul bir kanal şebekesinin iç kısmında konumlandırma tasarlanmıştır. Basıncılı hava veya vakum kollektörler içerisindeki özel devreler vasıtasıyla yönlendirilir. Kanal şebekesi kalıbın çalışma yüzeyinin yaklaşık 1.5-2 cm aşağısında bulunmaktadır.

Aşağıda, özel alçı kalıplarla gerçekleştirilen orta basınçlı bir döküm döngüsü anlatılmaktadır [42].

Kalıplar hidrolik bir sistem kullanılarak 150 barda kapatılır, ardından 3,5-5.0 atm'ye kadar artan bir basınçta çamurla beslenir. Orta basınçta besleme süresi yaklaşık dört dakikadır.

İzleyen kalınlık alma süresi ise yaklaşık 22 dakikadır (bu süre de açıkça görüldüğü üzere büyük oranda çamurun karakteristik özelliklerine bağlıdır).

Fazla çamur 0.7 atm'lik basınçta dört dakika süreyle akıtılır ve bunun ardından

0.2 atm'lik basınçla yaklaşık 21 dakika süreyle sertleşme meydana gelir. Sertleşme aşamasında uygulanan 0.8 atm'lik vakum aynı zamanda kalınlık alma esnasında da kullanılabilir.

Vakum uygulaması suyun çamurdan geçişine yardımcı olur ve dolayısıyla da sertleşme sürelerini (ve aynı zamanda kalınlık alma sürelerini) azaltır. Bir sonraki kalıptan çıkarma aşamasında, kalıbın parçanın çıkarılacağı kısmında bulunan kapiler şebekesine 2.2 atm'lik bir basınç uygulanır.

Döküm parçasının ayrılmasına ek olarak, basınçlı hava akışı aynı zamanda alçıdaki kapilerlere ilişkin geriyıkamayı gerçekleştirmekte olup, bu da kalıp gözeneklerinin sürekli temizlenmesini sağlar. Daha sonra, döküm döngüsü boyunca kalıpta birikmiş olan su, kalıbın kapiler şebekesine yaklaşık beş dakika süreyle 2.2 atm'lik basınçta hava verilerek tahliye edilir.

Bu işlem suyu yalnızca kalıptan uzaklaştırmakla kalmaz, aynı zamanda alçıdaki kapilerleri de temizler.

Dolayısıyla, on kalıplık bir takımdan oluşan bir makine kullanıldığında, söz konusu döngüsü yaklaşık 75- 80 arasında dakika sürer.

Teknik açıdan, alçı kalıplarla orta basınçta döküm uygulanabilir, ancak bu küçük üretimler dışında artık ekonomik açıdan kullanışlı olmayıp, bu da reçine kalıpların kullanımlarını masraflı hale getirir; ancak bu durumda, geleneksel mekanik döküm tekniğinin kullanılması uygun olabilmektedir.

Hâlihazırda, basınçlı döküm yüksek basınç seviyelerine (ve dolayısıyla verimliliğe) ulaşılmasını ve çok daha uzun bir kullanım ömrü elde edilmesini (on binlerce döküm faaliyeti) mümkün kılan reçine kalıplarla gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, aşağıdaki paragraflarda reçine kalıpların kullanıldığı bu tür basınçlı döküm işlemine odaklanılmaktadır.

Aşağıda ayrıca bir reçine kalıbın kimyasal, fiziksel ve teknolojik özellikleri ve kalınlık alma mekanizması da incelenmektedir. Kullanılan makinenin tipinden bağımsız olarak, örnek olarak fine fire clay çamurundan mamul bir lavaboya dair yüksek basınçlı döküm işlemi yapılmaktadır. Çamur türü özelliklerinin teknolojik etkisi ise daha sonra detaylı olarak incelenecek olup, bu nedenle aşağıdaki tartışmada çamurun özellikleri hesaba katılmamaktadır. Bununla birlikte, basınçlı dökümün yer aldığı döngü ile alçı kalıpların kullanıldığı döngü arasındaki temel farklılıklara özellikle dikkat çekilmektedir.

Şekil 1.65'te, yüksek basınçlı dökümde kullanılan bir reçine kalıba dair diyagram gösterilmektedir. Diyagramdan görüleceği üzere, kalıp bağlantı elemanları ve çeşitli kollektörler ile karakterize edilmektedir:

1 Çamur verme ve tahliye etme (bir ya da birden fazla)

- 2 Döküm parçasının içerisine hava verme
- 3 Kalıp içerisine hava verme
- 4 Kalıp içerisine su verme
- 5 Kalıp içerisinde vakum oluşumu



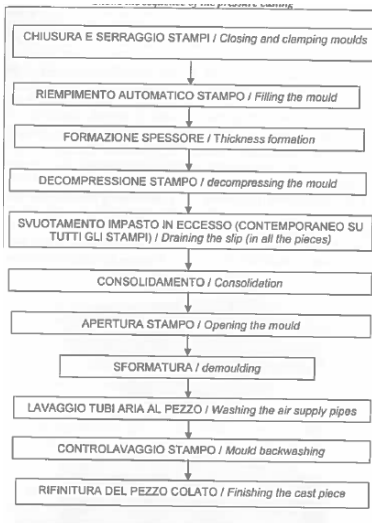
Şekil 1.65'te, yüksek basınçlı dökümde kullanılan bir reçine kalıba dair diyagram gösterilmektedir.

Basınçlı döküm prosedürünün alçı kalıplarla döküm yapılması prosedüründen denli farklı olduğu kollektör sayısından ve türünden açıkça belli olmaktadır.

Tablo 7'deki diyagramda basınçlı döküm işleminin genel olarak bölümlere ayrıldığı tüm aşamaların sırası ayrı ayrı gösterilmektedir.

Aşağıdaki paragraflarda farklı işlem adımları detaylı olarak açıklanmaktadır.

Tablo 7 – Basınçlı dökümün sırası



ŞEKİL ÜZERİNDE:

Closing and clamping moulds = Kalıpların kapatılması ve kenetlenmesi

Filling the mould = Kalıp doldurma

Thickness formation = Kalınlık alma

decompressing the mould = Kalıp basıncının azaltılması

Draining the slip (in all the pieces) = Çamurun boşaltılması (tüm parçalarda)

Consolidation = sertleştirme

Opening the mould = Kalıbın açılması

Demoulding = Kalıptan çıkarma

Washing the air supply pipes = Hava besleme borularının yıkanması

Mould backwashing = Kalıp geri yıkama işlemi

Finishing the cast piece = Döküm parçasının rötuşlanması

1.4.1.1. Kalıpların kapatılması ve kenetlenmesi

İç basınç oluşumu nedeniyle kalıbın açılmasına neden olacak kuvveti engellemek için kalıbın düzgün şekilde sıkıştırılması gerekir. Kalıp bağlama elemanının hava geçirmez olmaması durumunda, kalıp sürekli çamur sızıntısı nedeniyle açılabilir ve çalışma döngüsünün kesintiye uğrayabilir. Kalınlık alma aşaması sırasında çamur tarafından kalıp içerisinde meydana getirilen basıncın 1.4 MPa'ya ulaşabileceğini göz önünde bulundurduğumuzda, kalıbın dış tarafına uygulanan kenetleme kuvvetinin ne kadar yüksek olması gerektiğini anlamaktayız.

Bu amaç doğrultusunda, basınçlı döküm makineleri, normalde gereken yüksek güçleri garanti edebilen (kullanılan sistemin türüne ve takılan kalıbın yüzeyine bağlı olarak yaklaşık 900 ila 200 kN arasında) hidrolik ekipmanlardan faydalanır.

Mikro-gözeneklere sahip reçine kalıbın belirli bir elastikiyet ve deforme olabilme seviyesinin olması nedeniyle, kenetleme kuvvetlerinin kalıp içerisindeki basınç ile orantılı olarak eşit şekilde uygulanması önem arz etmekte olup, kalıpların aynı zamanda metal yapılarla da doğru şekilde desteklenerek takviye edilmeleri gerekmektedir. Bunun amacı, aşırı kalıp deformasyonunun kırılmalara veya döküm parçasının deforme olmasına neden olmasını önlemektir.

1.4.1.2. Kalıp doldurma

Kalıp doldurma işlemi bazen çamur ana kolektörünün yıkama işleminden önce yapılır. Çamuru pompadan devridaim ettirmek suretiyle gerçekleştirilen bu işlem bir hattın kapanmasının ardından boru tesisatında yoğunlaşmış -jelleşmiş çamur birikimini ortadan kaldırmak için kullanılır.

Kalıp doldurma aşaması tezgahdaki, çamur ve kalıp türüne bağlı olarak 90 ile 120 saniye arasında değişebilen bir süre içerisinde düşük basınçlı bir pompa (azami 5 ila 6 bar olmak kaydıyla 1.2 ila 1.8 bar) vasıtasıyla gerçekleştirilir.

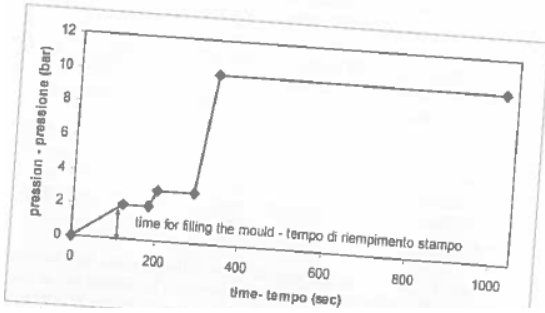
Kalıp doldurma işleminin düşük basınçta gerçekleştirilmesinin bazı nedenleri vardır. Bunlardan en önemlisi, elbette, aşırı basınç nedeniyle gereğinden fazla sıkışma söz konusu olmaksızın ilk filmin kalınlık almasına imkan vermektir. Esasen, ilk masse katmanı gereğinden fazla sıkı olduğu takdirde, bu durum su filtrasyona direncini arttırarak işlem sürelerinin uzamasına neden olur. Bunun yanı sıra, ilk masse filmi kalıbın çeşitli kısımları arasındaki bağlantı yerlerini kapatarak sızdırmazlığı iyileştirmeye yardımcı olur.

1.4.1.3. Kalınlık Alma

Kalıp doldurma aşamasında meydana gelen ilk masse tabakasının oluşmasının ardından, yüksek basınçta gerçek kalınlık oluşturma aşamasına ilerleyeceğiz. Bu işlemin yürütülmesinde kullanılan yöntem farklı tesis çözümlerine ve çamur türlerine göre değişkenlik gösterebilir. Genelde, azami çalışma basıncına kadar bir basınç artışı mevcut olup, daha sonra söz konusu basınç kalınlık almasının kalıcı olarak tamamlanmasına imkân verecek şekilde sabit kalır. Aşağıdaki 1.66 ve 1.67 no'lu şekillerde vitrifiye ve fire clay çamurunun kalınlık alma sürecinde izlenen artışın türüne ait iki örnek (yalnızca gösterge niteliğindedir) gösterilmektedir.

Grafiklerde aynı zamanda kalıp dolun süreleri de (şekil 1.67'de $P=0$ 'dan $P=2$ 'ye kadar ve şekil 1.68'de ise $P=0$ 'dan $P=5$ 'e kadar) gösterilmektedir. İlk örnek ince fire clay çamurundan mamul lavabolarla işlem yapan bir makine vasıtasıyla gerçekleştirilen bir döngüden, ikinci örnek ise vitrifiye lavabolarla işlem yapan bir makineden alınmıştır.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM



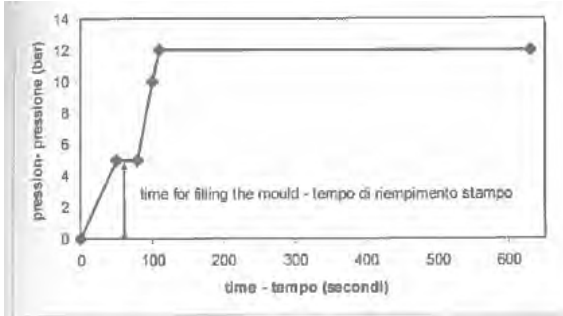
Şekil 1.66 – İnce bir fire clay çamuruyla yüksek basınçlı döküm işlemi sırasında kalıp dolumundaki ve kalınlık almadaki artış.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

pression (bar) = Basınç (bar)

time for filling the mould = Kalıp doldurma süresi

time = Süre (san.)



Şekil 1.67 – Vitriye çamuruyla yüksek basınçlı döküm işlemi sırasında kalıp dolumunda ve kalınlık almadaki izlenen artış.

Yukarıda belirtildiği üzere, kalınlık almadaki artışın makinenin, çamurun ve kalıpların belirleyici özelliklerine göre optimize edilmesi nedeniyle, döngüler gelişim ve azami çalışma basıncı artışı bakımından oldukça farklıdır.

İki örnek arasındaki karşılaştırmada, vitrifiye'nin, yalnızca erişilen azami çalışma basıncındaki farklılıklar nedeniyle değil, aynı zamanda özellikle fine fire clay'e kıyasla bu çamurun farklı özelliklere sahip olması nedeniyle de daha kısa döngülerle nasıl işlenebileceği doğrudan doğruya gösterilmektedir. Diğer çalışma koşulları eşit iken, çamurun türü su filtrasyona sürecinin ilerleyişini, dolayısıyla da çalışma döngüsünün toplam süresini etkilemesi bakımından temel öneme haizdir. Aşağıdaki bölümlerde, bu etki detaylı olarak incelenecek olup, süreç verimliliğini optimize etme prosedürüne değinilecektir. Kalıp içerisinde basınç oluşturulmasında kullanılan iki ana sistem mevcuttur: İlk sistemde çamur için yüksek basınçlı bir pompa kullanılırken, ikinci sistemde ise çamur devresiyle ve daha sonra kalıp ile temas halinde olan bir kap içerisine denge valfi vasıtasıyla basınçlı hava verilmektedir.

1.4.1.4. Kalıp basıncının azaltılması

Kalınlık alma aşaması tamamlandığında, kalıp basıncının azaltılması gerekir. Bu işlem temelde önceki iki paragrafta açıklanan işlemlerin tersi olup, kalıp içerisindeki basınç azami çalışma basıncı değerinden (10 ila 14 bar) atmosfer basıncına yakın bir değere (0.3 ila 0.5 bar) azaltılarak gerçekleştirilir. Bu işlem hızlıdır ve 20 ila 40 saniye içerisinde tamamlanır.

1.4.1.5. Çamurun boşaltılması

Bu işlem, döküm parçalarındaki içi boş döküm alanlarının bulunması durumunda gerçekleştirilir. Bu aşama sırasında, döküm parçalarının içi boş kısımlarında bulunan fazla çamurun cebri drenajı dökümlü sağlık gerecinin içerisine kontrollü bir basınçta basınçlı hava verilerek gerçekleştirilir.

Bu durumda bir kez daha kullanılan teknolojiye ve çamura bağlı olarak farklı prosedürler kullanılır. İnce fire clay'den mamul lavabolarda kullanıma ilişkin bir örnekte 120 saniye içerisinde 1 ila 3 barlık bir hava basıncı artışı tasarlanmış olup, bu basınç değerinde yaklaşık 30 saniye kalınması söz konusudur.

Bu sayede, tamirin ötesinde parçanın içi boş kısımlarında dökümlü sağlık gerecini deformasyona uğratabilecek çöküntüler oluşturmaksızın fazla çamurun döküm parçasından tamamen akıtılması sağlanır.

1.4.1.6. Sertleştirme

Kalıptan çıkarma işleminden deformasyona dirençli ve tutarlı parçalar (yani, yeterince sıkı parçalar) elde etmek mümkün olduğundan, bu işlem aşaması kritik önem taşır. Sertleştirme , çamurun türüne ve imal edilecek parçanın geometrisine bağlı olarak 90 ile 300 saniye arasında değişebilecek bir süreyle sağlık gerecinin içi boş alanlarına basınçlı hava (4 ila 5 bar) verilerek gerçekleştirilir. Basınçlı hava verilmesi, meydana gelmiş olan yarı mamül kalınlığında yer alan suyun kalıba geçişini kolaylaştırır. Dolayısıyla, bu işlem yarı mamül kalınlığındaki nem içeriğinin azaltılarak homojen hale getirilmesini mümkün kılar. Bir kez daha, kullanılan çamurun kimyasal ve fiziksel özellikleri burada önemli bir rol oynamaktadır. Bu da esasen sürecin kontrol edilmesine ilişkin gerçek parametre oluşturur. Doğru sertleşme sürecinin seçilmesi hayati önemdedir. Bu süre çok kısa olduğu takdirde, döküm parçaları gereğinden fazla nemli, yumuşak ve deformasyona açık olur.

Buna karşılık, sertleştirmenin çok uzun sürmesi durumunda ise, yarı mamülün vaktinden önce küçülmesine neden olacak miktarda aşırı bir nem kaybı söz konusu olacaktır.

Parça kalıbın içerisinde kaldıkça da, kalıp yarı mamüldeki küçülmeye karşı bizzat direnç gösterecek ve sağlık gerecinde çatlaklar oluşturacaktır (açıkça görüldüğü üzere, basıncın da doğru seçilmesi gerekmektedir).

Kullanılan çamur ve kalıp türüyle gerçekleştirilecek denemeler aşamasıyla, ideal sertleştirme süresi/basınç kombinasyonuna karar verilebilmektedir.

Çamur boşaltma aşamasında meydana gelen aksine, bu aşamada sıkıştırılmış hava serbestçe devridaim edemez.

Sertleştirmenin ardından, olası küçülme boşlukları nedeniyle döküm parçalarının içi boş alanlarında deformasyonların meydana gelmesini önlemek amacıyla, kademeli olarak azalan bir basınç düzeyine göre basınç düşürme işlemi gerçekleştirilmelidir. Kalıp içerisindeki basıncı atmosfer basıncı değerine getiren basınç düşürme aşaması genellikle 30 saniye sürmektedir.

1.4.1.7. Kalıbın açılması

Kalıp açma işlemi öncesinde aşağıdaki gibi bazı adımlar yerine getirilir:

1 Alınacak parçanın kalıp yarımına bağlanması için gerekli vakumun oluşturulması.

2 Döküm parçasının çıkarılması gerektiği kalıp yarımına basınçlı hava verilmesi. Ayrıca, kalıp içerisinde bulunan suyun bir kısmını sıkıştırılmış havayla taşımak suretiyle de, sıkıştırılmış hava akışı ($P = 0.5$ barda) döküm parçasının kolayca ayrılmasını sağlar. Sağlık gerecinde deformasyona neden olunmasını önlemek amacıyla havanın verileceği basınç değerinin vaka temelinde dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Sıkıştırılmış havanın kısa uygulanma süresi (yaklaşık 0.5 ila 1 saniye) dikkate alındığında, aslında, bu bir akıştan ziyade bir atımdır.

Bu noktada, kalıp açılabilir (kullanılan makinenin türüne bağlı olarak manüel veya otomatik olarak).

1.4.1.8. Kalıptan çıkarma

Kalıp açıldıktan sonra, kalıptan çıkarma plakası veya ceketini otomatik veya manüel olarak yerleştirilir ve aşağıdaki adımlar izlenir:

1 Ayrılması gereken parçanın bağlı olduğu kalıp içerisindeki vakum uzaklaştırılır

2 Parçanın tamamen ayrılmasına olanak vermek için aynı kalıp içerisinde basınçlı hava beslemesi (2 ila 3 bar) yapılır. Bu durumda, kalıp kapalı olmadığı için, parçada deformasyon oluşumuna dair hiçbir büyük risk bulunmayıp, daha yüksek bir ayırma basıncı kullanılabilir. Şekil 1.68'de bu işlem kademesi vurgulanmaktadır.

Kalıptan ayrılan parça destek üzerine oturur ve bu da parçanın hareketini kolaylaştırır.



Şekil 1.68 – Kalıpların ayrılması

1.4.1.9. Hava besleme borularının yıkanması

Bazı makinelerde (özellikle yatay kalıplı olanlarda), fazla çamurun uzaklaştırılması için parçaya hava besleyen boruların yıkanması gerekir. Yıkama işlemi, şebeke suyunun yaklaşık 10 saniye süreyle borulardan geçerek akıtılması yoluyla gerçekleştirilir. Su borulardan aktıktan sonra, borulara yaklaşık beş saniye süreyle 3 barlık sıkıştırılmış hava verilir.

1.4.1.10. Kalıp geri yıkama işlemi

Yeni bir yıkama döngüsüne başlamadan önce, reçine gözeneklerindeki herhangi bir tıkanmayı ortadan kaldırmak amacıyla kalıpta hızlı geri yıkama işlemi gerçekleştirilmelidir. Buna ilişkin prosedür aşağıda belirtilmiştir:

1 Su, 2 ila 3 barlık basınçta iki kalıp yarımına verilir (kalıp içerisindeki damar sistemine – örnek olarak bir lavabo kalıbı kullanılıyorsa) ve yaklaşık on saniye sürekli akıtılır (bkz. şekil 1.69).

2 Daha sonra, aynı kalıp yarımalarında, deliklerde halihazırda bulunabilecek herhangi bir partikül kalıntısının yanı sıra kalıp içerisindeki gözeneklerde (ve damar sisteminde) biriken suyu uzaklaştırmak amacıyla 4 barlık basınçta yaklaşık 5 saniye süreyle basınçlı hava verilir (bkz. şekil 1.70).

Bu işlem tamamlandığında, kalıp artık yeni bir döküm döngüsünde kullanılmaya hazırdır.

Bu nedenle, geri yıkama işlemi bir sonraki döküm işleminden önce, her bir döküm işleminin sonunda gerçekleştirilir. Genel itibarıyla, tüm kalıplar yine de haftalık olarak veya iki haftada bir defa özel yıkama çözeltileri kullanılarak daha enerjik yıkama yapılmasını gerektirir.

Bu tip geri yıkama, aşağıda ayrıntılarıyla tartışılacak olan bakım işleminin bir parçasını oluşturur.



Şekil 1.69 – İki kalıp yarımına suyun verilmesi



Şekil 1.70 – İki kalıp yarımına basınçlı havanın verilmesi

1.4.1.11. Döküm parçasının rötuşlanması

Büyük oranda yüksek basınçta sertleştirme sayesinde, kalıptan çıkarılan parçanın kalıntı nem seviyesi genellikle yaklaşık %16'dır (geleneksel dökümden yaklaşık iki puan daha düşük).

Dolayısıyla, yarı mamül ürünün deformasyona uğrama riski olmadan rötuşlanabilmesi için oda sıcaklığında kısa süreli beklemesi yeterlidir. Basınçlı dökümün bu avantajı, aşağıda belirtilen iki önemli faydayı beraberinde getirerek nemli parça üzerinde (literatürde yaş mamul olarak bilinmektedir) rötuş yapılmasını mümkün kılmaktadır:



Şekil 1.71 – Yüksek basınçlı dökümde döküm parçasına rötuş yapılması

1 Rötuşlanacak parça ne kadar yumuşak ise rötuş işlemi de o denli kolay olur.

2 Nemli sağlık gerecinde işlem yapılması zararlı toza neden olmaz.

Basınçlı dökümle üretilen sağlık gerecinin rötuş işleminin alçı kalıpla döküm yapılan parçanınkinden çok daha kolay olduğunu hatırlamak yerinde olacaktır.

Zaman geçtikte, alçı kalıp aşınır ve dolayısıyla kalıp bileşenleri arasındaki bağlantı yerleri büyüyerek genişler. Diğer taraftan, reçine kalıpların kullanıldığı döküm işleminde, kalıplarda aşınma (ister mekanik ister kimyasal olsun) söz konusu olmayacağından bu sorun meydana gelmez ve bağlantı yerleri her zaman ince çapak şeklinde kaldığından kolayca rötuşlanır.

Şekil 1.72’de, alçı kalıp ve tipik reçine kalıp ile döküm yapılan bir mamulde meydana gelen çapaklara yönelik bir karşılaştırma gösterilmektedir.

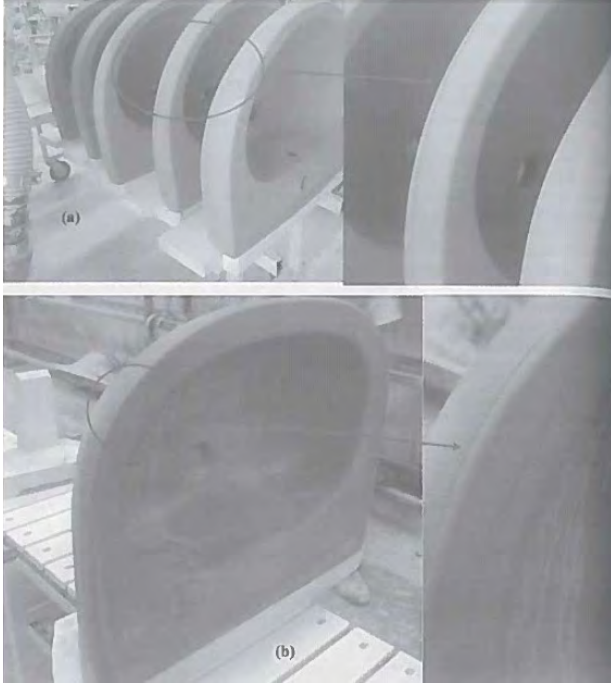
Şimdiye kadar, fine fire clay’den lavabonun döküm döngüsü detaylı olarak incelenmiştir. Başlıca işlem aşamaları her ne kadar aynı kalsa da, döküm döngüsü döküm yapılacak mamulün ve çamur türünün farklı olması nedeniyle uygulamaya (zaman ve basınç) bakımından önemli ölçüde değişebilmektedir.

Aslına bakılırsa, klozetler gibi geometrik olarak daha karmaşık olan sağlık gereçleri, kalıpların 4 veya 5 parçaya bölünmesini ve çoğunlukla da delikli ring kısmının (klozetin en üst kısmındaki) ayrı dökülmesini ve ardından alt gövdeye yapıştırılmasını gerektirir (Şekil 1.73).

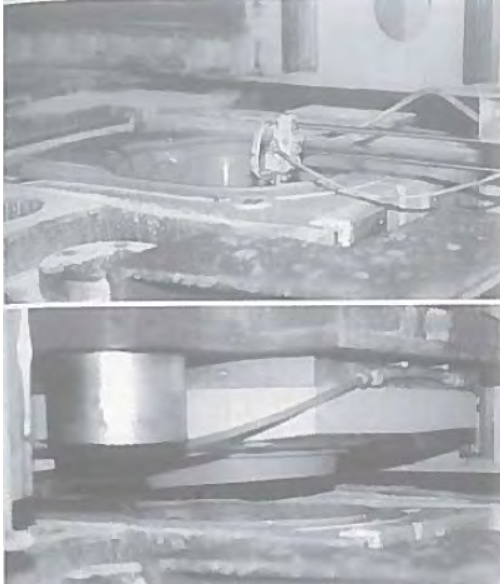
Ayrıca, kalıp konstrüksiyonunun daha karmaşık olduğu, yapılması gereken

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

işlem sayısında artış gerektirdiği ve bu nedenle makinenin uzun çalışma süreleri nedeniyle daha pahalı ve karmaşık olduğu ortadadır.



Şekil 1.72’de, alçı kalıp (a) ve tipik reçine kalıp (b) ile döküm yapılan bir mamulde meydana gelen çapaklara yönelik bir karşılaştırma gösterilmektedir.



Şekil 1.73 – Delikli ringin yapıştırılma işleminin yapılması (klozetin üst kısmı)

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Aşağıdaki tabloda yer alan döngü sürelerine ilişkin değerler yalnızca başvuru amacıyla verilmektedir.

Masif döküm parçasında çamur boşaltma ve sertleştirme aşamalarının yürütülmesini gerektirmediğinden, daha kısa bir döküm süresi söz konusudur. İlave olarak, masif döküm söz konusu olduğundan, kalınlık alma süreleri de daha kısadır.

Ürünler	Vitrifiye çamuru	Fire clay çamuru
Lavabo	15÷16 dak.	21÷22 dak.
Rezervuarlar	10÷11 dak.	-
Klozet ve bide	18÷20 dak.	-
Duş teknesi	-	21÷23 dak.

BÖLÜM 2

2. DÖKÜM KALIPLARI VE KALINLIK ALMA MEKANİZMALARI

2.1. Giriş

Daha önceki bölümlerden de anlaşılacağı gibi kalıp, döküm sürecinde kilit unsurlardan biridir ve bu gerek alçı kalıplar (geleneksel döküm) gerekse reçine kalıplar (basınçlı döküm) için geçerlidir.

Aslında kalıbın özellikleri döküm aşamasının kontrol altında tutulmasına ilişkin parametrelerdir ve dökümün kendisinin başarısı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptirler: kalıp fonksiyonel olarak uygun olmadığı takdirde, iyi bir makine ve iyi bir çamurda olsa iyi bir döküm parçasının elde edilmesi mümkün değildir. Alçı kalıplar söz konusu olduğunda, suyun aktarımına sebep olan itici güç kapiler açık

gözenekliliktir. Reçine kalıplar söz konusu olduğunda ise, bu kalıpların filtre görevi görmelerine imkan sağlayan ve dolayısıyla basınçlı dökümü mümkün kılan kilit özellikleri yine kapiler açık gözeneklilikleri ve mekanik dirençleridir.

Dolayısıyla, kalıpları meydana getiren malzemelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini ayrıntılı olarak incelemenin son derece önemli olduğu açıktır.

Kalınlığın oluşmasına yol açan mekanizmaları ve bu süreci kontrol eden ana parametreleri dikkatli bir şekilde değerlendirmek de gerekli olacaktır. Bu mekanizmaları analiz ederek, dökümü optimum şekilde gerçekleştirmek için hangi değişkenleri etkilemek gerektiğini belirlemek de mümkün olacaktır.

2.2. Döküm kalıpları

2.2.1. Alçı kalıplar

Alçı kalıplar, bu tekniğin başlangıcından bu yana döküm departmanında kullanılmaktadır ve bugün bile ayırt edici özellikleri sayesinde önemlerini korumaktadırlar:

- Düşük maliyet
- İmalatının kolay olması
- Herhangi bir parçayı dökme imkanı
- Küçük ölçekli üretimlerde kullanım için uygun olması

Bu özellikler, gelecekte dahi birçok üretim durumunda bu kalıpların kullanılacağına işaret etmektedir. Bunu izleyen bölümlerde, alçının kimyasal ve fiziksel özellikleri, alçının kalıp üretmek üzere imalat yöntemleri ve bu tür kalıplarla kalınlık alma mekanizmaları ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

2.2.1.1. *Hammadde*

Hammaddeyi (kayaç) ifade etmek için jips ifadesi kullanılmakla birlikte bundan

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

türetilen endüstriyel ürün için alçı terimi kullanılır. Jips oldukça yaygın olarak bulunan ve evrensel olarak tercih edilen bir madendir: temelde kalsiyum sülfat dihidrat olarak bilinen, iki su kristalizasyonu molekülüne sahip kalsiyum sülfattan $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ oluşur.

Değişken morfolojiler ve makro topaklaşmalar halinde doğal olarak meydana gelir. Aşağıdakiler jipsin en yaygın örnekleridir:

- Selenit: çok farklı şekillere sahip, oldukça büyük, renksiz, şeffaf kristallerin varlığı ile karakterize edilir: mızrak şeklinde, kırılma kırıkuyruğu veya merceksi birleşimler (çöl gülü)
- Alçılı kaymak taşı: cilalı görünümüne sahip yarısaydam kütleler
- Alçıtaşı: kompakt kütleler
- Elyafli jipsler: ipeksi bir parlaklığa sahip elyafli kütleler.

Anhidrit olarak bilinen anhidrik kalsiyum sülfat CaSO_4 de doğal olarak bulunur, fakat seramik endüstrisinde kullanım açısından önem taşımaz. Deniz suyunun çökmesi sonucunda oluşan jips yatakları suyun hızlı bir şekilde buharlaşmasına imkan sağlayan sığ göletlerde sınırlanır. Tabii ki, iyi bir jips madeni yatağının oluşması için, diğer bileşiklerin (kalsiyum hidroksit, dolomit, magnezyum sülfat gibi) varlığının da asgari düzeyde olması gerekir.

Bazı durumlarda, sülfürün oksidasyonunu müteakip sülfürik asidin kireçtaşı ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşan yataklar da bulunmaktadır: dolayısıyla bu yataklar, daha önce anlatılanlar gibi sedimenter kökene sahip değildir ve volkanik ya da metal içeren topraklarda ya da kömür yataklarında bulunurlar.

Jips son derece safken, renksiz, şeffaf kristaller içeren beyaz bir renktedir. Öte yandan demir oksit, kil ya da organik madde gibi yabancı maddeler söz konusu olduğunda ise, rengi yabancı madde miktarı ile doğru orantılı yoğunlukta sarımsıdan gri-kahverengine kadar değişiklik gösterir.

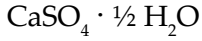
Hammade, şu fiziksel özelliklere sahiptir:

- Özgül ağırlık: 2,314-2,328 Kg/dm^3 .
- Sertlik: Mohs ölçeğinde 1,5 – 2 (oldukça yumuşak)

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

- Suda çözünürlük: 0 °C'de % 0,241. Bu çözünürlük sıcaklıkla birlikte, 36 – 37 °C'de azami %0,25'e kadar artar. Sıcaklık daha fazla arttığında ise çözünürlük azalmaya başlar (örneğin, 100 °C'de çözünürlük değeri %0,222'dir).

İleride göreceğimiz üzere, çözünürlük değeri sertleşme mekanizması açısından son derece önemlidir. Isıtmaya maruz bırakıldığında hammaddenin davranışının analiz edilmesi de önemlidir (alçının endüstriyel üretim süreci de buna dayalıdır): yaklaşık 128 °C'de, hammaddenin bileşeni kristalizasyonun 1,5 su molekülünü kaybeder ve aşağıda kimyasal bileşimi verilen kalsiyum sülfat hemihidratın oluşmasına yol açar:



Kalsiyum sülfat hemihidratın özgül ağırlığı 2,5 – 2,7 kg/l'dir ve %5 – 7,5 su içerir. Aynı zamanda, %1 -1,2 oranında çözünürlüğe dihidrata kıyasla daha yüksek çözünürlüğe sahiptir [3]. Öğütülüp su ile karıştırıldığında hemihidrat, aşağıda daha ayrıntılı tartışılacağı üzere, rehidre olup sertleşir ve kompakt bir kristal kümesi oluşturur. Teoride, sülfat hemihidratın suyla tepkimesinin hacimde bir azalışa sebep olması gerekir, fakat aslında % 2 ila 5 oranında bir genleşme gözlemleriz: bu olayın sebebi kristalli yapının tepkimededen kaynaklanan iğnemsî elemanları arasında oluşan özel mikro-gözenekli yapıdır.

Kalsiyum sülfat hemihidrat, hammadenin işlenmesi sırasında kullanılan sürecin türüne bağlı olarak, α ve β şeklinde iki farklı allotropik(kimyasal özellikleri benzer fakat fiziksel özellikleri farklı) biçimde oluşabilir: alçı imalat döngüsünün anlatımı, bu farkı ve α ile β hemihidratlarının özelliklerini daha iyi açıklayacaktır.

Mineral 170 ile 200 °C arasında ısıtılmaya devam edildiğinde, oluşan kalsiyum sülfat hemihidrat kristalizasyon suyunun tamamını kaybeder ve anhidrit (ya da kalsine) jips olarak da bilinen, çözünür CaSO_4 anhidrit kalsiyum sülfat haline gelir. Sıcaklık 500 ila 600 °C seviyelerinde daha da arttırıldığında, anhidrik kalsiyum sülfat sadece çözünür maddeden çözünmez maddeye dönüşür (artık suyla tepkimeye girmediği ve sertleşmediği için ölü jips olarak adlandırılır).

Bu çözünmez anhidrite, hidrasyona duyarlı olduğu için kararlı olmayan α çözünür anhidritten ayırt edilebilmesi için, β adı verilir. 1000 °C'de, %3'e kadar CaO (ya da kireç) salımıyla birlikte çözünmez anhidritte kısmi bir ayrışma olur: bu sürecin sonucunda ortaya çıkan ürüne hidrolik ya da yavaş-sertleşen alçı adı verilir. 1360

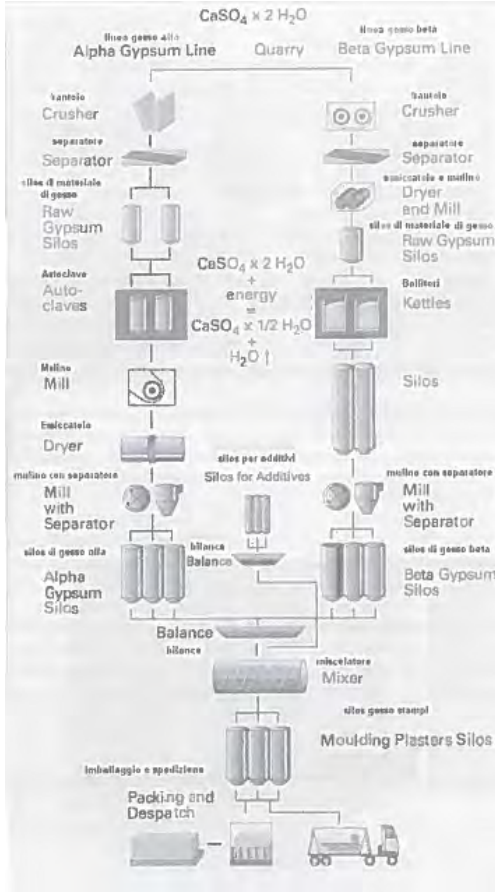
°C aşıldığında ise, bileşim ergir ve 1375 °C'de ise tamamıyla ayrışma meydana gelir.



2.2.1.2. Alçının endüstriyel üretimi

Bu bölümde, sadece seramiklere yönelik alçının üretim sürecini inceleyeceğiz. Jipsi işlemek için başvurulan endüstriyel süreç, biri α -hemihidrat üretimiyle ve diğeri de β - hemihidrat üretimiyle ilgili olmak üzere iki farklı bölüme ayrılır.

Şekil 2.1, iki akış modelini göstermektedir [4].



Şekil 2.1 – α ve β alçı üretim şemaları

ŞEKİL ÜZERİNDE:

$\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$

Alpha Gypsum Line = Alfa Jips Hattı

Quarry = Maden Ocağı

Beta Gypsum Line = Beta Jips Hattı

Crusher = Kırıcı

Separator = Ayırıcı

Raw Gypsum Silos = Ham Jips Siloları

Dryer and Mill = Kurutucu ve Öğütücü

$\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O} + \text{energy} = \text{CaSO}_4 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \uparrow$ ----- $\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O} + \text{enerji} =$
 $\text{CaSO}_4 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \uparrow$

Auto-claves = Otoklav

Kettles = Kazanlar

Mill = Öğütücü

Dryer = Kurutucu

Silos for Additives = Katkı Maddesi Siloları

Silos = Silolar

Mill with Separator = Ayırıcılı Öğütücü

Alpha Gypsum Silos = Alfa Jips Siloları

Beta Gypsum Silos = Beta Jips Siloları

Balance = Tartı

Mixer = Karıştırıcı

Moulding Plasters Silos = Kalıp Alçısı Siloları

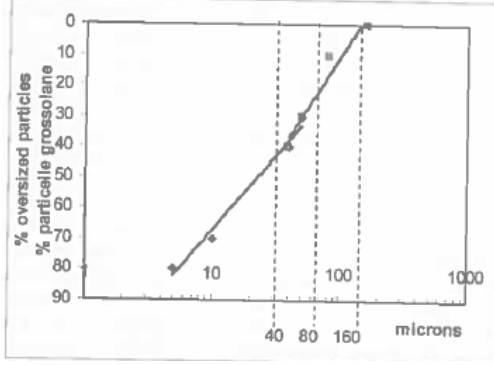
Packing and Dispatch = Paketleme ve Sevkiyat

β -hemihidrat (döküm kalıpları imalatında en yaygın kullanılan alçı) üretim döngüsü şu aşamalardan oluşur:

- Maden ocağından gelen kayacın önden ince bir şekilde kırılması
- En kalın malzemelerin geri dönüşümüyle birlikte ilk eleme
- Eşzamanlı öğütme ve kurutma (genellikle fırından çıkan sıcak dumanlar kullanılır). Kurutma, öğütmeyi büyük ölçüde kolaylaştırır ve aynı zamanda hidratlama suyunu kısmen ortadan kaldırır: oran %20,93'ten (stokiyometrik değer) % 17 ila 18'e düşer ki bu da takip eden pişirme

aşamasında termal enerjiden önemli ölçüde tasarruf sağlar. Öğütme, pişirme sıcaklığında harcanan süreyi asgariye indirerek dehidrasyonu kolaylaştırır.

- Pişirme ve takip eden kısmi dehidrasyon: bu operasyonda fasıllı fırınlardan (döngü başına 20 ila 25 ton kapasiteli) ya da sürekli döner fırınlardan faydalanılır. Hammadenin beslenmesi söz konusu olduğunda özgül ısı tüketimi ürünün kilogramı başına 280 ila 350 kcal iken nemi giderilmiş ve kısmen dehidrate edilmiş mineralin beslenmesi söz konusu olduğunda 180 ile 220 kcal/kg. arasındadır. Pişirme sırasında dehidrasyon, atmosferik basınçta ve buhar açısından zengin bir ortamda gerçekleştirilir. Mineral 130 °C civarında bir sıcaklığa getirildiğinde, 1,5 mol su ortadan kalkar ve bunun sonucunda yük kaynar ve sıcaklık kararlı olur. Mineralin dehidrasyonundan sonra, sıcaklık tekrar yükselmeye başlar ve normalde mevcut en büyük partiküllerde dahi dihidrat ayrışmasının meydana gelmesini sağlamak için 160 °C'ye ulaşır. Fasıllı fırın temelde uygun şekilde ısıtılmış ve pişirilen mineral için mekanik bir karıştırma sistemiyle donatılmış büyük bir konteynerden (çap 1,5 ila 3,5 m.) oluşur. Öte yandan döner fırınlar sürekli dirler ve uzunluğu 45 m'yi bulabilen, pişirilecek madenin yukarıdan beslendiği, eğimli bir silindirden (çap 1,5 ila 3 m.) oluşurlar. Pişirilecek maden, malzemeyi ısıtmak için gerekli olan sıcak dumanlara göre ters yönde silindir içerisinden geçtikten sonra alt kısımdan çıkar. Pişirmeden elde edilen, birinci kaynatma alçı olarak bilinen ürün esasen %6,21 oranında hidratlama suyuna sahip hemihidrattan oluşur. Tabii ki, hemihidratla birlikte değişen miktarlarda dönüştürülmemiş dihidrat ve anhidrit de bulunmaktadır. Dihidrat alçı sertleşmesi için enerjetik hızlandırıcı görevi gördüğü için (nedenini daha sonra göreceğiz), içeriğinin sabit olması ve kontrol altında tutulması gerekir.
- İnce öğütme ve partikül boyutu seçimi. İnce öğütme ve partikül boyutu seçimi, ürüne endüstriyel kullanım için gerekli olan karakteristik boyutunu vermek için kullanılır: Şekil 2.2 döküm kalıplarına yönelik bir alçının partikül boyutu eğrisini göstermektedir. Ayrıca, ürün hala sıcakken yapıldığında öğütme artık dihidrat partiküllerinin dönüşümüne sebep olurken, ortaya çıkan buhar da bunun sonucunda hemihidrata dönüşecek olan anhidrit tarafından tutulur.



Şekil 2.2 - Döküm kalıplarına yönelik bir alçının partikül boyutu dağılımı

ŞEKİL ÜZERİNDE:

% oversized particles = iri partiküllerin %'si

Microns = mikron

- Katkı maddeleri ve saklama: katkı maddeleri (geciktiriciler ve hızlandırıcılar) ürüne toz halinde eklenir. Uygun şekilde mekanik karıştırmaya maruz tutulduktan sonra, ürün silolarda saklanır ve daha sonra kağıt torbalarda veya tankerlerde sevk edilir ya da paketlenir.

α -hemihidratın üretim döngüsü şu aşamalardan oluşur:

- Madenin önden kırılması: bu, β -hemihidrat üretimi söz konusu olduğunda gerçekleştirilen daha kalın (2 – 5 cm arasında) ön-kırma işlemidir. Daha büyük parçaların, konkasörden yukarıya doğru alınması suretiyle ayrılması öngörülür.
- Pişirme: α -alçı elde etmek için, doymuş buhar atmosferinde 120 ila 125 °C arasındaki sıcaklıklarda bir otoklav içerisinde dehidrasyon meydana gelir.
- Kalın öğütme: pişirilmiş olan malzeme, partikül boyutunun küçültülmesi için bir ilk öğütme işleminden geçer.
- Kurutma: genellikle tamburlu kurutucu aracılığıyla gerçekleştirilen kurutma işleminde, müteakip ince öğütme aşamasını kolaylaştırmak için maden tarafından emilmiş olan su giderilir.
- İnce öğütme ve partikül boyutu seçimi: bu aşama, malzemeye nihai partikül boyutu özelliklerini kazandırmak için tasarlanır.

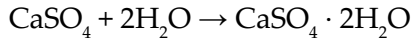
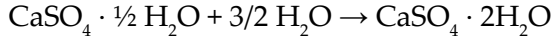
- Katkı maddeleri ve saklama: bu aşamalar, daha önce β -alçı için bahsedilen yöntem kullanılarak gerçekleştirilir.

-

2.2.1.3. Alçının sertleşmesi

Alçının sertleşme mekanizması iki temel olguya dayalıdır:

1. Pişirilmiş olan alçının bileşenleri, diğer bir deyişle kalsiyum sülfat hemihidrat ve çözünür anhidrit yarıkararlıdır ve su var olduğunda yeniden hidratlanır; bu, jips pişirme sürecinde kaybedilmiş olan kristalizasyon suyunu geri almaları anlamına gelir ve dihidrat jips (kimyasal olarak başlangıç mineraliyle aynı madde) oluşumuna yol açar. Yukarıda anlatılanlar şu kimyasal tepkimelerle özetlenebilir:



2. Pişirilmiş olan alçının (büyük oranda kalsiyum sülfat hemihidrat) suda çözünme oranı, kalsiyum sülfat dihidrata kıyasla önemli ölçüde daha yüksektir: aynı sıcaklık söz konusu olduğunda, dihidrat için bu oran yaklaşık olarak %0,2 iken, hemihidrat için %1,2'dir.

Sertleşme mekanizması yukarıdaki iki husus göz önünde bulundurularak açıklanabilir: pişirilmiş olan alçı su içerisinde çözündürüldüğünde, çözünmenin yanı sıra aynı zamanda yeniden hidratlanır ve bunun sonucunda da dihidrat meydana gelir. Dihidrat hemihidrata kıyasla daha az çözünür olduğu için, hemihidrata kıyasla hızlı bir şekilde doymuş bir çözelti elde edilir. Dolayısıyla, bihidrat solüsyon dehidrattan hızlı bir şekilde sertleşen, iğnemsiz kristalli kütleler halinde hızlı bir şekilde ayrışacaktır. Dihidratın çökmesi, diğer hemihidratın da hidratlanmasına yol açacaktır: bu, akabinde çözünmeye devam edecek olan hemihidrata kıyasla çözeltinin artık doymun olmaması anlamına gelecektir. Kısacası bu, tamamıyla dihidrata dönüşecek olan hemihidratın tamamının aşama aşama ortadan kalkmasına yol açan bir dizi hidrasyon – çökme mekanizmasıdır.

Bu mekanizmanın kinetiği esasen dihidratın kristalizasyon oranı tarafından kontrol edilirken söz konusu kristalizasyon da birim zamanda oluşan kristalizasyon çekirdeklerinin sayısına ve bunların artış oranına bağlıdır. Çözünürlük sıcaklığa bağlı olduğu için, bunun alçının sertleşmesini nasıl etkilediği aşıkardır. Birinci sertleşme aşamasında oluşan kristaller son derece küçüktür ve kriptonkristalin kütle jel haline gelir. Kristaller daha sonra iğnemi bir yapı olarak büyürler ve birbirlerine geçerler; bu süreç sonucunda da gözenekli fakat dirençli, lifli bir yapı meydana gelir.

Sertleşme ilerledikçe, gerek hemihidratın hidrasyonu gerekse (daha az oranda olmasına rağmen) buharlaşma nedeniyle karıştırma suyu büyük oranda azalır. Bunun sonucunda da, başta suyun yol açtığı yağlayıcılık etkisi ortadan kalkar ve , iyi bir mekanik direnç kazanarak sertleşir.

Yarıkararlı aşamaların hidrasyon etkisine her zaman suyun buharlaşma sürecini kolaylaştıran bir ısı oluşumu eşlik eder. Dihidratın kristalleşme hızı üzerinde önemli bir etkiye sahip diğer bir unsur da, bazıları hızlandırıcı bazıları ise geciktirici olan diğer maddelerin varlığıdır. Hızlandırıcılar genellikle alçının çözünürlüğünde bir artışa ve ısının daha hızlı oluşmasına yol açarlar. Bunlar aynı zamanda, aynı işlenebilirlik seviyesine sahip olmak için karıştırma suyunun miktarının artmasına ihtiyaç duyarlar: bu durum, alçının daha yüksek oranda gözenekliliğe sahip olmasına ve mekanik mukavemetinin daha düşük olmasına yol açar. Aşağıda sıralananlar, hızlandırıcı görevi görürler:

- a. İnce bir şekilde öğütülmüş kalsiyum sülfat dihidrat
- b. Sodyum klorür
- c. Potasyum sülfat
- d. Alüminyum sülfat (şap)

Geciktiriciler, hemihidratın sertleşme süresini ayarlamak için kullanılırlar ve kristalizasyon çekirdeklerinin oluşma hızı ve kristallerin morfolojisi üzerinde etkili olurlar: en yaygın olarak kullanılan, koruyucu kolloit görevi gören organik kolloitlerdir (keratin, jelatin, nişasta). Sertleşme sürelerini değiştirmek için, ileride

ayrıntılı olarak inceleneceği üzere, tabii ki karıştırma parametrelerini (süre, hız, vs.) ayarlamak da mümkündür.

2.2.1.4. α -alçı ve β -alçı

Önceki bölümde, üretim sürecinin çalışma yöntemlerine bağlı olarak, iki tür kalsiyum sülfat hemihidrat elde edildiği belirtilmişti: α tipi ve β tipi. Her ikisi de aynı kimyasal bileşime sahiptir, fakat bunları oluşturan kristallerin yapısı ve morfolojisi bakımından birbirlerinden farklıdırlar. Bu farklar, dehidrasyon aşamasında kullanılan tekniklerin özel bir sonucudur. Aslında, α -alçı doymuş buhar atmosferinde bir otoklav içerisinde yavaş bir şekilde (birkaç saat) meydana gelen dehidrasyonun sonucudur: bu teknik, α -hemihidratın oluşumunda yeni kristallerin yavaş bir şekilde büyümesiyle ve böylelikle kristallerin boyutlarıyla saflıklarının artmasıyla sonuçlanır. Tek başına yaklaşık 20 mikron boyutunda kristaller yaratılabilir [5].

Öte yandan, β -hemihidrat üretim süreci atmosfer basıncında gerçekleştiği için suyun giderilmesi çok hızlı meydana gelir (sadece birkaç dakika). Dolayısıyla meydana gelen tek tek kristallerin α -hemihidrata özgü kristallerin boyutlarına ulaşacak kadar büyümek için yeterli süreleri yoktur.

Kristallerin gelişimi ve boyutlarındaki bu fark tabii ki özgül yüzey alanına da yansır: β -alçı (çok daha küçük kristaller) aslında α -alçıya göre (daha büyük kristaller) çok daha yüksek bir özgül yüzey alanına sahiptir. Özgül yüzey alanındaki önemli fark, aynı zamanda, işlenebilir bir alçı yapmak için gerekli olan karıştırma suyu miktarında da büyük bir fark olması anlamına gelir: α -alçı söz konusu olduğunda genellikle 0,4 oranıyla su/alçı karışımı hazırlanırken, β -alçı söz konusu olduğunda 0,75 ila 0,8 oranına ihtiyaç olur. β -alçı ile çalışmak için gerekli olan, α -alçıya kıyasla daha fazla su miktarı daha fazla gözenekliliğe ve daha düşük mekanik mukavemete sahip bir yarı mamül elde edilmesine yol açar.

Tablo 1 [5], α - ve β -alçı tozlarının, sıvı karışımlarının ve bunların kullanılmasıyla elde edilen kalıbın temel özelliklerini göstermektedir.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Tablo 1 – α- ve β-alçıların temel özellikleri

Koşullar	ÖZELLİKLER		β	α	
ALÇI TOZU	Görünür özgül ağırlık	DIN1060 [kg/dm ³]	0,77	1,21	
	Maks. Tane boyutu	[µm]	160	160	
	40 µm'de elek üstü	%	10	20	
	Cılas için daha sık tanecik boyutu	[µm]	10-30	30-60	
	RRS Cılas özgül yüzey	[cm ² / gr]	7700	4600	
	Blain özgül yüzey	[cm ² / gr]	9040	2400	
ALÇI BÜNYE	Su/Alçı oranı S/A	[-]	0,76	0,41	
	Alçı /su oranı A/S	[-]	1,32	2,44	
	Serpme miktarı	[g/100 ml]	132	244	
	Yayıma çapı Vicat	[cm]	21	21	
	Donma başlangıcı (bıçak testi)	[dak]	20	15	
	Donma bitimi (basınç 5 kg.)	[dak]	42	32	
	Genleşme	%	0,15	0,32	
	Kuru mukavemet	[g/cm ³]	1,0	1,4	
	Yüksek basınç mukavemeti	[N/mm ²]	25	105	
	Eğilme mukavemeti	DIN1168	4	12	
KURU ALÇI BÜNYE	Basınç direnci	[N/mm ²]	12	40	
	SEM	Küçük boyutlu	[µm ²]	1x10	2x10
		kristal Orta boyutlu	[µm ²]	2x15	2x15
		kristal Çok büyük	[µm ²]	5x25	10x20
	BÜNYE	boyutlu kristal	[µm ²]	5x25	10x20
		Hg-ham yoğunluk	[g/cm ³]	1,035	1,477
		Erişilebilir Top.Hg	[ml/g]	0,665	0,306
Gözeneklilik Erişilebilir Top.Hg		[hac.-%]	68,8	45,3	
EMİCİ BÜNYE	Gözeneklilik Ortalama gözenek yarıçapı	[µm]	1,6	0,7	
	<100 µm cat. Radyum daha sık	[µm]	1-2	0,5-1,0	
	Stabilizasyon katsayısı	[x10 ⁻² cm ² /s]	4,9	0,7	
	Emme yüksekliği katsayısı	[cm/dak ^{1/2}]	1,7	0,7	
	Su emme katsayısı	[g/cm ² @dak ^{1/2}]	0,77	0,14	
	Su emme 2 saat	[hac.-%]	45	25	
SUYA DOYMUŞ	Yüksek basınç mukavemeti	[N/mm ²]	10	45	

Tablo incelendiğinde, iki alçı arasındaki temel farklar görülebilir:

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

- A. Alçı tozu: α -alçıya kıyasla β -alçı tozu belirgin bir şekilde daha düşük özgül ağırlığa ve neredeyse 4 kat daha büyük bir yüzey alanına sahiptir.
- B. Sıvı karışım: alçı/ su oranı (A maddesinde görülen husus nedeniyle) α -alçı için çok daha yüksektir.
- C. Kuru alçı kalıp: α -alçı kullanılarak elde edilen kalıbın mekanik mukavemeti, gerek eğilme gerekse basınç direnci olarak, β -alçı ile yapılan kalıba göre çok daha yüksektir. Öte yandan, α -alçı yapılan bir kalıbın gözenekliliği (gözeneklerin ortalama boyutu) β -alçıyla yapılanlara göre daha düşüktür. Dolayısıyla, β -alçıyla yapılan kalıpların emme kapasitesi ile kıyaslandığında α -alçıyla yapılan kalıpların emme kapasitesi düşüktür.

Yukarıda anlatılanlardan yola çıkılarak, endüstriyel kullanımda, kalıbın kullanım alanı ve performans gerekliliklerine bağlı olarak alçı türlerinden birinin ya da iki farklı tür alçı elde edilen bir karışımın kullanılması tercih edilebilir. Örneğin, en iyi gözeneklilik seviyesi ve emme kapasitesi isteniyorsa, sadece β -alçı kullanılacaktır. Öte yandan kalıbın mekanik mukavemetinin ve dayanıklılığının (döküm işlemlerinin sayısının) artması isteniyorsa, β ve α -alçılarından oluşan bir karışım kullanılacaktır; fakat orta seviyede basıncın söz konusu olduğu döküm işlemleri için sadece α -alçı kullanılacaktır. Tablo 2, seramik endüstrisinde genellikle kullanılan bir β -alçıyla bir α -alçının temel özelliklerini kıyaslamaktadır.

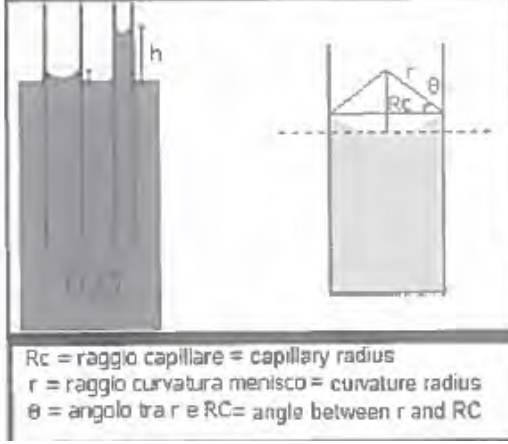
Tablo 2 – β -alçıya kıyasla α -alçı

	Alçı/su oranı	Gözeneklilik	Genleşme	Basınç Dayanımı N/m ²	İlk sertleşme Dk.
β alçı	1.35	52%	<0,19%	22÷26	15±2
α alçı	2.4	25%	0.12%	100÷110	14±2

2.2.1.5. Alçı kalıpların kapilaritesi

Daha önceki bölümlerde, kalıbın kapiler kuvvetleri nedeniyle suyun çamurdan kalıba aktarıldığı belirtilmişti. Bu noktada, bu kuvvetlerin ardındaki sebebi açıklayan fiziksel kanunları ve teoremin alçı kalıplara nasıl uygulanabileceğini incelemek gerekmektedir. Son olarak, kapilarite olayının meydana gelmesinin temelini teşkil eden alçı kalıpların gözenekliliğine ilişkin detaylı bir analiz yer alacaktır. Kapiler cam bir tüpü (küçük yarıçapa sahip bir tüp) suya

daldırdığımızda, suyun belli bir yüksekliğe kadar yükseldiğini görebilirsiniz (Şekil 2.3). Su cam üzerinde ıslatıcı bir sıvı olduğu için, konkav bir menüsküs meydana gelir.



Şekil 2.3 – Kapilarite olayı

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Rc = kapiler yarıçapı

r = kavis yarıçapı

θ = r ile Rc arasındaki açı

Basit bir geometrik analiz yapıldığında, $Rc=r \cdot \cos\theta$ ve dolayısıyla $r=Rc/\cos\theta$ olduğu sonucuna varılabilir. Kapilerler çok küçük olduğunda, menüsküs doğru bir şekilde bir yarımküreye benzetilebilir. LaPlace kanununa göre, konkav menüsküs

$$(2.1) \quad \Delta P = \frac{2\sigma}{r} \Delta P = \frac{2\sigma}{r}$$

seviyesinde bir basınç farkı yaratır; burada σ sıvının yüzey gerilimi ve r de menüsküsün kavisinin yarıçapıdır. Fakat $r=Rc/\cos\theta$ olduğu için (2.1) şu şekilde ifade edilebilir:

$$(2.2) \quad \Delta P = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{Rc} \Delta P = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{Rc}$$

2.2'yi analiz edersek, kapillerlerin bir basınç farkı yarattıkları (r negatif olduğu için ıslatıcı bir sıvı söz konusu olduğunda negatif basınç farkı) ve kapillerlerin yarıçapları ne kadar küçükse bu basınç farkının da o kadar yüksek olduğu sonucuna varabiliriz. Bu basınç farkının aynı zamanda sıvının yüzey gerilimine nasıl bağlı olduğu da görülebilir: yüzey gerilimi ne kadar yüksekse, basınç farkı da o kadar yüksek olacaktır. Bu basınç farkı, suyun çamurdan kalıba aktarılmasına sebep olan itici güçtür. Şekil 2.3'ü incelediğimizde, bu basınç farkının denge noktasında h yüksekliğine kadar kapiler içerisinde yükselmiş olan sıvı kolonunun hidrostatik basıncı tarafından nasıl dengelendiğini açık bir şekilde görebiliriz. Dolayısıyla şu denklemi yazabiliriz:

$$(2.3) \quad \Delta P = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{Rc} = d \cdot g \cdot h \Delta P = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{Rc} = d \cdot g \cdot h$$

Burada:

- d = söz konusu sıvının yoğunluğu
- g = yerçekimi nedeniyle hızlanma
- h = kapiler yükselmenin yüksekliği

2.3 numaralı denklemden, kapiler içerisindeki sıvının maksimum yükselme yüksekliğini bulabiliriz:

$$(2.4) \quad h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{d \cdot g \cdot Rc} h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{d \cdot g \cdot Rc}$$

Bir kapiler içerisindeki sıvı akışını tespit edebilmek için, Poiseuille kanunu uygulanır. Bu kanun, yatay konumdaki bir kapiler tüp söz konusu olduğunda geçerlidir:

$$(2.5) \quad Q = \frac{\pi \Delta P R c^4}{8 \eta L} Q = \frac{\pi \Delta P R c^4}{8 \eta L}$$

Burada:

- Q = sıvının kapiler içerisindeki akışı
- η = sıvının viskozitesi
- L = kapiler içerisindeki sıvı kolonunun uzunluğu

2.5 denkleminde ΔP yerine 2.2 numaralı denklemi koyarsak, şunu elde ederiz:

$$(2.6) \quad Q = \frac{\pi \cdot 2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta \cdot R c^3}{8 \eta L} = \frac{\pi \cdot \sigma \cdot \cos \theta \cdot R c^3}{4 \eta L} Q = \frac{\pi \cdot 2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta \cdot R c^3}{8 \eta L} = \frac{\pi \cdot \sigma \cdot \cos \theta \cdot R c^3}{4 \eta L}$$

2.6 numaralı denklemi analiz ettiğimizde, gözenğin çapı ve sıvının yüzey gerilimi ne kadar yüksekse ve söz konusu sıvının viskozitesi ne kadar düşükse gözeneklere nüfuz etmiş olan su miktarının da o kadar yüksek olacağı açıkça görülebilir. Sıcaklıktaki bir artışı normalde sıvının viskozitesinde (η) belirgin bir düşüş takip ettiği için, bu durum gözeneklerden çıkan su miktarında bir artışla bağlantılı olacaktır: döküm çamurunun ısıtılmasının sebebi de budur. Sonsuz küçük bir kapiler parçasını analiz ettiğimizde, şunu elde edebiliriz:

$$(2.7) \quad Q = \frac{dV}{dt} = \frac{\pi R c^2 \cdot dL}{dt} Q = \frac{dV}{dt} = \frac{\pi R c^2 \cdot dL}{dt}$$

Burada dL = kapiler içerisinde sıvının yükselmesinin sonsuz küçük uzunluğunu ifade eder. 2.7'yi 2.6 ile kıyasladığımızda, şunu elde ederiz:

$$(2.8) \quad L \frac{dL}{dt} = \frac{\sigma \cdot \cos \theta \cdot R c}{4 \eta} L \frac{dL}{dt} = \frac{\sigma \cdot \cos \theta \cdot R c}{4 \eta}$$

Sabit bir sıcaklıkta, 2.8'de yer alan miktarlarda bir değişiklik olmaz ve dolayısıyla kapiler içerisinde sıvının yükselmesini ifade eden uzunluk şu denklem kullanılarak ifade edilebilir:

$$(2.9) \quad L = K\sqrt{t}L = K\sqrt{t} \quad [6]$$

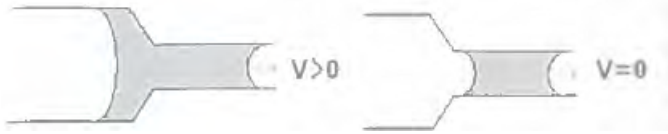
Burada, sabit sıcaklıkta K sabittir

$$K = \sqrt{\frac{\sigma \cdot \cos \theta \cdot Rc}{2\eta}} K = \sqrt{\frac{\sigma \cdot \cos \theta \cdot Rc}{2\eta}}$$

Dolayısıyla, sıvının kapiler içerisindeki penetrasyon uzunluğunun kapilerin yarıçapının karekökü ve süre ile orantılı olduğu ve tabii ki hacmin de aynı orantısallık ile alakalı fakat πRc^2 faktörüne bağlı olduğu sonucuna varmak mümkündür.

$$(2.11) \quad V = \sqrt{\frac{\sigma \cdot \cos \theta}{2\eta} \cdot \sqrt{Rc} \cdot \sqrt{t} \cdot \pi Rc^2} V = \sqrt{\frac{\sigma \cdot \cos \theta}{2\eta} \cdot \sqrt{Rc} \cdot \sqrt{t} \cdot \pi Rc^2}$$

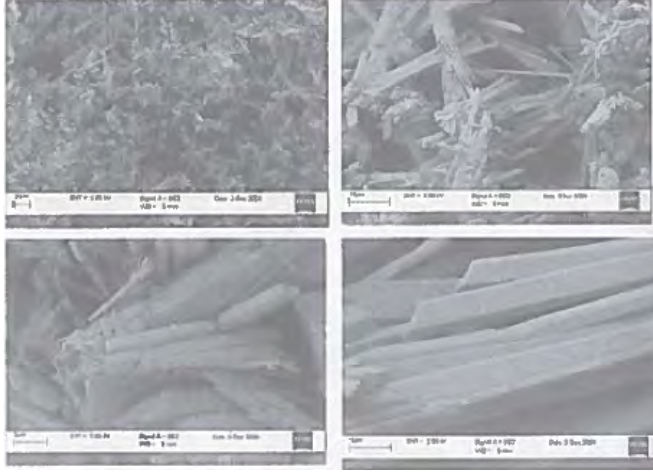
Uzunluğu boyunca kapilerin yarıçapı değiştiğinde ne olduğunu değerlendirmek de önemlidir (Şekil 2.4) [7].



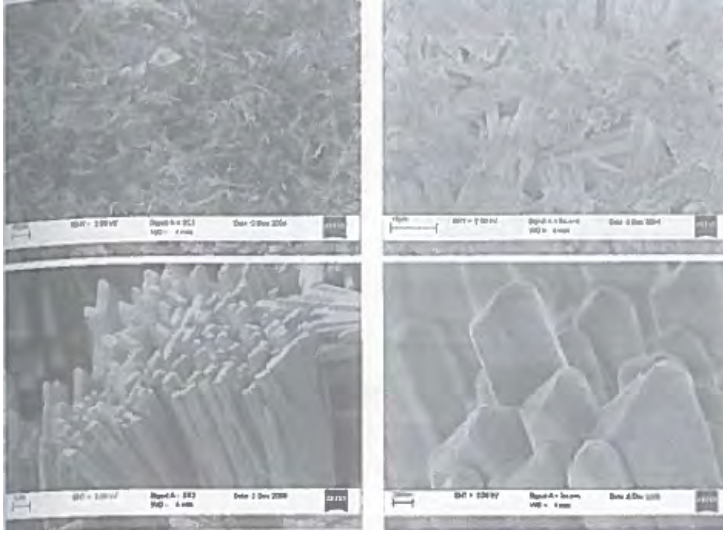
Şekil 2.4 – Kapiler çapının bir fonksiyonu olarak sıvının aktarılması

Su, en küçük yarıçapa sahip kapilere taşınacaktır. Bu noktada kapilarite kanunlarının alçı kalıplara uygulanıp uygulanmayacağını ve nasıl uygulanacağını incelemek gerekmektedir. Bunu yapabilmek için, öncelikle alçının mikro-yapısını dikkatli bir şekilde analiz etmemiz gerekmektedir. Şekil 2.5 (A) ve 2.5 (B), sırasıyla,

β -alçı ile α -alçının SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) mikro fotoğraflarını göstermektedir.



Şekil 2.5 – (A) Jips β yapısının SEM mikro fotoğrafı



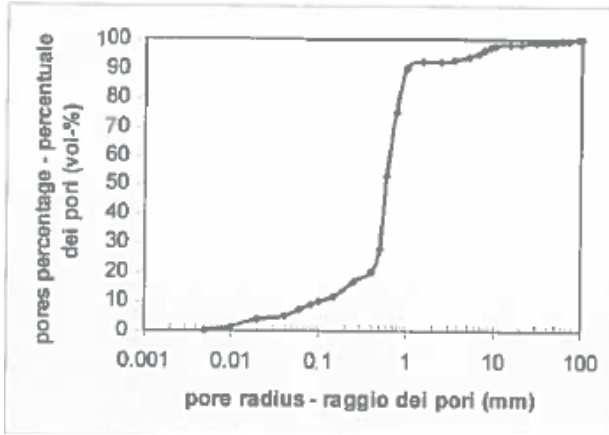
Şekil 2.5 – (B) Jips α yapısının SEM mikro fotoğrafı

Görüntüler incelendiğinde, β -alçıdan α -alçıya geçilirken, diğer bir deyişle karıştırma suyunda bir azalma olduğunda, kristallerin uzunluğunda ufak bir azalma olduğu ve kalınlıklarının hafifçe arttığı görülmektedir. Daha belirgin olan şey ise, gözeneklilikteki azalmadır. Fotoğrafın incelenmesinden anlaşılacağı üzere, alçının mikro-yapısı belli ayırt edici özelliklere sahiptir:

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

- Kristallerin uzamsal dağılımı düzenli değildir; daha ziyade çeşitli kristallerden oluşan bir ağ söz konusudur ki bu da alçının mekanik direncini ve tipik gözenekliliğini meydana getirir.
- Alçının gözenekliliği son derece farklıdır ve 0,01 ila 100 mikron arasında değişen mikro-gözeneklerden meydana gelir: ortalama değer tabii ki karıştırma suyu ve dolayısıyla alçının türüne göre değişir ve 0,7 ila 2 mikron civarındadır.
- Kristallerin uzamış, iğneye benzer bir yapısı vardır; uzunluk ile kalınlıkları arasındaki oran 10:1 ila 5:1 arasında değişir.

Şekil 2.6 A [5] bir α -alçının tipik gözenek dağılımını gösterir: gözeneklerin çoğunun 0,5 ila 1 mikron arasında yoğunlaştığı kolaylıkla görülebilir. Şekil 2.6 (B) ise, β -alçı kullanılarak elde edilen bir kalıbın gözeneklilik ölçüm eğrisini göstermektedir.

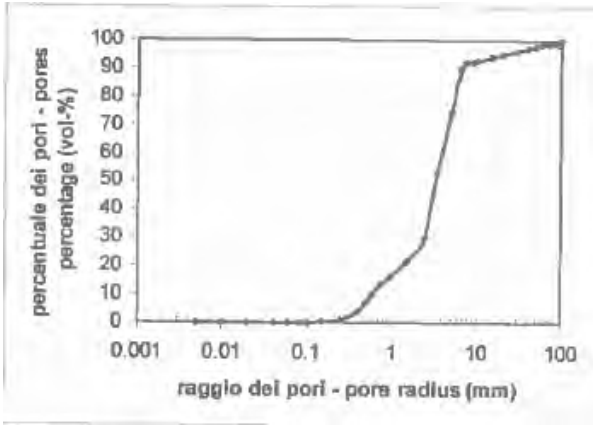


Şekil 2.6 A – Bir alfa alçıdan elde edilen bir kalıptaki gözenek yarıçaplarının fonksiyonuna göre gözenek dağılımı

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Pores percentage (vol-%) = gözeneklerin yüzdesi (hacim-%)

Pore radius (mm) = gözenek yarıçapı (mm)

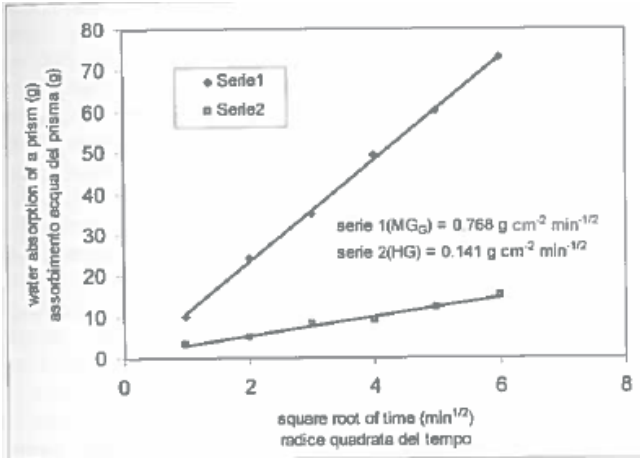


Şekil 2.6 B – Bir beta alçıdan elde edilen belli bir kalıptaki gözenek yarıçaplarının fonksiyonu olarak gözenek dağılımı

Alçının emme kapasitesini değerlendirmek için, şu testler yapılabilir: kuru alçı bir prizma bir destek üzerine yerleştirilir ve suyla dolu bir tankın üzerine, numunenin ucu suyla temas halinde olacak şekilde koyulur. Suyun numune boyunca zamana bağlı olarak yükselmesi değerlendirildiğinde alçı difüzyon katsayısı belirlenebilir: $\text{cm}^2/\text{saniye}$ olarak ifade edilecek şekilde $D_g = (\text{cm olarak yükselme} / \sqrt{\text{saniye olarak zaman}})^2$. Döküm kalıpları için D_g genelde 2-3 $\text{cm}^2/\text{sn.dir}$.

Daha önce de görüldüğü üzere, α -alçı β -alçıdan daha az gözeneklidir ve dolayısıyla daha yüksek bir mekanik mukavemete sahiptir fakat su emme katsayısı daha düşüktür (diğer bir deyişle, daha su emebilir). Bu açıklama, Şekil 2.7'de gösterilmiştir; burada β -alçı (MG olarak işaretlenmiştir) ve α -alçının (HG olarak işaretlenmiştir) emme katsayılarının gelişimi sürenin karekökünün bir fonksiyonu olarak verilmektedir.

Yukarıda verilen bilgilerden, kalıbın gözenekliliğinin farklı şekil ve boyutlara sahip çok sayıda gözenekten kaynaklandığı açıkça görülmektedir. Fakat buna rağmen, kapilarite kanunları, çeşitli parametreleri tam olarak hesaplamak için değil, sadece bir kalıbın davranışına karar vermek için de alçının gözenekliliğine uygulanabilir.



Şekil 2.7 - β -alçı (MG olarak işaretlenmiştir) ve α -alçının (HG olarak işaretlenmiştir) emme katsayılarının sürenin karekökünün bir fonksiyonu olarak kıyaslanması

ŞEKİL ÜZERİNDE:

water absorption of a prism (g) = bir prizmanın su emmesi (g)

square root of time (min^{1/2}) = sürenin karekökü (dak^{1/2})

2.2.1.6. Alçı kalıpların üretimi

Alçı kalıplar aşağıdaki prosedüre göre üretilirler:

- Suyun ve alçının dozlanması
- Suyun Alçı ile karıştırılması
- Su + alçı karışımının teksir kalıba dökülmesi (titreşimle)
- Alçının sertleşmesi
- Ana kalıpların açılması
- Kalıbın rötuşlanması
- Kalıbın kurutulması

Her bir işleme aşamasının özelliklerini daha ayrıntılı incelemeye önce, kalıp üretim sürecini tanımlamak için kullanılan terimleri daha iyi açıklamamız gerekmektedir:

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

- Karıştırma suyu: alçının hidrasyonunu ve karışımın dökülebilirliğini korumak için gereklidir.
- Alçı/su karışımının dökülebilirlik süresi: karıştırma ile karışımın artık uzun süre dökülebilir olmadığı (bir konteynerden akıtıldığı zaman sürekli akabilen yapıda olması) donma başlangıcından önce dökümün bitirilmesi gereklidir
- Sertleşmenin başlama süresi: karıştırma ile sertleşmenin başladığı (sertleşme) zaman arasında geçen süre. Sertleşmenin başlaması basit bir sistem kullanılarak saptanabilir: bir bıçak yardımıyla alçıda 2 cm uzunluğunda ve 2 mm kalınlığında bir kesik açılır. Kesik kapanmadığı zaman, bu çamurun sertleşmekte olduğu ve dolayısıyla sertleşmenin başladığı anlamına gelir. Bir Vicat iğnesi kullanılarak, iğne ilk etapta sıvı halde olan alçı karışımının bulunduğu konteynerin dibine 0,5 mm mesafede durunca sertleşmenin başlangıcı an olarak tespit edilebilir.
- Sertleşmenin sona erme zamanı: alçının bir anda plastik özelliklerini kaybettiği ve sıcaklığının en yüksek seviyeye yükseldiği zamandır. Bu zamanı objektif olarak ölçmek mümkündür: test etmek için bir Vicat iğnesi kullanılır, 1 mm² kesite sahip ve 300 g ağırlığında çelik bir iğne alçının içerisine batırılır. İğnenin batması 0,5 mm'yi aşmamaya başladığında, sertleşmenin sonuna gelmiş demektir.

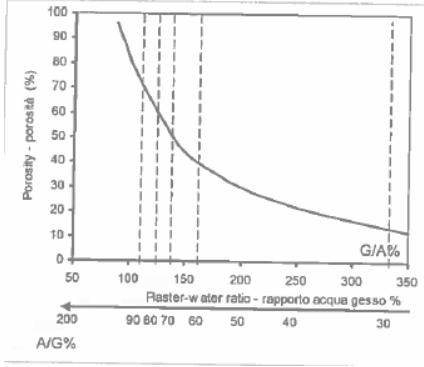
Sertleşme süresi ve kalıbın nihai özellikleri, sadece kullanılan alçının türüne bağlı değildir, aynı zamanda suyun türüne, miktarına, sıcaklığına, yoğunluğa ve karıştırma süresine de bağlıdır:

- Su: suyun içerisindeki ufak organik yabancı maddeler sertleşme süresini uzatırken, sülfatlar ve diğer tuzlar açısından zengin, oldukça sert su sertleşme süresinin kısalmasına yol açar.
- Alçı/su oranı: bu oranın azaltılması, kalıbın gözenekliliğini artırır, sertleşme genişmesini azaltır, yoğunluğu azaltır ve genellikle mekanik özellikleri bozar. Ayrıca, ideal seviyesinden daha fazla su sertleşme süresini artırır. Fakat alçı/su oranının bir fonksiyonu olarak değişen unsur özellikle alçı kalıbın emme basıncıdır: özellikle [16] bir seviyesindeki bir alçı/su oranından 1,5 seviyesine geçildiğinde, emme basıncında 1,8 ila 1,7 bar arasında değişen bir değişiklik olur. Bu emme basıncı, Mazzeni ve Parmelee tarafından yapılan deneylerde de analiz edildiği üzere, tabii ki kalıbın neminden de etkilenir [17]: bütün döküm departmanlarında ampirik olarak belirtildiği üzere, kalıp tarafından emilen su miktarının artması emme basıncını azaltır.

2.8, 2.9, 2.10 ve 2.11 numaralı şekiller, alçının hazırlanma koşullarının değiştirilmesi ile alçının özelliklerinde meydana gelen değişimleri ortaya koyan eğrileri göstermektedirler.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

- Su sıcaklığı: su sıcaklığındaki bir artış genellikle sertleşme süresinin azalmasıyla sonuçlanır.
- Karıştırmanın yoğunluğu ve süresi: uzun süreli ve kuvvetli bir şekilde karıştırma, kalıbın mekanik özelliklerini artırır ve sertleşme süresini kısaltır.



Şekil 2.8 – Alçı gözenekliliği ile alçı/su karıştırma oranı arasındaki ilişki (kaynak: B. LAFARGE IND.)

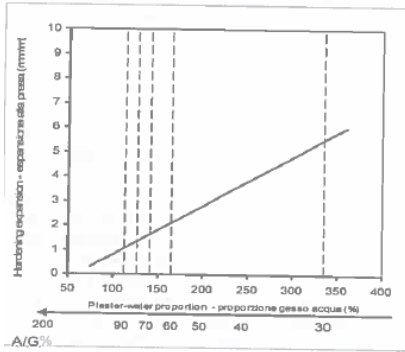
ŞEKİL ÜZERİNDE:

Porosity (%) = Gözeneklilik (%)

Plaster-water ratio % = Alçı-su oranı (%)

$A/G\% = S/A\%$

$G/A\% = A/S\%$



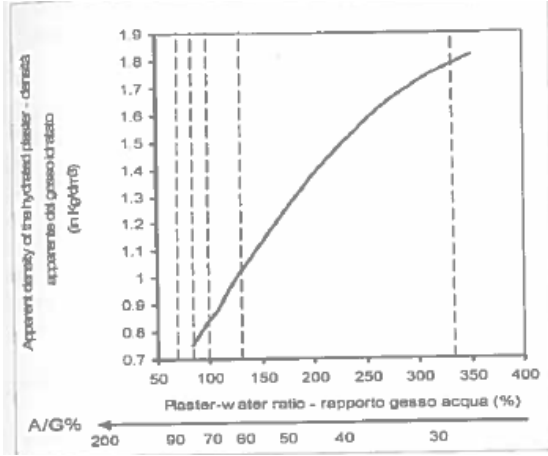
Şekil 2.9 – Alçı/su oranının bir fonksiyonu olarak sertleşme genişlemesinin değişimi (kaynak: P. LAFARGE IND.)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Hardening expansion (mm/m) = Donma genişmesi (mm/m)

Plaster – water proportion = Alçı – su oranı (%)

$$A/G\% = S/A\%$$



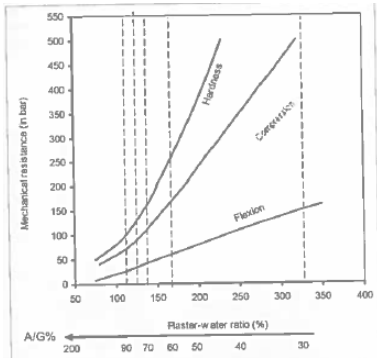
Şekil 2.10 – Alçı/su oranıyla kalıp özkütlesinin değişimi (kaynak: P. LAFARGE IND.)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Apparent density of the hydrated plaster (in Kg/dm³) = Hidrate alçının görünür özkütlesi (Kg/dm³)

Plaster-water ratio (%) = Alçı-su oranı (%)

$$A/G\% = S/A\%$$



Şekil 2.11 – Alçı/su oranının bir fonksiyonu olarak mekanik özelliklerde değişim

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Mechanical resistance (in bar) = Mekanik mukavemet (bar)

Hardness = Sertlik

Compression = Basınç

Flexion = Esneme

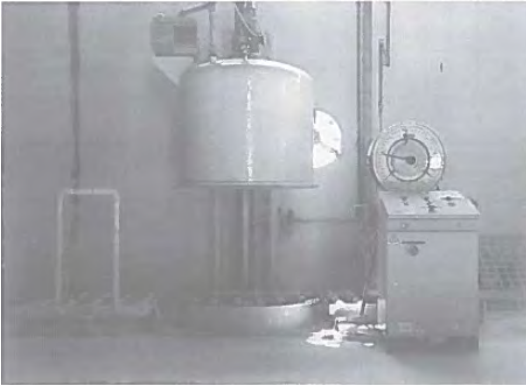
Plaster-water ratio (%) = Alçı-su oranı (%)

A/G% = S/A%

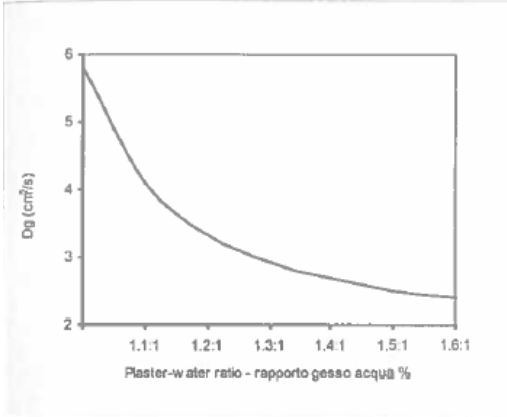
Ne var ki, eğer karıştırma işlemi çok uzun sürerse, kalıbın mekanik özelliklerinde bozulmayla birlikte bu durum geriye döner. Karıştırmanın, sadece alçı su içerisinde eşit bir şekilde ıslatıldıktan sonra yapılması gerektiğini unutmamak önemlidir. Bu şekilde, hiç topak ve hava kabarcığı olmayan bir karışım elde edersiniz. Fakat alçının tamamıyla ıslanması için gerekli olan süre genellikle fazla uzundur (3 – 4 dakika): dolayısıyla, döküm için uygun sürede belirgin bir azalma olur. Bu nedenle, birçok endüstri alçının tamamıyla ıslanmasına imkan vermeden hava kabarcıklarını ortadan kaldıran vakumlu karıştırma yöntemini kullanır. Bu tür durumlarda normalde kullanılan vakum seviyesi genellikle 0,6 bardır. Vakum seviyesinin artırılması gaz giderme süresini kısaltabilir fakat kalıbın nihai gözenekliliğini aşırı derecede azaltabilir. Vakumlu karıştırma süresi ortalama olarak 1,5 dakikadır.

Şekil 2.12 vakum içerisinde alçı karıştırmaya ilişkin bir sistemi göstermektedir.

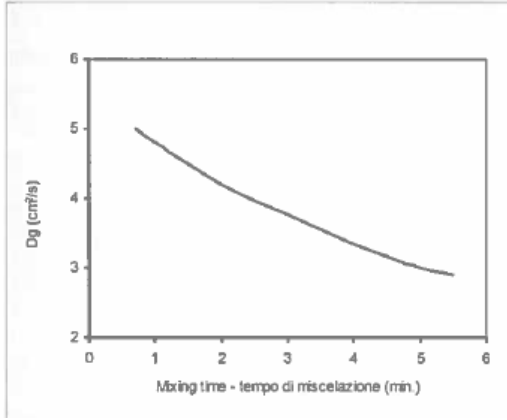
Kalıbın difüzyon katsayısı D_g aynı zamanda alçı hazırlama yöntemine de bağlıdır. 2.13 ve 2.14 numaralı şekiller [1], sırasıyla, alçı/su oranının ve karıştırma süresinin bir fonksiyonu olarak davranışı göstermektedir. Gözenekliliğin gelişimini etkileyen bütün unsurların aynı şekilde difüzyon katsayısını da etkilediği açıkça görülmektedir.



Şekil 2.12 – Bir vakumla alçı karıştırma sistemi (SE.TE.C. S.r.l. Civita Castellana- VT)



Şekil 2.13 – Alçı/su oranına göre alçı kalıbın Dg değerinin davranışı



Şekil 2.14 – Karıştırma süresine göre alçı kalıbın Dg değerinin davranışı

Sıvı alçı/su karışımının, olası hava kabarcıklarının ortadan kaldırılmasını kolaylaştırmak için teksir kalıbın hafifçe sallanarak dökülmesi gerekir.

Gözenekleri dolduran fazla suyu gidermek için yeni oluşan alçı kalıpların kurumması gerekir. Söz konusu fazla su, kalıp dökme işlemi için karışıma ideal yumuşaklığı vermek amacıyla karıştırma sırasında eklenmiştir: 100 gram alçı için aslında sadece 18,5 gram su kimyasal olarak bağlanabilirken 50-55 gr suyun giderilmesi gerekir.

Kurutmanın mümkün olduğunca nazik bir şekilde yapılması gerekir çünkü bu şekilde kalıbın sertliğinin daha iyi olması, gözenekliliğin daha düzgün ve türdeş

olması ve kalıbın ömrünün daha uzun olması sağlanabilir. Kurutma ortamda yapılabilir ve bu durumda uzun süre gerektirebilir (mikro-iklime ve kalıbın türüne bağlı olarak 15-20 gün bile sürebilir) ya da kurutma odasında yapılabilir (4-7 gün).

Kurutma odasında, 45 – 50 °C sıcaklığın aşılmasına ve havanın nem içeriğinin fazla düşürülmemesine dikkat edilmelidir; aksi takdirde bu unsurlar kalıplara zarar verebilir ve yüzeyin “tebeşirlenmesine” yol açabilir.

Ayrıca hava dağılımı da çok önemlidir ve her kalıbın etrafında mümkün olduğunca benzer şekilde olmalıdır.

Bir kalıbın tamamıyla kurutulmaması (%5 – 10 kalıntı nem) gerektiği unutulmamalıdır zira tamamıyla kurduğu takdirde emme kapasitesinde kayba yol açacaktır.

Orta basınçlı kalıpların hazırlanmasına da kısaca değineceğiz: bunları, geleneksel kalıplardan ayıran şey çok daha yüksek bir alçı/su karıştırma oranı (3,3'e kadar) uygulanması ve daha da önemlisi, alçı içerisine küçük, geçirimli tüplerden oluşan bir ağ gömülme suretiyle uygun ana kalıplar içerisine basınçlı hava uygulamanın mümkün olduğu bir teknik olmasıdır. Alçı kalıplarda orta basınçlı hazırlama tekniğinin uygulanmasında, kalıpların kuruması gerekmez çünkü tüplerden oluşan damar sistemi içerisine basınçlı hava uygulanmak suretiyle su dışarı atılır.

Orta basınçlı teknikle hazırlanan bir kalıp üretmek için gerekli olan işlemlerin sırası şu şekilde özetlenebilir:

- A. Su ve alçının mümkün olduğunca doğru bir şekilde dozlanması.
- B. Geleneksel alçı kalıplar için kullanılan makinaların aynaları ile vakumlu karıştırma. Genellikle daha yüksek hıza sahip karıştırma pervaneleri (800 – 900 rpm) tercih edilir. Bazı alçı tedarikçileri, 6 – 8 dakika süren mekanik karıştırmanın ardından yaklaşık 6 dakika manüel karıştırma yapılmasını tavsiye ederler.
- C. Karıştırmanın hemen ardından, sıvı alçının hemen teksir kalıplara dökülmesi gerekmektedir (titreşimli şekilde); döküm sırasında alçının teksir kalıba dolmasını desteklemek ve alçı/su karışımı içerisinde bulunan hava kabarcıklarının yüzeye yükselmesini kolaylaştırmak için teksirin yavaşça hareket ettirilmesi gerekir.

D. Kalıbın basınçlı havayla işlenmesi. Bu aşama, orta basınçlı hazırlama tekniği ile üretilen alçı kalıpları geleneksel teknikle üretilenlerden ayıran ve özellikli kılan unsurdur. Kullanılan alçının türüne ve elde edilecek olan kalıbın nihai özelliklerine göre, bu aşamada kullanılan yöntemler ve süreler değişebilir. Aşağıda piyasada mevcut olan alçılardan birinin (Heidelberger'in Durocast 1 adlı ürünü) işleme yöntemleri ve sürelerle ilişkin özellikleri verilmektedir:

- a. Alçı teksir kalıba dökülür dökülmez, sıcaklığını ölçmek gerekir (termometre karışımın içine batırılır).
- b. Alçının sıcaklığı 8 °C yükseldiğinde, kalıp içerisine gömülü tüp ağı aracılığıyla, basıncı 5 bara ulaşıncaya kadar 30 saniyede bir 0,5 bar yükseltmeye dikkat edilerek, kalıp içerisine otomatik ya da manüel olarak hava vermeye başlanır.
- c. 2,5 barlık basınca ulaşılır ulaşılmaz, kalıbın teksir kalıptan ayrılması gerekir.
- d. Toplam 90 dakika süresince hava enjekte edilecektir.

Basınçlı hava ile uygulanan cebri havalandırmanın sona ermesinden yaklaşık 30 dakika sonra, kalıp üretim makinası üzerine yerleştirilebilir.

2.3. Alçı kalıplarda kalınlık alma

çamur bir alçı kalıp içerisine dökülürken, alçıyla çamurun temasa geçtiği alanda çamurun koyulaşmasına yol açan olaylar tetiklenir; daha sonra kalıp tarafından karıştırma suyunun giderilmesi sonucunda katı içerikte lokal bir artış olur. Kalınlık alma mekanizmasını harekete geçiren ve besleyen iki süreç şunlardır:

- Alçı ile çamur arasında iyon alışverişi [9]: Ca^{2+} kalsiyum iyonları ve kısmen SO_4^{2-} sülfat iyonları alçıdan çamura transfer olurken, çamurdaki Na^+ sodyum iyonları da alçıya transfer olur. Kalsiyum ve sülfat iyonları enerjetik flokülantlar oldukları için, çamurun ilk etaptaki koyulaşmasına yol açar ve flokülasyonu teşvik ederler.

Fakat sadece alçı kalıbın duvarına yakın olan yerlerde bu mekanizma etkili ve aktiftir. Kalıba doğru yönelen su akışı kalsiyum ve sülfat iyonlarının çamur içerisinde yayılmasını engeller ve bunların etkilerini alçı kalıba bitişik ince bir tabakayla sınırlı tutar.

- Kapiler kuvvetler ve suyun ıslanabilirliği sayesinde, alçının gözenekliliği suyu çamurdan kalıbın gözeneklerine doğru emen negatif bir basınç uygular. Bu, katı içeriği artarken koyulaşan çamurdan suyu giderir.

(2.5) numaralı denklemde (Poiseuille kanunu) gözeneklerin ortalama çapı arttıkça, kalıp tarafından emilen suyun miktarının da yükseldiği ortaya koyulmuştu. Dolayısıyla, alçının özelliklerinin kalınlık alma ve bu olayın kinetiği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir. Alçı tarafından emilen su miktarı aynı zamanda kalıbın nemine de bağlıdır: kalıp ne kadar nemliyse, kalınlık alma hızı da o kadar yavaştır.

Kalınlık alma başladıktan sonra, sürecin devam etmesi için fazlası giderilmesi gereken suyun ayrıca koyulaşan çamurun birinci katmanını da geçmesi gerekir. Bu noktadan sonra, bu katman süreci kontrol eden unsur haline gelir ve kalınlığın artış kinetiği bu katmanın kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olur. Buraya kadar anlatılanlardan, kalınlık alma mekanizmasını bu mekanizmaya yön veren fiziksel kanunlardan başlamak suretiyle ayrıntılı olarak analiz etmenin önemli olduğu açıkça görülmektedir.

2.3.1. Kalınlık alma sürecinin fiziği

Fiziksel bir bakış açısından ele aldığımızda, kalınlık alma bir filtreleme ve su difüzyonu sürecine benzer.

Özellikle bazı yazarlara göre [10,11], suyun taşınmasıyla ilgili en etkili model tam olarak difüzyon süreciyle meydana gelir: çamur içerisindeki su, alçıya kıyasla suyun ıslanabilirliği sayesinde, alçı içerisindeki kapillerlerin içine dağılır. Alçının gözenekliliğinin sağlanması için, çamurun ilk koyulaşması tetiklendikten sonra, su ayrıca oluşan masse kalınlığı içerisinde de yayılır. Yayılmanın gelişimini tanımlayan fizik kanunu, Fick kanunudur:

$$(2.11) \quad \frac{dQ}{dt} = k \cdot Dk \cdot \frac{(\Delta C)dQ}{x dt} = k \cdot Dk \cdot \frac{(\Delta C)}{x}$$

Burada:

x = koyulaşan kekin kalınlığı, mm olarak

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

t = kalınlık alma süresi, sn.

Dk = difüzyon katsayısı, in mm²/sn.

ΔC = çamur ile alçı kalıp arasındaki su içeriği farkı

k = sabit

Kalınlık almada, süreç iki aşamayla (çamur ve kalıp) başladığından özel bir difüzyon biçimi söz konusudur, fakat koyulaşan massenin birinci film tabakasının oluşmasının hemen ardından, üç aşamalı bir sistem (massenin kalınlığı üçüncü aşamadır) söz konusudur. Dolayısıyla karmaşık bir durum ortaya çıkar ve bu durumda her üç aşamada da suyun difüzyon katsayılarını bilmek gerekir. Bu nedenle, kalınlık alma sürecini doğru şekilde tanımlamak için difüzyon kanununu kullanmak zordur ve yine bu nedenle kalınlık almayı incelemek için, hemen hemen evrensel olarak filtrasyon teorisi kullanılır. Kullanılan çerçeve şu şekildedir: kalınlık alma, çamurdan suyun bir kısmının giderilmesi olarak kabul edilir. Bu suyun daha sonra oluşan ve bir filtre görevi gören çamur kalınlığını geçerek çamurdan kalıba taşınması gerekir. Bu filtrasyon çerçevesi içerisinde, alçının kapilaritesinin yol açtığı negatif basınç itici güçtür. Bu çerçevenin aynı zamanda basınçlı döküm için de geçerli olduğunu daha sonra göreceğiz: bu durumda, sürecin itici gücü çamura uygulanan basınç olacaktır. Sıvıların filtrasyonu söz konusu olduğunda geçerli olan fizik kanunu, Darcy kanunudur (2.12):

$$(2.12) \quad Q = \frac{(Pc)}{\eta} \cdot \frac{(dP_f)}{de} = \frac{(1)}{S} \cdot \frac{(dV)}{dt} Q = \frac{(Pc)}{\eta} \cdot \frac{(dP_f)}{de} = \frac{(1)}{S} \cdot \frac{(dV)}{dt}$$

Burada:

Q = filtrelenen sıvının akış hızı

Pc = kek katmanının geçirgenliği

η = filtratın dinamik viskozitesi

dP_f = filtreden aşağı ve yukarı doğru basınç farkı

de = kek katmanının kalınlığı

S = filtreleme bölümü

dV = dt süresi içerisinde filtrelenen suyun hacmi

Darcy kanunu Şekil 2.15'te gösterilen çerçeveye göre laboratuvarında yeniden üretilen pratik durumlara uygulandığında [12] [13], denklem şu şekilde ifade edilecektir (kek kalınlığı aracılığıyla filtreleme ile ilgili olarak):

$$(2.13) \quad Q = \frac{(-1)}{\eta} \cdot \frac{(S \cdot dP_f)}{\alpha_e W_e dV} = \frac{(1)}{S} \cdot \frac{(dV)}{dt} Q = \frac{(-1)}{\eta} \cdot \frac{(S \cdot dP_f)}{\alpha_e W_e dV} = \frac{(1)}{S} \cdot \frac{(dV)}{dt}$$

Burada:

W_e = filtrat hacminin bir birimi başına çökelen çamur kütlesi

$dV = dt$ zamanında filtrat hacmi

α_e = kekin de kalınlığının (filtrelemeye karşı) özgül direnci

Filtreyle ilgili olarak uygulanan Darcy kanunu, şu şekilde yazılabilir:

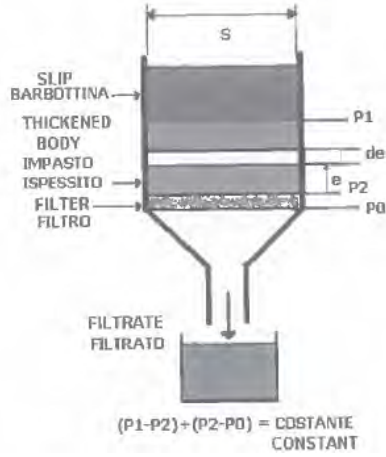
$$(2.14) \quad Q = \frac{(P_2 - P_0)}{\eta \cdot R_s} Q = \frac{(P_2 - P_0)}{\eta \cdot R_s}$$

Burada, R_s = yüzey alanı birimi başına filtrenin filtrasyonuna karşı direnç

S 'nin değişmediğini ve sabit bir sıcaklıkta η 'nın değişmeden kaldığını ve α_e ile W_e 'yi koruyan (koyulaşan çamurun özelliklerinin homojenliği) ideal bir çamur (sıkıştırılmaz çamur) olduğunu varsayarsak, 2.13'ü entegre ederek şunu elde edebiliriz:

$$(2.15) \quad P_2 - P_1 = \frac{(\eta \alpha_e W_e)}{S^2} \cdot \frac{(dV)}{dt} \cdot dV P_2 - P_1 = \frac{(\eta \alpha_e W_e)}{S^2} \cdot \frac{(dV)}{dt} \cdot dV$$

Filtrasyon hücresi (Şekil 2.15) sabit basınçta çalıştığından, toplam basınç kaybı kek kalınlığı ve filtredeki münferit basınç düşüşlerinin toplamı olarak ifade edilebilir:



Şekil 2.15 – Çamur filtrasyonu şeması

ŞEKİL ÜZERİNDE:

SLIP = ÇAMUR

THICKENED BODY= KOYULAŞAN ÇAMUR

FILTER = FİLTRE

FILTRATE = FİLTRAT

CONSTANT = SABİT

$$(2.16) \quad \Delta P = (P_1 - P_2) + (P_2 - P_0) = \text{sabit} \Delta P = (P_1 - P_2) + (P_2 - P_0) = \text{sabit}$$

Burada:

$P_1 - P_2$ = Kek kalınlığındaki basınç düşüşü

$P_2 - P_0 =$ filtredeki basınç düşüşü

2.16, 2.14 ve 2.15'i birleştirdiğimizde şunu elde ederiz:

$$(2.17) \quad P_1 - P_0 = \frac{\eta \alpha_e W_e}{S^2} \cdot \frac{(dV)}{dt} \cdot V + \eta R_s \cdot \frac{(1)}{S} \cdot \frac{(dV)}{dt}$$

$$P_1 - P_0 = \frac{\eta \alpha_e W_e}{S^2} \cdot \frac{(dV)}{dt} \cdot V + \eta R_s \cdot \frac{(1)}{S} \cdot \frac{(dV)}{dt}$$

ki bu da bize şunu verir:

$$(2.18) \quad dt = \frac{\eta \alpha_e W_e}{\Delta P \cdot S^2} \cdot V \cdot dV + \frac{\eta R_s}{\Delta P \cdot S} dV dt = \frac{\eta \alpha_e W_e}{\Delta P \cdot S^2} \cdot V \cdot dV + \frac{\eta R_s}{\Delta P \cdot S} dV$$

Bu denklemin sürenin bir fonksiyonu olarak entegrasyonu da şu denklemleri verir:

$$(2.19) \quad \frac{t}{V} = \frac{\eta \alpha_e W_e}{2 \Delta P \cdot S^2} \cdot V + \frac{\eta R_s t}{\Delta P \cdot S V} = \frac{\eta \alpha_e W_e}{2 \Delta P \cdot S^2} \cdot V + \frac{\eta R_s}{\Delta P \cdot S}$$

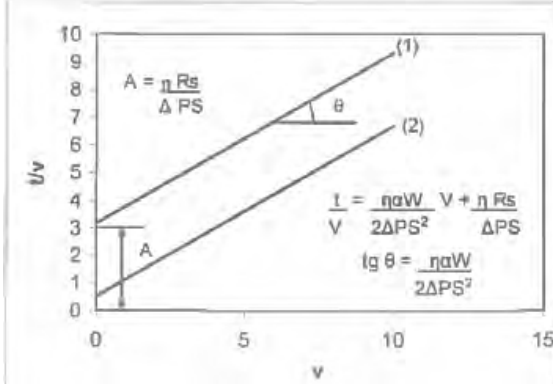
Bu denklemin grafik gösterimi, $y=ax+b$ denklemine sahip düz bir çizgidir ve burada:

$$a = \text{tag} \theta = \frac{\eta \alpha_e W_e}{2 \Delta P \cdot S^2}$$

$$b = \frac{(\eta R_s)}{(\Delta P \cdot S)}$$

Vouillemet tarafından yapılan deneysel çalışmalar [13] 2.19 numaralı denklemden

türetilen teorik değerler ile laboratuvarında ölçülen gerçek değerler arasındaki benzerliğin doğrulanmasını mümkün kılmıştır.



Şekil 2.16 – İdeal filtrasyon ile ilgili denklemin destekleyici grafik gösterimi. Teorik eğri (1) ve deneysel eğri (2).

Şekil incelendiğinde, deneysel verilerin $b=(\eta R_s)/(\Delta P \cdot S)$ için teorik olarak hesaplanana kıyasla çok daha düşük ve pratikte göz ardı edilebilir bir değer verdiği görülmektedir. Bu gerçek temelde XXX suyun taşınmasına karşı filtre direncinin (R_s) koyulaşan çamur kalınlığına karşı dirence kıyasla göz ardı edilebilir olduğu anlamına gelir.

Şekil 2.16'daki deneysel grafikten, α_e için (ortalama) bir değer elde etmek de mümkündür; aslında, $\tan \theta = [(\eta \alpha_e W_e)] / (2 \Delta P \cdot S^2)$ değerini hesaplamak kolaydır, dolayısıyla η , W_e , ΔP , S terimlerinin tamamı ölçülebilir olduğu için α_e 'yi diğer bir deyişle koyulaşan çamurun su filtrasyonuna karşı gösterdiği ortalama direnci tespit etmek mümkündür.

Böylelikle, kalınlık alma hızını kontrol altında tutan unsurun, koyulaşan çamurun özelliklerinden oluştuğu doğrulanmış olur. İlerleyen bölümlerde bu durumun basınçlı döküm için de geçerli olduğunu göreceğiz. Dolayısıyla, 2.19 denkleminin ikinci terimini önemli herhangi bir hataya yol açmaksızın göz ardı edebilir ve denklemi şu şekilde basitleştirebiliriz:

$$(2.20) \quad \frac{t}{V} = \frac{[(\eta \alpha_e W_e)]}{(2 \Delta P \cdot S^2)} \cdot V \frac{t}{V} = \frac{[(\eta \alpha_e W_e)]}{(2 \Delta P \cdot S^2)} \cdot V$$

V=filtratın hacmini 2.20'den türetirsek, şu denklemi elde ederiz:

$$(2.21) \quad V = S \cdot \sqrt{\frac{(2\Delta P)}{\eta\alpha_e W_e}} \cdot \sqrt{t} \quad V = S \cdot \sqrt{\frac{(2\Delta P)}{\eta\alpha_e W_e}} \cdot \sqrt{t}$$

W_e filtrelenen hacmin birimi başına koyulaşan çamur kütlesini temsil ettiği için, koyulaşan çamurun kütlesinin $M=V.W_e$ olduğunu buluruz.

M = koyulaşan çamurun kütlesi

V = filtratın hacmi

W_e = filtrat birimi başına koyulaşan kütle

2.21 denkleminin her iki terimini de W_e ile çarparsak şunu elde ederiz:

$$(2.22) \quad M = S \cdot \sqrt{\frac{(2\Delta P \times W_e)}{(\eta\alpha_e)}} \cdot \sqrt{t} \quad M = S \cdot \sqrt{\frac{(2\Delta P \times W_e)}{(\eta\alpha_e)}} \cdot \sqrt{t}$$

Koyulaşan çamurun kalınlığını tespit etmeyi mümkün kılan denklemi elde etmek için S yüzey alanına, E gözenekliliğine ve M kütlesine sahip kuru çamurun bir kısmının kalınlığının şu denklemle tanımlandığını unutmamak gerekir:

$$(2.23) \quad e = \frac{M}{S(1-E)\rho_s} \quad e = \frac{M}{S(1-E)\rho_s}$$

Burada:

M = kuru koyulaşmış çamurun kütlesi

S = filtrasyonun yüzey alanı

E = koyulaşan çamurun gözenekliliği

ρ_s = kuru bünyenin özkütlesi

2.22 ile 2.23 denklemlerini birleştirirsek, şunu elde ederiz:

$$(2.24) \quad e = S \cdot \sqrt{\frac{(2\Delta P \times W_e)}{(\eta \alpha_e)}} \cdot \sqrt{t} \cdot \frac{1}{S(1-E)\rho_s}$$

$$e = S \cdot \sqrt{\frac{(2\Delta P \times W_e)}{(\eta \alpha_e)}} \cdot \sqrt{t} \cdot \frac{1}{S(1-E)\rho_s}$$

W_e 'nin filtrat birimi başına çökelen kuru çamur olduğunu hatırlarsak, şu denklemi elde edebiliriz:

$$(2.25) \quad W_e = \frac{(1-E)\rho_s}{(y-1)} = W_e = \frac{(1-E)\rho_s}{(y-1)} =$$

Tamamıyla filtrelenmiş olan sıvı çamur içerisindeki katı içeriğin toplam kütlesi

Burada, $y = (1-E)$ 'ye eşit katı hacmi barındıran çamurun hacmi.

2.24 numaralı denklemde W_e 'nin yerine 2.25'i koyar ve gerekli sadeleştirmeleri yaparsak, şu denklemi kullanarak kalınlığı ifade edebiliriz:

$$(2.26) \quad e = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\eta \alpha_e (1-y)(1-E)\rho_s}} \cdot \sqrt{t} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\eta \alpha_e (1-y)(1-E)\rho_s}} \cdot \sqrt{t}$$

2.26 numaralı denklemden, kalınlık almanın nasıl değişiklik gösterdiğini açıkça görebiliriz:

- \sqrt{t} ve $\sqrt{\Delta P}$ (geleneksel dökümde alçının emme basıncı) ile orantılı olarak.
- $\sqrt{\eta}$ (suyun viskozitesi) ve α_c koyulaşan çamur filtrasyona karşı direncinin karekökü ile ters orantılı olarak.

Yukarıda da ifade edildiği gibi, 2.26'da gösterilen α_c ve E ortalama değerleri temsil eder. Deneysel testten elde edilen filtrasyon eğrileri çizilerek α_c grafiksel olarak tespit edilebilir.

Kalınlık almanın çamuru oluşturan partiküllere ilişkin bazı temel parametrelerden (katı fazın özgül yüzey alanı; döküm çamurunun gözenekliliği; taneciklerin dolgu faktörü) nasıl etkilendiğini daha iyi göstermek için, Adcock ve McDowall tarafından geliştirilen Kozeny-Carman denklemini kullanmak gerekir [14]. Bu denklemin geliştirilmesi, koyulaşan çamurun karmaşık gözenekli yapısı aracılığıyla akışkan akışı koşullarının matematiksel incelenmesine dayanır. Tabii ki, bu araştırmayı mümkün kılmak için, bazı basitleştirmeler yapılması gerekti.

- A. Gerçek gözenekli ortam, bir düz silindirik gözenek demetiyle şematize edildi: bu gözenekler birbirinden bağımsız, birbirlerinin aynısı ve genel akış yönüne paralel bir şekilde eğimliydi.
- B. Poiseuille kanunu her bir gözeneğe uygulandı
- C. Gözenekli ortamın tamamı için aynı E gözenekliliği varsayıldı
- D. Katı için aynı özgül yüzey alanı varsayıldı
- E. h_k (Kozeny) sabitinin yaklaşık 5 değerinde olduğu varsayıldı

Sonuç olarak şu denklem elde edildi [8]:

$$(2.27) \quad \frac{e^2}{t} = \frac{2\Delta P \times E^2}{5Sp^2 \times \eta(\gamma-1)(1-E)^2 t} = \frac{2\Delta P \times E^2}{5Sp^2 \times \eta(\gamma-1)(1-E)^2}$$

Burada:

e = t süresi içerisinde oluşan kalınlık

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

ΔP = alçının emme basıncı (ya da basınçlı döküm sırasında çamura uygulanan basınç)

E = döküm keki içerisindeki boşlukların yüzdeki

η = sıvının viskozitesi

S_p = katıların özgül yüzey alanı

y = (1-E) hacminde katı barındıran çamurun hacmi

$5 = h_k =$ Kozeny sabiti

Daha karmaşık bir denklemin paydasında taneciklerin şekline ilişkin bir faktör de bulunurdu [15] ki aslında bu denklemde de, taneciklerin küçük küreler olduğu varsayılarak söz konusu faktör 1'e eşit olacak şekilde dahildir.

2.27 numaralı denklem analiz edildiğinde şu hususlar görülür:

- Oluşan kalınlık miktarının $\sqrt{\Delta P}$ 'ye diğer bir deyişle alçının emmesine (geleneksel döküm) ya da çamura uygulanan basınca (basınçlı döküm) bağlı olduğu doğrulanmıştır.
- Gördüğümüz gibi, viskozite ne kadar düşükse, kalınlık alma hızı da o kadar yüksektir.
- Katı fazın özgül yüzey alanındaki düşüş, kalınlık almasını destekler. Bu durum, deneylerde birçok kez doğrulanmış olan hususu teyit eder: düşük bir özgül yüzey alanı daha kalın partikül boyutuna bağlıdır ve kalın partikül boyutu da daha gözenekli ve dolayısıyla daha geçirgen bir sertleşmiş kek oluşumuna yol açar.
- E ile ifade edilen dökümün gözenekliliğinin kalınlık alma süresi üzerinde çok büyük bir etkisi vardır: E ne kadar büyükse, kalınlık o kadar hızlı oluşacaktır.

Kalınlık alma hızı aynı zamanda döküm ve kalıp içerisinde sıvının taşınmaya karşı direncinin bir fonksiyonu olarak da ifade edilebilir. Buna ilişkin denklem şöyledir:

$$(2.28) \quad e = \left[\left(2 \times \frac{1}{k} \times \Delta P \times \frac{t}{\eta} \times R_c \right) + \left(\frac{R_m}{R_c} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{R_m}{R_c} \right)$$

$$e = \left[\left(2 \times \frac{1}{k} \times \Delta P \times \frac{t}{\eta} \times R_c \right) + \left(\frac{R_m}{R_c} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{R_m}{R_c} \right)$$

Burada:

e = döküm kalınlığı

k = dolgu faktörü

t = süre

R_c = sıvının döküm içerisinde taşınmaya karşı direnci

R_m = sıvının kalıp içerisinde taşınmaya karşı direnci

ΔP = kapillerlerin emme basıncı

η = taşınan sıvının viskozitesi

İlerleyen birkaç bölümde, temel çalışma parametrelerinin ve çamurun en önemli özelliklerinin kalınlık alma üzerindeki etkileri incelenecektir.

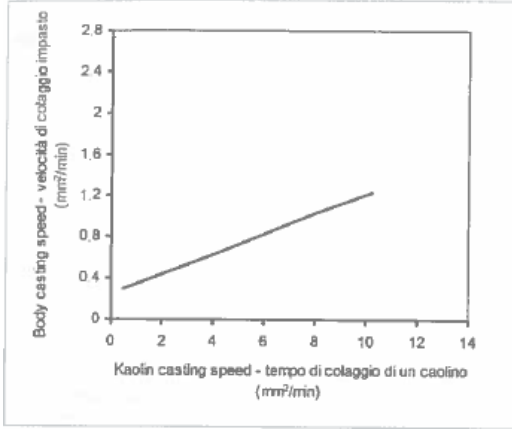
2.3.2. Alçı kalıplarda çamur özelliklerinin kalınlık alma süresi üzerindeki etkileri

Çamurun birtakım karakteritik özellikleri kalınlık almayı etkilemektedir. Bu karakteristiklerin en önemlisi dökülen çamurun porozitesi(E),ve katı fazın spesifik yüzey alanıdır (Sp). Fakat diğer aşağıdaki masse özellikleri de kalınlık almaya etkilidir.Bunlar:

- Çamurun kimyasal ve mineralojik kompozisyonu
- Çamurdaki deflokulasyon durumu
- Çamurun litre ağırlığı
- Çamur hazırlama metodu, çamurun açılması sırasında enerji sağlayan partiküllerin miktarı
- Sıcaklık

2.3.2.1 Çamurun kimyasal ve mineralojik kompozisyonu

Çamurun bileşimi, özellikle kullanılan plastik ham maddelerin miktarı ve türü ile bağlantılı olarak, kalınlık alma ve sertleşme hızlarını etkiler. Genellikle, daha az plastik bir kil içeren bir çamura kıyasla daha plastik bir kil içeren bir çamurun geçirgenliği daha düşük olacaktır ve dolayısıyla kalınlık alma süresi daha uzun olacaktır. Şekil 2.17 daha az plastik olan kaolenler yerine daha plastik olanlar kullanıldığında döküm hızının artışı göstermektedir, fakat kilin etkisini sadece plastikliğini analiz ederek değerlendirmek yanlış olacaktır. Aynı zamanda, partiküllerinin özgül yüzey alanını, boyutlarını ve morfolojisini de göz önünde bulundurmak gerekir.



Şekil 2.17 – 100 Poise'lık sabit tiksotropiye sahip bir çamurun (Brookfield V60) döküm hızı üzerinde kaolenin döküm hızına etkisi.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Body casting speed (mm²/min) = çamur döküm hızı (mm²/dk.)

Kaolin casting speed (mm²/min) = Kaolen döküm hızı (mm²/dk.)

Bir çamurun oluşturduğu massenin geçirgenliği sadece kil bileşiklerinin fiziksel özelliklerine bağlı değildir, aynı zamanda çamurun diğer bileşikleriyle bağlantılı olarak deflokülasyon sırasındaki davranışlarına da bağlıdır. Bunu doğrulamak için, Tablo 3 farklı plastik ham maddelerle elde edilmiş bir çamurun davranışını göstermektedir. Bütün çamurlar, 1 saat 30 dakika içerisinde 8 mm'lik bir kalınlık almasına sahiptir.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Provins kili barındıran çamur, tiksotropisi daha düşük olmasına ve daha düşük bir su içeriğine sahip olmasına rağmen, 1 numaralı kil ile aynı kalınlık alma hızına sahiptir. Dolayısıyla kuruma daha kolay olacaktır.

Tablo 3 – Bir buçuk saat içerisinde 8 mm kalınlık oluşturulmak üzere defloküle edilen çamur

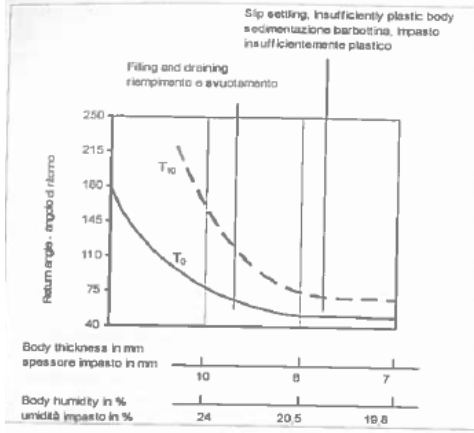
Gallenkamp ölçümü					Kil özellikleri	
Plastik bileşik	Sodyum silikat	Viskozite	60 dakikada tiksotropi	Kek Nemi %	Silika içeriği %	Özgül yüzey m ² /g
Provins havzası	2.4	320°	60°	21.9	33	23
Kil n°1	3.7	310°	180°	23.5	34	21.9

Kullanılan ham kil malzemelerinin mineralojik tipinin de son derece önemli olduğu unutulmamalıdır. Örneğin, bentonitin varlığı çamurun deflokülasyonunda önemli sorunların yanı sıra kalınlık alma hızında çok şiddetli düşümlere yol açar. Çamurun davranışında kalınlık alma hızına kıyasla diğer bir belirleyici unsur da, kil/kaolen oranı ile plastik maddeler/plastik olmayan maddeler oranıdır. Her iki durumda da, bu oranları düşürmek koyulaşan çamur tabakasının geçirgenliğini artırır ve dolayısıyla, kalınlık hızını artırır. Sertleşme hızı da koyulaşan çamurdan kalıba doğru meydana gelen su hareketinden etkilendiği için, benzer bir etki sertleşme hızı üzerinde de oluşur.

2.3.2.2. Çamurun deflokülasyon durumu

Bir çamurun deflokülasyon durumu, çamuru oluşturan koloidal partiküller (yani temelde kil partikülleri) üzerinde bulunan elektrik yüklerinin türü tarafından belirlenir. Elektrik yükleri, partiküller arasındaki etkileşimi ve dolayısıyla bunların hareketliliğini yönlendirir. Ayrıca, bütün partiküllerin boşluk içerisinde kazandıkları yapı da deflokülasyon durumuna bağlıdır: son derece iyi bir şekilde defloküle olmuş ve düşük tiksotropiye sahip bir çamur, birbirlerine paralel katmanlar şeklinde düzenlenmiş kil misellerine sahiptir (dolayısıyla, bu pek geçirgen olmayan bir konfigürasyondur). Öte yandan yeterince defloküle olmayan, belirgin tiksotropik davranışa sahip bir çamurun partikülleri “iskambilden yapılmış bir kuleye benzer” bir şekilde dizilmiştir, diğer bir deyişle bolca boşluk içeren ve dolayısıyla oldukça geçirgen bir yapı söz konusudur.

Yukarıda anlatılanlardan, çamurun diğer bütün özellikleri aynı iken, deflokülasyon durumunun kalınlık konusunda nasıl kilit bir rol oynadığı açıkça görülmektedir. Şekil 2.18 [13], Gallenkamp viskozimetresi kullanılarak görünür viskozite ölçülme suretiyle elde edilen normal bir çamur deflokülasyon eğrisini göstermektedir. T_0 olarak işaretlenen eğri, karıştırmanın kesilmesinin hemen ardından çamurdan alınan ölçümlere istinaden, akışkanlaştırıcı madde miktarındaki artışın bir fonksiyonu olarak görünür viskozite trendini temsil etmektedir.



Şekil 2.18 – Deflokülasyon eğrisi ve kalınlık süreci

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Slip settling, Insufficiently plastic body = Çamurun çökmesi, yeterince plastik olmayan çamur

Filling and draining = Doldurma ve boşaltma

Return angle = Dönüş açısı

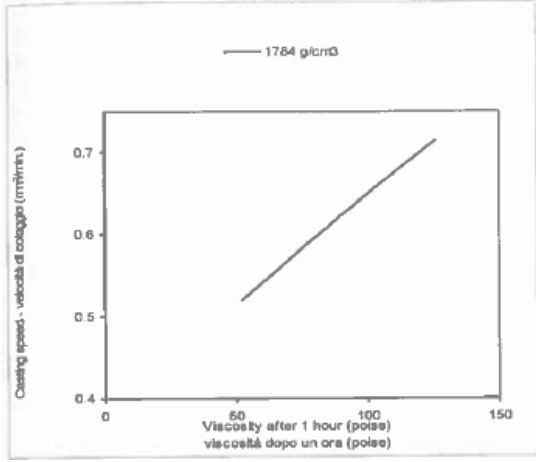
Body thickness in mm = mm olarak kek kalınlığı

Body humidity in % = % olarak kek nemi

Öte yandan T_{10} çamurun tiksotropik davranışını vurgulamak için, karıştırılmadan bir süre bekletilen aynı çamurdan elde edilmiştir. Söz konusu Şekil 2.18'de dökümün kalınlık ve nem içerik trendleri farklı görünür viskozite seviyeleri ile bağlantılıdır (bundan sonra, görünür viskozite yerine sadece viskozite ifadesi kullanılacaktır).

Deflokülasyon seviyesindeki bir artışın (daha düşük viskozite ve tiksotropi) oluşan kalınlıkta ve dökümdeki nemde azalmalara yol açtığı ve benzer şekilde tersi durumun da geçerli olduğu kolaylıkla görülebilmektedir.

Şekil 2.19 [18], döküm hızının nasıl çamurun tiksotropik davranışına bağlı olduğunu ortaya koymaktadır: bu şekilde, tiksotropi karıştırılmadan bir saatlik dinlendirme sonrasında viskozite değeri olarak ölçülmüştür. Diğer bütün koşullar eşit kalmak kaydıyla, tiksotropi değerinin iki katına çıkarılması döküm hızında yaklaşık %30'luk bir artışa tekabül etmektedir.



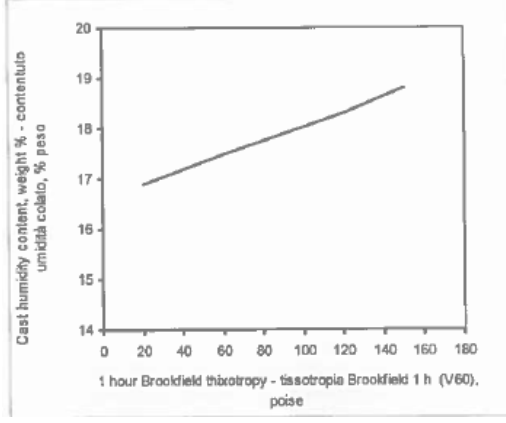
Şekil 2.19 – Tiksotropinin bir fonksiyonu olarak döküm hızı (kaynak: BAYLEY)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Casting speed (mm²/min.) = Döküm hızı (mm²/dak.)

Viscosity after 1 hour (poise) = 1 saat sonunda viskozite (poise)

Fakat, yukarıda da bahsedildiği gibi, bu olumlu husus aynı zamanda olumsuz bir hususu da ifade eder: döküm parçasının su içeriğinin artması. Şekil 2.20 tiksotropinin bir fonksiyonu olarak döküm parçasındaki nemin artışını göstermektedir.



Şekil 2.20 – Tiksotropinin bir fonksiyonu olarak döküm nemi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Cast humidity content, weight % = Döküm nem içeriği, ağırlığın %'si

1 hour Brookfield thixotropy (V60), poise = 1 saat Brookfield tiksotropi (V60), poise

Bu olumsuz bir durumdur çünkü döküm parçası ne kadar nemli ise, o kadar kararsızdır ve dolayısıyla deforme olabilir ve işlenemez. Ayrıca, aşırı nem bir sonraki kuruma aşamasını daha karmaşık ve tehlikeli (çatlama riski) hale getirir. Tiksotropi aşırı seviyede düşük olduğunda, diğer sakıncalar da söz konusudur: kalınlık süresi uzar ve döküm parçası sert ve pek plastik olmayan bir yüzeye sahip olur. Bu durum, diğer işleme aşamalarında çatlamalara yol açabilir. Çok defloküle olmuş bir çamur genellikle su geçirgenliği fazla ve daha önce de belirtildiği gibi, kalınlık almasını yavaşlatan bir döküm zarına (kalıpla temas halindeki birinci katman) yol açar, fakat aynı zamanda döküm parçasının kalınlığının nem homojenliğinden yoksun olmasına da sebep olur: bunun sonucunda da kurutma sırasında farklı küçülme oranları ve akabinde de çatlama meydana gelebilir. Aşağıdaki Tablo 4, çamurun deflokülasyon durumunun etkisine ilişkin bir özet sunmaktadır.

Tablo 4 – Defloküasyon durumunun döküm üzerindeki etkisi

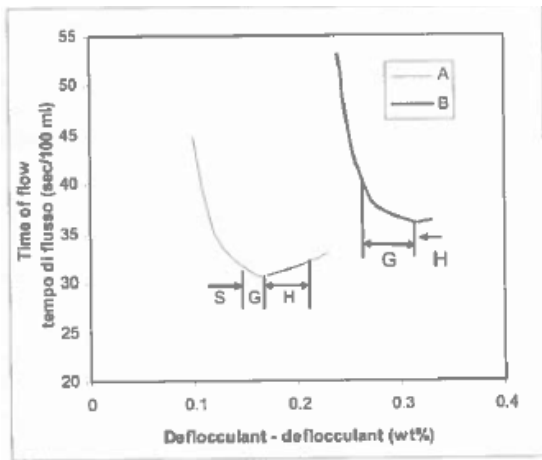
Defloküasyon durumu	Döküm üzerindeki etkileri
Fazla yüksek viskozite	Dökümde kusurlara yol açmaz
Fazla düşük viskozite	Döküm lekeleri ve deformasyonlar
Fazla yüksek tiksotropi	Hızlı döküm , yavaş ve/veya eksik drenaj, fazla ıslak ve kararsız döküm parçası, daha uzun sertleşme süresi, kalınlıkta daha yüksek nem oranı (kurumanın zor olması)
Fazla düşük tiksotropi	Yavaş döküm hızı , kolay drenaj fakat damlamalar olur, döküm sert ve pek plastik değil (sertleşmede çatlak riski), daha kritik sertleşme süresi, daha hızlı kuruma

Şekil 2.21 [7] iki farklı çamura ilişkin akışkanlaşma eğrilerini göstermektedir. Eğrinin her bir alanı bir harf ile işaretlenmiştir ve söz konusu harflerin anlamları şu şekildedir:

S = düşük defloküasyon alanı. Yüksek tiksotropi nedeniyle kalınlık alma iyidir fakat döküm fazla yumuşak ve kararsızdır (deforme olabilir).

G = ideal defloküasyon alanı. Dolayısıyla, kalınlık alma, sertleşme ve dökümün kararlılığı iyidir.

H = aşırı defloküasyon alanı. Tiksotropi düşüktür, kalınlık alma hızı düşüktür, döküm fazla serttir ve düzensizdir, düşük plastiklik çatlama riski yaratır.



Şekil 2.21 – İki döküm çamuru için defloküasyon durumunun, bir açıklık deliği (orifis) aracılığıyla akıtılan çamur akış süresi üzerindeki etkisi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Time of flow (sec/100 ml) = Akış süresi (sn./100 ml.)

Deflocculant (wt%) = Deflokülant (ağırlık %'si)

Göreceğiniz üzere, şekildeki iki çamurun davranışı belirgin ölçüde farklıdır: özellikle B deflokülant eğrisine sahip çamur A çamuruna kıyasla çok daha geniş ve iyi bir deflokülasyon aralığına sahiptir. Endüstriyel ölçekte bu durum B çamurunun çok daha kararlı olduğunu ve üretim sorunlarına yol açmaksızın deflokülasyon durumundaki ufak değişikliklere tolerans gösterebildiğini ifade eder. Ham maddelerin (granülometri eğrisi, çözünebilir tuzlar), suyun (pH, çözünebilir tuzlar, yabancı maddeler) ve akışkanlaştırıcı maddelerin özelliklerindeki tutarsızlıklar nedeniyle, maalesef, imalat döngüsünde bu tür ufak değişimler her zaman için mümkündür. Akışkanlaştırıcı maddeler ile ilgili olarak son bir tespit yapmak gerekirse: çamurun akışkanlaşma eğrisi, döküm, sertleşme hızları ve diğer birçok özelliğinin gelişimi aynı zamanda göz ardı edilemeyecek bir ölçüde akışkanlaştırıcı maddelerin türü ve bileşimine de bağlıdır. Aslında bunların farklı bir etkileri vardır: bazıları tiksotropik gelişimi sınırlandırmaksızın viskoziteyi daha da düşürürken, bazıları da tiksotropiyi düşürmek konusunda daha etkilidir. Dolayısıyla, doğru akışkanlaştırıcı madde karışımını seçmek son derece önemlidir ki her ham madde türü farklı bir deflokülant türünden farklı dozlarda gerektirdiği için söz konusu karışım hiçbir zaman aynı olmayacaktır.

Buraya kadar anlatılanlardan yola çıkarak, bir döküm çamuru için doğru akışkanlaştırma seviyesini oluşturmanın son derece önemli olduğunu anlayabiliriz. Bunu yaparken çamurun tiksotropik gelişimi ve tesisteki modelleme ile döküm teknolojisinden kaynaklanan gereklilikler konusunda çok iyi şekilde bilgi sahibi olmak gerekir.

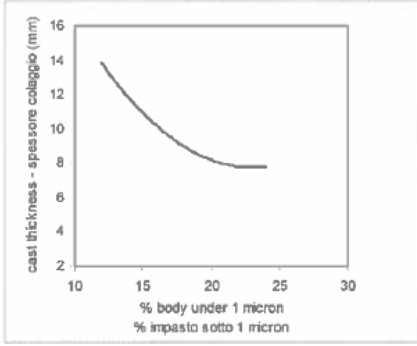
Aşağıdaki Tablo 5, vitrifiye ve fire clay için viskozite ve tiksotropi (1 dakikada) açısından endüstride genellikle karşılaşılan ortalama değerleri (Gallenkamp derecesi olarak ifade edilen) göstermektedir.

Tablo 5 – Fire clay çamuru ve vitrifiye çamuru ile ilgili karakteristik viskozite ve tiksotropi değerleri

Çamur tipi	Viskozite (° G)	1 dak. tiksotropi (° G)
Vitreous-china	280÷320	25÷40
Fire clay	190÷280	30÷45

2.3.2.3. Çamur partiküllerinin partikül boyutu dağılımı

Genel olarak, çamuru oluşturan partiküllerin boyut dağılımının koyulaşan çamurun reolojik davranışını ve geçirgenliğini önemli ölçüde etkilediğini söyleyebiliriz: diğer bir deyişle, döküm hızını (ve aynı zamanda sertleşme süresini) etkiler. Söz konusu etkinin boyutları, Şekil 2.22'de [19] açıkça görülmektedir; Şekil 2.22 çamur içerisinde bulunan 1 mikronun altındaki partiküllerin %'sinin bir fonksiyonu olarak dökümün kalınlığının gelişimini göstermektedir. Görülebileceği üzere, diğer bütün koşullar eşitken, 1 mikronun altındaki partikül içeriğini arttırmak oluşan kalınlığı azaltır.



Şekil 2.22 – Çamur içerisinde bulunan 1 mikronun altındaki partiküllerin %'sinin bir fonksiyonu olarak döküm kalınlığının davranışı

ŞEKİL ÜZERİNDE:

cast thickness (mm) = döküm kalınlığı (mm)

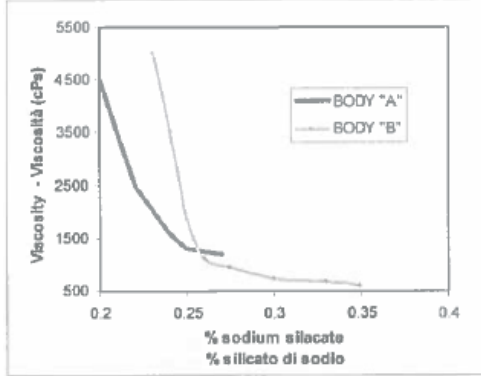
% body under 1 micron = 1 mikronun altında çamur %'si

Plastik olmayan maddelerin partikül boyutlarının etkisini en iyi gösteren Şekil 2.23'tür. Bu şekil, aynı formülasyona sahip (%52 plastik ham maddeler, %48 plastik olmayan ham maddeler) fakat plastik olmayan ham maddelerin partikül boyutu açısından farklılık gösteren iki çamurun deneysel deflokülasyon eğrilerini göstermektedir. Siyah eğri daha kalın partiküllü çamura aitken, gri olan daha ince partiküllü çamura aittir. Phelps ve MacLaren [20], daha ince plastik olmayan maddeler içeren çamurun defloküle olması için daha fazla miktarda akışkanlaştırıcı maddenin gerektiğini ortaya koymuşlardır. Fakat söz konusu çamur defloküle olduktan sonra, daha düşük viskoziteye ve daha düşük seviyede tiksotropik gelişime sahip olmuştur ki bu da daha düşük kalınlık kapasitesiyle sonuçlanır.

Partikül boyutu eğrisinin, koyulaşan çamurun partiküllerinin uzamsal düzeni ve dolayısıyla çamurun geçirgenliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Döküm çamur

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

katmanının yapısı, tek tek partiküllerin boyutuna, şekline ve düzenine bağlıdır. Özellikle, partiküllerden oluşan bir katmanın dolgu yoğunluğu (ve dolayısıyla gözenekliliği) partiküllerin uzamsal düzeninin tipine göre farklılık gösterir. Şekil 2.24 aynı çapa sahip (ideal olarak) küresel partiküllerin olası dolgu düzenlerini göstermektedir. Dolgu yoğunluğu, kübik düzende %52 ile tetrahedral ve piramitsi düzenler için %74 arasında farklılık gösterir.

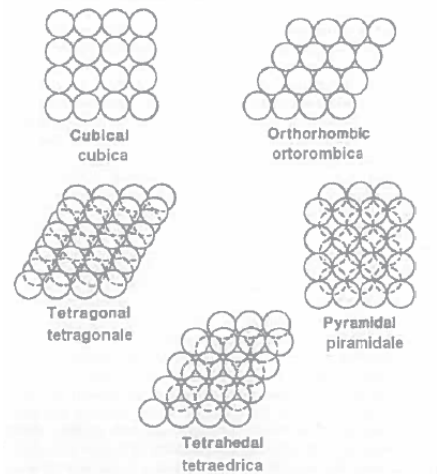


Şekil 2.23 – A ve B çamurları içerisindeki plastik olmayan bileşenlerin granülometrik dağılımı

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Viscosity (cPs) = Viskozite (centi-Poise)

% sodium silicate = % sodyum silikat



Şekil 2.24 – Tek tip kürelerin sıralı dolgu düzenleri

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Cubical = Kübik

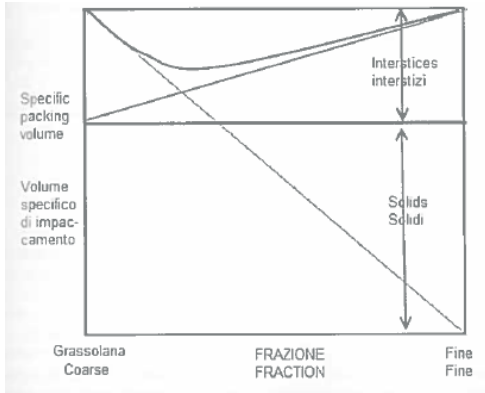
Orthorhombic = Ortorombik

Tetragonal = Tetragonal

Pyramidal = Piramitsi

Tetrahedral = Tetrahedral

Dolgu yoğunluğunun (ve dolayısıyla gözenekliliğin) partiküllerin çapına bağlı olmadığını hatırlatmakta fayda var. Gözeneklilik partiküller arasındaki boş hacim oranını ifade eder. Gözenek boyutu tabii ki partikül boyutu ve dolgu düzeninin türüne bağlıdır. Durum, gerçekte de olduğu gibi, partiküller aynı boyutta olmadığında ve partikül boyutu oldukça geniş bir aralığa dağıldığında değişir. Bu durumda, daha küçük olan partiküller daha büyük, daha sıkıştırılmış olan (birbirleriyle temasta olan) partiküllerin arasındaki boşluklara sığar ve hem toplam gözenekliliği hem de tek tek gözeneklerin boyutunu azaltır. Furas'ın [21] geliştirdiği bir modele göre, daha küçük partiküllere daha büyük partiküller eklemek gözenekliliği azaltır. Bu, Şekil 2.24'te gösterilmiştir; şekilde büyük ve küçük partiküller arasındaki orana göre, dolgu yoğunluğunun (ve ters oranda gözenekliliğin) sürekli olarak değiştiği görülebilir.



Şekil 2.25 – Daha küçük partiküllerin daha kalın olanlar arasına dolmalarına ilişkin dolgu yoğunluğunun teorik değişimi. Düz çizgi, boyut oranı sonsuzken ideal dolguyu, kalın çizgi ise tipik davranışı göstermektedir.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Specific packing volume = Özgül dolgu hacmi

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Interstices = Partiküller arası boşluklar

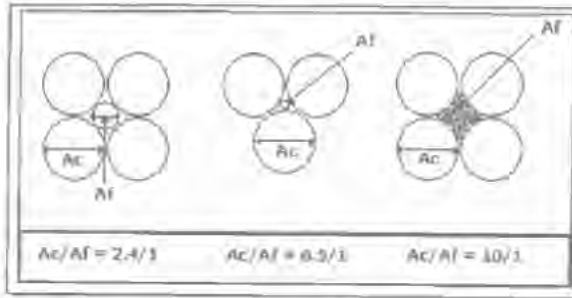
Solids = Katı maddeler

Coarse = Kalın

Fine = İnce

FRACTION = Fraksiyon

Şekil 2.26 ve bununla alakalı olan Tablo 5, daha büyük partiküllerin çapı ile daha küçük olanların çapı arasındaki oranın azalan gözeneklilik üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir: özellikle, büyük partiküller ile küçüklerin çapları arasındaki oran büyüdükçe, gözeneklilik azalmaktadır. Öte yandan, gözenekliliğin de çeşitli partikül boyutu fraksiyonlarının farklı yüzdeleri üzerinde nasıl belirgin bir etkiye sahip olduğu da aşikardır.



Şekil 2.26 – Kalın partiküller arasındaki düzlemsel boşlukları dolduran küreler

Tablo 5 – Farklı boyutlardaki karma kürelerin dolgu yoğunluğu

Çap (cm)					Dolgu yoğunluğu (%)	
	1.28	0.155	0.028	0.004	Hesaplanmış	Deneysel
Kürelerin ağırlık fraksiyonu	1.000	-	-	-	60.5	58.0
	0.726	0.274	-	-	84.8	80.0
	0.647	0.244	0.109	-	95.2	89.8
	0.607	0.230	0.102	0.061	97.5	95.1

Kaynak: R.K. Mc Geary, *J. Am. Ceram. Soc.* 44 (10), 513-522 (1961).

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Partiküllerin şekilleri son derece farklı olduğu ve bunların dolgu seviyesi üzerinde büyük bir etkisi bulunduğu için, küreler olarak idealize edilmiş olan partikül modellerinin gerçeği yansıtmadıkları aşikardır. Endüstride, çamur her biri sürekli bir partikül boyutu dağılımına sahip olan ham maddelerin oluşturduğu bir bileşimdir. Bu durum, teorik olarak öngörülebilenden daha yüksek bir dolgu seviyesine yol açar.

Sürekli dağılımla karakterize edilen çamurların partikül boyutlarını incelemek için, Andreasen aşağıdaki denklemi formüle etmiştir [22]:

$$(2.29) \quad \frac{CPFT}{100} = \left[\frac{D}{D_L} \right]^n \frac{CPFT}{100} = \left[\frac{D}{D_L} \right]^n$$

Burada:

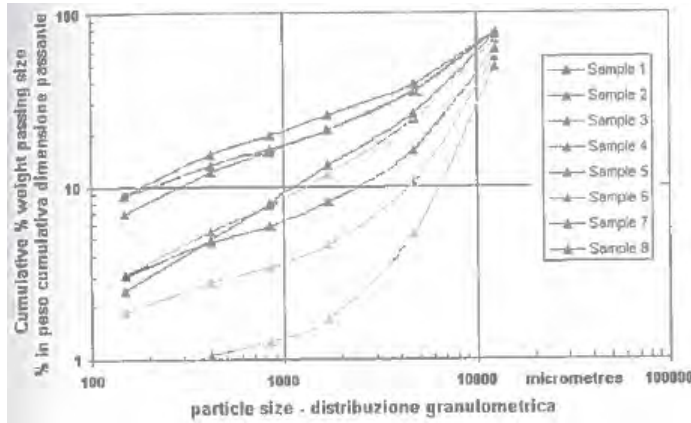
CPFT = daha ince partiküllerin kümülatif yüzdesi

D = partikül çapı

DL = en büyük partikülün çapı

n = dağılım modülü

Andreasen, bir D_{max} söz konusu olduğunda, n azalırken partiküllerin dolgusunun gözenekliliğinin de azaldığını belirtir. Bu durum şu şekilde tanımlanabilir: (bkz. Şekil 2.27)



Şekil 2.27 – Sekiz numunenin boyut dağılımı

ŞEKİL ÜZERİNDE:

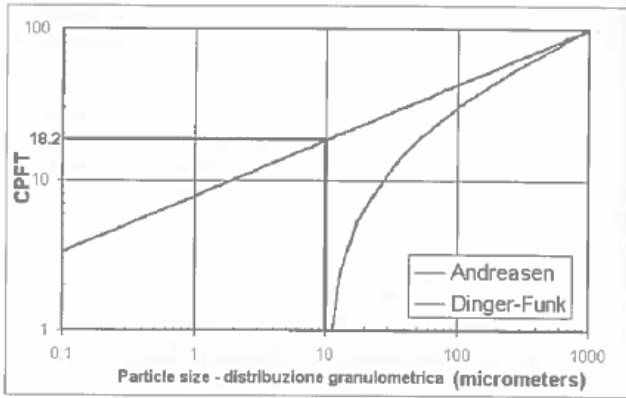
Cumulative % weight passing size = boyutu geçen tanelerin kümülatif % ağırlık

Particle size = Partikül boyutu

CPFT'nin gelişimini partikül boyutunun bir fonksiyonu olarak logaritmik bazda grafikleştirirsek, elde edilen eğri bazen düz bir çizgiye benzer. Bu çizginin eğimi n dağılımının modülü iken, çizginin CPFT'nin %100'ü ile kesiştiği nokta D_L 'dir. Buraya kadar anlatılanlardan yola çıkarak, n 'yi azaltmanın gözenekliliği de azalttığı açık bir şekilde anlaşılabilir: modülün düşük olması aslında daha düşük bir eğim anlamına gelir ki bu da ince partiküllerin daha fazla miktarda olması demektir. Aslında, Andreasen'in denkleminin bir sınırı vardır: gerçekçi olmayan bir durumda 10^{-50} m çapa sahip bir partikülün CPFT'sini hesaplamayı en azından teorik olarak mümkün kılacak şekilde en küçük partiküllerin çapını göz önünde bulundurmamaktadır. Dinger- Funk [23], gerçekte sürekli bir partikül boyutu dağılımının aynı zamanda D_s ile ifade edilen en küçük partiküllerin çapı ile de karakterize edildiğini göz önünde bulundurarak, Andreasen denklemini düzeltilmiş ve şu denklemi elde etmiştir:

$$(2.29) \quad \frac{CPFT}{100} = \frac{D^n - D_s^n}{D_L^n - D_s^n} \frac{CPFT}{100} = \frac{D^n - D_s^n}{D_L^n - D_s^n}$$

Şekil 2.28 [23], hem Andreasen denklemine hem de Dinger-Funk düzeltmesine göre (bu ikinci durumda, minimum çap $D_s = 10$ mikron olacak şekilde) modülü $n=0,37$ olan sürekli bir partikül dağılımı için CPFT gelişimini göstermektedir. 10 mikronluk minimum çap değerine gittikçe yaklaşan iki gelişim arasındaki farkın nasıl açıldığını görebiliriz.



Şekil 2.28 – $n = 0,37$ olmak kaydıyla, Andreasen ve Diner-Funk partikül boyutu dağılımı

ŞEKİL ÜZERİNDE:

CPFT = CPFT (daha ince partiküllerin kümülatif yüzdesi)

Particle size = Partikül boyutu dağılımı (mikrometre)

Eğer 10 mikron boyutunda, Andreasen'in eğrisini kesen dikey bir çizgi çizersek, bu çizgi bize 10 mikronda partiküllerin %18,2'sinin 10 mikrondan daha ince olduğunu söyleyecektir. Fakat partiküllerin minimum çapının tamamına 10 mikron olduğu tespit edilmiş olduğundan, Andreasen eğrisinin ifade ettiği şey var olan partiküllerin sayısını değil, 10 mikronun altında dolguyu tamamlamak için var olması gerekenlerin (10 mikronun altında) sayısını gösterir. Dolayısıyla esasında, %18,2 değeri doldurulması gereken boşlukların yüzdesini, dolayısıyla belirtilmiş olan özelliklere sahip partiküllerin boyut dağılımına ilişkin tipik dolgu gözenekliliğini ifade eder. Öyleyse, bir seramik çamurunda normalde olduğu gibi, tozlardan oluşan bir karışımın dolgu seviyesi (ya da gözenekliliği ve dolayısıyla geçirgenliği) partikül boyutu dağılımına, bunun modülüne, D_{max} / D_{min} oranına ve partiküllerin gerçekteki şekline bağlı olduğunu özetleyerek bu bölümü sonlandırabiliriz. Dolayısıyla daha iyi geçirgenliğe sahip çamurlar elde etmek için, partikül boyutu dağılımına ilişkin mümkün olduğunca dar bir çan eğrisine, diğer bir deyişle mümkün olduğunca küçük bir D_{max} / D_{min} oranına sahip olmak tercih edilir. Çamur içerisinde bulunan tozların partikül boyutu eğrisine ilişkin bir seçim yapılırken, partikül boyutu dağılımı ve gözenekliliğin aşağıdaki unsurlar üzerinde de önemli etkiye sahip olduğu mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır:

- Ham haldeyken mekanik mukavemet (daha kalın partiküller, büyük gözenekler, daha düşük direnç).
- Ham haldeyken küçülme: çok sayıda boşluk, hızlı kuruma, yüksek oranda küçülme.
- Pişirildikten sonra su emme ve mekanik mukavemet (özellikle vitrifiye aşamasının konu dışı olduğu fire clay için): ilk etaptaki partikül boyutu gözenekliliği (ve dolayısıyla pişirildikten sonraki mekanik mukavemeti) etkiler. Eğer başlangıç gözenekliliği daha yüksek seviyedeyse, pişirilmiş parçanın gözenekliliği de daha yüksek olur.

2.3.2.4. Çamurun özgül ağırlığı (Yoğunluğu-litre ağırlığı)

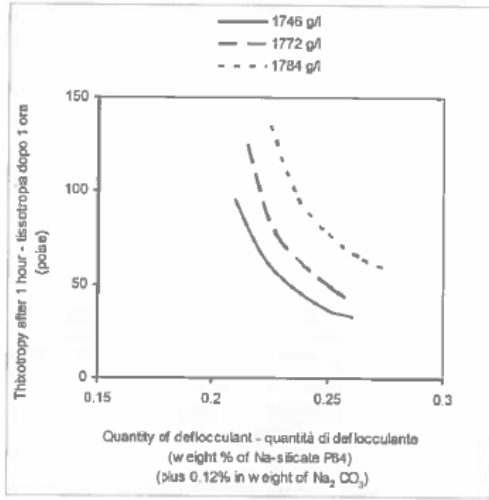
Genel olarak, sağlık gereçlerine yönelik bir çamurun özgül ağırlığının, kullanılan ham maddelerin türüyle bağlantılı olarak, mümkün olduğunca yüksek olması gerektiğini söyleyebiliriz. Bu, daha sonraki işleme aşamalarında giderilmesi gereken suyun miktarını azaltır. Genellikle, endüstride kullanılan özgül ağırlıklar farklı çamurlar için farklıdır (Tablo 6):

Tablo 6 – Seramik çamurlarının özgül ağırlıkları

	Özgül ağırlık (Kg/l)	Ağırlık içerisinde % su
Vitrifiye	1,795-1,810	27 %
İnce fire clay	1,930-1,945	22 %
Fire clay	1,980-1,990	17 %

Fakat bir çamur formüle edilirken, özgül işleme ağırlığını seçerken bunun kritik özgül ağırlığa (diğer bir deyişle, aşıldığında çamurun reolojisinin artık iyi bir durumda olmadığı, ulaşılabilecek maksimum değer) kıyasla çok az miktarda daha düşük tutulması gerekir. Bu tedbirliliğin sebebi reolojik olarak kararlı bir çamura ihtiyaç duyulmasıdır. Dolayısıyla, kritik özgül ağırlık alanına yakın değerlerde çalışmak mümkün değildir çünkü küçük değişimler (sudaki, ham maddedeki, hazırlama yöntemindeki) kararlı olmayan, kararsız bir çamura ve beraberinde endüstriyel üretim açısından sorunlara yol açabilir. Bu hususu akılda tutmak suretiyle, bir çamurun özgül ağırlığının reolojik davranışını ve böylelikle de kalınlık süresini nasıl etkilediğini ayrıntılı bir şekilde analiz etmeye geçebiliriz.

Şekil 2.29 [18], deflokülan dozu ve özgül ağırlığın değişimiyle birlikte bir çamurun tiksotropik değişimini tanımlayan eğrileri göstermektedir.



Şekil 2. 29 – Farklı deflokülan dozları ve özgül ağırlık seviyelerinde tiksotropi değişimi (kaynak: BAYLEY-MOBLE)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Thixotropy after 1 hour (poise) = 1 saat sonunda tiksotropi (poise)

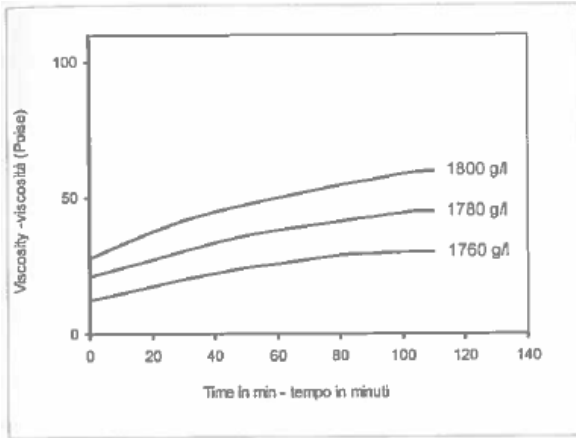
Quantity of deflocculant = Deflokülant miktarı

(weight % of Na-silicate P84) = (çamurdaki ağırlık %'si olarak Na-silikat P84)

(plus 0.12% in weight of Na₂ CO₃) = (çamurdaki artı ağırlığın %0,12'si Na₂ CO₃)

Aynı deflokülant dozu ile özgül ağırlık 1,784 kg/l'den 1,746'ya düşürüldüğünde, tiksotropi değerinin yaklaşık %45 düştüğü kolaylıkla doğrulanabilir. Pratikte bu, çok daha düşük dozda (yaklaşık %11-12 daha az) akışkanlaştırıcı madde ile aynı tiksotropi seviyesini elde edebileceğimiz anlamına gelir.

Aşağıdaki Şekil 2.30'da yer alan grafik, çeşitli özgül ağırlık değerlerinin bir fonksiyonu olarak bir çamurun tiksotropik gelişimini (hareketsiz çamurun zaman içerisinde viskozitesindeki artış) göstermektedir: özgül ağırlığı 40 g/l azaltmak, 100 dakika sonra viskozite değerinin yaklaşık olarak yarı yarıya düşmesine yol açmaktadır.



Şekil 2.30 – Farklı çamur özgül ağırlıkları için zaman içerisinde viskozite artışı (tikotropik etki)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Viscosity (Poise) = Viskozite (Poise)

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

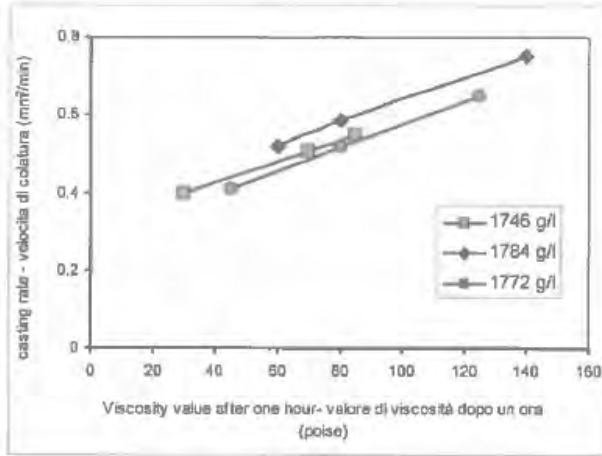
Time in min = Dakika olarak süre

Buraya kadar anlatılanlardan, şu hususları özetleyebiliriz:

- Daha düşük bir özgül ağırlık, eşit dozda akışkanlaştırıcı madde ile tiksotropide bir düşüşe yol açar.
- Eşit tiksotropi söz konusu olduğunda, daha düşük özgül ağırlığa sahip bir çamurun masse hali için daha fazla su bertaraf etmesi gerekir.

Dolayısıyla, daha yüksek su içeriği söz konusu olduğunda, kalınlık hızının daha düşük olacağı düşünülebilir. Aslında, Balley-Noble tarafından yapılan bir çalışma [18] (Şekil 2.31), daha yüksek katı içeriğine sahip bir çamurun daha yüksek döküm hızına sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Şekil 2.32 yoğunluğa ek olarak, döküm hızını deflokülant miktarı ile kıyaslayarak aynı etkiyi göstermektedir. Çamuru oluşturan ham maddelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini değiştirmek suretiyle şu ana kadar incelenen olayları değiştirmek mümkündür.

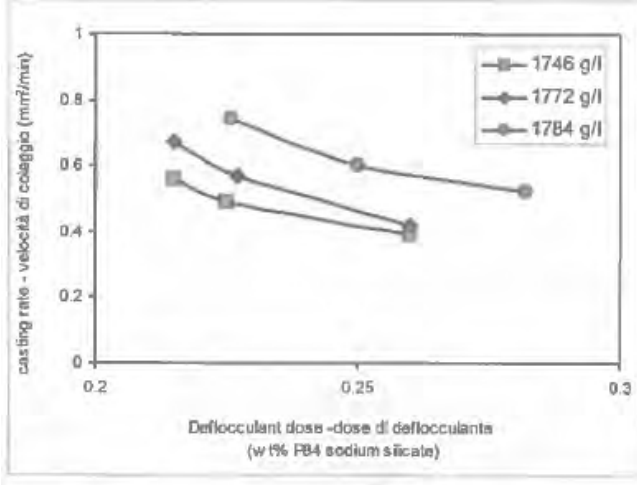


Şekil 2.31 – Farklı yoğunluğa sahip bir döküm çamurunda tiksotropinin bir fonksiyonu olarak döküm hızının değişimi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

casting rate (mm²/min) = döküm hızı (mm²/dak.)

Viscosity value after one hour (poise) = Bir saat sonunda viskozite değeri (poise)



Şekil 2.32 – Farklı özkütlelere sahip bir döküm çamurunda deflokülant dozunun bir fonksiyonu olarak döküm hızının değişimi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

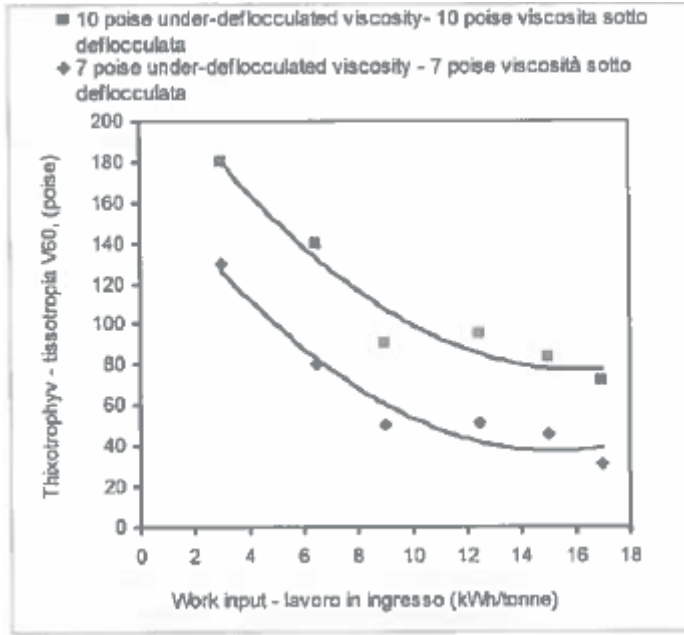
casting rate (mm²/min) = döküm hızı (mm²/dak.)

Deflocculant dose = Deflokülant miktarı

(w t% P84 sodium silicate) = (ağırlık % P84 sodyum silikat)

2.3.2.5. Çözünme(açılma) sırasında çamura verilen enerji miktarı

Çamuru oluşturan ham maddelere birinci ve ikinci çözünme aşamalarında verilen enerji miktarı, partikül topaklaşmalarının (kil ve kaolen) dağılma seviyesini kontrol eder. Bu nedenle, çamura verilen enerji ham maddelerin ne ölçüde çözündüklerine ve dolayısıyla da asılı kil partiküllerinin partikül boyutuna bağlıdır. Aslında, çözünme sırasında verilen enerji miktarının tek tek ham maddelerin (plastikler) ve tüm çamuun reolojik davranışını etkilediği bilinmektedir. Şekil 2.33 çözünme aşamasında verilen enerjiye bağlı olarak, iki farklı deflokülasyon seviyesinde, bir kilin tiksotropi değişimini ortaya koyan grafiği göstermektedir. Fark edileceği üzere, verilen enerji arttıkça tiksotropi hızlı bir şekilde azalır ve daha sonra belli bir sınır aşılmıca (10 kWh/ton) değerler dengeye ulaşırlar.



Şekil 2.33 - Hycast VC kilini çözündürmek için gerekli mekanik enerji artışı nedeniyle, iki seviye sabit viskozitede tiksotropi değişimi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

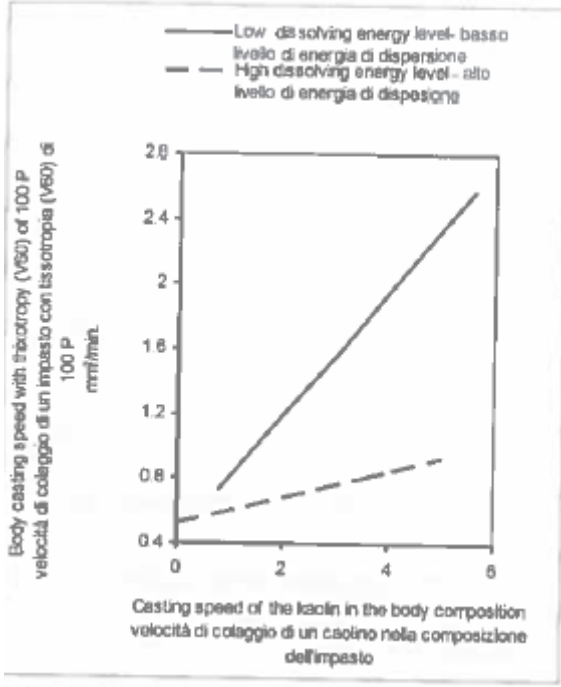
Thixotropy V60, (poise) = Tiksotropi V60, (poise)

Work input (kWh/tonne) = Çalışma girdisi (kWh/ton)

10 poise under-deflocculated viscosity- 10 poise düşük seviyede defloküle viskozite

7 poise under-deflocculated viscosity – 7 poise düşük seviyede defloküle viskozite

Plastik ham maddelerin çözündürülmesi sırasında verilen enerji artışının sebep olduğu değişiklikler, önemli ölçüde çamurun kalınlık hızını yansıtırlar. Şekil 2.34 de verilen grafik benzer kaolen kullanım %'sinin bir fonksiyonu olarak, aynı tiksotropi seviyesinde fakat iki farklı çözündürme enerji seviyesinde çamurun döküm hızındaki değişimi ortaya koyan bir grafiği göstermektedir.



Şekil 2.34 – Sabit tiksotropide ve iki farklı çözündürme enerjisi seviyesinde kaolenin döküm hızının çamurun döküm hızı üzerindeki etkisi (kaynak: E.C.C.)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Body casting speed with thixotropy (V60) of 100 P = 100 P tiksotropi ile çamur döküm hızı

mm²/min. = mm²/dak.

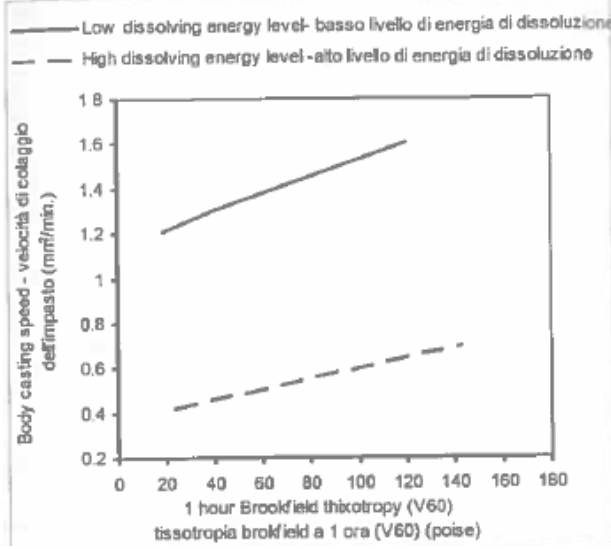
Casting speed of the kaolin in the body composition = çamur bileşimi içerisinde kaolenin döküm hızı

Low dissolving energy level = Düşük çözündürme enerjisi seviyesi

High dissolving energy level = Yüksek çözündürme enerjisi seviyesi

Döküm hızını arttırma açısından elde edilen etkinin verilen enerji düşük olduğunda gözle görülür biçimde daha belirgin olduğu aşikardır: %4 oranında aynı kaolenden eklenmekle birlikte daha yüksek bir çözündürme enerjisi seviyesi söz konusu olduğunda görülen sonucun aynısına ulaşmak için, düşük enerji seviyesinde, yüksek bir döküm hızında sadece %1 kaolen eklemek yeterlidir.

Döküm hızını arttırmanın tiksotropi üzerindeki olumlu etkisi aynı zamanda yüksek bir çözündürme enerjisi değeri ile azaltılır: Şekil 2.35'i incelediğimizde, diğer bütün koşullar eşitken, çamur tarafından verilen enerji seviyesini değiştirmenin, aynı tiksotropi seviyesinde döküm hızını yarıya indirdiğini görebiliriz. Buraya kadar ortaya koyulanlar ışığında bir gözlem yapabiliriz: temel özellikleri (reoloji, kalınlık hızı, vs.) sabit olan bir çamur elde etmek için, hem 1. hem de 2. aşamalarda çözündürme prosedürlerini standart hale getirmek, diğer bir deyişle ham madde yükleme sıralamasının ve işleme sürelerinin her zaman sabit ve kontrol altında olmalarını sağlamak son derece önemlidir.



Şekil 2.35 – İki farklı çözündürme enerjisi seviyesinde, tiksotropinin bir fonksiyonu olarak çamur döküm hızı (kaynak: E.C.C.)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Low dissolving energy level = Düşük çözündürme enerjisi seviyesi

High dissolving energy level = Yüksek çözündürme enerjisi seviyesi

Body casting speed (mm²/min.) = çamur döküm hızı (mm²/dak.)

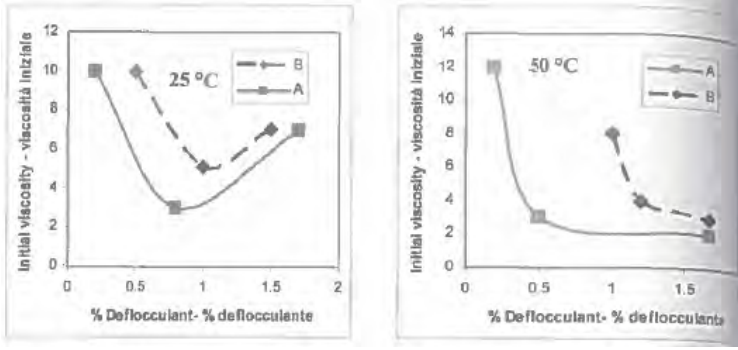
1 hour Brookfield thixotropy (V60) (poise) = 1 saat Brookfield tiksotropi (V60) (poise)

Ayrıca, çamura verilen enerji miktarı tanklarda saklama sırasında kullanılan süreler ile prosedürlerden ve kullanılan pompalama sistemlerinden de etkilenir. Dolayısıyla, çamurun reolojik özelliklerinin ve döküm hızının değişmesinden

kaçınmak için, çamurun fazla uzun süre saklama tanklarında karıştırılmış halde beklememesi ve karıştırıcıların hızının orta seviyede (9/12 rpm) olması önemlidir.

2.3.2.6. Sıcaklık

Sıcaklığın döküm çamurunun reolojik özellikleri üzerinde çok önemli bir etkisi vardır; bunun başlıca sebebi de dispersiyon aracının (su) viskozitesinin sıcaklık arttıkça büyük oranda azalmasıdır. Fakat sıcaklığın etkisini doğru bir şekilde değerlendirmek için, çamurun deflokülasyon durumunu göz önünde bulundurmak gerekir. Sıcaklık arttıkça çamurun davranışı deflokülant miktarının bir fonksiyonu olarak değişebilir. Şekil 2.36 [13], 25 °C'de (birinci) ve 50 °C'de (ikinci) bir çamurun deflokülasyon eğrilerini göstermektedir. Her bir eğri için, viskozite eğrisi (kalın) ve karıştırma yapılmayan bir sürenin sonunda okunan değerleri gösteren eğri (kesikli), dolayısıyla da çamurun tiksotropik gelişimi verilmiştir.



Şekil 2.36 – Sıcaklığın deflokülasyon eğrileri üzerindeki etkisi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Initial viscosity = İlk viskozite

% deflocculant = % deflokülant

İki grafiğin incelenmesi sonucundaki gözlemler:

- Sıcaklıktaki artış yine de çamurun viskozitesini azaltmaktadır.
- Fakat tiksotropik gelişim (kalın eğri ile kesikli eğri arasındaki fark) farklı bir davranış gösterir: yetersiz seviyede deflokülasyonun söz konusu olduğu alanlarda (daha düşük dozlarda akışkanlaştırıcı maddelerin söz konusu olduğu alanlar), sıcaklığın artması tiksotropide bir artışa sebep olur. Öte yandan, fazla deflokülasyon alanlarında, daha yüksek bir sıcaklık daha düşük tiksotropi sonucunu verir (kalın ve kesikli eğriler, birbirlerine

daha yakındır). Görünen o ki, sıcaklıktaki değişimler ve çamurun reolojik davranışı üzerinde meydana gelen değişimler aynı zamanda kalınlık alma aşaması sırasında çamurun davranışını da etkiler. Özellikle, sıcaklıktaki artış ve bunun sonucunda suyun viskozitesinde meydana gelen azalma, kalınlık süresinde bir düşüşe yol açar: aslında viskozite, döküm hızını hesaplamaya yarayan denklemde bir bölen olarak gözükmektedir. Fakat, daha önce de gördüğümüz gibi, sıcaklık aynı zamanda reolojik davranışı da etkilediği için, reolojik davranışın da kalınlık u üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmak gerekir. Son olarak, çamurun sıcaklığının aşağıdaki biçimlerde kalınlık unu etkilediğini söyleyerek bu konuyu bitirebiliriz:

- Eğer çamur yetersiz seviyede defloküle olmuşsa, sıcaklıktaki bir artış daha yüksek bir kalınlık hızına neden olur
- Eğer çamur aşırı seviyede defloküle olmuşsa, sıcaklıktaki bir artış kalınlık hızını belirgin bir ölçüde değiştirmez.

2.4. Basıncılı döküm: kalıplar ve kalınlığın şekillenmesi

2.4.1. Reçine kalıplar

Kendilerine özgü bir gözenekliliğe sahip olmalarına rağmen, reçine kalıpların alçı kalıplarda gördüğümüz gibi, kalınlık alma için gerekli olan ΔP 'yi temin etmeleri gerekmez. Gerçekte, gerekli olan ΔP , kalıp içerisinde basınç altında enjekte edilen çamura doğrudan uygulandığı için reçine kalıplar sadece bir fitre görevi görürler. Uygulanan basınç, kalınlık süresini minimize etmek amacıyla, oldukça yüksek olabildiği için (15 bara kadar), kalıbın önemli ölçüde mukavemete sahip olması gerekir. Bir reçine kalıbın sahip olması gereken temel özellikleri özetleyen yaklaşık değerler aşağıda verilmiştir [15]:

● Eşit bir şekilde dağılım gösteren, ortalama çapı d50 olan, çoğunlukla 20 ila 40 mikron arasında (fakat 5 mikronla 1 mikron arasında d50 kalıplar da mevcuttur) ve toplam gözeneklilik değeri %30 ila 40 arasında mikro-gözeneklilik. Şekil 2.37, 50 – 0,01 mikron aralığında gözenek dağılımını gösteren eğriyi sergilemektedir: bu eğri, endüstriyel kullanım amaçlı bir reçine kalıp üzerinde civalı porozimetre kullanılarak elde edilmiştir. Göreceğiniz üzere, gözeneklerin yaklaşık %65'i, oldukça dar bir aralıktadır: 30 – 20 mikron. Gözenek dağılımını etkileyen teknolojik sorunlar, birçok teknolojik sorunlardan etkilenir:

- Su drenajının mümkün olduğunca hızlandırılması (ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak tartışılacağı üzere, kontrol unsuru oluşan çamur kalınlığının geçirgenliği olmasına rağmen).
- Tıkanma, diğer bir deyişle gözeneklerin çamuru oluşturan partiküller (bunlar genellikle son derece incedir) tarafından doldurulması sorununu minimize

etme ihtiyacı.



Şekil 2.37 – Bir reçine kalıp malzemesi içerisindeki, civalı porozimetre ile ölçülen gözenek boyutu dağılımı eğrisi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Pore size distribution = Gözenek boyutu dağılımı

Cumulative volume = Kümülatif hacim

Relative pore volume (%) = relatif gözenek hacmi (%)

Pore Radius = Gözenek çapı

Bütün kalıp üreticileri, tecrübelerine, kullanılan teknolojiye ve kullanılacak olan çamur türüne göre kendi kalıpları için bir ya da birden fazla türde gözeneklilik dağılımı tercih ederler.

- Yüksek mekanik mukavemet: özellikle, kalıbı oluşturan malzemenin 30 N/mm²'nin üzerinde bir basınç mukavemetine sahip olması gerekir ve genellikle mekanik eğilme direnci de 10 N/mm²'nin üzerindedir.
- Döküm sırasında kalıpların doğru şekilde kullanılmasına imkan sağlayacak, yeterli düzeyde esneklik.
- Yıpranma ve aşınmaya karşı yüksek dayanım. Bu dayanım kalıbın farklı parçalarının birleşme yerleri üzerinde aşırı iz ya da döküm parçasının boyutlarındaki değişiklikler ile alakalı sorunlarla karşılaşılmaksızın kalıbın kullanım ömrünün uzun olmasını sağlayacaktır.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Yukarıda sıralanan özelliklere sahip bir kalıbın imalatı için geçerli olabilecek bir malzemeye ilişkin arayış, İsviçreli bir şirketin (Laufen) sentetik malzemeden yapılmış bir kalıp geliştirmesine yol açmıştır. Bu kalıpların kilit özelliği, 40.000 döngüye kadar kullanım süresine sahip olmalarıdır (doğru şekilde kullanıldığı takdirde). Daha sonra birçok şirket basınçlı döküme yönelik kendi kalıplarını ve makinelerini geliştirmiştir. Birçok farklı olasılık olmasına rağmen, birçok basınçlı döküm kalıbı baz malzeme olarak polimetilmetakrilat (PMMA) ile birlikte diğer malzeme ve katkı maddeleri kullanılarak imal edilir. Kullanılan malzemelerin baştaki partikül boyutu oldukça değişkendir ve bazı bileşenler sıvıdır. Bir Alman reçinesiyle ilgili hazırlama prosedürü, aşağıdaki şemada gösterilen aşamaları kapsar:

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Dosage raw material and water = Ham madde ve su dozajı

H₂O + polyacrylate in powder mixing = H₂O + toz poliakrilat karıştırma

Liquid resin and granular polyacrylate mixing = Sıvı reçine ve granül poliakrilat karıştırma

Two mixture mixing = İki karışımın karıştırılması

Any additives = Katkı maddeleri

Mould casting = Kalıp döküm

45÷50 sec. dopo la fine della miscelazione = Karıştırmanın sona ermesinden 45÷50 sn. sonra

Removal of steel cylinders from the mold = Kalıptan çelik silindirlerin çıkarılması

Upon reaching the programmed T (about 32-34 ° C) = Programlanan sıcaklığa (yaklaşık 32-34 °C) ulaşılması üzerine

(60 to 75 min.) The reaction is complete when T has reached 63 to 64 ° C = (60 ila 75 dak.) Sıcaklık 63 ila 64 °C'ye ulaştığında reaksiyon tamamlanır

end of the chemical reaction = Kimyasal reaksiyonun sonu

mould removal = Kalıbın çıkarılması

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

(They are cylinders that are used to obtain the cylindrical cavities in the mould for the distribution of compressed air, water and vacuum; Fig. 2.38) = (Bunlar, basınçlı hava, su ve vakumun dağılması için kalıp içerisindeki silindirik boşlukları elde etmek için kullanılan silindirlerdir; Şekil 2.38)

Immersion in water of the mould = Kalıbın su içerisine batırılması

Temp. Water 45÷55°C = Su sıcaklığı 45÷55°C

Water cooling (8-10 hours) = Su soğutma (8 – 10 saat)

Washing of the mould = Kalıbın yıkanması

Elde edilecek sonuç ve kullanılan malzeme değişikliğine bağlı olarak çalışma yöntemleri belirgin farklılıklar gösterebilir.

Aslında, ham maddelerin başlangıç partikül boyutlarını ve reçinenin polimerleşmesini kontrol eden parametre değerlerini (özellikle sıcaklık ve karıştırma süreleri) değiştirerek aşağıda verilen özellikleri ayarlamak mümkündür:

- Kalıbın nihai gözenekliliği
- Gözeneklerin boyutu ve dağılımı
- Kalıbın mekanik mukavemeti

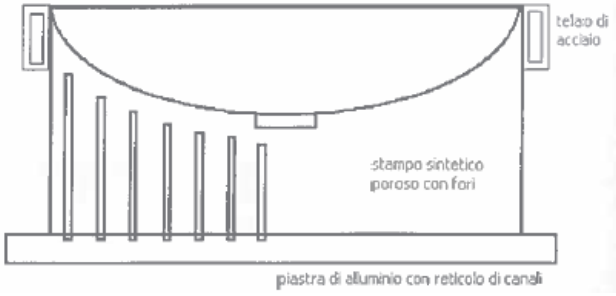
Bir reçine kalıp imal ederken alınması gereken başlıca önlem, kalıbın farklı parçalarının ve kalıbın aynı parçasının farklı kısımlarının özelliklerinin özdeş olmasını sağlayacak standartlaştırılmış prosedürler uygulamaktır.

Daha önce de belirtildiği gibi, bir reçine kalıp basınç altında çalışır ve teknolojik döngü içerisinde su akımlarından (geriyıkama) ile basınçlı havadan (parçaların ayrılması) geçmesi ve ayrıca, söz konusu parçanın yarı-kalıba bağlanması için döküm parçasına negatif bir basınç (vakum) aktarılabilmesine imkan vermesi gerekmektedir. Bütün bunların mümkün olması için, kalıbın uygun mekanik mukavemete sahip olması gerekir, genellikle hava ile su akımlarının homojen

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

dağılımı ve vakum yaratılmasına imkan sağlayan iç kanallardan oluşan bir sistem için uygun dış metal güçlendirme yapılarına sahip olmalıdır.

Şekil 2.38' de , bir lavabo için üretilmiş kalıbının kesitine ilişkin bir şema gösterilmektedir: Şekilde kalıbın döküm yüzeyine dik olarak uzanan ve söz konusu yüzeyden 15 ila 20 mm'ye ulaşan, silindir kanalların (çap yaklaşık 10 ila 12 mm) oluşturduğu sistem görülebilir.



Şekil 2.38 – Basınçlı döküm için hazırlanmış bir kalıbın şematik çizimi

Bütün kanallar, kalıbın arkasına dek uzanır ve burada, kalıbı arkadan kapatan metal plakanın (genellikle alüminyum) altındaki kanallarla birbirlerine bağlanırlar. Şekil 2.39 plakanın ve kalıbın arka kısmının ayrıntısını göstermektedir. Temelde, plaka sistemi/kalıbın dış arka kısmı çeşitli sıvıların (ve vakumun) kalıp kanallarına dağılımı için bir kolektör görevi görür.

Şekil 2.40'ta bir lavabo için mikro-gözenekli bir reçine kalıbın fotoğrafı yer almaktadır.

Basınçlı dökümde iyi bir sonuç almak için gözeneklerin homojen dağılım göstermesi önemlidir. Bir sonraki bölümde göreceğimiz üzere, kalıp kalınlık alma süresiyle ilgili bir kontrol unsuru olmamasına rağmen, iyi bir döküm sonucu elde edilmesi buna bağlıdır. Döküm için uygun olmayan bir kalıp, genellikle sürecin ilerleyen aşamalarında (özellikle kurutma sırasında) belirgin hale gelen önemli sorunlara (kırılma) yol açabilir. Ayrıca, kullanılan çamur ve benimsenen üretim döngüsüne bağlı olarak kalıp için ideal mikro-gözenekliliği seçmek gerektiği de aşıkardır.



Şekil 2.39 – Açık kalıp: plaka ve kalıbın arka kısmının ayrıntısı



Şekil 2.40 – Bir lavabo için mikro-gözenekli bir reçine kalıbın fotoğrafı

2.4.2. Basınç altında kalınlık alma şekli

Önceki bölümlerde döküme benzeyen filtrasyon incelenirken, Darcy ile Corman-Kozeny denklemleri (2.27) kullanılmış ve bu denklemlerle, oluşan kalınlığın uygulanan ΔP 'nin de bir fonksiyonu olduğu gösterilmişti. Bu teorik temel kurallar, deneylerin ve sonrasında da basınçlı döküme ilişkin endüstriyel uygulamanın temellerini teşkil ederler. Fakat filtrasyonun teorik kısmını basınçlı dökümle ilgili farklı çalışma koşullarına uygulayarak ayrıntılı olarak analiz etmek gerekir. Dolayısıyla yine, t/V (süre/filtrelenen sıvı hacmi) oranını hesaplamamızı sağlayan denklemi hatırlayarak başlayabiliriz:

$$(2.19) \quad \frac{t}{V} = \frac{\eta \alpha_e W_e}{2 \Delta P \cdot S^2} V + \frac{\eta R_S t}{\Delta P \cdot S V} = \frac{\eta \alpha_e W_e}{2 \Delta P \cdot S^2} V + \frac{\eta R_S}{\Delta P \cdot S}$$

Burada:

W_e = filtrelenen sıvının birim hacmi başına çökelen çamur kütlesi

η = suyun dinamik viskozitesi

α_e = kalınlaşan çamur tabakasının özgül direnci

ΔP = basınç farkı (sürecin itici gücü)

V = filtrelenen sıvının hacmi

S = filtreleme yüzey alanı

R_s = yüzey alanı birimi başına filtrenin (kalıbın) direnci

Daha önce alçı kalıpların kalınlık almasını ele alan bölümde, t/V oranının aşağıda verilen eşitlikten belirlendiği belirtilmiştir.

$$(2.29) \quad t = AV^2 + BVt = AV^2 + BV$$

Burada:

$$A = \frac{\eta \alpha_e W_e}{2\Delta P \cdot S^2}$$

$$B = \frac{\eta R_s}{\Delta P \cdot S}$$

Alçıyla dökümde, ikinci terim ($B \cdot V$) birincisine kıyasla göz ardı edilebilir bir değerdedi, dolayısıyla denklem şu şekilde basitleştirilebilirdi:

$$(2.30) \quad t = AV^2 = \frac{\eta \alpha_e W_e \cdot V^2}{2\Delta P \cdot S^2} t = AV^2 = \frac{\eta \alpha_e W_e \cdot V^2}{2\Delta P \cdot S^2}$$

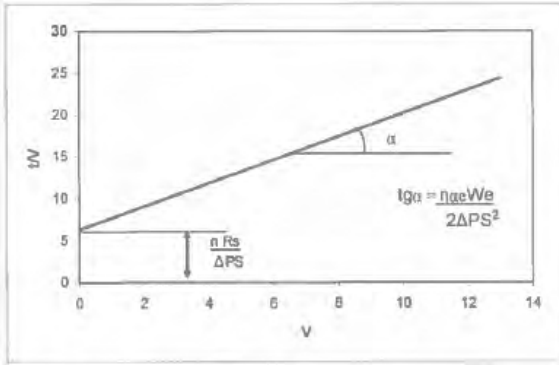
Bir sonraki paragrafta, bu basitleştirmenin, değerlendirme açısından hatalara yol açacağı için, basınçlı döküm söz konusu olduğunda mümkün olmadığını göreceğiz. Ayrıca, basınçlı dökümde α_e ve W_e 'nin kek kalınlığının

sıkıştırılabilirliğini göz önünde bulundurmak için doğru olmaları gerektiğini de unutmamak önemlidir: dolayısıyla, bunların αm ve Wm şeklinde ortalama değerlerini deneysel olarak belirlemek önemlidir. Burada, kolaylık açısından, ortalama değerleri göstermek için α ve W simgelerini kullanmaya devam edeceğiz. Bu şartlar altında, t/V oranı ve bir çamurla elde edilen deneysel grafikten yola çıkarak, α ve R_s 'yi, yani filtrasyona karşı direnci, sırasıyla kek kalınlığı ve kalıp ile hesaplayabiliriz:

$$(2.31) \quad \alpha = A \cdot \frac{2 \cdot \Delta P \cdot S^2}{\eta W} \quad \alpha = A \cdot \frac{2 \cdot \Delta P \cdot S^2}{\eta W}$$

$$(2.32) \quad R_s = \frac{B \cdot \Delta P \cdot S}{\eta} \quad R_s = \frac{B \cdot \Delta P \cdot S}{\eta}$$

Burada, α LM^{-1} boyutuna sahiptir ve ölçü birimi $cm \cdot g^{-1}$ 'dir; R_s ise L^{-1} boyutuna sahiptir ve ölçü birimi de cm^{-1} 'dir. Daha önce de belirtildiği gibi, V 'nin bir fonksiyonu olarak t/V 'nin eğrisinin çizilmesiyle (Şekil 2.41) elde edilen grafikten A ve B grafiksel olarak hesaplanabilir; burada A düz çizginin eğimi ve B de kesişme değeridir. Vouillemet [12], basınçlı döküm sürecine etki eden faktörlerin belirlenmesine yönelik araştırmalar yapmıştır. Bu çalışmalar, basınçlı dökümün masse özelliklerinden, sıcaklıktan vb. ne şekilde etkilendiğinin belirtilmesi amacıyla ilerleyen kısımlarında ele alınacaktır. Her şeyden önce, alçı kalıplarla döküm için görülenlere kıyasla, farklı faktörlerin farklı etki seviyelerini vurgulamak önemlidir.



Şekil 2.41 – Sabit basınç altında $t/V=A \cdot (v + B)$ filtrasyon

2.4.2.1. Kalıbın etkileri

Daha önceki bölümlerde, alçı kalıplarla döküm söz konusu olduğunda, $t=AV^2+B$ denkleminin ikinci teriminin göz ardı edilebilir olduğu doğrulanmıştır: diğer bir

deyişle, kalıbın filtrasyon sürecine karşı direnci anlamlı değildir ve ciddi hatalar yaratılmaksızın göz ardı edilebilir. Basınçlı döküm söz konusu olduğunda ise, bu durum artık geçerli değildir.

Aslında, kalınlık sürecinde kalıbın direncinin etkisini de dikkate almak önem kazanır. Vouillemet [12] tarafından 5 bar basınç altında dökülen bir çamur üzerinde yapılan bir deneyde, şu t/V oranı elde edilmiştir (deneysel veri):

$$\frac{t}{V} = 1,23 V^2 + 7,1 V$$

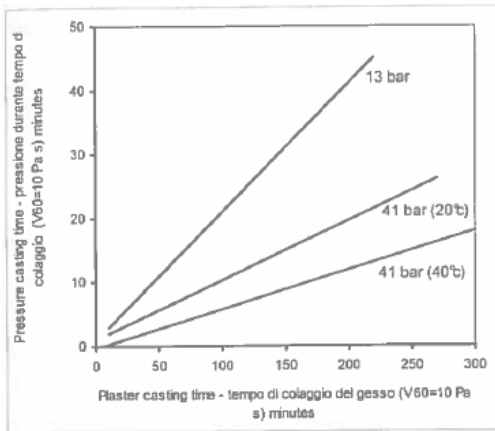
V = 15,2 cm³ (8 mm kalınlık almaya tekabül eden filtrelenmiş sıvı hacmi) değeri için bu denklem çözüldüğünde şu elde edilir:

$$t=(1,23 \cdot 15,4^2)+(7,1 \cdot 15,4)=292+109 \text{ sn.} = 401 \text{ sn.}$$

Dolayısıyla, kalıbın direncini göz ardı edersek, yaklaşık %27'lik bir hata meydana gelir.

2.4.2.2. Sıcaklığın etkisi

Eğer aynı çamur, sadece sıcaklık 25°C'den 40°C'ye çıkarılmak suretiyle değiştirilerek iki döküm testine tâbi tutulursa, kalınlık alma süresinde, ilk değerın %30'una varabilen belirgin bir azalma olur (Şekil 2.42).



Şekil 2.42 – Alçı kalıplarla döküm süresinin basınçlı kalıplarda, 20°C'de 13 barda ve 41 barda ve 40°C'de 41 bardaki bir çamura ile döküm sürelerinin kıyaslanması (kaynak: HOGG)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Pressure casting time (V60=10 Pa s) minutes = Basınçlı döküm süresi (V60=10 Pa s) dakika

Plaster casting time (V60=10 Pas) minutes = Alçı döküm süresi (V60=10 Pa s) dakika

Tabii ki, çamurun sıcaklığı değiştirilirken, deflokülanların miktarını da ayarlamak ve referans viskozite ve tiksotropi değerlerini korumak gerekir. Çamurun sıcaklığındaki artış, kalınlıkta bir artışa yol açmaktadır çünkü daha yüksek bir sıcaklık sıvının (su) viskozitesinin düşmesine neden olur. (2.27) numaralı denklemi incelediğimizde, viskozite değerindeki bir düşüşün oluşan kalınlıkta bir artışa karşılık geldiğini görebiliriz.

Viskozitedeki düşüşün, kalınlık süresindeki düşüşün tek sebebi olup olmadığını görmek için, t/V oranını [12] ve t/V grafiğinin oluşturulması ile ilgili deneyden elde edilen deneysel verileri analiz etmek gerekir. Vouillemet [12] 25 °C ve 40°C'de 5 barlık basınç altında dökümü yapılan bir çamur ile ilgili olarak Tablo 7'de gösterilen değerleri elde etmiştir. Sıcaklık artışının koyulaşan çamurun direnci üzerinde belirgin bir etki yaratmadığı ve dolayısıyla kalınlık süresindeki azalmanın sadece viskozitedeki düşüşe atfedilebileceği açıkça görülmektedir.

Tablo 7 – Farklı sıcaklıklarda ve 5 bar basınç altında dökümü yapılan bir çamurdan elde edilen değerler

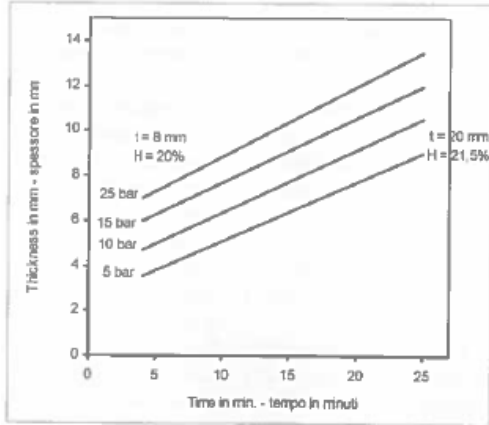
	25°C	40°C	Değişim
W	5.7 gr/cm ³	5.8 gr/cm ³	Göz ardı edilebilir
α	2.100 cm · g ⁻¹	2.000 cm · g ⁻¹	Göz ardı edilebilir
t	828 sn.	634 sn.	-24%
Döküm sonunda masse içindeki % H₂O	22.7	22.1	-2.6%

Diğer yazarlar [14], 40 bar basınç altında sıcaklığın 20°C'den 40'a çıkması sonucunda döküm sürelerinde meydana gelen azalmanın, bu sıcaklıkta suyun viskozite değerleri dikkate alınarak, teorik olarak da hesaplandığı gibi, yaklaşık %30 olduğunu doğrulamışlardır. Yukarıdaki tablonun analiz edilmesi sonucunda görülebileceği üzere, döküm sıcaklığındaki artış aynı zamanda döküm parçasının

nem içeriğinde de bir azalmaya yol açar ki bu da parçanın daha tutarlı ve manüel olarak işlenebilir olmasını sağlar.

2.4.2.3. Besleme basıncının etkisi

Çamurun besleme basıncını arttırmak tabii ki kalınlık sürelerinde bir azalmaya yol açar. Şekil 2.43 bu etkiyi göstermektedir.



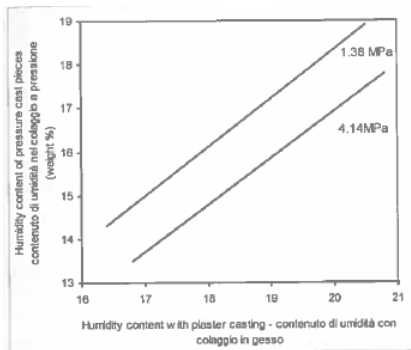
Şekil 2.43 – Farklı basınç sürelerinin bir fonksiyonu olarak kalınlık değişimi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Thickness in mm = mm olarak kalınlık

Time in min. = dk. olarak süre

Basıncılı döküm, alçı kalıplarla döküme kıyasla, kalınlık sürelerindeki azalmanın yanı sıra döküm sonunda massenin su içeriğinde bir azalmaya da yol açar. Bu durum, Şekil 2.44'te net bir şekilde gösterilmektedir [14].



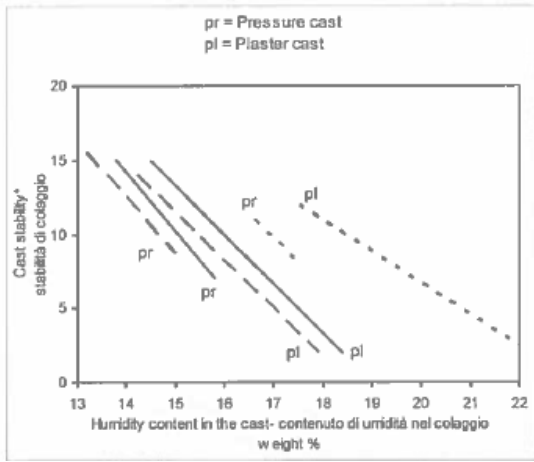
Şekil 2.44 – 1,38'den 4,14 Mpa'ya yükselen basınç altında dökümü yapılan malzemenin nem içeriğindeki ve alçı bir kalıpta dökümü yapıp 1 saat süresince kurutulmuş malzemenin nem içeriğindeki değişim (kaynak: HOGG).

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Humidity content of pressure cast pieces (weight %) = Basıncılı döküm yapılan parçaların nem içeriği (ağırlık %)

Humidity content with plaster casting = Alçı dökümle nem içeriği

Daha önceki paragrafta belirtildiği gibi, nem içeriğindeki bir düşüş döküm parçasının daha dayanıklı olmasını ve deformasyona daha düşük eğilime sahip olmasına yol açar. Nem içeriğini azaltmanın ve döküm sağlık gerecinin kıvamlılığını arttırmanın etkisi aynı zamanda kullanılan çamur türüne bağlıdır fakat bu etki belirgin değildir (Şekil 2.45): çünkü basınçlı dökümde, alçı kalıplarla döküme kıyasla, nem azalması ancak %3'e ulaşabilir.



Şekil 2.45 – Üç çamur için nem içeriğinin alçı kalıplarda ve basınç altında (pr) dökümü yapılan malzemenin kararlılığı üzerinde etkisi (kaynak: HOGG).

* Dökümün dayanıklılığı, masseyi %10 sıkıştırmak için gerekli basınç değerlendirilerek, bir B.C.R.A. plastiklik-ölçer ölçülmüştür

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Pr=pressure cast = Basıncılı döküm

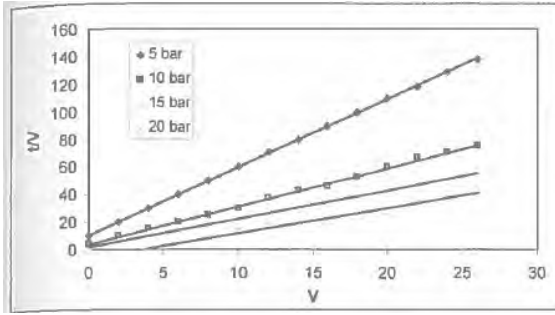
Pl= plastercast= Alçı döküm

Cast stability* = Döküm dayanıklılığı

Humidity content in the cast = Döküm parçadaki nem içeriği

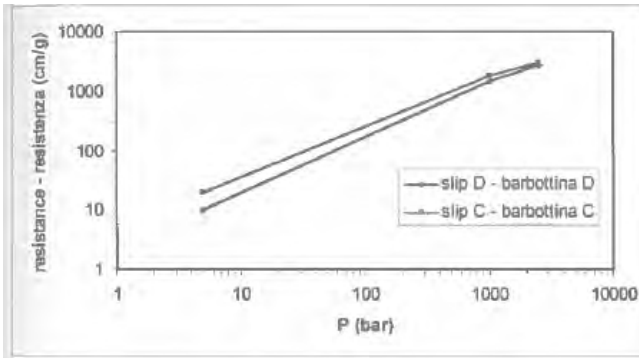
weight % = ağırlık %

Bu sayede, endüstriyel döngüde, basınçlı dökümle üretilen parçaları kalıptan çıkarıldıktan 30 – 40 dakika sonra, doğrudan nemliyken rötuşlamak mümkündür: bu, ıslak (dolayısıyla toz üretmeden) ve daha yumuşak (daha az emek ve daha kolay yapılabilme) parçaların rötuşlanması avantajını sağlar. Basıncı arttırmak suretiyle döküm süresini kısaltmak, (2.19) numaralı denklem ile teorik olarak hesaplanabilir. Gerçekte ise, uygulanan basıncın artmasıyla birlikte, deneysel veriler teorik değerlerden önemli ölçüde farklı hale gelir: özellikle, belli bir kalınlığın süresi gerçekte deneysel olarak hesaplanandan daha uzundur. Bu duruma bir örnek vermek gerekirse, geriye dönüp besleme basıncı arttığında çamurdaki değişimlerin ayrıntılı bir şekilde analiz etmek gerekir. Bu amaçla, basınç artışıyla birlikte t/V eğrisinin aldığı şekli inceleyeceğiz: şekil 2.46 [12] çamur besleme basıncı arttığında bu artışın eğrinin eğiminde bir düşüşe tekabül ettiğini göstermektedir.



Şekil 2.46 – Artan basınçla birlikte t/V eğrisinin davranışı, $t/V = A \cdot (v+B)$

α (koyulaşan çamur direnci) ve W 'nin (filtrelenen hacim birimi başına çökelen çamur) değerlerinin deneysel hesaplamasından [12] artan basınçla birlikte α artarken (bkz. Şekil 2.47), W 'nin azaldığını görürüz.



Şekil 2.47 – Basıncın bir fonksiyonu olarak özgül direnç

ŞEKİL ÜZERİNDE:

resistance (cm/g) = direnç (cm/g)

slip D = çamur D

slip C = çamur C

P (bar) = P (basınç) (bar)

Aşağıdaki Tablo 8, döküm basıncı 5 bardan 20 bara çıkarılarak elde edilen deneysel değerleri göstermektedir.

Tablo 8 - Döküm basıncı 5 bardan 20 bara çıkarılarak elde edilen deneysel değerleri

Basınç (bar)	gr/cm ³ olarak ağırlık	cm/gr olarak α	Bir öncekine göre % ΔW	Bir öncekine göre % $\Delta \alpha$
5	6.4	6.900	/	/
10	6.4	7.800	0	+1.4
15	5.9	9.900	-7.8	+26.9
20	5.7	12.000	-3.3	+21.2

Basıncı arttırmanın çamurun filtrasyona karşı direncini arttırdığı kolaylıkla görülmektedir. Bu artış trendi, 10 ile 20 bar arasında lineerdir ve dolayısıyla iyi bir kestirimle, α ile P arasında şu şekilde bir denklem yazılabilir:

$$(2.34) \quad \alpha = \alpha_0 \cdot P^n$$

Burada:

α = P basıncına karşı direnç

α_0 = P₀ (ilk) basıncına karşı direnç

n = çamurun sıkıştırılabilirlik katsayısı

deneyde kullanılan çamur söz konusuyla, şuna ulaşırız:

$$(2.35) \quad \alpha = 1.809 \times P^{0,63} \quad \alpha = 1.809 \times P^{0,63}$$

Bu değeri V 'nin (filtrat değeri) hesaplanmasına ilişkin denkleme yerleştirirsek:

$$(2.36) \quad V = S \sqrt{\frac{2\Delta P}{\eta\alpha W}} \cdot \sqrt{t} \quad V = S \sqrt{\frac{2\Delta P}{\eta\alpha W}} \cdot \sqrt{t}$$

şunu elde ederiz:

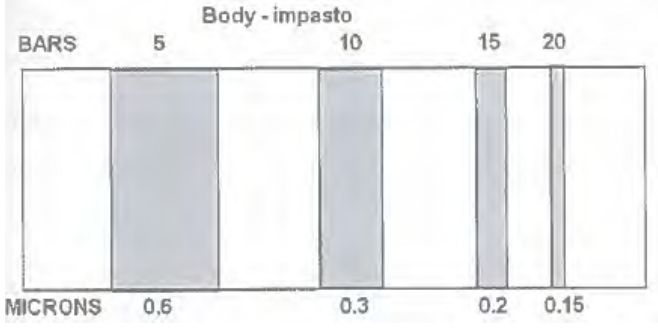
$$V = S \sqrt{\frac{2}{\eta W \times 1.809}} P^{0,18} \cdot \sqrt{t}$$

P 'nin kuvvetinin, en başta teorik denklemde öngörülen 0,5 değerinden çok daha düşük olduğunu hemen fark edeceksiniz. Dolayısıyla bu, basıncın teorik olarak öngörülene kıyasla neden daha düşük bir etkiye sahip olduğunu ve çamurun sıkıştırılabilirlik katsayısı yükseldikçe bu değişimin neden çok daha duyarlı olduğunu açıklar. Çamurun sıkıştırılabilirlik katsayısı, tabii ki, çamuru oluşturan ham maddelerin mineralojik bileşimine ve fiziksel özelliklerine (partiküllerin boyutları ve morfolojileri) göre değişir: bunun nasıl olduğunu bir sonraki bölümde göreceğiz. Sezgisel olarak sıkıştırılabilirlik olayını, uygulanan basınç arttıkça çamur partiküllerinin (özellikle de bir plaka morfolojisine sahip ki partikülleri) artan bir şekilde kompakt bir yapı içerisinde art arda istiflenmesi ile açıklayabiliriz.

Aslında, koyulaşan çamur kalınlık alma ve yapılandırma prosedürünün su filtrasyon hızını ve dolayısıyla döküm sürecini nasıl kontrol ettiği oldukça iyi anlaşılmuştur. Daha önceki bölümlerde, bu çamur kalınlığının farklı çaplara sahip paralel silindirik kanallardan oluşan gözenekli bir yapı olarak şematize

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

edilebileceğini görmüştük (Şekil 2.48). Suyun bu kapilerlerden akması (filtrelenmesi) için, Jurin kanununa göre kapilerin çapı tarafından belirlenen bir basınç uygulanması gerekir: çap ne kadar küçükse, o kadar yüksek bir basınç gereklidir. Dolayısıyla, basınçlı döküm su akımının geçişiyle ilgili kapilerin sayısını artırır ve böylelikle suyun filtrelenme süresini, diğer bir deyişle döküm süresini kısaltır. Aynı şey, sertleşme süresi için de geçerlidir.



Şekil 2.48 – Koyulaşan çamurun kapilerlerinden filtrasyon ve basınç

ŞEKİL ÜZERİNDE:

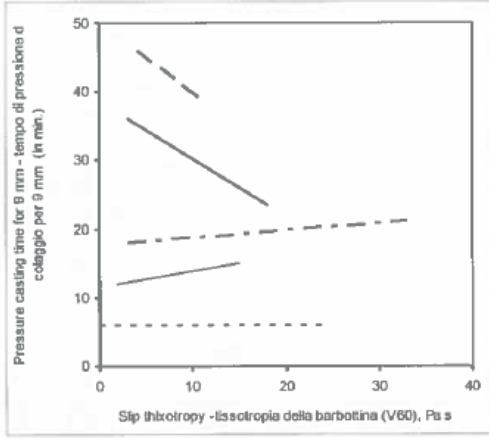
Body = Masse

BARS = BAR

MICRONS = MİKRON

2.4.2.4. Deflokülasyon durumu ve özgül ağırlığın etkisi

Deflokülasyon durumunu, özellikle de tiksotropiyi değiştirmenin, basınçlı dökümde kalınlık alma üzerinde, farklı bünye türleri için farklı seviyelerde de olsa, önemli bir etkisi vardır. Özellikle Şekil 2.49, 13 barlık bir döküm basıncı altında, tiksotropinin bir fonksiyonu olarak, farklı çamurlarla kalınlık süresinin (9 mm) gelişimini göstermektedir. Şekil incelendiğinde, tiksotropinin döküm süreleri üzerindeki etkisinin basınçlı döküm söz konusu olduğunda, sadece düşük döküm hızına sahip çamurlar için anlamlı olduğunu görürüz. Daha yüksek bir döküm hızına sahip çamurda ise, göz ardı edilebilir, hatta negatif bir etki söz konusudur: diğer bir deyişle, tiksotropi artışıyla birlikte kalınlık süresinde artışlar olabilir.



Şekil 2.49 – Çamur tiksotropisinin bir fonksiyonu olarak, çamur 40 °C’deyken, 41 barlık basınç uygulanması sonucunda, 9 mm kalınlık almaya ilişkin döküm süresi (kaynak: HOGG).

Fakat göz önünde bulundurulması gereken diğer bir unsur daha vardır ve bu da akışkanlaştırıcı maddelerin toplam içeriğidir. Bu unsurun kalınlık sürelerini nasıl etkileyebileceğini görmek için, döküm sırasında farklı miktarlarda deflokülant içeren aynı çamurun davranışını değerlendireceğiz. Tabii ki, farklı deflokülasyon seviyelerinde çamur aynı reolojik özelliklere sahip olduğu için, çamurun su içeriğini ve dolayısıyla da özgül ağırlığını değiştirmek gerekir. Bu şekilde, basınçlı döküm sırasında kalınlık süreleri üzerinde deflokülant miktarı/özgül ağırlık çiftinin etkisini vurgulayabiliriz.

Deney, Vouillemet tarafından gerçekleştirilmiştir [12] ve üç farklı deflokülasyon ve özgül ağırlık seviyesinde, tek bir çamur üzerinde, 5 ve 20 bar basınçta, 40 °C’de yapılan döküm testlerine dayanır:

C_1 özgül ağırlığı 1,840 gr/l

C özgül ağırlığı 1,800 gr/l

C_2 özgül ağırlığı 1,750 gr/l

Aşağıdaki Tablo 9, farklı döküm basınçlarında, farklı çamurlar için, döküm parçasının α , W ve nem içeriği ile ilgili deneysel aşamada elde edilen verileri göstermektedir.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Tablo 9 - Farklı basınçlarda dökümü yapılan, farklı çamurlar için, döküm parçasının α , W ve nem içeriği ile ilgili deneysel aşamada elde edilen veriler

Basınç (bar)	5			10			15			20		
Çamur	C ₁	C	C ₂	C ₁	C	C ₂	C ₁	C	C ₂	C ₁	C	C ₂
α (cm.gr ⁻¹)	3.750	2.244	1.938	5.340	2.580	2.256	6.300	2.700	2.118	8.220	2.910	2.310
W (gr/cm ³)	7.4	6	4.9	6.7	5.4	4.6	6.4	5	4.5	5.9	5.5	4.3
Kalınlık alma sonunda massedeki su içeriği (%)	20.4	22.7	23.7	20.6	22.2	22.6	20.2	21.4	22.4	18.9	21.1	21

Her çalışma basıncı ile ilgili olarak tabloda yer alan veriler incelendiğinde, çamurun özgül ağırlığındaki bir azalmanın (ve dolayısıyla daha düşük miktarda deflokülan) şu sonuçları doğurduğunu söyleyebiliriz:

- A. Çamurun direnç katsayısı önemli ölçüde düşer, fakat en önemli husus özgül ağırlıktaki (ve akışkanlaştırıcı maddedeki) düşüşün, artan döküm basıncı nedeniyle, α 'daki artışı minimize etmesidir. Aslında, 10 barlık bir döküm basıncından 20 bara çıkıldığında, farklı özgül ağırlıklara karşılık gelen aşağıdaki % α değişimlerini görebiliriz:

C ₁ p.s. 1.850 g/l	$\Delta\alpha = + 53,9 \%$
C p.s. 1.800 g/l	$\Delta\alpha = + 12,8 \%$
C ₂ p.s. 1.750 g/l	$\Delta\alpha = + 2,4 \%$

Bu, özgül ağırlıktaki (ve akışkanlaştırıcı maddelerdeki) düşüşün, yüksek basınçlı dökümün etkinliğini büyük ölçüde arttırdığı anlamına gelir. Dolayısıyla, çamur içerisindeki su %'si arttıkça çamurun sıkıştırılabilirlik katsayısı n önemli ölçüde azalır. Aslında, deneyde kullanılan çamur için, α ile ilgili aşağıdaki hesaplama denklemleri elde edilmiştir:

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

$$C^1 (1.850 \text{ gr/l}) \alpha = \alpha_0 \cdot P^n = 1.400 \cdot P^{0.57}$$

$$C (1.800 \text{ gr/l}) \alpha = \alpha_0 \cdot P^n = 1.682 \cdot P^{0.18}$$

$$C2 (1.750 \text{ gr/l}) \alpha = \alpha_0 \cdot P^n = 1.665 \cdot P^{0.10}$$

Dolayısıyla, çamurun sıkıştırılabilirlik katsayısı, özgül ağırlık ve akışkanlaştırıcı maddelere paralel olarak, 0.57'den 0.10'a düşer.

- B. Özgül ağırlık düştükçe W ile ifade edilen, filtrelenen hacmin birimi başına çökelen kuru kütle de düşer. Bu gerçek aşıkardır zira çamurun katı/su oranı özgül ağırlıkla birlikte değişir.
- C. Özgül ağırlıktaki düşüşle birlikte, döküm parçası içindeki su içeriğinde bir artış olur. Bu sonuç da aşıkardır, zira çamur su açısından daha zengin hale gelir.

Dolayısıyla, bir çamurun filtrasyon sırasındaki davranışlarına reolojik değerlerinden yola çıkılarak karar verilemeyeceği sonucuna varabiliriz zira bunlar, filtrasyondan elde edilen tamamıyla farklı sonuçlarla farklı özgül ağırlıklarda eşit olabilirler.

Normalde, çamurun özgül ağırlığındaki azalma ve akışkanlaştırıcı maddelerin miktarında buna tekabül eden azalmayla ilgili olarak kalınlık sürelerinde belirgin bir düşüş olacaktır. Aşağıdaki Tablo 10, elde edilen deneysel değerleri [12] göstermektedir.

Tablo 10 – Elde edilen deneysel değerler

Çamurun özgül ağırlığı	5 bar t (dak)	10 bar t (dak)	15 bar t (dak)	20 bar t (dak)
1840 gr/l	17.5	12.2	10.5	9.7
1800 gr/l	11.3	7.8	5.3	4.8
1750 gr/l	10.2	6.5	4.7	3.7

t = Farklı özgül ağırlığa sahip çamurlar için, 8 mm kalınlık alma için farklı çalışma basınçları altında gerekli olan süre

5 bar basınçta, C_1 'den C_2 'ye geçişte kalınlık süresindeki düşüş yaklaşık olarak 7,5 dakika iken, 20 bar basınçta 6 dakika olduğu görülebilir. 15 barda, kalınlık süresi nedeysel yarıya düşer. Dolayısıyla, özgül ağırlık ve akışkanlaştırıcı maddelerin miktarının oluşan çamur kalınlığının yapısında (daha az ya da daha fazla gözenekli) belirleyici bir etkiye sahip oldukları aşıkardır: daha belirgin bir biçimde ifade etmek gerekirse, daha fazla su ve daha az miktarda deflokülant söz konusu olduğunda, kısmen floküle olan kil partiküllerinin mevcut olacağı ve dolayısıyla daha büyük topaklaşmaların parçasını oluşturacakları, bunların da basıncın etkisiyle daha az sıkı ve daha gözenekli yapılara yol açacaklarını varsayılabilir.

2.4.2.5. çamur tipinin etkisi

Daha önce kalınlık almada suyun kalıba doğru ve kalıp içerisindeki akışı sırasında karşılaştığı direnç tarafından nasıl kontrol edildiğini görmüştük. Özellikle, kalıbın gösterdiği direncin göz ardı edilemez olduğu doğrulanmıştı. Bir tıkanma durumu, diğer bir deyişle kalıbın gözeneklerinin kısmi olarak kapanması söz konusu olmadığı sürece, kalıbın gösterdiği direnç zaman içerisinde sabit bir değere sahiptir. Reçinenin gözenekleri içerisinde küf ve/veya mantar gibi diğer faktörler de kalıbın gösterdiği direncin artmasının sebepleri olabilir. Bu sorunla ve tıkanma sorunuyla başa çıkmak için kalıbın düzgün bir şekilde bakımının yapılması gerekir (gözenekleri tıkayan bileşenlerin giderilmesini garanti eden uygun ürünlerle ve suyla geri yıkama).

Fakat daha önceki bölümlerde birçok kez, gerçekte kalınlık hızını en çok etkileyen unsurun çamurun direnci olduğu vurgulanmıştı. Dolayısıyla, koyulaşan çamurun kalınlığını belirleyen yapının gözenekliliğidir. Uygulanan basıncın artmasının yarattığı etki bir kenara bırakıldığında, söz konusu gözeneklilik temelde şu unsurlara bağlıdır:

- Çamuru oluşturan partiküllerin boyutu
- Partiküllerin boyut dağılımı
- Partiküllerin morfolojisi
- Kalınlık süreci sırasında partiküllerin konumlanması

Bu faktörlerin önemli etkisini göstermek için, Vouillemet [12] tarafından,

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

kullanılan kil türü haricinde birbirinin aynısı iki çamuru basınçlı döküme maruz tutarak elde edilen deneysel verileri kullanacağız: A çamuru, daha ince partikül boyutuna sahip daha plastik bir kil kullanılarak, B çamuru ise aynı miktarda kil kullanılarak fakat daha kaolinitik kıvamda ve daha kalın taneciklerle formüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Tablo 11’de özetlenmiştir:

Tablo 11 – İki farklı kille basınç altında dökümü yapılan çamurdan elde edilen sonuçlar

Basınç (bar)	Çamur A				Çamur B			
	gr/ cm ³ olarak W	α cm·gr ⁻¹	Döküm sonunda % su	8 mm kalınlık süresi	gr/ cm ³ olarak W	α cm·gr ⁻¹	Döküm sonunda % su	8 mm kalınlık süresi
5	6.4	6.900	20%	31 dak	6.9	4.400	21%	17 dak
10	6.4	7.800	20%	16 dak	6.7	3.900	20.6%	8 dak
15	5.9	9.900	18.4%	14 dak	6.4	5.000	19.7%	6.5 dak
20	5.7	12.000	17.8%	11 dak	6.5	6.000	20%	6 dak

Daha kalın kilin kullanılmasının aşağıdaki sonuçlara yol açtığı görülmektedir

:

- Çamur B’nin filtrasyona direnci α daha yüksek basınçlarda çamur A’nınkinin kabaca yarısıdır.
- Çamur B’de döküm sonunda parçanın su içeriği daha yüksektir.

Bu özel vakada, çamurun sıkıştırılabilirlik katsayısı değerlerinin neredeyse eşit olduğu doğrulanmıştır: çamur A için 0,63 ve çamur B için 0,64. C ve D olarak bilinen diğer iki çamur incelenirken (çamur C’nin partiküllerinin %25’i 1

mikrondan küçükken, çamur D'nin partiküllerinin %20'si 1 mikrondan küçüktür), daha ince partiküllerden oluşan çamurun sıkıştırılabilirlik katsayısının daha küçük olduğu görülmüştür: C çamuru için $n=0,18$ ve D çamuru için $n=0,97$. Ve bu durum, daha kalın olan çamur için daha düşük bir α değeri, daha yüksek bir W değeri ve dolayısıyla daha kısa bir kalınlık süresi teyit edilmesine rağmen meydana gelmiştir.

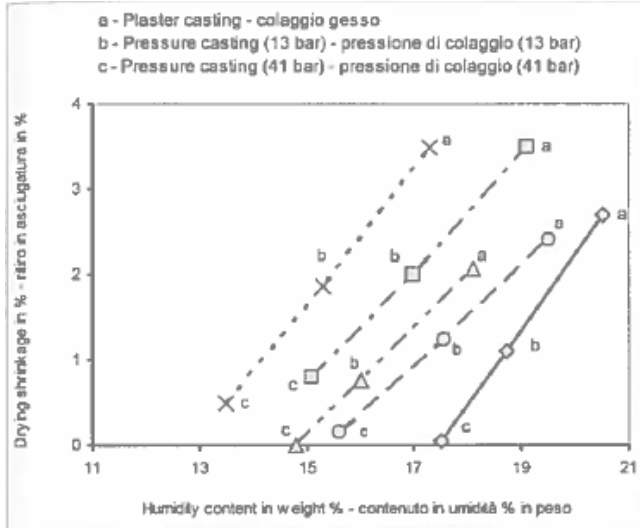
Dolayısıyla, verilen örneklerden açıkça görülmektedir ki, partikül boyutu ile sıkıştırılabilirlik katsayısı arasında ve sıkıştırılabilirlik katsayısı ile kalınlık hızı arasında doğrudan bir korelasyon kurmak doğru değildir. Aslında kalınlık hızı, n değerine sadece kısmen bağlı olan çamurun nihai direnç değeri tarafından kontrol edilmektedir.

Partikül boyutu, partikül boyutu dağılımı ve partikül morfolojisinin etkilerinin fiziksel sebeplerine ilişkin detaylı bir analiz alçı kalıplarda döküme ayrılmış olan bölümde görülebilir. Aslında koyulaşan çamurun gözenekliliğini etkileyen mekanizmalar temelde aynıdır. Ayrıca, kalınlık alma aşamasında partiküllerin konumlanması ve dolayısıyla koyulaşan çamurun yapısının türü ile ilgili olarak da, daha önceki bölümlerde yapılan değerlendirmeler geçerlidir ve bunlar burada da kolaylıkla özetlenebilir: çamuru oluşturan partiküller az oranda floküle olduğunda, koyulaşan çamurun yapısı daha gözenekli ve dolayısıyla daha geçirgen olacaktır. Bunun sonucunda, maksimum flokülasyondan uzakta daha fazla operasyon yer alacaktır. Ayrıca, karışıma aşırı miktarda enerji (çözündürme, karıştırma, pompalama) verilmemesine de dikkat etmek gerekir zira fazla enerji partikül topraklarının tahrip olmasına ve döküm zarı olarak bilinen, koyulaşmış çamurdan oluşan kompakt bir ön tabaka buna sebep olabilir. Bu tabaka, temelde kil partikülü plakalarının çok yakın şekilde üst üste binmesiyle oluşur: çamur daha fazla defloküle olduğunda bu yapının meydana gelmesi daha olasıdır; dolayısıyla tek tek kil partikülleri kalıbın duvarına yaklaşmakta daha serbesttir ve katmanlar şeklinde bir düzen alırlar. Son bir analiz olarak, çamurun deflokülasyon durumuna bağlı olarak kil partiküllerinin hareketliliği döküm zarının oluşumunu kolaylaştırır.

Bu şekilde meydana gelen döküm zarı, kompakt doğası nedeniyle, çamur katmanının su filtrasyonuna karşı direncini arttıracak ve kalınlık süresiyle sertleşme süresinin artmasına sebep olacaktır. Öte yandan, çamurun yeterince defloküle olmaması, daha önce de gördüğümüz üzere, partiküllerin belli bir düzeyde kümelenmesine imkan sağlar ve böylelikle partiküller birbirlerine yakın plaka düzenini oluşturamazlar (ayrıca sterik engelleme nedeniyle) fakat çamur kalınlığı daha gözenekli bir yapı olan iskambilden yapılmış bir kule yapısına sahip olacaktır.

2.4.3. Basıncı dökümün kuru küçülme üzerindeki etkisi

Bu bölümde, basınçlı dökümün ham haldeyken massenin küçülmesi üzerindeki etkisi ele alınacaktır. Basınçlı dökümün etkilerini daha iyi ortaya koyabilmek amacıyla, kıyaslama için alçı kalıplarla dökümü yapılan aynı çamur ile ilgili veriler kullanılmıştır. Daha önceki bölümlerde de görüldüğü üzere, basınçlı döküm daha az nemli döküm parçalarının ortaya çıkmasına yol açtığı için, geleneksel dökümde ortaya çıkan küçülmeye kıyasla bir düşüş olması beklenebilir. Şekil 2.50'de, 13 bar ve 41 bar basınç altında, alçı kalıplarda ve reçine kalıplarda dökümü yapılan çeşitli masselerin küçülme trendleri verilmiştir. Bütün masseler için, geleneksel dökümden basınçlı döküme geçişte, ham haldeyken küçülmede bir düşüş olduğu aşikardır.



Şekil 2.50 – Alçı kalıplarda (a), 13 bar basınç altında (b) ve 41 bar basınç altında (c) dökümü yapılan malzemelerin nem oranları ile kurutma sırasında küçülme oranları arasındaki ilişki

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Drying shrinkage in % = % olarak kuruma sırasında küçülme

Humidity content in weight % = Ağırlık %'si olarak nem içeriği

a - Plaster casting = a – Alçı döküm

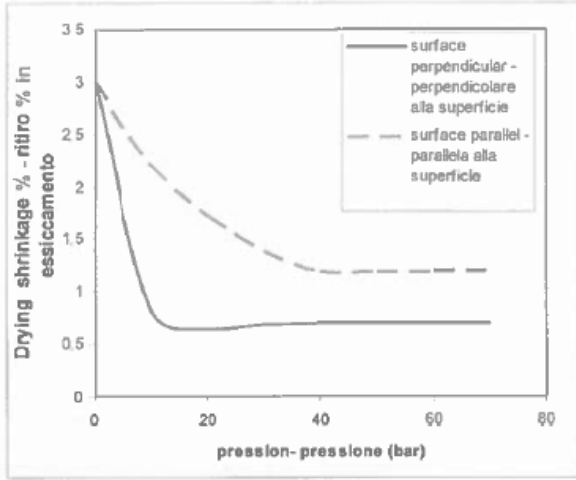
b - Pressure casting (13 bar) = b – Basıncılı döküm (13 bar)

c - Pressure casting (41 bar) = c – Basıncılı döküm (41 bar)

Döküm basıncı arttıkça, bu azalma daha fazla vurgulanır.

Dolayısıyla, sorun derinlemesine incelendiğinde, küçülmenin parçanın kalınlığında homojen olmadığı unutulmamalıdır: döküm yüzeyine dikey küçülme ile döküm yüzeyine paralel küçülme göz önünde bulundurulduğunda, bünyenin davranışı farklıdır.

Şekil 2.51 [24], döküm basıncının bir fonksiyonu olarak, iki yöndeki küçülmeye ilişkin eğrileri göstermektedir: yüzeye paralel yöndeki küçülmeye kıyasla, yüzeye dikey yöndeki küçülme basıncın artmasıyla birlikte daha belirgin ölçüde ve daha hızlı azalır.



Şekil 2.51 – Döküm basıncının bir fonksiyonu olarak, kuruma sırasında yüzeye paralel ve dikey küçülme

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Drying shrinkage % = Kuruma sırasında küçülme %

pression (bar) = basınç (bar)

surface perpendicular = yüzeye dikey

surface parallel = yüzeye paralel

Bu davranışı açıklamak için, kalıbın yüzeyine paralel olarak dizilen kil plakalarının

kazandığı katmanlı yapıyı değerlendirmemiz gerekir. Plakalara dikey basınç uygulamak bunların hızlı bir şekilde toplanmasına ve maksimum sıkışma düzeyine ulaşmalarına yol açar. Öte yandan, döküm yüzeyine paralel olarak, plakalar daha yavaş ve dışarı çıkan suyla orantılı şekilde bir arada kayarlar.

BÖLÜM 3

3. REOLOJİNİN DÖKÜM ÇAMURUNA UYGULANMASI

3.1. Giriş

Reoloji dışarıdan uygulanan bir kuvvete maruz kalan maddelerin deformasyonunu (ve dolayısıyla akışını) inceleyen bilim dalıdır. Aslında, döküm çamurlarının (katı parçacıkların su içerisinde süspansiyonu) davranışlarını incelemek açısından söz konusu maddelerin reolojik gelişimlerinin farkında olmak son derece önemlidir. Bir sonraki paragrafta göreceğimiz üzere suyun dağılım aracı olması, katı parçacıklar (özellikle kil) ile ara yüzey tabakalarında kendi potansiyeli ile nitelenen bir elektriksel çift tabakanın oluşmasına sebep olur. Bu gerçek, süspansiyonun davranışını büyük ölçüde etkileyecek şekilde, parçacıklar arasında çekme/itme durumunun ortaya çıkmasına yol açacaktır.

Sağlık gereçleri üretiminde şekillendirme süreci sıvı maddenin kalıplara dökülmesi aracılığıyla gerçekleştirildiği için, çamur reolojisinin son derece önemli olduğu açıktır.

Dökümün başarısı ve döküm parçasının temel özellikleri (kalınlığı, yoğunluğu, kolay kuruması vs.) çamurun deflokülasyon (topaksızlaşma) durumuna bağlıdır.

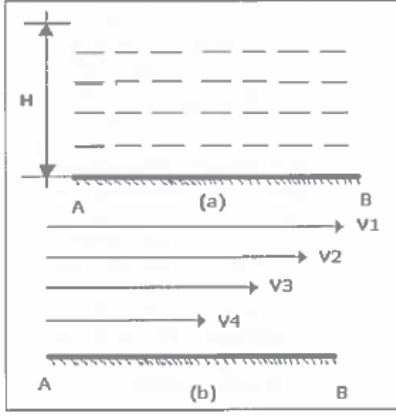
Dolayısıyla, bu bölümde viskozite ve tiksotropi kavramları ile ilgili temel kavramlar yer almaktadır. Daha fazla araştırma yapmak isteyenler için belirli metinlere referans gösterilmektedir.

Elektriksel çift tabaka, konuyla ilgili bütün hususlarla birlikte detaylı olarak ele alınacak ve daha sonra da reolojik parametreleri incelemek için kullanılan ekipmanlar değerlendirilecektir. Son olarak da, kendilerine özgü deflokülasyon mekanizmaları değerlendirilmek suretiyle temel deflokülantlar anlatılacaktır.

3.2. Viskozite

Bir sıvı hareket ettiğinde, sıvıyı oluşturan münferit parçacıklar kendi aralarında göreceli bir kaymaya maruz kalır. İçsel sürtünmenin karşı koyduğu bu göreceli kayma hareketine karşı dirence ise sıvı viskozitesi adı verilir. Dolayısıyla, sıvının yüzeyine bir kuvvet uygulanırsa, söz konusu hareket sıvı kütleinin tamamına aktarılır. Bu transfer, viskozitenin varlığı nedeniyle mümkün olmaktadır. Tabii

ki temin edilen bütün enerji kinetik enerjiye dönüşmeyecektir çünkü söz konusu enerjinin bir kısmı hareketin aktarılmasına imkan sağlayan içsel sürtünme (viskozite) nedeniyle ısı olarak dağılacaktır. Viskozite ne kadar yüksekse, o kadar fazla enerji ısı olarak dağılır. Bu kavramları Şekil 3.1'de [25] daha iyi bir şekilde görselleştirmek için, H yüksekliğine sahip bir sıvı hacmin birden fazla birbirlerine paralel basit katmana bölündüğünü varsayalım. Birinci katmana F kuvveti uygulandığında, bu katman v_1 hızında hareket etmeye başlayacaktır. Diğer katmanlar da hareket etmeye başlar (sürtünmenin sıvı içerisinde yarattığı direnç nedeniyle) fakat bu diğer katmanların hareketi motor katmandan (kuvvetin uygulandığı katman) uzaklaştıkça aşamalı olarak azalan bir hızla gerçekleşecektir.



Şekil 3.1 – Bir kayma kuvvetine maruz kalan sıvının davranışını gösteren şema.

Son olarak, sabit AB duvarı ile temas halinde olan son katmanı değerlendirebiliriz. Bu katmanın durgun olduğunu ve dolayısıyla da sifıra eşit bir hıza sahip olduğunu gözlemleriz. Şekil 3.2'de sadece 2 katman değerlendirilmiştir; bu katmanlar birbirlerinden birimsel "l" uzunluğu ile ayrılmıştır ve sırasıyla v_1 ve v_2 hızlarına sahiplerdir. v_1 ve v_2 'nin zaman içerisinde sabit kalması için katman 1'e uygulanması gereken F kuvvetini hesaplayabiliriz.

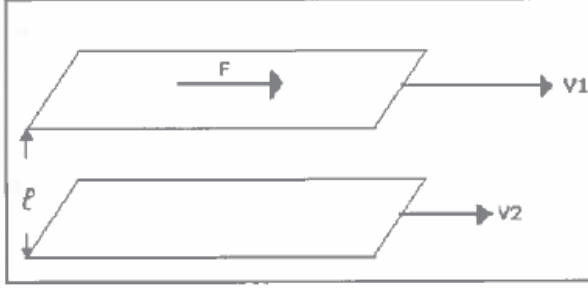
Dolayısıyla (deneysel) sonuç şu şekilde ifade edilir.

$$(3.1) F = \frac{\eta \cdot S \cdot v_1 - v_2}{l}$$

Bu sonuca göre F kuvvetinin, sıvı katmanının yüzeyi S, iki katman arasındaki hız farkı ve η ile ifade edilen bir orantısallık katsayısı ile orantılı olması gerekmektedir. F kuvveti aynı zamanda iki katman arasındaki mesafe ile ters orantılı olacaktır.

Eğer hız sürekli olarak değişirse ve katmanlar arasındaki mesafeler sonsuz küçük bir değere sahipse, yukarıdaki denklem şu şekilde yazılabilir:

$$(3.2) F = \eta \cdot S \cdot \frac{dv}{dl} \quad (\text{Newton denklemi})$$



Şekil 3.2 – S yüzeyinin iki farklı katmanının hareketi

dv/dl ifadesi, aralarındaki mesafe ile bağlantılı olarak düzlemlerin hızlarının türevini temsil eder ve kayma hızı olarak da bilinen ve sıklıkla γ sembolü ile ifade edilen hız gradyanını gösterir. Dolayısıyla, Newton denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$(3.3) F = \eta \cdot \gamma \cdot S \quad \text{ki buradan da şu elde edilir:}$$

$$(3.4) \frac{F}{S} = \tau = \eta \cdot \gamma$$

Burada τ , S yüzeyine uygulanan kayma gerilimidir.

η orantısallık faktörü, dinamik viskozite katsayısı olarak bilinir ve bir sıvı için akmanın (*akışkanlığının*) ne kadar kolay olduğunu ortaya koyar.

Newton'un denkleminde η , her sıvı için karakteristiktir ve sıcaklık ve basınç değişmediği sürece belirli bir sıvı için sabit kalır. Dolayısıyla dinamik viskozite, birimsel bir mesafede konumlanmış iki katman arasındaki birimsel hız farkının korunması için yüzey alanı birimine uygulanması gereken kuvvete eşittir.

Viskozitenin boyutları, Newton'un denklemi ile kolaylıkla hesaplanabilen $[M] [L]^{-1} [T]^{-1}$ 'dir. Kullanılan ölçü birimleri de şunlardır:

$$\text{Nsm}^{-2} = \text{Pascal saniye} = 1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ Poise}$$

Endüstriyel uygulamada bu ölçü birimleri hemen her zaman aşırı büyük olduğu için, bunların ast katları kullanılır:

$$\text{miliPascal saniye} = \text{mPa} \cdot \text{s} = \text{centi-Poise} = \text{cP}$$

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Normalde, sağlık gereçleri endüstrisindeki döküm çamurlarının viskozitesi 500 ila 800 mPa · s =centi-Poise arasında değişir. Bazı durumlarda, fire clay çamurlar 1000 centi-Poise'a ulaşabilir, hatta bunu aşabilir.

Dinamik viskozitenin tersi $1/\eta$, akışkanlık olarak tanımlanırken (ölçü birimi rhe); dinamik viskozite ile sıvının özgül ağırlığı (ρ) arasındaki ilişkiye de kinematik viskozite adı verilir:

Kinematik viskozitenin boyutları şunlardır:

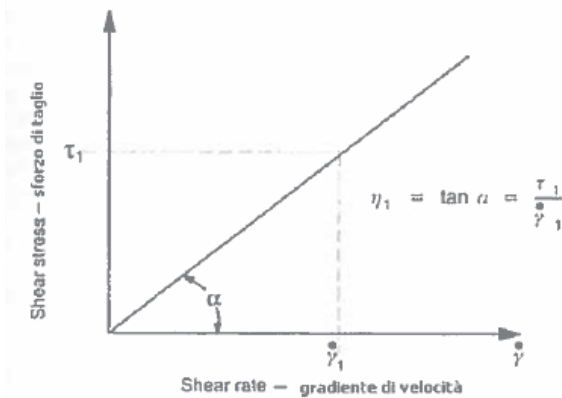
$$(v = \eta/\rho) [v] = [L]^2 [T]^{-1}$$

Ölçü birimi Stokes = cm²/sn.'dir ya da daha sıklıkla centi-Stokes şeklinde ast katları ile anılır.

3.2.1. Newton Akışkanları

Herhangi bir iki zıt yüzeyin ters yönde kayma (shear) hızı değeri için kayma gerilimi ile kayma hızı gradyanı arasındaki oran sabit olduğunda, bir sıvı Newton akışkanı olarak tanımlanır. Bu şu anlama gelir: viskozite η , γ' 'nin bütün değişim alanı için sabit kalır ve dolayısıyla da sabit bir sıcaklık değerinde sıvının davranışı η' ye ilişkin bilgi ile mükemmel bir şekilde tanımlanır.

Şekil 3.3 γ' 'nin bir fonksiyonu olarak τ 'nin trendini göstermektedir: burada, düz bir doğrunun Newton akışkanının davranışını temsil ettiği dikkat çekmektedir. η , τ ile γ arasındaki ilişki olarak tanımlandığı için, düz doğrunun eğimini temsil etmektedir ve dolayısıyla da α açısının tanjantı ile ifade edilir. Açıkça görülmektedir ki, α ya da diğer bir deyişle düz doğrunun eğimi ne kadar yüksekse, sıvının viskozitesi de o kadar yüksek olacaktır. Sıvının reolojik davranışını tanımlayan Şekil 3.3'teki grafiğe, reogram ya da akış eğrisi adı verilir.



Şekil 3.3 – Bir Newton akışkanının akış grafiği

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Shear stress: İki zıt yüzeyin ters yöndeki kayma gerilimi

Shear rate: İki zıt yüzeyin ters yöndeki kayma hızı

Doğal olarak az sayıda sıvı Newton akışkanı davranışı gösterirken (örneğin, su), seramik çamurları önemli ölçüde farklıdır ve aşağıda da göreceğimiz üzere, çok daha karmaşık bir reograma sahiplerdir.

3.2.2. Newton yasalarına uymayan akışkanlar

Newton yasalarına uymayan akışkanlar, iki unsur bakımından Newton akışkanlarından farklılık gösterirler:

1. Dinamik viskozite sadece sıcaklık ve basınca bağlı değildir, aynı zamanda sıvının daha önce maruz kaldığı deformasyonun ve hareketin de belirgin etkisini hissederek sıvının hareket koşullarına, diğer bir deyişle τ ve/veya $\dot{\gamma}$ 'ya göre ve ayrıca zaman içerisinde önemli ölçüde değişir.

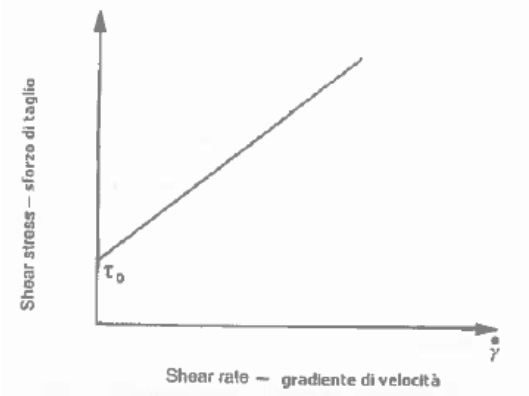
2. Sadece kayma gerilimi nedeniyle meydana gelen bir akış söz konusu olduğunda bile, Newton yasalarına uymayan bir akışkanın reolojisini tam olarak saptamak için viskoziteyi bilmek yeterli değildir. τ ile $\dot{\gamma}$ arasındaki doğru orantı ilişkisi (Newton denklemi) artık geçerli değildir.

Newton yasalarına uymayan akışkan davranışlarının birbirlerinden farklılık gösteren çeşitli türleri bulunmaktadır: bu paragrafın ilerleyen kısımlarında, sağlık gereçlerinde kullanılan çamurların incelenmesi açısından en önemli olanlarını değerlendireceğiz.

3.2.2.1. Plastik veya Bingham akışkanları

Newton akışkanlarıyla kıyaslandığında temel fark, uygulanan teğetsel kuvvetin değeri belirli bir değeri aşınca kadar plastik akışkanların herhangi bir akış göstermemeleridir ve söz konusu belirli değer üzerinde ise akışkan Newton akışkanlarına çok benzer bir şekilde davranır.

Bütün bunlar şekil 3.4'te gösterilmiştir; burada ancak τ_0 seviyesinde bir kayma gerilimi uygulandığında akışın başladığını görebiliriz. Kayma gerilimiyle ilgili bu limit değerine akma noktası adı verilir. Bu değer altında sıvı bir katı gibi hareket eder.



Şekil 3.4 – τ_0 başlangıç akış limitine sahip bir sıvının reogramı (akış eğrisi)

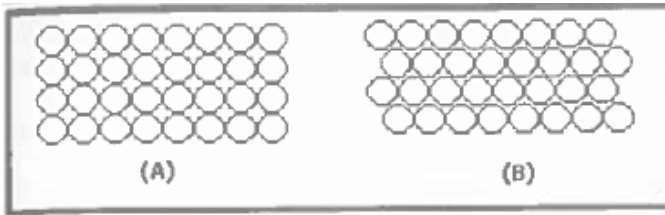
ŞEKİL ÜZERİNDE:

Shear stress: iki zıt yüzeyin ters yöndeki kayma gerilimi

Shear rate: iki zıt yüzeyin ters yöndeki kayma hızı

Şekil 3.5 [25] Bingham akışkanının Newton akışkanına kıyasla farklı olan davranışını ortaya koyan bir şemayı göstermektedir. A, Newton akışkanını gösterir: A akışkanı söz konusu olduğunda, uygulanan herhangi bir gerilim sistemin akmasına yol açmaktadır.

B ile gösterilen Bingham plastiği durumunda ise, uygulanan gerilimin A durumunda görülen aynı etkiyi doğurması için, üstesinden gelinmesi gereken bir basamak olduğunu görebiliriz.



Şekil 3.5 – (A)'da Newton akışkanı, (B)'de ise bir Bingham akışkanı temsil edilmektedir.

Bu basamak, akma noktasını temsil eder ve bu sınırın ötesinde akışkan bir Newton akışkanı gibi davranır. Bu durumda, τ' 'yi γ' 'ya bağlayan denklem şu şekilde ifade edilir:

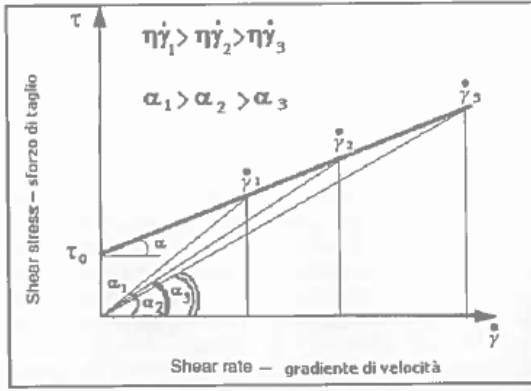
$$(3.5) \tau = \tau_0 + \eta \cdot \gamma = \tau_0 + \tan \alpha \cdot \gamma$$

ve bu denklemden de şuna varılır:

$$(3.6) \eta = \tan \alpha = \frac{\tau - \tau_0}{\gamma}$$

Bu durumda viskozite, plastik viskozite olarak bilinir: plastik viskozite τ_0 gerilim değerini aştığında sabit kalır ve τ_0 değeriyle birlikte, akışkanın reolojik davranışını mükemmel bir şekilde tanımlar.

Fakat γ değiştiğinde plastik akışkanın viskozitesine ne olduğu gözlemlendiğinde, viskozitenin sürekli olarak değiştiğini görürüz (şekil 3.6) [26].



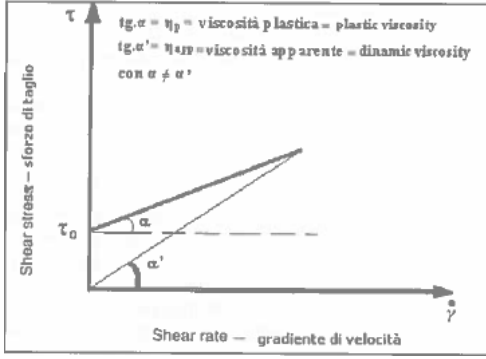
Şekil 3.6 – Bir akma noktası söz konusu olduğunda, γ arttıkça basitçe $\eta = \tau / \gamma$ olarak tanımlanan viskozite de sürekli olarak değişir.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Shear stress: iki zıt yüzeyin ters yöndeki kayma gerilimi

Shear rate: iki zıt yüzeyin ters yöndeki kayma hızı

Aslında, endüstriyel uygulamada, t_0 ve γ' 'nin değişimlerini dikkate almaksızın akışkanın reolojisini dikkate alan bir parametre belirlenir (örneğin bir Ford kabı kullanılarak). Dolayısıyla söz konusu parametreye plastik viskozite (t_0 dikkate alınmadığı için) ya da dinamik viskozite (η' 'nin γ ile nasıl değiştiği dikkate alınmadığı için) denemez: dolayısıyla, Newton akışkanı olsaydı ve τ gerilimine tâbi tutulsaydı söz konusu sıvının sahip olacağı dinamik viskoziteyi temsil ettiği için bu viskozite türüne görünür viskozite adı verilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 – τ gerilimine tâbi tutulan Newton akışkanındaki görünür viskozite veya dinamik viskozite

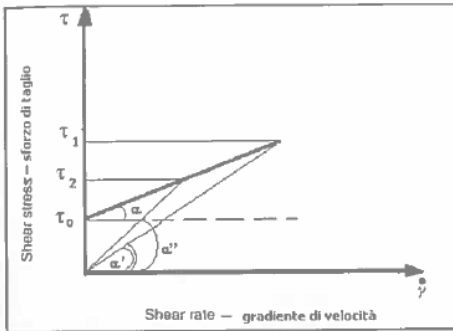
ŞEKİL ÜZERİNDE:

Shear stress: iki zıt yüzeyin ters yöndeki kayma gerilimi

Shear rate: iki zıt yüzeyin ters yöndeki kayma hızı

Böylelikle, söz konusu viskozite olduğunda, mutlak olmayan viskozimetreler (Ford kabı, Gallenkamp) ile ölçülen reolojik parametreden söz edildiğinde, bu görünür viskoziteyi ifade etmektedir. Görünür viskozite çamurun dinamik viskozitesinin gerçek değerini temsil etmese de, farklı çamurların reolojik davranışlarını ya da farklı deflokülanların etkilerini kıyaslama imkanı sağlar. Dolayısıyla görünür viskozitenin ölçülmesi, ölçüm koşulları ve prosedürleri tamamıyla aynı olmak kaydıyla, endüstriyel uygulamalarda faydalıdır. Eğer bu sağlanamıyorsa, önemli hatalarla karşı karşıya kalınabilir zira eğer karıştırmanın sona ermesi ile ölçüm arasında belli bir süre olursa ya da uygulanan kayma gerilimi değişirse, vs. aynı çamur için farklı görünür viskozite değerleri elde edilebilir.

Örneğin, Şekil 3.8 uygulanan kayma gerilimi değiştiğinde görünür viskozitenin nasıl değiştiğini göstermektedir.



Şekil 3.8 – Görünür viskozitenin değeri, uygulanan kayma geriliminin bir fonksiyonu olarak değişir.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Shear stress: iki zıt yüzeyin ters yöndeki kayma(kesme) gerilimi

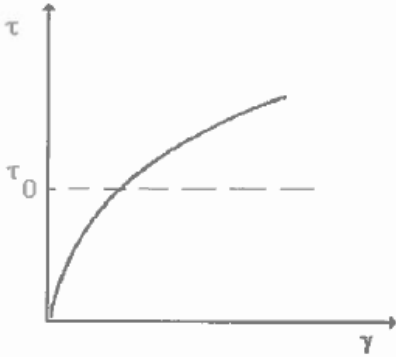
Shear rate: iki zıt yüzeyin ters yöndeki kayma(kesme) hızı

Grafik analiz edildiğinde, uygulanan gerilimin azalmasıyla farklı (daha yüksek) bir görünür viskozite elde edildiği anlaşılmaktadır.

Neredeyse bütün seramik çamurlarının plastik davranışları sergilediğini ve hassas bir akma noktasına sahip olduklarını akılda tutmak önemlidir. Hassas akma noktasının teknolojik açıdan önemi, döküm parçaların kararlılığının ve çamuru oluşturan inert (*etkisiz*) parçacıkların sürekli süspansiyonunun buna bağlı olmasıdır.

3.2.2.2.Yapışkanlığı ve kıvamı hızla azalan plastik (Psödoplastik) akışkanlar

Psödoplastik akışkanlar, çok düşük seviyede gerilim uygulanmasıyla bile akmaya başlarlar, fakat viskozite sabit değildir: başlangıçta çok yüksek değerler söz konusudur ve kayma hızı arttıkça bu yüksek değerler düşmeye başlar. Belli bir kayma gerilimi değeri aşıldıktan sonra ise viskozite dengeye ulaşır ve neredeyse sabit hale gelir. Şekil 3.9 psödoplastik bir akışkanın reogramını göstermektedir.



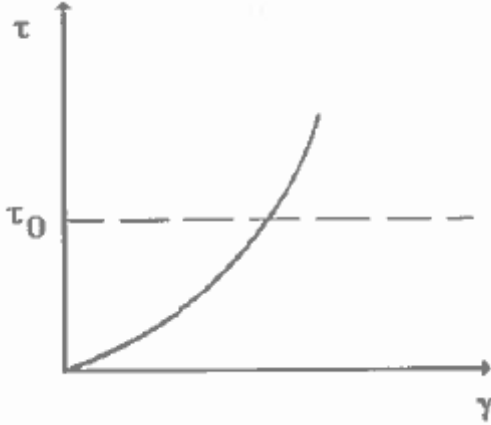
Şekil 3.9 – Psödoplastik bir akışkanın reogramı

Bu akışkanlara psödoplastik denmesinin sebebi, bir τ_0 değerinin tespit edilebilmesi ve bu değerin ötesinde akışkanın bir Bingham plastiği gibi davranmasıdır.

İlginçtir ki bütün sağlık gereçleri çamurları psödoplastik davranışı gösterirler. Aslında, bu çamurlarda kayma hızı ($\dot{\gamma}$) arttıkça viskozite asgari sabit bir değere ulaşınca dek azalır. Psödoplastik akışkanlar tersine çevrilebilir bir reolojik davranış sergilerler, diğer bir deyişle $\dot{\gamma}$ 'nin düşürülmesi ilk viskozite değerlerine ulaşılıncaya dek η 'nin artışına yol açar. İlerleyen kısımlarda, endüstriyel çamurların reolojik davranışlarının tam olarak tersine çevrilebilir olmadığına dair fiili gerçeği göreceğiz. Psödoplastik bir akışkanın davranışı şu şekilde açıklanabilir: akışkan durağanken, kendisini oluşturan partiküller tercih ettikleri bir konum olmaksızın düzensiz bir şekilde dizilmiştir. Dolayısıyla bir gerilimin uygulanması, parçacıkların hareketine yol açar fakat bunlar büyük bir direnç gösterir (yüksek viskozite). Gerilim uygulanırken, parçacıklar gittikçe artan bir şekilde akış yönünde sıralanırlar ve bu da viskozitenin azalmasına yol açar. Bütün parçacıkların dizilmesi tamamlandığında, viskozite asgari değerinde kararlılığa kavuşur.

3.2.2.3 Dilatant (Stres uygulandığında viskozitesi artan) akışkanlar

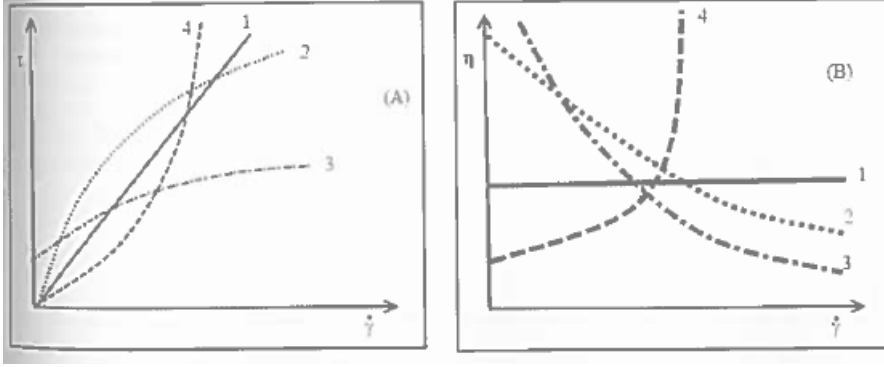
Dilatant akışkanların özelliği, kayma hızındaki artışla birlikte artan bir viskoziteye sahip olmalarıdır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 – Dilatant akışkanların özelliği, kayma hızındaki artışla birlikte artan bir viskoziteye sahip olmalarıdır.

Diğer bir deyişle, bu akışkanlar ne kadar çok karıştırılırlarsa o kadar katılaşırlar (viskozitenin artması). Bu davranışın endüstriyel kullanım için uygun olmadığı ve seramik çamurlarda istenmeyen bir özellik olduğu aşikardır. Kayma hızına bağlı davranış sergileyen (zamana bağlı değil) Newton akışkanları ile Newton yasalarına uymayan akışkanlar ile ilgili bu kısa özetimizi sonuçlandırmak için, Şekil 3.11 (A) [27] reolojik davranışlarındaki farkları vurgulamak amacıyla bu akışkanların tipik

reogramlarını göstermektedir. Ayrıca Şekil 3.11 (B) de, kayma hızına göre viskozite trendlerini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.11 – Kayma hızına bağlı davranış türleri: (1) Newton akışkanı, (2) psödoplastik, (3) plastik, (4) dilatant

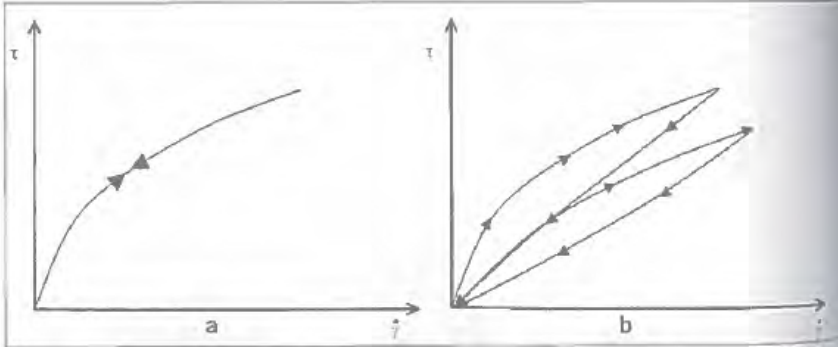
İkinci şekil incelendiğinde, bir Newton akışkanının viskozitesinin $\dot{\gamma}$ 'nin değişimiyle birlikte sabit kalırken, plastik ve psödoplastik akışkanlarda $\dot{\gamma}$ 'nin artışıyla birlikte viskozitenin düştüğünü ve son olarak dilatant akışkanlarda $\dot{\gamma}$ 'nin artışıyla η 'nin da arttığını gözlemlemek oldukça kolaydır.

3.2.3. Zamana bağımlı akışkanlar

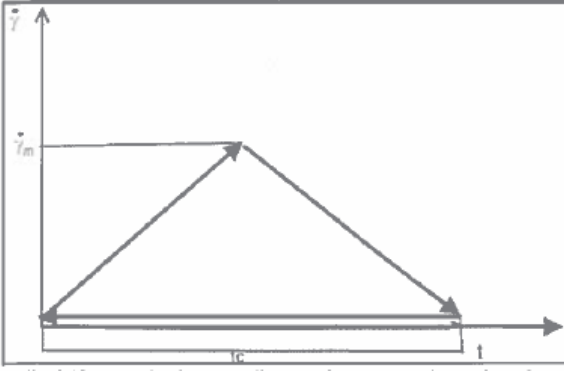
Buraya kadar, viskozite değeri zamana değil uygulanan iki zıt yönlü tabakanın kayma hızına bağlı olarak nitelenen akışkanları inceledik. Bu, kayma hızı aşamalı olarak azaltılarak, reogramın $\dot{\gamma}$ 'nin artırılması ile elde edilen değerler ile mükemmel bir şekilde örtüşen bir eğri ile temsil edilmesi anlamına gelir. Pratik olarak, bu durumu daha basit bir şekilde ifade etmek gerekirse, akışkanı hareket ettiren kayma ortadan kaldırıldığında, viskozitenin kayma geriliminin uygulanmasından önceki değerleri tekrarladığı söylenebilir.

Şekil 3.12 (A) [27], bu durumu göstermektedir. Fakat viskozitesi sadece kayma hızına bağlı olarak değil aynı zamanda zamana bağlı olarak da değişen akışkanlar bulunmaktadır. Bu kategori, tiksotropik ve reopektik akışkanları kapsar.

Şekil 3.12 (B) [27] ise, üçgen şeklinde uygulanan kayma gerilimine tâbi tutulan bir tiksotropik akışkanın reogramını göstermektedir.



Şekil 3.12 – Histerisis eğrisine göre kayma gerilimine verilen dinamik tepkiler: (a) zamana bağımlı akışkan, (b) tiksotropik tipte zamana bağımlı akışkan.

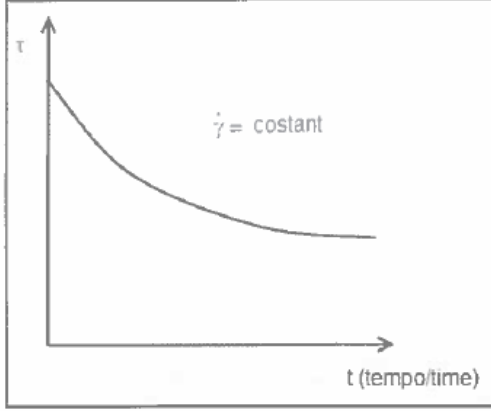


Şekil 3.13 – Histerisis eğrisine göre kayma gerilimi.

Kayma hızının azalmasıyla ilgili eğrinin $\dot{\gamma}$ 'nin artırılması ile elde edilen eğri ile örtüşmediğini hemen fark edeceksiniz. Ayrıca, en sondaki viskozitenin ilk baştaki viskoziteden daha düşük olduğu da açıktır. Sağlık gereçleri endüstrisindeki uygulamalara yönelik en uygun zamana bağımlı akışkanlar aşağıda ayrıntılı olarak incelenmektedir.

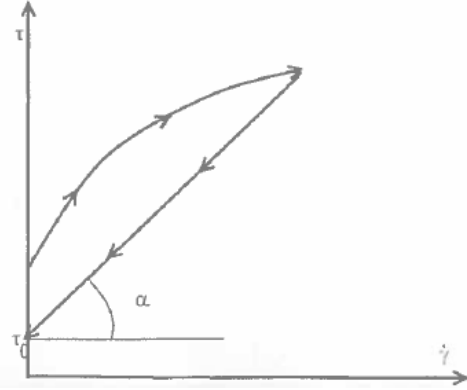
3.2.3.1. Tiksotropik akışkanlar

Psödoplastik akışkanlarda da görüldüğü üzere, gerilime tâbi olan tiksotropik bir akışkanın viskozitesi azalır. Fakat psödoplastik akışkanlardan farklı olarak, gerilimin sonlandırılmasıyla, tiksotropik akışkanın (gerilim uygulanmadan önce) ilk olarak ölçülen viskozitesinden farklı bir viskozite elde edilir. Şekil 3.14 karıştırılmakta olan bir akışkana uygulanan kayma geriliminin (ve dolayısıyla da viskozitenin) kayma hızı değiştirilmeksizin bile zaman içerisinde nasıl azaldığını ortaya koyan bir grafik yer almaktadır.



Şekil 3.14 – Zamana bağımlı davranış: $\dot{\gamma}$ sabit tutularak ölçüm yapıldığında dahi, kayma gerilimi zamanın bir fonksiyonu olarak aşamalı şekilde azalır

Öte yandan Şekil 3.15, yukarıda açıklanan durumu, diğer bir deyişle karıştırma sırasında tiksotropik bir akışkanın viskozitesinin azaldığını ve gerilim uygulanması sona erdirildiğinde, nihai olarak elde edilen viskozitenin ilk viskoziteden farklı olduğunu ortaya koymaktadır.

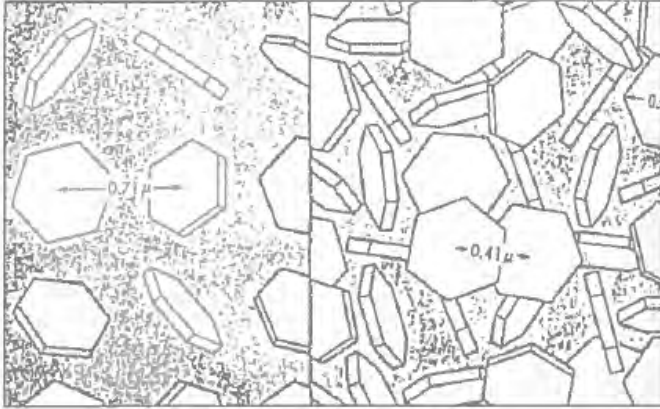


Şekil 3.15 - Tiksotropik bir akışkanın reogramı (tikotropik bir akışkanın viskozitesi karıştırma ile azalır ve gerilim uygulanması bittiğinde, nihai viskozite ilk viskoziteden farklıdır).

Şekilde de görüldüğü üzere, genellikle tiksotropik bir akışkanın ayırt edici özelliği bir akma noktasına sahip olmasıdır. Uygulamada, daha önce yapılan değerlendirmeye önemli bir sonuca yol açmaktadır: tiksotropik bir çamur, aynı gerilime tâbi tutulduğunda dahi, çamur üzerinde ölçüm yapılan zamanın değişimine göre farklı viskoziteler ölçülebilir. Bu, tiksotropik bir akışkanı

reolojik olarak nitelendirebilmek için, kayma hızının bir fonksiyonu olarak viskozite değişimini tespit etmenin yeterli olmadığı anlamına gelir. Zamana göre viskozitedeki değişimi tespit etmek gerekir. Bunun başarılması pek kolay değildir. Tikotropik bir akışkanın özelliklerinin tespit edilmesine ilişkin prosedürlere geçmeden önce, tikotropinin tam olarak ne anlama geldiğini ve böyle bir özelliğin fiziksel olarak nasıl doğrulanabileceğini net bir şekilde açıklamak gerekir. Bu analizi yaparken, sağlık geçeri endüstrisi açısından özellikle önemli olan hususlara odaklanacağız. Daha fazla bilgi için bu konuya özel yayınlara başvurabilirsiniz.

Tikotropi, askıda parçacıklar içeren bütün çamurların (sağlık gereçlerinin dökümüne yönelik çamurlar da bu kategoriye girmektedir) sahip olduğu bir özellik olarak tanımlanabilir: yeterince uzun bir süre bekletildikleri takdirde, bu çamurlar bir jel (diğer bir deyişle, yarı katı bir yapı) oluştururlar ve daha sonra karıştırılırlarsa tekrar sıvıya (çözelti) dönüşürler. Bu jel – çözelti geçişi, sınırsız olarak tekrar edilebilir. Bu davranış, sıvı içerisine dağılmış olan parçacıkların üç boyutlu bir yapı oluşturması ile açıklanabilir. Bu olaydan etkilenen askıda parçacıklar kil partikülleridir ve bunlar asimetric bir düzlem/tabakalı şekle ve elektrik yüklerine sahiptirler. İlgili kısımda da göreceğimiz üzere, kil partikülleri bir elektrik yüküne sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda da iyon alışverişi yapma ve boyutları mevcut iyonların türüne bağlı olan bir elektriksel çift tabaka oluşturma imkanına sahiptirler. Dolayısıyla, bir partikülle diğeri arasında çekme/itme kuvveti oluşabilir ve söz konusu kuvvet, çamur dinlenme halindeyken, iskambilden yapılmış bir kuleye benzer bir yapı oluşmasına yol açabilir. Özellikle, bir partikülün kenarı ile bir diğeri yüzeyi arasında, doğası gereği elektrostatik olan zayıf bağlar oluşur (Şekil 3.16) [28].



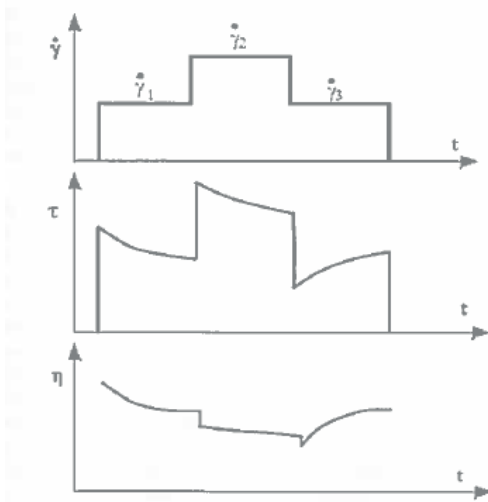
Şekil 3.16 – Hacim olarak iki farklı konsantrasyona sahip tekli dağılımlı kaolinit çözeltisinin kesiti: solda 0,05; sağda 0,28 (Norton sınıflandırması). Daha yüksek konsantrasyon söz konusu olduğunda yüzey/kenar tipinde “iskambil kağıdı kutucukları” düzeni dikkat çekmektedir.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Dolayısıyla, tiksotropik davranış, dinlenme sırasında Şekil 3.16'da gösterilen şekilde bir yapı oluşması ve çamur karıştırıldığında bu yapının bozulması ile açıklanabilir. Böylece, sağlık gereçleri çamurlarına tiksotropik davranış özelliğini veren en önemli parametreleri belirleyebiliriz:

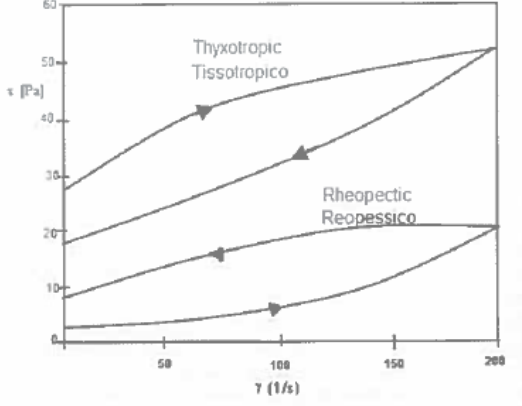
- Partikül şekli (kil mineralleri söz konusu olduğunda tabakalı şeklinde).
- Bir partikül ile diğeri arasındaki elektrostatik kuvvetlerin türü ve değeri: daha sonra daha ayrıntılı şekilde göreceğimiz üzere, bu kuvvetler sadece kil partiküllerinin türüne bağlı değildir, aynı zamanda kullanılan deflokülanta da (dağıtıcı) bağlıdır (bu, elektriksel çift tabakanın kalınlığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir).
- Partiküller arasındaki mesafe ve askıdaki katı fazın konsantrasyonu: konsantrasyonun etkisi Şekil 3.16'nın incelenmesiyle açıkça görülebilir. Birinci şekilde, düşük konsantrasyonlu bir dağılım ortaya koyulmaktadır ve bu örnekte partiküller arasındaki mesafe tiksotropik yapının oluşumuna yol açan elektrostatik bağların oluşumunu teşvik etmeyen bir şekildedir.

Yukarıdaki bilgilerden, tiksotropik bir çamurun reolojik eğrisinin büyük ölçüde malzemenin geçmişine bağlı olduğu açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Malzeme, aslında daha önce başından geçen reolojik olayları ezberlemiştir: nasıl hazırlandığı ve saklandığı, ne tür karıştırma ve pompalama süreçlerine başvurulduğu ve bu süreçlere ne kadar süreyle maruz kaldığı. Tiksotropik bir akışkan, akışkan içerisinde meydana gelen yapının yeniden inşası/bozulması süreçlerinin bir sonucu olarak kayma hızındaki değişikliklere tepki verir: Şekil 3.17 [27], $\dot{\gamma}$ 'nın (kayma hızı) değişimine göre τ ve η 'daki (kayma gerilimi ve viskozite) değişiklikleri göstermektedir. Başlangıçta γ sabitinin artmasıyla τ ve η 'de düşme görülür. γ sabitinin daha düşük bir değere (γ_3) gelmesiyle, τ ve η daha düşük bir değere gelir.



Şekil 3.17 – Tiksotropik bir akışkanın tipik geçici davranışı

Bu şu anlama gelmektedir: tiksotropik bir akışkanın reogram üzerindeki reolojik davranışı, akışkanın (dinamik hal) kayma hızındaki değişikliklere olası tepkisi tanımlanarak bir fiziksel durum aralığı içerisinde (Şekil 3.18 [27]) mümkün olduğunca gösterilebilir.



Şekil 3.18 – Akışkanın (dinamik hal) kayma hızındaki değişikliklere olası tepkisi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Thixotropic = Tiksotropik

Rheopectic = Reopektik(Zamana bağlı olarak viskozitesi değişen)

Grafiksel açıdan, kabaca ilk bakışta, bir akışkanın tiksotropisini, eğrinin yükselen ve alçalan uzantılar arasında yer alan histeresis alanı olarak görebilirsiniz (Şekil 3.18). Tiksotropiyi mutlak değerler olarak (tikstropi derecesi) ölçmek ise çok daha zordur: konuyu daha detaylı incelemek için, lütfen bu konuya özgü yayınlara başvurun [28]. Ne var ki, endüstriyel kullanım söz konusu olduğunda, çamurun tiksotropik gelişimini anlamak için görünür viskoziteye ilişkin iki ölçüm yapmak yeterlidir: birinci ölçüm, çamur standartlaştırılmış bir prosedüre göre karıştırıldıktan sonra alınır. İkinci ölçüm ise aynı çamur belli bir süre dinlendirildikten sonra alınır. İki viskozite arasındaki fark, çamurun tiksotropi derecesine ilişkin bir gösterge olarak kabul edilir. Ölçüm araçlarına ayrılan bölümde, farklı viskozimetrelerin kullanım prosedürleri belirtilecektir.

3.2.3.2. Reopektik akışkanlar

Tiksotropik akışkanlar, karıştırılmalarını müteakip zaman içerisinde sıvı hale gelirken, reopektik akışkanlar daha yoğun hale gelirler, diğer bir deyişle viskozitelerindeki bir artışa maruz kalırlar. Reopeksiye neden olan mekanizma,

tiksotropiye sebep olan ile aynıdır; fakat reopeksi söz konusu olduğunda, partiküllerin hareketi partiküller arasındaki bağların oluşunu kolaylaştırır – hareketin etkisi ile daha düzgün hale gelirler. Seramik çamurlarının bu davranışa sahip olmadıkları açıktır zira aksi takdirde bunların karıştırılması ve pompalama yardımıyla nakledilmesi mümkün olmazdı.

Şekil 3.18 [27], farklarının daha iyi anlaşılabilmesi için, tiksotropik bir akışkan ile reopektik bir akışkanın reogramlarını kıyaslamaktadır.

3.3. Viskozimetreler

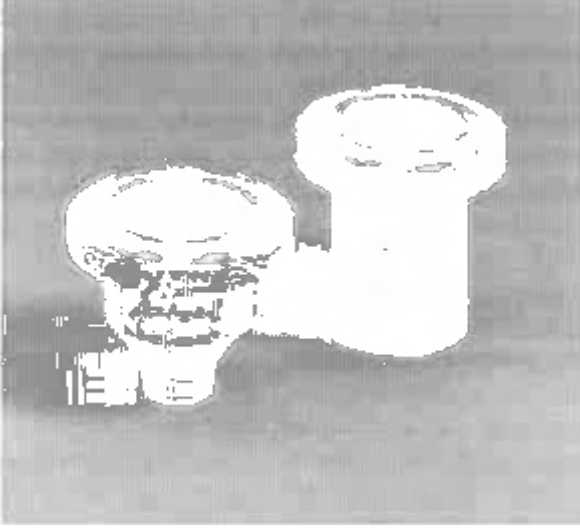
3.3.1. Giriş

Gerek vitrifiye gerekse fire clay sağlık gereci çamurlarının, reolojik olarak özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla viskozite ölçümü için uygun araçların kullanılması gerekir. Daha önceki kısımlarda, sağlık gereci çamurlarının Newton yasalarına uymayan, psödoplastik akışkanlara çok benzeyen fakat zamana bağımlı davranış gösteren (tikotropik) ve kopma noktasına (düşük) sahip akışkanlar olarak nasıl sınıflandırıldıklarını gördük. Bunlar, mutlak bir değer ile tespit edilmesi kolay olmayan, karmaşık özelliklere sahip akışkanlardır. İlerleyen birkaç kısımda, endüstriyel uygulamalarda bir çamurun reolojik parametrelerinin çeşitli seviyelerde yaklaşık belirlenmesinin yeterli olduğunu göreceksiniz. En yaygın şekilde kullanılan viskozimetreler ve bunların endüstrilerde genellikle kullanılan kullanım prosedürlerini inceleyeceğiz.

3.3.2. Akışlı viskozimetreler

Bunlar, bir ölçülü ağız(orifis) kontrolünde önceden belirlenmiş bir miktardaki sıvının akış süresini ölçebilen viskozimetrelerdir. Genellikle saniyeler olarak ifade edilen ve standart bir Newton akışkanı (su) ile kıyaslandığında viskoziteyi görelî olarak ifade etmemize imkan sağlayan bir değer elde edilir. Dolayısıyla, bunlar viskozitenin mutlak değerini tespit etmemize imkan vermeyen ampirik viskozimetrelerdir. Ayrıca bu araçlar ölçüm sırasında çamurun sıcaklığını kontrol etmemize imkan vermezler, fakat özellikle de bağımlılık süresinin etkilerini değerlendirmemize imkan tanımazlar. Bu araçlar ile kayma hızını değiştirmek mümkün olmadığı gibi kopma noktası da tespit edilemez. Buraya kadar belirtilen hususlara rağmen, bu tür viskozimetreler pahalı olmadıkları ve kullanımları son derece kolay olduğu için ve ayrıca dayanıklılıklarından dolayı endüstride geniş ölçüde kullanılırlar. Aslında bir ölçüm yapmak için, ölçüm öncesindeki karıştırma prosedürlerini standart hale getirmeye özen göstererek bir kronometre kullanarak önceden belirlenmiş miktardaki çamuru ölçülü ağızdan tahliye etmek yeterlidir.

Akışlı viskozimetrelerin çeşitli tipleri bulunmaktadır. Bunların en yaygın olanları büret viskozimetre ve Ford kabıdır.



Şekil 3.19 – Ford kapları (ISO ve DIN modelleri)

Şekil 3.19 [29] bir Ford kabı viskozimetreyi göstermektedir: bu temelde, tepesi kesilmiş olan bir koni üzerinde ölçülü bir deliğe sahip olan, incelenen akışkan için standart hale getirilmiş bir kaptır (100 ml, bazı durumlarda ise 500 ml). 4 mm'lik delik, vitrikiye çamuru ölçümleri için ve 6 mm'lik delik de fine fire clay çamuru ölçümleri için kullanılır. Daha büyük olan delik, tabii ki, daha yüksek viskoziteye sahip olan akışkanlar içindir. Endüstriyel olarak ölçülen akış süreleri şu şekildedir: vitrikiye: 60 ila 80 saniye; fine fire clay: 100 ila 120 saniye. Bu değerler, çamurun diğer özelliklerine bağlı olarak değişebilir (özgül ağırlık/mineralojik bileşim/partikül boyutları).

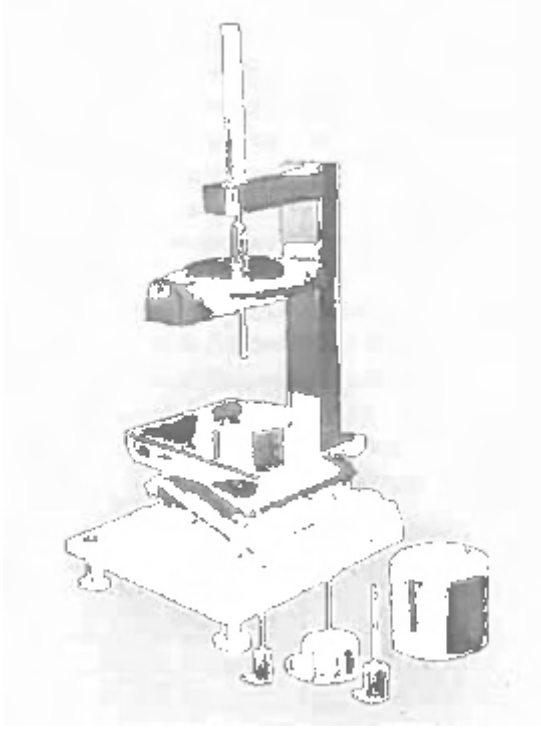
3.3.3. Gallenkamp viskozimetreleri

Gallenkamp viskozimetresi, rotasyon viskozimetrelerin özel bir versiyonudur: ölçüm yapan rotorun hareketini aslında bir harmonik çelik telin burulması (torsionu) sağlamaktadır ve bu nedenle Gallenkamp viskozimetresine aynı zamanda torsion viskozimetresi adı da verilir. Şekil 3.20, temelde aşağıdaki unsurlardan oluşan tipik bir Gallenkamp viskozimetresini göstermektedir:

- Ölçüm rotoru görevi gören silindirik metal bir gövde. Bunun boyutları, kontrol edilecek olan çamurun viskozitesine bağlıdır. Sağlık gereçleri endüstrisinde genellikle 17,5 mm çapında gövdeler kullanılır.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

- Rotorun asılı olduğu harmonik çelik tel. Söz konusu durumda, telin çapı 0,315 mm'dir.
- Çelik tele sabitlenmiş bir ibre
- Sabit derecelendirilmiş dairesel bir ölçek
- İncelenmekte olan sıvının bulunduğu metal bir kap



Şekil 3.20 – Gallenkamp viskozimetresi

Uygulamada, ölçüm yapmak için uygulanan prosedür şöyledir:

- Rotor, kapta incelenmek üzere bulunan sıvıya daldırılır
- Silindir (ve dolayısıyla çelik tel) 360° döndürülür ve sistem kilitlenir.
- Rotor serbest bırakılır ve böylelikle iki kuvvete maruz kalır: rotoru beslemenin dönüşüne ters yönde dönmeye zorlayan telin burulması ve akışkanın viskozitesi ile orantılı olarak sergilediği direnç.
- Hareket ters yöne dönmeden önce, rotor dönüşünü akışkanın viskozitesinin

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Gallenkamp derecesi olarak karşılığını gösteren bir noktada sonlandırır: geri dönüşün açısı ne kadar büyükse, çamurun viskozitesi de o kadar düşüktür ve bunun tersi de geçerlidir.

Yukarıdaki bilgilerden, bu viskozimetrenin temel sınırlandırmalarını ortaya çıkarabiliriz: cihaz kontrol altına alınmış bir sıcaklıkta çalışma imkanı sağlamamaktadır ve ölçümlerin yapıldığı yöntemin elde edilen sonuçlar üzerinde güçlü bir etkisi bulunmaktadır. Ayrıca, çamur 1 ya da 5 dakika dinlendirildikten sonra aynı çamurun viskozitesinin tespiti tekrarlanmadığı sürece, tiksotropik etkiyi ölçmek mümkün değildir. Aslında, birinci ve ikinci ölçümler arasındaki derece farkı akışkanın tiksotropik değerlendirmesinin bir göstergesi olarak alınır. Tabii ki, okunan viskozite mutlak olmayan göreceli bir değer ifade eder. Ne var ki, kullanım basitliği ve hızı sayesinde, Gallenkamp viskozimetresi endüstriyel kontrollerde en yaygın şekilde kullanılan cihazdır ve çamurun reolojik davranışı hakkında Ford kabı ile elde edilenlerden çok daha geçerli olan göstergeler verir. Endüstriyel çamurlarla ilgili olarak Gallenkamp viskozimetrelerinden elde edilen değerler aşağıdaki şekildedir:

	<i>Başlangıç viskozitesi</i>	<i>1 dk. sonunda viskozite</i>	<i>5 dk. Sonunda viskozite</i>
<i>Vitrifiye</i>	290÷310°G	25÷35°G	75÷95°G
<i>Fine fire clay</i>	220÷240°G	30÷45°G	85÷105°G

Tabii ki, bu değerler yaklaşık değerlerdir ve Avrupa'daki ham maddelerin kullanıldığı çamurlarla ilgilidir, dolayısıyla farklı çamur tipleri ve teknolojik gerekliliklere göre önemli ölçüde değişiklik gösterebilirler.

3.3.4. Brookfield viskozimetreleri

Brookfield viskozimetresi, bir rotasyon viskozimetredir ve sağlık gereçleri üretim tesislerinde kullanılanlar arasında reolojik davranışın tespit edilmesi için en doğru ve etkili çözümdür. Bir şaftla elektrik motoruna bağlanan ve ölçülecek viskozitenin bir fonksiyonu olarak değiştirilebilen bir rotordan oluşur. Rotor, ölçülecek olan sıvının içine daldırılır, motor çalıştırılır ve viskozimetre (çamurun viskozitesiyle orantılı olan) dönme kuvvetinin bir ölçümünü verir. Ölçüm, analog olarak ya da dijital bir gösterge üzerinde görülebilir. Bu cihazla elde edilen viskozite değerleri de yine görelidir. Bu cihazda fark yaratan şey, ölçümün sabit bir kayma hızı ile

alınmasıdır ki bu, buraya kadar üzerinde durulan viskozimetreler ile mümkün olmayan bir şeydir. Sağlık gereçleri endüstrisinde, ölçümler normalde 20 rpm'lik sabit bir hızla dönecek şekilde tasarlanmış bir rotor no. 3 (düz bir disk) kullanılarak yapılır. Öte yandan, çamurun tiksotropik eğilimini kontrol etmek için, rotor bir saat süresince 2 rpm hızda dönmek üzere ayarlanmıştır. Bilinen viskozite değerlerine sahip akışkanlar ile kalibrasyon sayesinde, ölçümler centi-Poise olarak ifade edilebilir: vitrifiye çamurları genellikle 5 ve 7 poise'lık viskozite değerlerine ulaşırken, tiksotropik etki okumaları 75 ila 90 poise'ı gösterir. Fine fire clay içinse, viskozite ölçümleri 12 ila 16 poise arasında değişirken, tiksotropik etki okumaları 90 ve 110 poise arasında değerlere ulaşır. Şekil 3.21 bir Brookfield viskozimetresini göstermektedir.



Şekil 3.21 – Biri analog ve diğeri dijital göstereye sahip iki farklı Brookfield viskozimetresi modeli.

3.3.5. Mutlak döner reometreler (akışölçerler)

Bunlar, endüstriyel uygulamalarda neredeyse hiç kullanılmayan (araştırma merkezleri hariç), son derece karmaşık makinelerdir ve bütün reolojik değerlerin tespit edilmesine (τ , γ , viskozite) imkan sağlarlar. Ayrıca, önemli düzeyde elektronik kullanımı sayesinde, bu cihazlar zaman etkileri ile akma noktasının değerlendirilmesini ve incelenen akışkanın sıcaklığını izlemeyi mümkün kılar.

Reolojik özellikleri son derece farklı olan akışkanların incelenebilmesi için, çalışma koşulları (gerilim ve kayma hızı) çok geniş bir yelpazede değişebilir.

Şekil 3.22'de araştırma ve geliştirme için kullanılan bir reometrenin resmi yer almaktadır.



Şekil 3.22 – Araştırma ve geliştirme sürecine yönelik bir reometre

Daha iyi teçhizatlara sahip imalat tesislerinde mutlak döner reometre kullanılması daha yaygın bir durumdur: daha öncekinden daha basit olmasına rağmen, bu çamurun mutlak görünür viskozite değerinin ölçülmesini mümkün kılar. Mutlak reometreler için çeşitli tasarım çözümleri bulunmaktadır. Ayrıntılı analizler için bu konuya özgü yayınlara başvurabilirsiniz.

3.4. Deflokülasyon

Döküm yöntemi ile ilgili şekil verme tekniği, kalıpların çamur adı verilen sıvı bir çamurla doldurulmasını (ve daha sonra boşaltılmasını) içerir. Dolayısıyla, çamurun kalıpların doldurulmasını ve boşaltılmasını hızlı ve kolay kılan reolojik özelliklere (iyi viskozite ve tiksotropi) sahip olması önemlidir. Düşük viskozite değerlerine sahip bir çamur elde etmek için, çözelti içerisindeki katı içeriği azaltmak ve böylelikle su miktarını arttırmak mümkündür. Fakat bu, çeşitli nedenlerden dolayı

uygun değildir ve bu sebeplerden bazıları şunlardır:

- Düşük bir özgül ağırlık, çamuru oluşturan partiküllerden en büyük partikül boyutlarına sahip olanların ya da topraklar oluşturmaya meyilli partiküllerin yüksek oranda çökelmelerine yol açar.
- Doğru kalınlık almaya ulaşmak için bertaraf edilmesi gereken su aşırı miktardadır ve dolayısıyla da işleme süreleri kabul edilemez derecede uzayacaktır.
- Alçı kalıpların çok fazla su emmeleri olasılığı vardır ve dolayısıyla da kalıpların çamurdan su çekme kapasiteleri hızlı bir şekilde azalacaktır.

Buraya kadar anlatılanlar göz önünde bulundurulduğunda, endüstriyel uygulamalar çamurun doğru reolojik özelliklere, fakat aynı zamanda da mümkün olduğunca asgari miktarda suya sahip olmasını gerektirir: bu sonuca ulaşabilmek için, deflokülan (dağıtıcı) olarak bilinen, partiküllerin toplasımını engelleyerek süspansiyonu stabilize etme kabiliyetine sahip kimyasal katkı maddelerinden faydalanılır. Deflokülanların çalışma mekanizması ilerleyen birkaç paragrafta ele alınacaktır. Böylelikle, döküme yönelik bir çamurun üç unsurdan oluştuğunu söyleyerek bu noktayı özetleyebiliriz:

- Katı kısım: çamurun bir parçası haline gelen ham maddeler
- Sıvı faz: su, dağıtıcı faz adı da verilir
- Deflokülanlar: yüksek katı faz içeriği (çamurun yüksek özgül ağırlığa sahip olması) söz konusu olduğunda dahi, çamurun viskozitesini ve tiksotropisini düşüren çeşitli kimyasal katkı maddesi türleri (doğal ya da sentetik).

Deflokülanların doğru seçilmesi ve doğru dozda kullanılması, iyi, sorunsuz ve böylelikle tüm üretim sürecinin miktarı ve kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olacak bir döküm çamuru elde edilmesini sağlar. Deflokülan türü ve miktarının ideal bir şekilde seçilmesi, birçok unsura bağlı olan değişken bir durumdur ve söz konusu unsurların en önemlileri şunlardır:

- Kullanılan ham maddelerin türü: mineralojik bileşim, partikül boyut dağılımı, organik madde içeriği, çözünür tuzlar, vs.
- Mevcut suyun kalitesi: sertlik derecesi, sülfat, klorür vs. içeriği
- çamur tipi: vitrifiye, fine fire clay, dolayısıyla özgül ağırlığı ve ham maddelerin bileşim yüzdesi ile bunların partikül boyut eğrisi.

Dolayısıyla, deflokülanların türü ve miktarı ile ilgili evrensel olarak geçerli göstergeler vermek mümkün değildir: bunların her duruma göre deneysel olarak tespit edilmeleri gerekir.

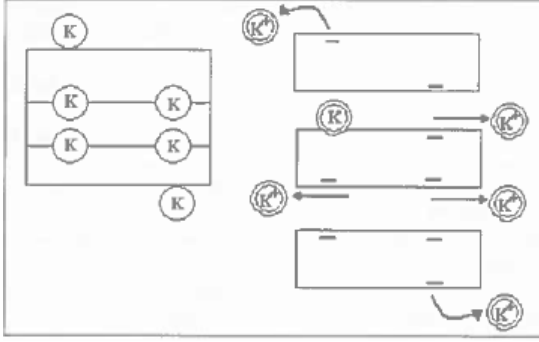
Bu kısımda, ayrıntılı olarak sağlık gereçlerine yönelik seramik çamur süspansiyonlarına uygulanan deflokülasyon mekanizmasını inceleyeceğiz.

3.4.1. Su – seramik partikül sistemi

Deflokülasyon olgusunu tam olarak anlayabilmek için, seramik çamurları meydana getiren partiküllerin su içerisinde dağınık haldeyken davranışlarını analiz etmek gerekir.

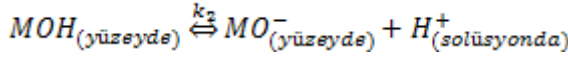
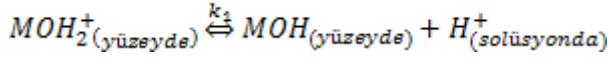
Genellikle seramik çamurları oluşturan katı partiküllerin özellikleri, yüksek seviyede gelişmiş yüzey alanına sahip olmaları (ve küçük olmaları), çok düşük çözünürlükleri olması veya neredeyse hiç çözünürlükleri olmaması ve yüzeylerinin kimyasal tepkinirliğe sahip olmasıdır. Bu durum, özellikle de boyut olarak çoğunlukla bir mikrondan daha küçük olan kil parçacıkları için geçerlidir. Bir kil partikülü su içerisindeyken üç mekanizma sayesinde elektrik yüklü olma eğilimi gösterir [7]:

A. Absorbe edilmiş olan maddelerin serbest bırakılması (desorpsiyon). Bu mekanizmanın tipik bir örneği, yüzeyde absorbe edilmiş olan alkalilerin kaolinit tarafından serbest bırakılmasıdır. Aslında, kaolinitin kristal örgüsünde normalde Si^{4+} 'nin varlığından kaynaklanan tetrahedronlar (üçgen piramit) bulunur, fakat bazen Al^{3+} ya da hatta Mg^{2+} Si 'nin yerini alabilir: bu durumda, alkali ya da toprak alkali iyonlarının yüzeyde absorbe edilmesiyle yeniden oluşan kristal yapının elektriksel nötrlüğünde bir dengesizlik olur. Bu iyonlar, partiküle zayıf bir şekilde bağlıdır ve kolaylıkla değiş-tokuş edilebilirler. Bu sebeple, kil partikülleri yüksek seviyede iyon alış-verişi özelliğine sahiptirler (Katyon Değişim Kapasitesi) ve bu özellik 100 g kil maddesinin değiş-tokuş edebileceği azami iyon sayısı olarak tanımlanır. Dolayısıyla, kristal örgüdeki ikameler ne kadar fazlaysa (diğer bir deyişle, mineralin saflığı ne kadar düşükse), iyon değişim kapasitesi de o kadar yüksek olur. Bu nedenle, daha yüksek seviyede yapısal düzensizlik ve daha düşük saflıkta kristal özelliklerine sahip killer, kaolinitlere kıyasla daha yüksek Katyon Değişim Kapasitesine sahiptirler. Şekil 3.23 [7], dağılmış olan kil partiküllerinin yüzeyinde negatif yüke sahip olmanın etkisiyle su içerisinde alkaline iyonlarının serbest bırakılması mekanizmasını ortaya koymaktadır.



Şekil 3.23 – Absorbe edilmiş olan alkali iyonları serbest bırakıldığında dağılmış olan kil partikülleri yüklü hale gelirler.

B. Yüzey ile dağıtıcı sıvı arasındaki kimyasal reaksiyon: yüzeyi suda hidratlanmış olan bir oksit aşağıdaki denge tepkilerine yol açabilir:



Burada M, Al³⁺ veya Si⁴⁺ gibi bir iyonu (yüzeyde) temsil etmektedir.

Dolayısıyla, hidratlı bir oksidin bulunduğu yüzeyin yükleri solüsyonun pH'ı tarafından belirlenir. Aslında, H₃O⁺ fazlalığı dengeyi reaksiyonların soluna geçirir ve dolayısıyla da yüzeyi pozitif yüklü bırakır. Bunun aksine, OH⁻ yük fazlası reaksiyonu tamamıyla sağa geçirerek ve yüzeyi negatif yüklü bırakarak solüsyondaki H⁺'ı uzaklaştırır.

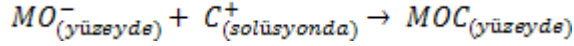
Kil partikülleri (geniş yüzeylere ve dar kenarlara sahip tabakalı yapısında) söz konusu olduğunda, bu süreç tercihen, kopmuş olan bağ ve örgü bozulmalarının yoğunlaştığı partiküllerin köşelerinde (kenarlarında) meydana gelir. Bu durumun aksine, kaolinitteki partikül yüzeylerinde genellikle bu bozulmalar olmaz ve dolayısıyla da kaolinit partikülleri bu mekanizmaya maruz kalmazlar ve her zaman için negatif yüklüdürler. Yukarıda anlatılanlar, pH'taki değişimlerle birlikte bir kil partikülü üzerindeki yüklerin dağılımının neden değiştiğini açıklamaktadır:

baz pH: negatif yüklü yüzeyler ve kenarlar

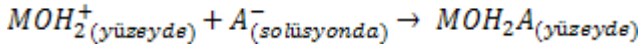
asit pH: negatif yüzeyler ve pozitif kenarlar

Asidik pH ile oluşan yük dağılımı, farklı partiküller arasında kenar-yüzey bağlarının ve dolayısıyla da iskambil eve benzer yapısının una yol açar (Şekil 3.24) [30].

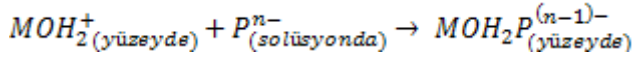
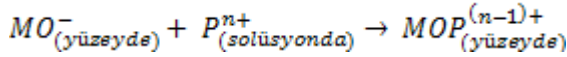
C. İyonların tercihli adsorpsiyonu. Dağıtıcı sıvı (bizim incelediğimiz durumda su) içerisinde çözülmüş olan iyonlar söz konusu iyonun zıttı yüke sahip yüzeyler üzerinde adsorbe olur:



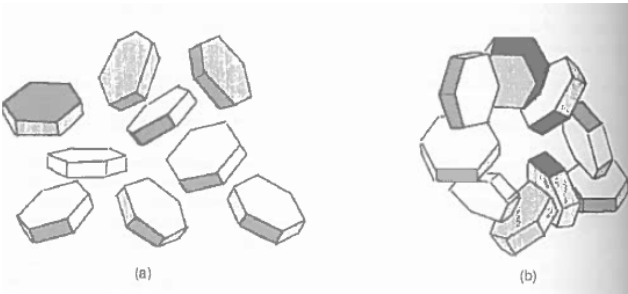
ve



Polielektrolitlerin (yani, polimer zinciri boyunca birden fazla iyonlaşabilir gruba sahip polimerler) adsorbe edilecekleri durumda, yüzey elektrik yükünde bir değişiklik ya da artış olabilir. Bu durum, aşağıdaki reaksiyonlarda gösterilmiştir:



Dolayısıyla, yukarıda tanımlanan mekanizmalar sayesinde, seramik çamurunu oluşturan partiküller su içerisinde dağıldıklarında, genellikle negatif bir yük alırlar. Çözeltinin reolojik davranışını en çok etkileyen partiküller daha ince olanlardır (0,5 ila 1 mikrondan küçük) ve bunlar koloidal davranış gösterirler: Brown hareketine tâbi olan partiküller, iki farklı kuvvete maruz kalarak, sürekli olarak çekim halinde ve birbirleriyle etkileşim içindedirler. Bunlardan birincisi çekim kuvvetidir ve partiküllerin topraklar halinde floklaşmasına yol açar.

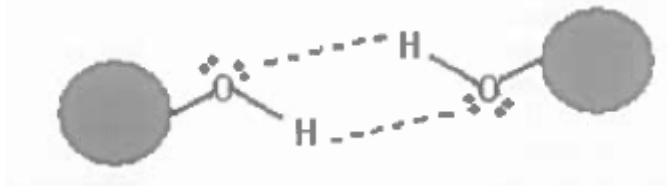


Şekil 3.24 – Bazık pH (a) ve asit pH (b) (iskambil ev yapısı) içerisinde kil partikülleri (Lewis, 2000'den alınmıştır).

İkinci kuvvet ise doğa itibariyle elektrostatik olan itici güçtür (partiküller ile aynı yüke sahip) ve bu güç de partiküllerin birbirlerinden ayrık durmalarına yol açar. Çekim kuvveti, aşağıda detaylı olarak incelenecektir.

İki ya da daha fazla molekül arasındaki etkin madde çekim kuvveti, üç tür kuvvetin süperpozisyonudur:

1. Hidrojen bağı: bu, çok güçlü bir dipol-dipol etkileşimidir ve bir hidrojen atomu çok miktarda negatif yük taşıyan bir atoma bağlandığında meydana gelir: yüksek seviyede polarize olan (+) hidrojen üzerinde pozitif bir yük bölümü oluşur ve diğer atom üzerinde de negatif bir bölüm (-) oluşur. Elektronegatif atom üzerinde en az bir çift bağ oluşturmayan elektron mevcut olduğunda ve ikinci bir molekül yaklaştığında, iki molekül serbest elektron çiftlerini hidrojene bırakacak şekilde yönlenirler: bu, büyük bir elektrostatik çekim kuvveti yaratacaktır [Şekil 3.25]. Oksijen, klor, nitrojen ve bromin tipik yüksek seviyede elektronegatif atomlardır. Hidrojen bağı, enerji açısından moleküller arasındaki en kuvvetli etkileşimdir. Kuvvetin şiddeti hidrojene bağlanan atoma ve serbest elektron çiftine bağlıdır.



Şekil 3.25 – Hidroksil grupları aracılığıyla (O-H) iki molekül (küreler) arasındaki hidrojen bağı etkileşimi

2. Dipol-dipol etkileşimi: iki farklı jenerik atom (A, B) kimyasal olarak bağlandıklarında, elektronları çekme kabiliyetleri farklı olduğu için, aralarında pozitif (+) ve negatif (-) yüklerin kütle merkezi arasında bir konum farkı oluşur; bir elektrik dipolü meydana gelir ve moleküle polar adı verilir [Şekil 3.26]. Birbirine komşu iki elektrik dipolü birinci (+) dipolün kütle merkezi ikinci dipolün (-) yüküne yakın olacak şekilde hareket etme eğilimi gösterirler ve sonuç olarak dipoller birbirlerini elektrostatik olarak çekerler. Burada ortaya çıkan etki, bir öncekine benzerdir, zira hidrojen bağı da özel türde bir dipol-dipol etkileşimidir; fakat bu durumda çekim serbest elektronları varlığı nedeniyle daha güçlü hale gelmez. Dipol etkileşimleri, hidrojen bağından sonra, moleküller arası çekim kuvvetlerinin en önemlileridir. Şiddetleri, elektrik dipolünün şiddetine bağlıdır.



Şekil 3.26 – Dipol etkileşimindeki iki molekül

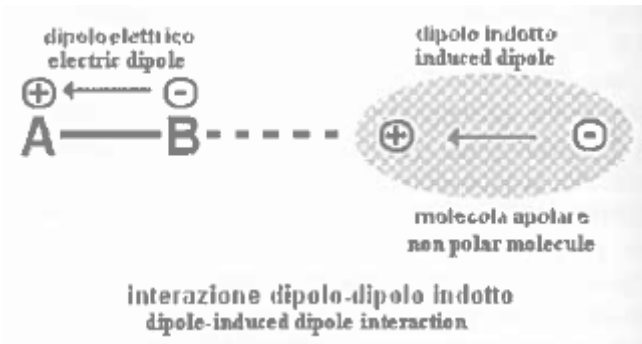
ŞEKİL ÜZERİNDE:

Electric dipole = elektrik dipolü

Dipole-dipole interaction = dipol-dipol etkileşimi

3. Van Der Waals kuvvetleri: bunlar, daha önce anlatılanlardan daha düşük seviyedeki enerji kuvvetleridir; iki gruba ayrılabilirler:

A. dipol-kaynaklı dipol: polar bir molekül, polar olmayan bir moleküle yaklaştığında, polar molekül polar olmayan molekülün polarizasyonu sağlar. Bu, dipol-dipol etkileşimindeki gibi bir çekim yaratır [Şekil 3.27]. Çekimin şiddeti, polarizasyonu tetikleyen dipol ve ikinci molekülün polarizasyon kabiliyeti ile orantılıdır ve ikinci molekülün polarizasyon kabiliyeti de molekülün yüzeyi ile birlikte artar.



Şekil 3.27 – Van Der Waals kuvvetleri nedeniyle etkileşim

ŞEKİL ÜZERİNDE:

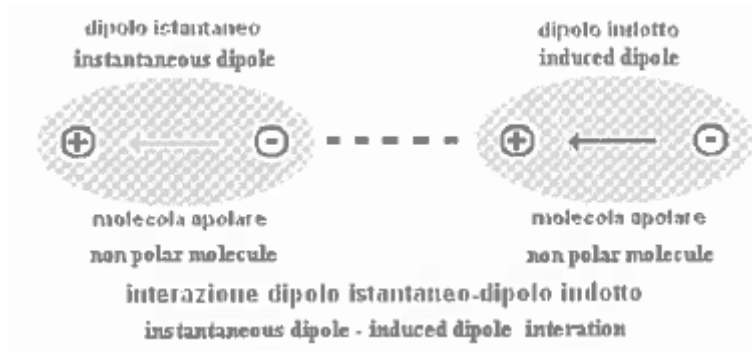
Electric dipole = elektrik dipolü

Induced dipole = endüklenmiş dipol

Non polar molecule = polar olmayan molekül

Dipole-induced dipole interaction = dipol-kaynaklı dipol etkileşimi

B. anlık dipol-kaynaklı dipol: bunlar, London dağılım kuvvetleri olarak bilinirler ve adlarını kendilerini inceleyen fizikçiden almışlardır. Bir çekirdek etrafında sürekli olarak hareket eden elektronlar son derece ufak anlık dipoller yaratırlar ve bu anlık dipoller de kendilerine komşu moleküller üzerinde anlık dipolleri tetikler. Bu kuvvetler son derece zayıftır, fakat bunların toplamı polar olmayan molekülleri bir arada tutan bir sonuca yol açar. Bu kuvvetler etkileşim içerisinde bulunan moleküllerin yüzeyleri ile orantılıdır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28 – London kuvvetleri nedeniyle etkileşim

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Instantaneous dipole = anlık dipol

Induced dipole = endüklenmiş dipol

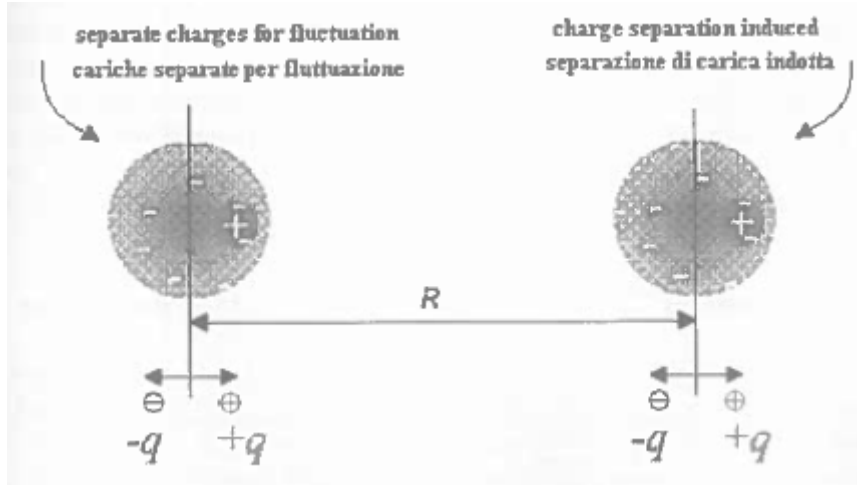
Non-polar molecule = polar olmayan molekül

Instantaneous dipole-induced dipole interaction = anlık dipol-kaynaklı dipol etkileşimi

Van Der Waals kuvvetleri aynı zamanda polar olmayan moleküller arasında da meydana gelirler. Şekil 3.29 bu olayın anlaşılması kolay bir açıklamasını ortaya koymaktadır.

Belli bir mesafe ile birbirlerinden ayrılmış olan iki molekül söz konusu olduğunda, Coulomb yasasının yapısından dolayı zayıf bir çekim vardır: elektron bulutunun ve

çekirdeğin içsel hareketi çekime yol açabilir. Bu kuvvete, Van Der Waals kuvveti adı verilir.



Şekil 3.29 – apolar moleküller arasındaki etkileşim

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Separate charges for fluctuation = kararsızlık için yük ayrılması

Charge separation induced = yüklerin ayrılmasının tetiklenmesi

Çekim kuvveti, genel olarak aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$E_{aff} = -b \frac{Q_1 \times Q_2}{r^n}$$

Burada:

Q_1, Q_2 = elektrostatik yüzey yükleri

b = sabit katsayı

r = partiküller arasındaki mesafe

n = kuvvetin türü ile 3 ile 7 arasında değişen tamsayı

İtici elektrostatik kuvvetler, aşağıdaki denklemle ölçülebilir:

$$E_{aff} = \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2}$$

Açıkça görülmektedir ki, ayrık partiküller daha düşük viskoziteye sahip bir süspansiyona tekabül ederler ve dolayısıyla da işlenmeleri daha kolaydır. Ayrıca, çamurun bileşimini değiştirerek çökme ihtimali olan öbekler ya da topaklar da meydana gelmez. Süspansiyonun kararlı olması için, itici kuvvetlerin çekim kuvvetlerinden daha yüksek olmaları gerekir; diğer bir deyişle, partiküllerin birbirlerinden ayrı durmaları ve topaklanmalar oluşturmamaları gerekir: bu durumda süspansiyonun topaksız olduğu, aksi durumda ise topaklı olduğu ifade edilir. Çekim kuvvetlerinin üçüncü ila yedinci kuvvetlerden itibaren ters orantılı olarak azaldıkları göz önünde bulundurulduğunda, partiküller arasında mesafenin artmasıyla birlikte çekim kuvvetinin türüne bağlı olarak, süspansiyonu kararlılığı hale getirmek için, partiküllerin birbirlerine yaklaşabilecekleri asgari mesafeyi arttırmak mümkündür. Bu, uygun katkı maddeleri (deflokülanlar) ile elektrostatik itme kuvveti artırılarak veya hacimli moleküllerin yüzey adsorpsiyonu aracılığıyla yaklaşıma bir engel yaratmak suretiyle gerçekleştirilebilir (sterik stabilizasyon). İlerleyen birkaç paragrafta, yukarıda bahsedilen etki mekanizmaları ayrıntılı olarak incelenecektir.

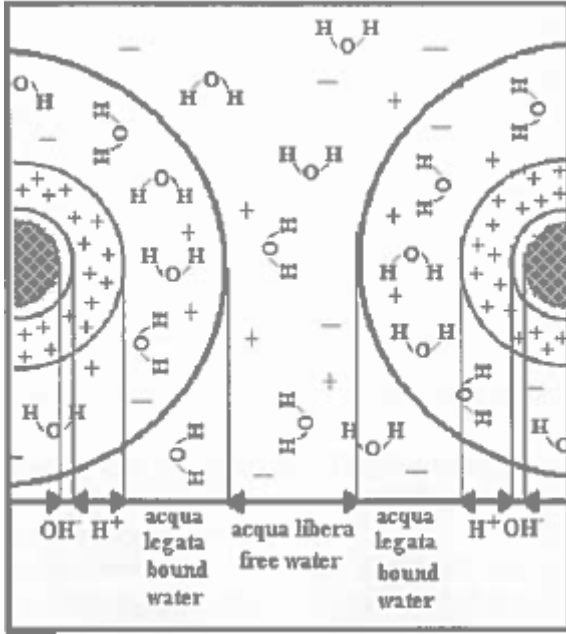
3.4.2. Elektriksel çift tabaka

3.4.1. Bölüm su içerisinde dağılmış olan bir partikülün farklı mekanizmalar aracılığıyla nasıl bir elektrik yüküne sahip olduğunu göstermekteydi. Bu durumda zıt yüklere sahip iyonların (ya da kutuplaşmış moleküllerin) partikülün kendisinin yükünü dengelemek için partikülü çevrelediği ve sistemin elektriksel nötrlüğünü korudukları açıktır.

Örneğin, tamamıyla saflaşmış, sadece H^+ ve OH^- iyonları içeren bir kil partikülüne su içerisindeyken ne olduğuna bakalım: kil partikülü OH^- iyonları ile tamamıyla kaplanır ve OH^- iyonlarının etrafında da, bu partikülün negatif yüküne doğru çekilen H^+ iyonları çevreler. Doğal olarak, elektrik yüklerinin varlığı, kil partikülünü çevreleyen su moleküllerinin (ki bunlar aslında kutupludur) oryantasyonuna yol açar. Bunun sonucunda, su partiküle ne kadar yakınsa partikül de, hidrojen bağı ile tutulduğu için, o kadar az hareketlidir. Dolayısıyla, partikülün etrafında buna sıkı bir şekilde bağlı olan bir su katmanı oluşur ve epitaksi nedeniyle halihazırda bağlı olan katmanı güçlendirir. Bu terim, bir kristalin farklı bir doğaya sahip bir diğeri üzerindeki yönelimi ile aşırı büyümesini ifade eder. Sadece bağlı olan katmanın ötesindeki su serbest şekilde hareket edebilir ve dolayısıyla da sadece bu su normal viskoziteye sahiptir.

Bağlı olan su katmanının kalınlığı, onlarca Angström ile hesaplanabilir. Şekil 3.30 ve 3.31, sırasıyla, iyonlar ve bağlı su ile çevrelenmiş iki partiküle ilişkin bir örneği ve bir kaolinit partikülü ile bunun iyonik atmosferinden oluşan bir yapının teorik şemasını göstermektedirler.

Kil partikülleri ile bağlı su katmanının bileşimine misel adı verilir.



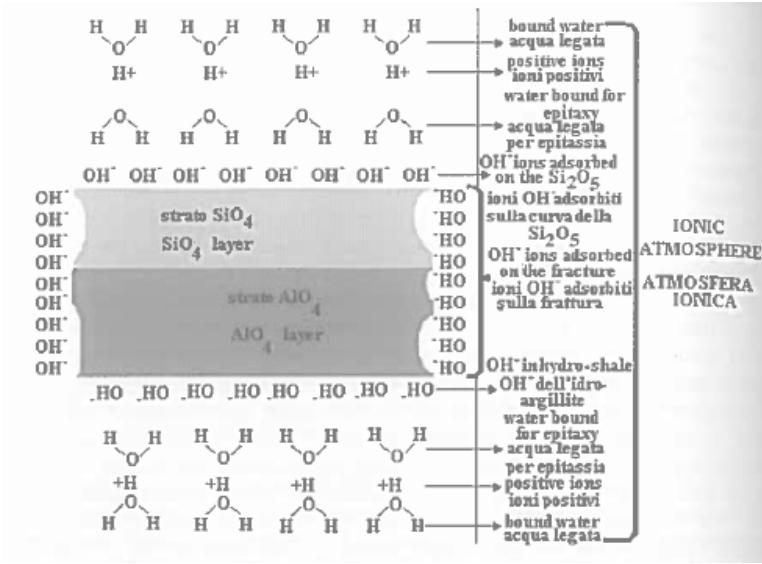
Şekil 3.30 – İyon bulutu ve su bağı ile çevrelenmiş kil partikülleri

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Bound water = bağlı su

Free water = serbest su

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM



Şekil 3.31 – İyonik atmosferiyle çevrili bir kaolinit partikülünün teorik modeli

ŞEKİL ÜZERİNDE:

SiO₄ layer = SiO₄ katmanı

AlO₄ layer = AlO₄ katmanı

Bound water = bağlı su

Positive ions = pozitif iyonlar

Water bound for epitaxy = epitaksi nedeniyle bağlı su

OH⁻ ions adsorbed on the Si₂O₅ = Si₂O₅ üzerinde adsorbe olmuş OH⁻ iyonları

OH⁻ ions adsorbed on the fracture = kırılım üzerinde adsorbe olmuş OH⁻ iyonları

OH⁻ in hydro-shale = hidro-şeyl içerisindeki OH⁻

Water bound for epitaxy = epitaksi nedeniyle bağlı su

Positive ions = pozitif iyonlar

Bound water = bağlı su

IONIC ATMOSPHERE = İYONİK ATMOSFER

Bu konfigürasyonda, bir elektrostatik potansiyel üretilir; partikülün yüzeyinde en üst sınırında olan bu elektrostatik potansiyel, zıt yükün iyonlarının konsantrasyonu nedeniyle, uzaklaştıkça azalır ve belli bir mesafede sıfıra ulaşır. Negatif yüklü partiküllerin yüzeyleri ile bir çözeltinin karşı-iyonlar içeren ve bu partikülleri çevreleyen kısmının bileşimine elektriksel çift tabaka adı verilir. Yüzeyin potansiyelinin 100 mV'a eşit ve bu seviyenin altında olduğu durumlarda, elektrostatik potansiyeli hesaplamak için şu denklemin kullanılması gerekir:

$$\Psi_x = \Psi_0 \exp - \left(\frac{x}{k} \right)$$

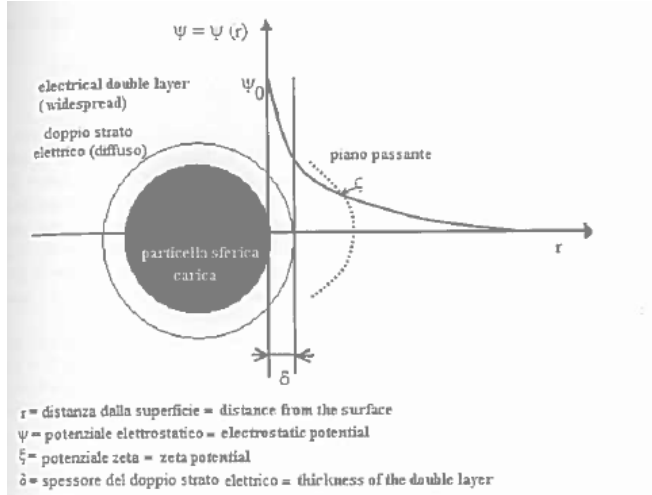
Burada:

Ψ_x = yüzeyden x mesafedeki potansiyel

Ψ_0 = yüzey potansiyeli

k^{-1} = çift tabakanın kalınlığı (elektrolitin konsantrasyonu ve yüküne bağlı olarak).

Gouy-Chapman modeline göre, küresel olarak gösterilen partikülden yüzeye olan mesafe arttıkça Ψ elektrik potansiyeli üssel olarak azalan bir trende sahiptir (Şekil 3.32) [30].



Şekil 3.32 – Yaygın elektriksel çift tabaka ve zeta potansiyeli.

ŞEKİL ÜZERİNDE

Electrical double layer (widespread) = Elektriksel çift tabaka

Spheric particle charge = Küresel partikül yükü

Piano passante = düzlem kayması

r = distance from the surface = yüzeye mesafe

Ψ = electrostatic potential = elektrostatik potansiyel

ζ = zeta potential = zeta potansiyeli

δ = thickness of the double layer = çift tabakanın kalınlığı

Şekilden, δ 'nın elektriksel çift tabakanın kalınlığını gösterdiğini görmekteyiz; ve konvansiyonel olarak, partikülün yüzeyinden itibaren bir mesafe olarak sabittir. Potansiyel tane yüzeyi ile karşılaştırıldığında % 63,2 düşme gözlenir. Açık bir şekilde görülmektedir ki, solüsyon iyonlar bakımından ne kadar zengin ve partikülün yüzeyine yaklaştıkça söz konusu iyonlar birden fazla yüke sahipse (Ca^{2+} ; Fe^{3+}), potansiyel % 63,2 düşer. Dolayısıyla, yüksek seviyede iyon konsantrasyonu ve bunların birden fazla yüke sahip olmalarının, elektriksel çift tabakanın boyutunu azalttığı sonucuna varabiliriz.

Aşağıdaki denklem, elektriksel çift tabakanın kalınlığını hesaplamak için kullanılabilir:

$$K = \left[\frac{\epsilon_r k_B T}{F^2 \sum N_i Z_i^2} \right]^{1/2}$$

Burada,

K = çift tabakanın kalınlığı

ϵ_r = solüsyonun dielektrik katsayısı

Z_i = solüsyonlardaki iyonlar

N_i = her iyon tipinin konsantrasyonu

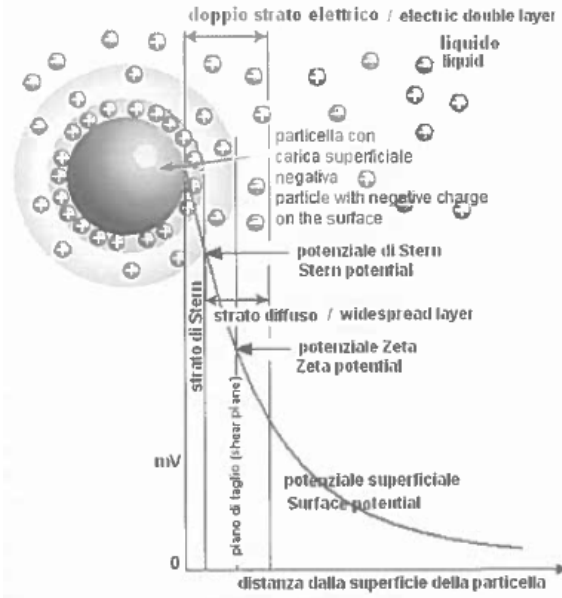
F = Faraday katsayısı

T = solüsyonun sıcaklığı

k_B = Boltzmann katsayısı

Çift tabakanın kalınlığını hesaplamak için kullanılan denklemin basit bir analizi yapıldığında, karşı-iyonların konsantrasyonu ve/veya valansı arttırıldığında çift tabakanın kalınlığının azaldığı kolaylıkla çıkarılabilir. Sıcaklığı azaltmak veya düşük bir dielektrik katsayısına sahip bir dağıtıcı sıvı kullanmak, elektriksel çift tabakanın kalınlığını azaltır. Çift tabakanın kalınlığının değeri genellikle birkaç nanometredir.

Stern, elektriksel çift tabakaya ilişkin farklı bir model geliştirmiştir: bu model, partikül ile yakın ilişkiye sahip bir birinci elektriksel tabaka öngörür ve bu tabaka partikülün yüzeyine bitişik iyonlardan oluşur. Bu birinci tabakada (Stern tabakası olarak bilinen), elektrik potansiyelinin düşüşü lineerdir. Stern tabakasını, Gouy-Chapman tabakasına çok benzeyen bir difüzyon tabakası takip eder; bu tabakada iyonların konsantrasyonu daha seyrek hale gelir ve potansiyel partikülden uzaklaştıkça üssel olarak azalma trendine geri döner. Bu konfigürasyonda, elektriksel tabakanın partiküle bitişik olan kısmı (Stern tabakası) partiküle bağlıdır ve dolayısıyla da rölatif hareketlilik açısından serbest değildir. Öte yandan, bu birinci katmanın ötesinde, solüsyon ile partikül arasında bir rölatif hareketlilik vardır. Diğer bir deyişle, bir partikül hareket ettiğinde, elektriksel çift tabakanın bir kısmı hareket etmezken bir kısmı da partikülle birlikte hareket eder. Çift tabakanın bu iki parçası arasındaki ayırım yüzeyine kayma yüzeyi adı verilir. Bunun elektrostatik potansiyeline ise zeta potansiyeli (ζ) adı verilir. Daha önce zeta potansiyeline tekabül eden kayma yüzeyinin tam konumunun, Stern tabakası ile difüzyon tabakası arasındaki ayırım alanına karşılık geldiğine inanılmaktaydı, fakat günümüzde bunun difüzyon tabakasının içerisine hafifçe girdiği varsayımı daha ağır basmaktadır. Şekil 3.33 şu ana kadar anlatılanları ortaya koymaktadır ve kayma yüzeyinin konumu difüzyon tabakasının içerisinde bulunan alanda gösterilmiştir.



Şekil 3.33 – Grafik, genel bir yüklü partikül için, yüzeyinin mesafesinin bir fonksiyonu olarak elektrik potansiyelindeki değişimi göstermektedir.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Electric double layer = elektriksel çift tabaka

Liquid = sıvı

Particle with negative charge on the surface = yüzeyinde negatif yük bulunan partikül

Stern potential = Stern potansiyeli

Zeta potential = Zeta potansiyeli

Widespread layer = difüzyon tabakası

Strato di Stern = Stern layer = Stern tabakası

Surface potential = yüzey potansiyeli

Shear plane = kayma düzlemi

distanza dalla superficie della particella = distance from the surface of the particle
= partikül yüzeyinden olan mesafe

Açıklandığı üzere, elektroforetik hareketliliği (bir elektrik alanı uygulandığında süspansiyon içerisindeki yüklü partiküllerin hızı) ölçerek zeta potansiyeli değerini bulabiliriz. Aslında bu amaçla, laminar akış varsayımı ve yüklü partiküller için geçerli olan bazı varsayımlar kapsamında, Smoluckowski'nin denklemi uygulanabilir [31]:

$$V = \frac{E \cdot \varepsilon \cdot \zeta}{4\pi\eta}$$

Bu bize şunu verir:

$$\zeta = \frac{V}{E} \cdot \frac{4\pi\eta}{\varepsilon}$$

Burada:

ζ = zeta potansiyeli

V = elektrostatik hız

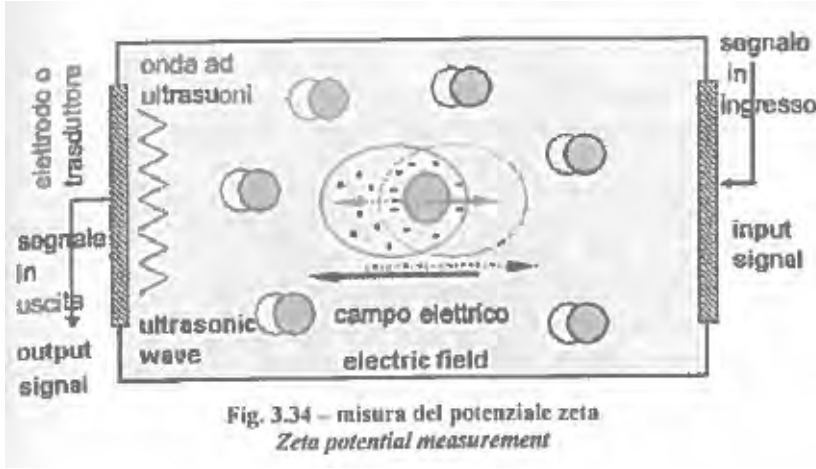
E = uygulanan alan

ε = solüsyonun dielektrik katsayısı

η = solüsyonun viskozitesi

Dolayısıyla, gerçekte, zeta potansiyeli elektroforetik ölçümlere dayalı ekipmanlar kullanılarak belirlenebilir: incelenen çözeltiyi içeren bir analiz hücresi içerisinde, iki elektrot aracılığıyla bir elektrik alanı uygulanır; elektrotlar analiz hücresinin iki ucuna yerleştirilir: bir tanesi doğrudan çamurun içerisine, diğeri ise incelenen sıvı ile doldurulmuş ve analiz hücresine tutturulmuş olan ufak bir hücrenin dibine yerleştirilir. Bir potansiyel uygulanmasını müteakip, yüklü partiküller zıt işarete sahip elektroda doğru hareket ederler: bu, partiküllerin her birinin sahip olduğu yük tipine göre hareket etmelerine yol açar. Dolayısıyla, bundan sonra, partiküllerin elektroforetik hızını ve dolayısıyla da zeta potansiyelini tespit etmek mümkündür. Yakın zamanda, partiküllerin elektrotlara doğru değişimli olarak hareket etmelerine yol açan titreşimli bir elektrik alanının uygulandığı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu titreşimli hareket, çözeltinin yoğunluğundaki bir değişimle ilgilidir ve sonuç olarak da elektrotların yüzeyinde elastik

dalgaların oluşmasına yol açar (Elektrokinetik Sonik Genlik etkisi). Bir monitör, partiküllerin hızı ile orantılı akustik tepkinin A genliğini ve $A = \mu E$ denklemine göre E elektrik alanını gösterebilir. μ dinamik modu, partiküllerin boyutuna, frekansa, uyarım frekansına kıyasla partiküllerin hızının faz gecikmesine ve zeta potansiyeline bağlıdır. Dolayısıyla μ tespit edildiğinde, zeta potansiyelini ve partiküllerin boyutunu tespit etmek de mümkündür. Ölçümler için kullanılan frekans aralığı, 0,3 ile 15 MHz arasında değişir. Bu ölçüm sistemi, zeta potansiyeli değerini değiştirme riskine yol açacak şekilde süspansiyon seyreltilmek zorunda kalınmaksızın, yüksek katı madde konsantrasyonlarına sahip çözeltilerle (sağlık gereçlerine yönelik çamur gibi) bile çalışılmasını mümkün kılar. Şekil 3.34'te buraya kadar anlatılmış olan hususları gösteren bir şema yer almaktadır.



Şekil 3.34 – Zeta potansiyeli ölçümü

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Output signal = çıktı sinyali

Ultrasonic wave = ultrason dalgası

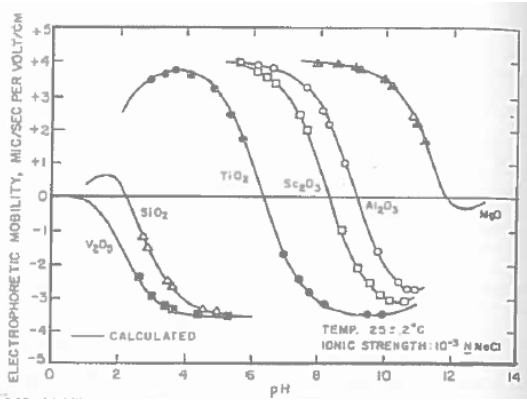
Electric field = elektrik alanı

Input signal = girdi sinyali

Bütün diğer koşullar eşit iken, zeta potansiyelinin çözeltinin pH değerinin bir fonksiyonu olarak değiştiği vurgulanmalıdır. Özellikle de zeta potansiyelinin

sıfırlandığı belirli bir pH değeri vardır: bu değere, izoelektrik noktası adı verilir. İzoelektrik noktadan uzaklaşıp, pH azalıp arttığında, zeta potansiyeli yükselmeye başlar. OH⁻ veya H₃O⁺ var olduğu için, partiküllerin yüzeyindeki reaksiyonlar aslında yüzey yükünde bir artışa yol açarlar. Ne var ki, bir maksimum sınıra erişilmesi üzerine, daha fazla OH⁻ (veya H₃O⁺) eklenmesi, aşırı iyonların yol açtığı çift tabakanın basıncı nedeniyle, zeta potansiyelinin azalmasına yol açar. Özellikle pH'ın yüzey elektrik yükü ve zeta potansiyeli üzerindeki etkisini izoelektrik noktasının pH'ından daha düşük bir pH değeri söz konusu olduğunda yüzey yükünü pozitif yüklere taşıyan ve tersine izoelektrik noktasının pH'ından daha yüksek bir pH değeri söz konusu olduğunda yüzey yükünü negatif yüklere taşıyan asidik ve bazik grupların seçici çözülmesine yönelik bir varsayım ile açıklayabiliriz.

Şekil 3.35 [31], pH'ın bir fonksiyonu olarak, bir sulu çözelti içerisindeki belli oksitlerin elektroforetik hızını göstermektedir.



Şekil 3.35 – Farklı pH değerlerinde, NaCl sulu çözeltisi içerisindeki oksitlerin elektroforetik hareketliliği

Eğrilerin trendlerine bakıldığında, yukarıda açıklanan olgu net bir şekilde görülebilir. pH'ın bir fonksiyonu olarak yüzey potansiyelini hesaplamak için bir denklem geliştirilmiştir. Bu denklem, en popüler olan oksit – su arayüzü modeli sonucunda elde edilmiştir:

$$\frac{e\phi_0}{KT} = 2.303 (pH_{izoelek} - pH) - \ln \left[\frac{MeOH_2^+}{MeO^-} \right]$$

Burada:

e = elektron yükü

K = Boltzmann katsayısı

φ_0 = yüzey potansiyeli

T = sıcaklık

pH_{izoel} = pH izoelektrik noktası

3.4.3. Süspansiyonların deflokülasyonu ve kararlılığı

Daha önce de belirtildiği gibi, suda asılı duran seramik partikülleri (özellikle de kil partikülleri) Brown hareketine tâbidirler ve dolayısıyla da her yöne doğru düzensiz bir şekilde hareket ederler. Bu hareketlerin sonucunda, partiküller birbirleriyle temasa geçerler ya da çekim kuvvetlerinin etkilerini gösterebilecekleri bir mesafeye kadar (birkaç nanometre) birbirlerine yaklaşırlar ve bu da birden fazla partikül arasında topaklanmasıyla yol açar: bu olay, süspansiyonun kararsız hale gelmesine yol açar ve flokların sedimentasyonu ya da süspansiyonun reolojik özelliklerinde bozulma ile sonuçlanır. Van Der Waals kuvvetlerinin çekim kuvvetlerinin, bir molekül içerisindeki dalgalanma gösteren elektrik dipolleri (an be an, çekirdeğe kıyasla elektron yüklerinin kusurlu simetrisi) ile komşu moleküllerde endüklenen veya bazı kimyasal türlerinde mevcut olan dipoller arasındaki etkileşimden kaynaklandığı unutulmamalıdır. Partiküllerin küresel bir şekle sahip oldukları varsayıldığında, aşağıdaki denklem kullanılarak potansiyel çekim enerjisi hesaplanabilir:

$$U_A = \frac{-Aa}{24h}$$

Burada:

a = partikül çapı

h = partiküller arasındaki mesafe ($h \ll a$)

A = Hamaker çekim katsayısı

Hamaker çekim katsayısı, partiküllerin bileşimi ile moleküler yapısına ve dağıtıcı sıvının özelliklerine bağlıdır.

A, şu şekilde hesaplanabilir:

$$A = (\sqrt{A_2} - \sqrt{A_1})^2$$

Burada:

A_2 = Partiküllerin Hamaker katsayısı

A_1 = Dağıtıcı sıvının Hamaker katsayısı

Dolayısıyla, partiküller ile dağıtıcı sıvı bileşim olarak ne kadar benzerse, A da o kadar küçüktür.

Titreşen dipollerden kaynaklanan kuvvetler, çekim etkileşimlerinden sorumlu olan ana unsurlardır. Bu kuvvetler, ilk hesaplamada, katkı sağlayan bir unsurdur, ve dolayısıyla da, iki partikül arasındaki Van Der Waals etkileşim enerjisini hesaplamak için, söz konusu olan bütün molekül çiftleri arasındaki bütün etkileşimlerin toplanması gerekir. Van Der Waals kuvvetlerinin partiküller arasındaki mesafeye göre değişimini göz önünde bulundurmak son derece önemlidir: küçük mesafeler için, ters orantı söz konusuyken, büyük mesafeler için çekim kuvveti, partiküller arasındaki mesafenin altıncı kuvvetinin tersi ile azalır. Daha sonra, daha da büyük mesafeler için, mesafe ile birlikte kuvvette meydana gelen azalma asimptotik olarak azalır. Dolayısıyla, Van Der Waals kuvvetlerinin özellikle partiküller birbirlerine çok yakinken (diğer bir deyişle, kısa mesafelerde) etkilerini sürdürdükleri açıktır. Böylelikle, bir süspansiyonu kararlı ve dolayısıyla da çekim kuvvetlerini etkisiz hale getirmeye yönelik öncelikli sistem, belirli moleküllerin adsorpsiyonu aracılığıyla, karşılıklı olarak itici çift tabakalar yaratarak ve/veya sterik engel yaratarak, partiküller arasındaki mesafeyi arttırmaktır. Bu bölümün geri kalanında, bu iki süspansiyon stabilizasyon (deflokülasyon) yöntemi ayrıntılı olarak incelenecektir. İlk olarak, özdeş elektriksel çift tabakaya sahip iki molekül arasındaki etkileşim şeklini göz önünde bulunduran DLVO teorisini inceleyeceğiz: iki molekülde aynı elektriksel çift tabakanın varlığı, tabii ki, bir itme kuvveti oluşmasına yol açacaktır. Bu itme kuvveti birçok faktöre bağlıdır. Küresel şekilde gösterilen iki partikül

için, itme kuvvetinin potansiyel enerjisi aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir: [32]

$$U_r = \frac{\varepsilon_r a^2 \Psi_0^2}{4(h+a)} \exp - \left(\frac{h}{k} \right)$$

Burada:

a = partikül çapı

ε_r = dağıtıcı sıvının dielektrik sabiti

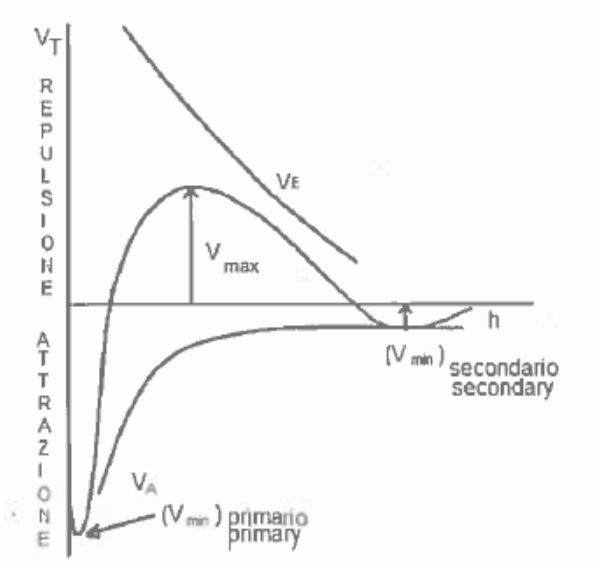
Ψ_0 = partikülün yüzeyi üzerindeki potansiyel

h = partikülün yüzeyleri arasındaki mesafe

k^{-1} = elektriksel çift tabakanın kalınlığı

Bu denklem, küçük çapa sahip partiküller ve büyük elektriksel çift tabaka söz konusu olduğunda geçerlidir. Denklem incelendiğinde, partiküllerin yüzey potansiyelini ve elektriksel çift tabakanın kalınlığını arttırmanın itme potansiyelinde artışa yol açtığı açıkça görülür. Ayrıca aynı denklemden, partiküllerin mesafesi arttığında itme potansiyelinin azaldığını fakat bunun Van Der Waals çekim kuvvetleri durumunda görülenden daha az dikkat çekici olduğunu görebiliriz. Bu, partiküller arasındaki mesafe arttırıldığı takdirde, itme kuvvetlerinin üstün geleceği anlamına gelir. Aslında, toplam potansiyel enerjiyi hesaplamak için, potansiyel itme ve çekme enerjilerinin cebirsel toplamalarını almak gerekir: $U_t = U_A + U_R$

Şekil 3.36, partiküller arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak toplam enerjiye ait eğrinin trendini göstermektedir. Şekli incelersek, çekim kuvvetlerinin hakim olduğu ve dolayısıyla da partiküllerin topaklanma yaptığı iki (birincil ve ikincil) minimum noktası olduğunu görebiliriz.



Şekil 3.36 – Toplam enerji eğrisi – elektrostatik stabilizasyon için mesafe (DLVO)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

REPULSIONE = İTME

ATTRAZIONE = ÇEKME

Primary = Birincil

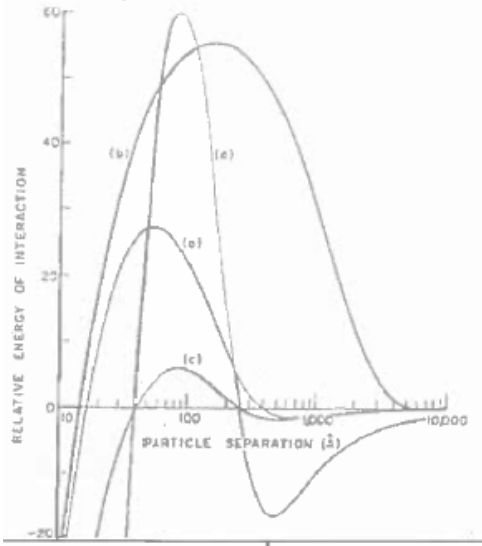
Secondary = İkincil

Birinci minimum noktası, çekim kuvvetlerinin halen oldukça güçlü olduğu, partiküller arasındaki asgari mesafeye (moleküler boyutlar sırasının) tekabül eder. İkinci minimum noktası ise, $ka \gg 1$ olduğunda, diğer bir deyişle kalınlığı azalmış olan bir çift tabakaya sahip oldukça büyük partiküller ve partikül büyüklüğü şiddeti kadar mesafe söz konusu olduğunda meydana gelir. Şekil 3.36'yı incelediğimizde, mesafe arttıkça, en azından partiküller arasındaki belli bir mesafeye kadar, çekim kuvvetlerindeki azalmanın itme kuvvetindeki azalmaya göre ne kadar büyük olduğunu görebiliriz.

Sonuç olarak ortaya çıkan, itme kuvvetleri alanında yer alan toplam enerji eğrisi aslında flokülasyonun önündeki bir enerji bariyeridir ve bu eğrinin tepe noktası

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

ne kadar büyükse (maksimum bariyer) süspansiyon da o kadar kararlı olur; eğri ne kadar genişse (h 'nın değişen değeriyle ilişkili olarak) süspansiyonun kararlı alanı da o kadar büyük olur. Şekil 3.37 [33], toplam enerji eğrisinin trendini, zeta potansiyelindeki değişiklikler önündeki enerji bariyerini (ve dolayısıyla elektriksel çift tabakanın kalınlığını), iyon gücünü ve partikül boyutunu göstermektedir.



EĞRİ	ZETA POTANSİYELİ (mV)	İYON GÜCÜ (mol/L)	PARTİKÜL BOYUTU (μM)
A	30	10^{-3}	0.1
B	10	10^{-5}	0.1
C	20	10^{-3}	0.1
D	20	10^{-3}	1.0

Şekil 3.37 – Birincil ve ikincil minimum noktasındaki flokülasyonun enerji bariyeri üzerinde zeta potansiyeli, iyon gücü ve partikül boyutunun etkisi.

Şekilde gösterilen eğriler incelendiğinde, şu davranış fark edilebilir: aynı zeta potansiyeli ve iyon gücü seviyesinde, daha büyük partikül çapı kararlı alanının azalmasına ve ikincil minimum noktasının vurgulanmasına yol açar. Yüksek seviyede bir enerji bariyeri var olmasına (eğrinin tepe noktasının değerinin yüksek olması) rağmen, bu istenmeyen bir durumdur.

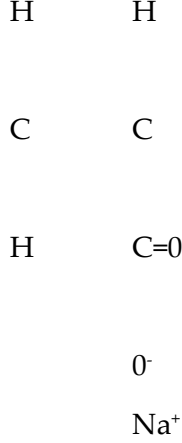
Zeta potansiyelinin 30 mV'tan 20 mV'a düşmesi, aynı iyon gücü ve partikül boyutunda, enerji bariyerinde önemli bir düşüşe yol açar ve bununla eş zamanlı olarak da eğrinin tepe noktası ile kararlı alanı da düşer: dolayısıyla bu durum, iyi deflokülasyon koşullarından zayıf deflokülasyon koşullarına (a eğrisinden c eğrisine) geçişe yol açar.

0,1 mikron çapa sahip partiküller için, zeta potansiyelini düşürürken elektrolitik konsantrasyonu azaltmak enerji bariyerinin yükselmesine yol açar: eğrinin tepe noktasında ve uzantısında artış ile ikincil minimum noktasının tamamıyla ortadan kaldırılması.

Özetle, partikülün zeta potansiyelini arttırarak ve/veya iyon gücünü azaltarak, potansiyel çekim enerjisini aşan bir potansiyel itme enerjisi seviyesine ulaşabileceğimizi ve böylelikle flokülasyonu önünde bir enerji bariyeri oluşturabileceğimizi söyleyerek konuyu özetleyebiliriz. Süspansiyonun stabilizasyonunu temin eden zeta potansiyeli değerlerinin büyüklük sıralamalarını sağlamak için, süspansiyon durgun ise, Brown hareketi ile ilgili 20 °C'deki kinetik enerji $10 k_B T$ sıralamasındadır (k_B Boltzmann katsayısı): bu durumda, deflokülasyonu sağlayan asgari zeta potansiyeli 25 mV'a eşittir. Süspansiyonun çalkalanmış olduğu (karıştırma, pompalama, vs.) en yaygın durumlarda, söz konusu olan kinetik enerji çok daha yüksektir ve dolayısıyla da çözeltiyi kararlı hale getirmek için daha yüksek bir enerji bariyeri değerinin (ve dolayısıyla zeta potansiyelinin) olması gerekir: 40 ile 50 mV arasındaki zeta potansiyeli değerlerinde iyi bir kararlılık sağlanırken, 60 ile 80 mV arasındaki değerlerde kararlılık mükemmel hale gelir. Ne var ki, 15 mV'tan daha düşük görünür zeta potansiyeliyle bile süspansiyonun kararlı bir deflokülasyona sahip olduğu durumlar vardır: bu, belli polimer moleküllerinin dağılmış partikülleri üzerindeki adsorpsiyonun, partiküllerin yakınlaşmasına bir sterik engel ürettikleri durumlarda meydana gelir. Temelde, yüzeyde adsorbe olan bu moleküllerin uzamsal boyutları (çok büyük) partiküllerin çekim kuvvetlerinin üstün gelmelerine izin verecek bir mesafede birbirlerine yaklaşmalarını engeller. Bu etkiye yol açabilecek belli başlı moleküller, su moleküllerinin ilişkili olduğu iyonik olmayan yüzey aktif maddeler ve hepsinin ötesinde, organik polielektrolitlerdir (hidrokarbon polimerler).

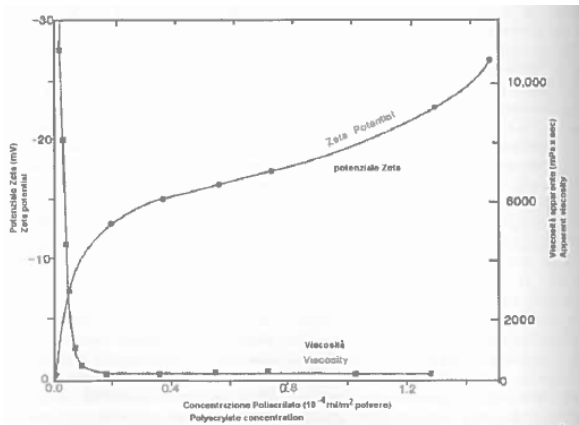
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Yaygın olarak kullanılan organik polielektrolitlerin tipik bir örneği, sodyum poliakrilattır:



Bu molekül, çift-deflokülasyon etkisi geliştirme avantajına sahiptir: zincir boyunca yer alan iyonlaşabilir gruplar (Na^+) sayesinde sterik ve elektrostatik etki.

Şekil 3.38, sodyum poliakrilatın konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak zeta potansiyeli ve görünür viskoziteyi göstermektedir: düşük zeta potansiyeli değerlerinde bile süspansiyonun düşük viskozite ve mükemmel stabilizasyona sahip olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 3.38 - Sodyum poliakrilat konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak Zeta potansiyeli ve görünür viskozite trendleri

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Zeta potential = Zeta potansiyeli

Viscosity = Viskozite

Apparent viscosity = Görünür viskozite

Polyacrylate concentration = Poliakrilat konsantrasyonu

Buraya kadar anlatılanlar ışığında, toplam potansiyel enerjiyi ifade etmek için kullanılan denklemin tamamlanması gerekir:

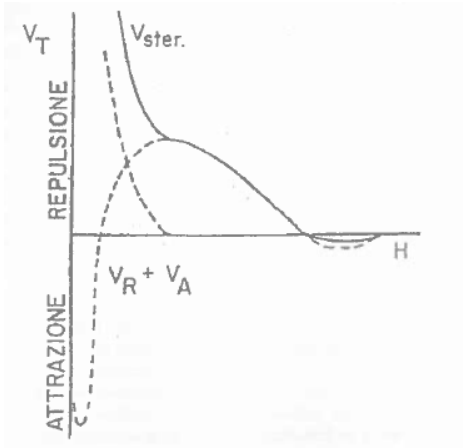
$$U_T = U_A + (U_{Re} + U_{Rs})$$

Burada:

U_{Re} = elektrostatik itici potansiyel enerji

U_{Rs} = sterik itici potansiyel enerji

Sterik teriminin önemi kayda değerdir ve yüzeyde adsorbe olan moleküller tarafından üstlenilen kapsama ve konformasyon derecesi ile birlikte (ve dolayısıyla polielektrolit moleküllerinin türü ile birlikte) pH'a bağlı olarak değişir (ve bu da polielektrolitin çözülmesini ve adsorpsiyonunu etkiler). Tabii ki, toplam enerji eğrisinin şekli de değişir (DLVO teorisi). Bu, sterik ve elektrostatik etkilerin bileşimini vurgulayan Şekil 3.39'da [31] gösterilmektedir: h azaldıkça, diğer bir deyişle partiküller bir araya geldikçe, sterik etkinin katkısının arttığı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.39 – Toplam enerji eğrisi – elektrostatik stabilizasyon için mesafe

3.4.4. Deflokülantlar

Yukarıdaki bölümler, seramik partiküllerinden oluşan kararlı bir süspansiyonun temelinde, aşağıdaki koşulların bulunduğu göstermiştir:

- kil partiküllerinin hem kenarlarının hem de köşelerinin negatif yüklü olmasını ve böylelikle partiküllerin birbirlerini çekmelerini değil itmelerini sağlayan bazik pH.
- Partiküllerin yüksek yüzey yükü ve/veya geniş elektriksel çift tabaka sayesinde itici kuvvetlerin çekim kuvvetlerine üstün gelmesi, böylelikle yüksek bir zeta potansiyeli değeri (elektrostatik stabilizasyon).
- Partiküllerin birbirlerinden uzak durmaları ve itme kuvvetlerinin çekme kuvvetlerine üstün gelmeleri için sterik engellemeyi mümkün kılacak şekilde partikül yüzeyinde adsorbe olmuş moleküllerin varlığı (sterik stabilizasyon)

Gerçekte, ikinci ve üçüncü koşullar kendi başlarına bile faal olabilirler: diğer bir deyişle, sadece sterik veya sadece elektrostatik stabilizasyon meydana geldiğinde bile seramik çözeltisi kararlıdır.

Yukarıda anlatılanlardan, bir katkı maddesinin deflokülant olması için, aşağıdaki durumlardan en az birini etkin hale getirebilmesi gerektiği açıkça görülmektedir:

- Çözeltinin pH'ını bazik değerlere (9 – 10) çıkarmak: bu partiküllerin negatif yüklenmesini temin eder.
- Seramik partikülü üzerindeki iki- ve üç-değerlikli katyonların yerine tek-değerlikli katyonların gelmesi: bu, elektriksel çift tabakanın kalınlığını artırır.
- Partikülün negatif elektrik yükünü arttırabilecek anyonların seçici adsorpsiyonu.

- Partikülün yüzeyini flokülantların etkisinden koruyacak ve negatif elektrik yükünü arttıracak koruyucu kolloitlerin üretilmesi.
- Süspansiyonun stabilitesi üzerinde olumsuz etkisi olan iyonların süspansiyondan giderilmesi (SO_4^{2-} sülfat iyonları gibi). Bunun için kullanılan mekanizmalar, çözünmez hale getirme ve kompleks oluşturmadır.
- İtme kuvvetleri çekme kuvvetlerinden daha büyük olacak şekilde partiküllerin belli bir mesafede kalmalarını sağlayabilecek bir sterik engelleme yaratma kabiliyetine sahip bir molekülün adsorblanması.

Yukarıda bahsedilen mekanizmaların bir ya da birden fazlasını faaliyete geçirebilen, gerek inorganik gerekse organik birçok madde vardır. Bu bölümün geri kalanında, sağlık gereçleri endüstrisinde bunların en yaygın kullanılanları daha ayrıntılı olarak incelenecektir. Bunların neler olduğu ve farklı deflokülantların nasıl işlediği analiz edilmeden önce, su içerisinde dağılmış olan negatif yüklü bir kil partikülünün davranışını incelemek gerekir. Yüksek pH değerleri söz konusu olduğunda seramik partiküllerin hem kenarlarının hem de köşelerinin negatif yüklü olduğu ve dolayısıyla bunlar arasında itme kuvvetlerinin meydana geldiği daha önce gösterilmişti. Fakat partiküllerin negatif yüklü yüzeyi, sistemin elektriksiz nötrlüğüne ulaşmak için çözelti içerisinde var olan katyonları çeker. En sıklıkla göz önünde bulundurulmuş katyonlar, sodyum (Na^+), potasyum (K^+), kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyumun (Mg^{2+}) katyonlarıdır. Bu katyonlar sulu bir solüsyon içerisindeyken, her biri hidratlaşır, diğer bir deyişle katyona bağlı olan birçok polarize su molekülü ile çevrelenir. Her bir katyonun etrafında, aslında hidratlanmış katyonun yarıçapını arttıran bir nevi bulut oluşur: hidratlanmış yarıçapından bahsedildiğinde bu katyonun yarıçapı artı katyona bağlı su moleküllerinin kalınlığından oluşan toplam yarıçapı ifade eder. Tablo 1, çeşitli katyonların yarıçap değerlerini, her bir katyon için hidratlanma moleküllerinin sayısını ve hidratlanmış katyonun sonuç olarak meydana gelen yarıçapını göstermektedir. Hidratlanmanın, yarıçap ölçeğinin tersine dönmesine yol açtığı hemen görülebilir: hidratlanmamışken daha küçük yarıçapa sahip katyonların tamamı (aynı valans seviyesinde), hidratlanma sonrasında daha büyük yarıçapa sahip değillerdir.

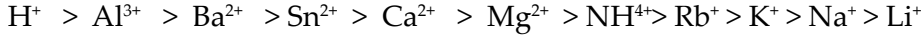
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

İyonlar	Yarıçap (Å)	Hidratlanma (mol H ₂ O)	Hidratlanmış yarıçap (Å)
Li ⁺	0.78	14	7.3
Na ⁺	0.98	10	5.6
K ⁺	1.33	6	3.8
Rb ⁺	1.49	0.5	3.6
NH ₄ ⁺	1.43	3	-
Mg ²⁺	0.78	22	10.8
Ca ²⁺	1.06	20	9.6
Ba ²⁺	1.43	19	8.8
Al ³⁺	0.57	57	-

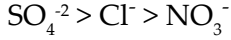
Kaynak: W.E.Worrall, Clays and Ceramic Raw materials, Halsted press, New York, 1975

Bu durum, aynı valans için, iyon yarıçapı ne kadar küçükse hidratlanmanın o kadar büyük olacağı göz önünde bulundurularak açıklanabilir. Bağlı su moleküllerinin sayısı daha büyük olduğu için, hidratlaşmanın küresel tacının kalınlığı ve dolayısıyla hidratlanmış iyon yarıçapı da daha büyük olacaktır. İyon yarıçapı daha küçük olduğunda, hidratlaşma seviyesinin daha yüksek olması, elektron bulutunun daha düşük perdeleme etkisinden ve bunun sonucunda katyonun polar su moleküllerini bağlama kapasitesinin daha yüksek olmasından kaynaklanır. Tabii ki valansın da önemli bir rolü vardır: aslında, katyonun valansı ne kadar yüksekse (aynı iyon yarıçapı ile), hidratlaşma seviyesi de o kadar büyüktür. Bu durumun açıklamasını, katyonun su moleküllerini faaliyete geçirip bağlama kabiliyetinin daha yüksek olmasında aramak gerekir. Katyonların hidratlanmış yarıçapı da son derece önemlidir; aslında, elektrik yüküne ek olarak, negatif yüklü seramik partikülü üzerinde adsorplanma eğilimi de buna bağlıdır.

Bu konudaki basit bir kural şu şekilde ifade edilebilir: bir katyon, hidratlanmış yarıçapı ne kadar küçük ve valansı ne kadar büyükse, o kadar kolay adsorbe olur. Bu kurala dayalı olarak Hofmeister serisi geliştirilmiştir. Bu, katyonların tercihen hangi sıra ile adsorbe olduklarını gösterir:



Aynı ölçek, anyonlar için de kabul edilebilir:

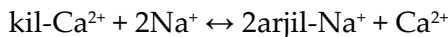


Tek-değerlikli olmasına rağmen diğer katyonlara göre daha kolay adsorbe olabilen H^+ iyonuna ilişkin istisnayı unutmamak gerekir.

Bir iyonun hidratlanma yarıçapı ve valansının aynı zamanda zeta potansiyeli ve dolayısıyla süspansiyonun stabilitesi üzerinde de belirleyici bir etkisi vardır. Buna göre, iyonun değeri ne kadar yüksekse, elektriksel çift tabaka o kadar sıkışmış, dolayısıyla zeta potansiyeli de o kadar düşük olur. Öte yandan, adsorbe olmuş katyonun hidratlanmış yarıçapı daha büyük olduğunda, zeta potansiyeli de yüksek olacak ve dolayısıyla çözelti topaksız olacaktır: iyon yarıçapının daha büyük olması, aslında adsorbe olmuş katyonun çekirdeğinin, daha küçük hidratlanmış yarıçapa sahip bir katyonun çekirdeğine kıyasla, partikülün yüzeyinden daha uzakta olması anlamına gelir. Çekirdeğin partiküllerden daha uzak bir mesafede bulunması, Stern tabakasının daha geniş olmasına ve partikülün yüzeyinden uzaklaştıkça elektrostatik potansiyelin daha az düşmesine yol açar. Bunun sonucunda, zeta potansiyeli değeri daha yüksek ve çözeltinin deflokülasyonu daha fazladır. Şekil 3.40, bu anlatılanları göstermektedir.

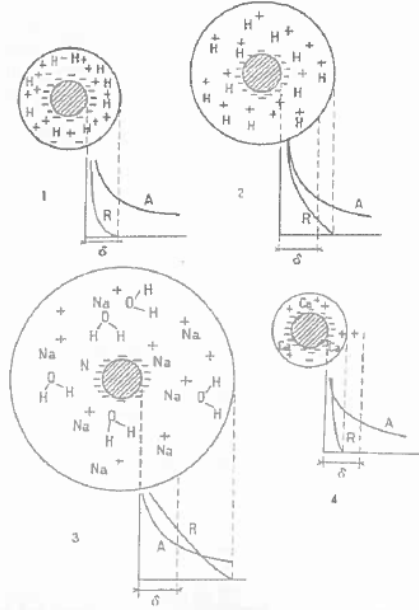
Özetle şunları söyleyebiliriz:

- Ca^{2+} ve Mg^{2+} , su içerisinde dağılmış sağlık gereçleri çamurlarının partikülleri üzerinde en kolay adsorbe olan katyonların en yaygınları arasındadır (Hofmeister ölçeğine göre).
- Bu katyonlar, yüksek valans nedeniyle, elektriksel çift tabakanın küçülmesine ve dolayısıyla da zeta potansiyelinin azalmasına neden olurlar.
- Süspansiyonun stabilizasyonunu sağlamak için, bir iyon alışverişi reaksiyonu aracılığıyla Ca^{2+} ve Mg^{2+} 'yi Na^+ (düşük valans ve büyük hidratlanmış yarıçapa sahip) ile değiştirmek gerekir:



Fakat bu denklem, A maddesinde belirtilen nedenden dolayı doğal olarak sola kayar.

Reaksiyonu sağa hareket ettirmenin en iyi yöntemi, Ca^{2+} iyonlarını, ya çözünmez hale getirerek ya da bunları komplekslere dahil ederek, çözültiden gidermektir. Başka bir çözüm yolu, fazla Na^+ ile çalışmak olabilir. Fakat bu hipoteze başvurulmamalıdır, çünkü daha önceki bölümlerde de görüldüğü gibi, aşırı Na^+ elektriksel çift tabakanın kalınlığının azalmasına ve dolayısıyla zeta potansiyelinin düşmesine yol açar. Bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak göreceğimiz üzere, sağlık gereçleri endüstrisinde normal olarak kullanılan deflokülanların ana görevi Ca^{2+} iyonlarını (ya da Mg^{2+} veya diğer iki ya da üç-değerlikli katyonları) ortadan kaldırmaktır.



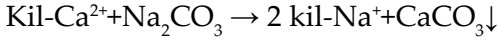
Şekil 3.40 – Kil süspansiyonlarının stabilitesi: 1) asidik ortamda kil, 2) kil-H-kil-OH, 3) kil-Na-kil-OH, 4) kil-Ca-kil-OH; A = Van Der Waals kuvveti nedeniyle çekim kuvvetleri; R = potansiyel gradyanı nedeniyle itme kuvvetleri

3.4.4.1. İnorganik deflokülanlar

Bu kısımda, sağlık gereçleri endüstrisinde en fazla kullanılan inorganik deflokülanlar incelenecek ve bunların her birine özgü deflokülasyon mekanizmaları ile bunların ana özellikleri tanımlanacaktır.

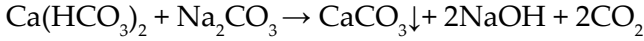
A. Sodyum karbonat

Sodyum karbonat Na_2CO_3 , maliyet avantajı nedeniyle en yaygın kullanılan deflokülanlardır. Bu deflokülanın etki mekanizması, çözünmez hale getirme sayesinde, Ca^{2+} iyonları yerine Na^+ iyonlarını koyarak reaksiyonda sağa kaymayı içerir:



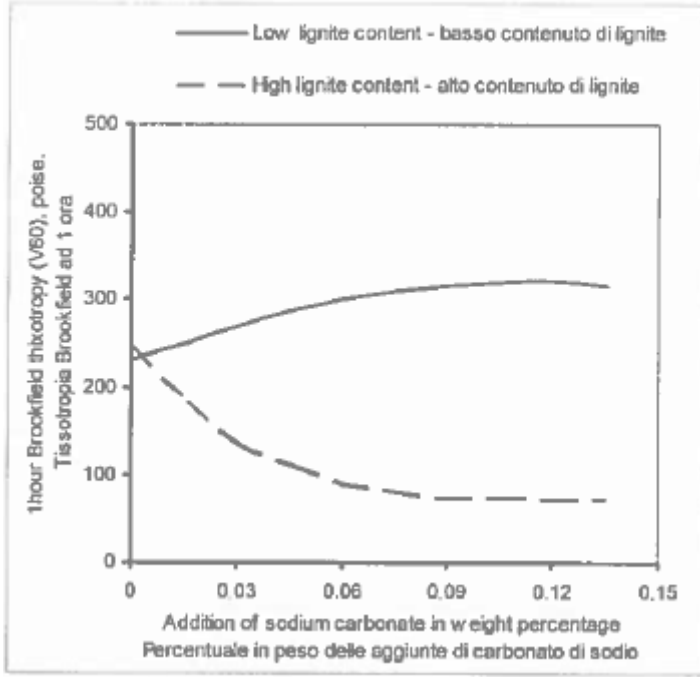
Kalsiyum karbonat pratikte çözünmezdir ve dolayısıyla, reaksiyon Ca^{2+} iyonlarının neredeyse tamamıyla ikame edilmesiyle sağa kayar.

Gerçekte, sodyum karbonat aynı zamanda aşağıdaki reaksiyon nedeniyle süspansiyonun alkaliliğini yükseltir:



Daha sonra, çamurun suyu içerisinde var olan bikarbonatlar ile tepkime nedeniyle, NaOH oluşur ve bu da solüsyonda OH^- hidroksil gruplarını serbest bırakır: bunlar, çözeltinin genel pH'ını artırır ve çözeltinin kararlı hale gelmesi faydasını doğurur.

Normalde, sodyum karbonatın oldukça uzun bir reaksiyon süresi vardır (özellikle diğer deflokülanlar ile kıyaslandığında) ve dolayısıyla, çamurun hazırlanması sırasında, sonuç olarak çamurun reolojik özelliklerinin kararlı hale gelmeleriyle birlikte kürlenmenin doğru süresini göz önünde bulundurmak önemlidir. Sodyum karbonat, çamur organik madde açısından zengin olduğunda (genellikle esasen kil içerisinde bulunur) özellikle aktif ve faydalı bir etki doğurur. Aslında, Şekil 3.41 ve 3.42'de görülebileceği üzere, iki ana etki söz konusudur.



Şekil 3.41 – Sırasıyla az miktarda ve çok miktarda linyit içeren iki çamur için, sodyum karbonat içeriğinin işlevinde tiksotropi değişimi (kaynak: E.C.C.)

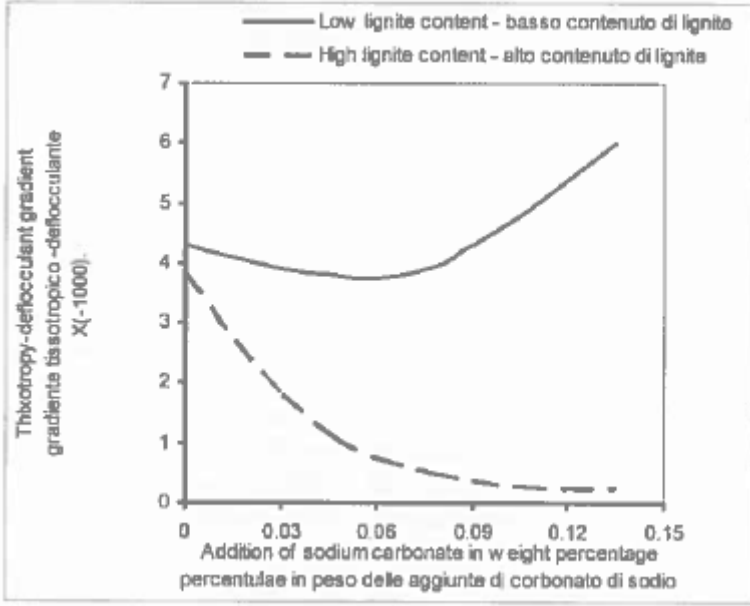
ŞEKİL ÜZERİNDE:

Low lignite content = Düşük linyit içeriği

High lignite content = Yüksek linyit içeriği

1 hour Brookfield thixotropy (V60), poise = 1 saat Brookfield tiksotropisi (V60), poise.

Addition of sodium carbonate in weight percentage = Ağırlık yüzdesi olarak sodyum karbonat ilavesi.



Şekil 3.42 – Tikotropik gradyan ile sodyum karbonat arasındaki ilişki: sırasıyla düşük ve yüksek linyit içeriğine sahip iki çamurun deflokülant konsantrasyonu.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Low lignite content = Düşük linyit içeriği

High lignite content = Yüksek linyit içeriği

Thixotropy – deflocculant gradient = Tikotropi – deflokülant değişimi.

Addition of sodium carbonate in weight percentage = Ağırlık yüzdesi olarak sodyum karbonat ilavesi.

- Aynı deflokülant dozunda, daha fazla organik madde içeren çamurlar çok daha düşük tiksotropi değerlerine sahiptir.
- Yüksek organik maddeye sahip çamur için deflokülant miktarı arttıkça tiksotropi/ deflokülant gradyanı büyük ölçüde azalırken organik madde açısından fakir olan çamur yüksek bir tiksotropi/ deflokülant gradyanı değerine sahiptir. Bu durum bu çamurların kararlı olmadıklarını ifade eder çünkü sodyum karbonat dozundaki

ufak bir fark tiksotropide büyük bir değişimle sonuçlanır.

Dolayısıyla, sodyum karbonatın karbonlu madde açısından zengin çamurların deflokülasyon ve stabilizasyon süreçlerine önemli bir katkı sağladığı sonucuna varabiliriz. Sodyum karbonatın bu etkisi, organik madde içerisinde var olan kalsiyum iyonlarını çöktürme kabiliyeti ile doğrulanmaktadır; söz konusu kalsiyum iyonları daha kolay çözünebilir ve dolayısıyla çamurun deflokülasyonu ve reolojik özelliklerinin düzenli hale gelmesi yönünde etki doğururlar. Sodyum karbonatın genellikle kaolen açısından zengin çamurlar ile en iyi sonuçları elde etmek için de gerekli olduğu bulunmuştur.

B. Sodyum silikat

Sodyum silikat sağlık gereçleri endüstrisinde deflokülant olarak kullanılır ve tipik olarak ağırlığın %75 ila 80'i arasında değişen bir konsantrasyona sahip bir sulu solüsyondur.

Sodyum silikatın deflokülant etkisi, üç mekanizmaya dayalıdır:

- Çözeltinin pH'ını artırır: $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$; dolayısıyla 11'den daha yüksek pH değerleri ile tanımlanan bazik hidroliz söz konusudur.
- Kalsiyum iyonu üzerinde kenetleme, ayrı tutma etkisi vardır; bu etki şu reaksiyona göre ortaya çıkar: $\text{Kil Ca}^{2+} + \text{Na}_2\text{SiO}_3 \rightarrow 2 \text{Kil Na}^+ + \text{CaSiO}_3 \downarrow$

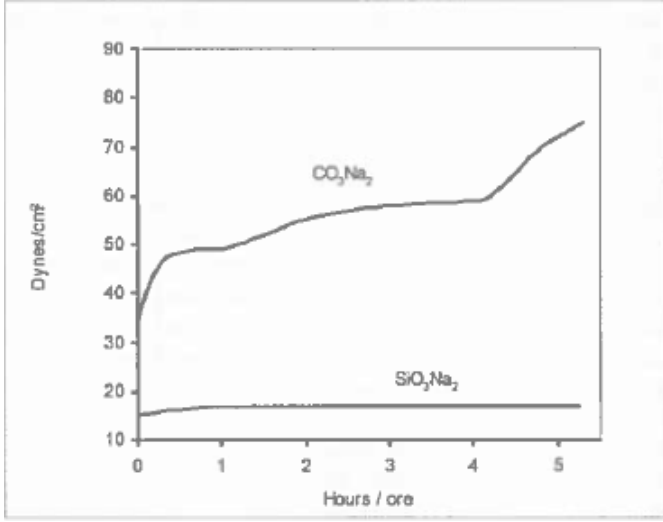
Kalsiyum silikat pratik olarak çözünmez olduğu için, Ca^{2+} iyonu bertaraf olur.

- Sodyum silikat hidrolizi sonucunda, silisik asit veya süspansiyon içerisindeki yüklü partiküllere karşı koruyucu kolloit işlevi gören kolloidal silika meydana gelir.

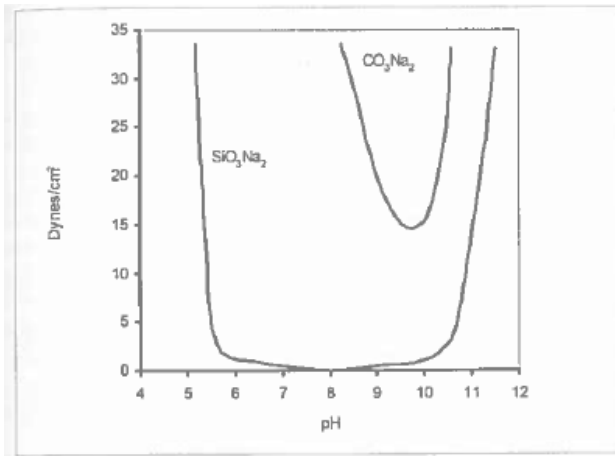
Piyasada, temelde farklı $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ molekül oranları ile nitelenen çeşitli sodyum silikat türleri vardır. Bu molekül oranının silisik asidin polimerleşme derecesi ile

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

hızı [34] ve dolayısıyla sodyum silikat çamuru deflokülasyon kabiliyeti üzerinde önemli bir etkisi vardır. Aslında genellikle, silisik asidin reaksiyon zinciri ne kadar kısa ise deflokülasyon kapasitesinin de o kadar yüksek olduğu doğrulanmıştır: dolayısıyla, en iyisi molekül oranlarının çok yüksek olmamasıdır. Sodyum silikatın etkisi, sodyum karbonattan daha hızlıdır. Aynı zamanda, düşük tiksotropi ile karakterize edilen çözeltilere yol açar ve geniş bir pH aralığında etkisi sabittir. 3.43 ve 3.44. Şekiller, bu açıklananları göstermektedir.



Şekil 3.43 – Birinci durumda silikat eklenerek ikinci durumda ise karbonat eklenerek aynı miliekivalan miktarında sodyum ile defloküle edilmiş bir çamurdaki tiksotropik değişim (kaynak: JOUENNE)



Şekil 3.44 – pH ve deflokülantın fonksiyonu olarak “yield akma” değerindeki değişim (kaynak: JOUENNE)

Son bir gözlem olarak, neredeyse bütün dünyada sodyum silikatın ve sodyum karbonatın sağlık gereçleri çamurlarını defloküle etmek için bir arada kullanıldıklarını belirtmek gerekir: çamurun bileşimine ve münferit ham maddelerin özelliklerine bağlı olarak oranları değişebilir, fakat bu oran sodyum silikat lehine 2:1 ila 3:1 civarındadır.

C. Fosforik asit türevleri

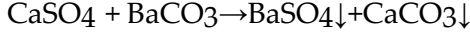
Bunların en yaygın olanları sodyum tripolifosfat ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) ve sodyum heksametafosfattır (NaPO_3)₆. Bu bileşiklerin deflokülasyon etkisi temelde üç mekanizmaya dayalıdır:

- çözeltiye Na^+ iyonlarının dahil olması.
- PO_4^{3-} iyonunun kil partikülü üzerinde seçkili adsorpsiyonu ve bunun sonucunda negatif yüzey yükünün artması ve zeta potansiyelinin göreceli artışı.
- Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} gibi flokülant katyonları, şu komplekslere dahil ederek, süspansiyondan bertaraf etme kabiliyeti (Na^+ lehine): $[\text{CaP}_6\text{O}_{18}]^{4-}$ ve $[\text{Ca}_2\text{P}_6\text{O}_{18}]^{2-}$. fakat normalde, bu deflokülantlar sağlık gereçleri endüstrisinde kullanılmazlar çünkü bunların kullanılması sonucunda zaman içerisinde kararlı olmayan ve bazı bileşenlerin sedimentasyonu ile karakterize edilen çamurlar elde edilebilir. Bu hususlar, hazırlandıktan sonra 7 güne kadar kullanılan ya da kolaylıkla büyük bir çapa sahip şamot (fire clay çamuru) gibi kolaylıkla çökelebilen partiküller içeren çamurların söz konusu olduğu endüstriyel döngü söz konusu olduğunda özellikle önemlidir. Ayrıca, döküm parçasının alçı kalıptan ayrılmasını zorlaştırdıkları ve kalıp üzerinde lekelerin oluşmasına ve dolayısıyla zaman içerisinde işlevselliklerinin kaybolmasına yol açtıkları için polifosfatların önemli bir dezavantajı bulunmaktadır.

D. Baryum karbonat

Baryum karbonat, çamurun reolojik özelliklerini olumsuz etkileyen bazı iyonları çözeltiden tecrit etmesine rağmen, gerçek bir deflokülant değildir. Örneğin, SO_4^{2-} sülfat iyonlarının seramik süspansiyonunun kararlı üzerinde olumsuz etkileri vardır çünkü OH^- iyonlarını gidererek zeta potansiyelinin düşmesine neden olurlar. Bu iyonlar normal deflokülantlar (sodyum karbonat ve sodyum silikat)

ile ortadan kaldırılamazlar çünkü sonuç olarak elde edilen sodyum sülfat suda çözünebilir. Dolayısıyla, çöktürme aracılığıyla SO_4^{2-} iyonunu ortadan kaldırmak için bu iyonu çözünmez hale getirmenin bir yolunu bulmak gerekir. Baryum karbonat kullanılarak bu elde edilebilir:



Böylelikle, SO_4^{2-} ve Ca^{2+} aynı anda ortadan kaldırılmış olur ve bunun da çamurun reolojik özelliklerine büyük bir faydası olur. Baryum karbonatın etkisi son derece önemlidir çünkü hemen hemen bütün endüstriyel sularda sülfatlar mevcuttur. Tekrar kullanılabilir çamurda (hem sıvı hem de yeniden çözündürülmüş ham atık) dökme aşamasında kalıbın çözünmesi sonucunda ortaya çıkan sülfat mevcuttur. Baryum karbonata ek olarak, baryum klorür ($BaCl_2$) ve baryum hidroksit [$Ba(OH)_2$] gibi diğer baryum tuzları da kullanılabilir fakat bunlar çözünebilir oldukları için, eğer dozu aşırı olursa, solüsyona Ba^{2+} iyonları katılmış olur ve bunlar da çamurun stabilitesi için bir risk teşkil eder. Öte yandan baryum karbonat çözünmezdir; dolayısıyla da çamurun reolojik kararlılığı ile ilgili sorunlarla karşılaşmaksızın aşırı miktar riskini göz önünde bulundurmak mümkündür. Endüstride kullanılan miktar, suyun kalitesine, kullanılan ham maddelere ve tekrar kullanılabilir çamurun (hem sıvı hem katı) miktarına göre büyük ölçüde değişir fakat ağırlığın %0,02'si ve %0,08'i arasında değişir.

3.4.4.2. Organik deflokülanlar

Organik deflokülanlar, doğal ya da sentetik olabilirler. Sentetik olanlar, genellikle inorganik deflokülanlar ile bir arada, en sıklıkla kullanılan deflokülanlardır.

A. Doğal organik deflokülanlar

Bu kategoride en iyi bilinen doğal organik deflokülanlar yer alır. Bunların genellikle az ve sadece düzeltici olarak kullanıldıklarını belirtmek gerekir. Bu deflokülanlar temelde iki kategoriye ayrılır:

- Hümik asit türevleri: sodyum hümat gibi alkali tuzlar. Bu bileşikler, furan halkaları ve diğer fonksiyonel gruplara dayalı kompleks bir yapı ile karakterize edilirler.

- Tanen asidi türevleri: sodyum tanat veya sodyum galat gibi alkali tuzlar. Bu bileşiklerin temel yapısı, fenoliktir.

Bu bileşiklerin deflokülasyon etkisi, Na⁺ iyonlarının solüsyona dahil edilmesi ve sterik engellemeye dayalıdır.

B. Sentetik organik deflokülanlar

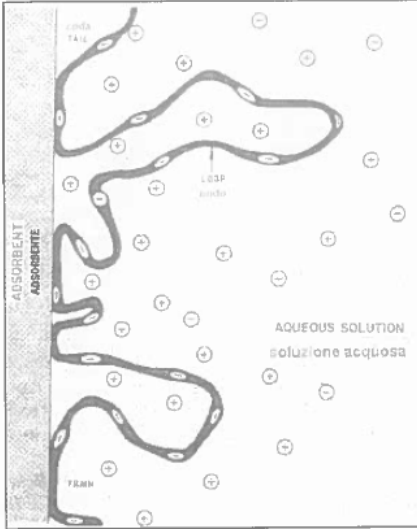
Endüstriyel olarak en yaygın şekilde kullanılanlar poliakrilatlar, diğer bir deyişle akrilik asitten türetilen polimer sınıfıdır. Dolayısıyla bunlar anyonik polielektrolitlerdir. Bu bileşikler, karboksilik fonksiyonel grupları (-COO⁻) içeren polimer zincirlerinden oluşurlar. En yaygın kullanılan tuzlar, sodyum poliakrilat ve amonyum poliakrilattır: piyasada farklı özelliklere sahip çeşitli türlerde ürünler mevcuttur, örneğin bu ürünlerin pH'ı 6,5 ila 13,5 arasında değişebilir. Hemen hemen hepsi, %35 ila 40 aktif bileşen içeren sıvı biçiminde bulunur. Bu ürünler, şu mekanizmalar aracılığıyla deflokülanlar olarak işlev görür:

- Çözeltinin pH'ını arttırmak (yüksek pH içeren ürünler ile sınırlı)
- Çözeltiye flokülasyona yol açan katyonları giderecek Na⁺ veya NH₄⁺ iyonları katmak
- Partiküllerin negatif yüklerini arttırmak
- Sterik engelleme

Dolayısıyla, deflokülasyon etkisi, inorganik deflokülan tuzların kullanımı ile kıyaslandığında, süspansiyonlara daha fazla reolojik stabilite kazandıran elektrosterik bir etkiye dayalıdır.

Sterik engelleme mekanizmasını ayrıntılı olarak incelemekte fayda vardır, çünkü bu mekanizma çamurun kararlı hale getirilmesinde son derece önemlidir. Şekil 3.45 [31], anyonik bir polimerin kil partikülü üzerinde adsorbe olduğunda edindiği konfigürasyonu göstermektedir. Polimer zincirindeki üç kısmın ne kadar kolay ayırt edilebildiğine dikkat edin.

- Birincisi, adsorbe olduğu yüzeye bağlanır. Zincirin bu kısmına baş adı verilir.
- İkincisi, sıvı içerisinde serbest bir şekilde yüzen, zincirin uçları ile temsil edilmektedir (buna kuyruk adı verilir).
- Üçüncüsü ise, zincirin partiküle bağlı iki alanı (diğer bir deyişle, iki tren) arasındaki ara zincir kısımlarından oluşur. Zincirin bu üçüncü kısmına ise döngü adı verilir.



Şekil 3.45 – Katı bir yüzey üzerinde adsorbe olmuş bir anyonik polielektrolitin tipik yapısı (kaynak: Parfitt ve Rochester, 1983).

ŞEKİL ÜZERİNDE:

ADSORBENT = ADSORBAN

AQUEOUS SOLUTION = SULU ÇÖZELTİ

TAIL = KUYRUK

TRAIN = BAŞ

LOOP = DÖNGÜ

Şekil görsel olarak incelendiğinde, sterik engelleme etkisinin aslında temelde döngüler tarafından gerçekleştirildiği açıkça görülebilir. Bunlar aslında, polimer zincirinin seramik partiküllerinin süspansiyon içerisinde bir araya gelmelerini en

fazla engelleyebilecek kısımlardır. Süspansiyon içerisinde döngülerin sayısı ne kadar fazla ise, sterik engelleme etkisi de o kadar etkili olacaktır.

Sterik etkinin meydana gelmesi aynı zamanda deflokülantın partiküller üzerinde ne kadar kolay adsorbe olduğuna da bağlıdır.

Deflokülantın su ile birleşme eğilimi ne kadar fazlaysa, etkisinin de o kadar etkili olacağını vurgulamakta fayda vardır. Poliakrilatların deflokülasyon etkisi sterik engelleme ile yakından bağlantılı olduğu için, endüstriyel kullanımda bu deflokülantları aşırı dozda kullanma sorunlarıyla ilgili riske girmek zordur.

3.5. Sağlık gereçleri çamurunun reolojisi

Bundan önceki bölümde, piyasada bulunan farklı deflokülant tipleri ve bunların her birinin etki mekanizmaları vurgulandı. çamurun ham maddelerinin de büyük ölçüde farklılık gösterdiklerini göz önünde bulundurursak, deflokülasyon sürecini optimize etmek için seçilmesi gereken deflokülantın türünü ve miktarını önceden tespit etmek neredeyse imkansızdır. Genel bir kural olarak, ancak şunları belirtebiliriz: mümkün olan en fazla sayıda deflokülasyon mekanizmasını faaliyete geçiren deflokülantları kullanmak her zaman için daha iyidir. Aslında bu şekilde, reolojik bakış açısından kesinlikle daha kararlı ve ideal akış parametreleri ile karakterize edilen çamurlar elde edilecektir. Akışkanlaştırıcı maddenin miktarı ile ilgili olarak da, duruma göre deneysel olarak doğru miktar tespit etmek gerekecektir. Ham maddelerin minerolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri ile aşağıda daha ayrıntılı göreceğimiz üzere, çözelti suyunun özellikleri, miktarları önemli ölçüde etkileyecektir. Sülfatlar, klorürler, organik maddeler gibi münferit ham maddeler içerisinde var olan herhangi bir yabancı madde de (ya da yardımcı mineral) kilit bir rol oynar. Bundan sonraki birkaç bölümde, farklı deflokülantların çamur üzerindeki etkileri ile çeşitli yabancı maddelerin/yardımcı maddelerin etkisi ayrıntılı olarak incelenecektir.

3.5.1. Sağlık gereçleri çamurlarının deflokülasyon durumu

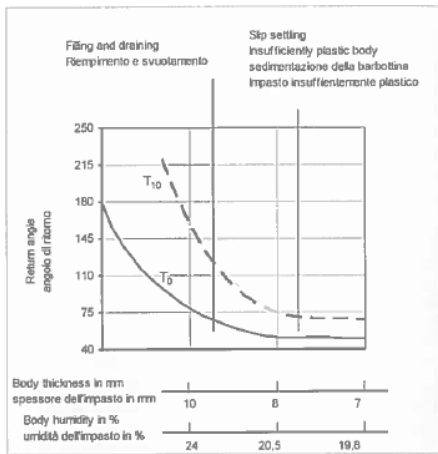
Diğer bölümlerde görüldüğü üzere, deflokülasyon durumunun seramik çamur üzerindeki etkisi döküm faaliyetleri için son derece önemlidir. İlk olarak, kil partikülleri üzerinde var olan elektrik yüklerinin durumunu etkileyen deflokülasyonun bu elektrik yükleri arasındaki etkileşim türlerini ve

dolayısıyla bunların hareketlilikleri ile toprakların yapısını ciddi ölçüde etkilediği belirtilmelidir: Bu, çamurun geçirgenliğini önemli ölçüde etkiler. Ayrıca, bir çamurun deflokülasyon seviyesi çamurun viskozitesine ve tiksotropisine bağlıdır. Daha önce de gördüğümüz üzere, tiksotropideki bir artış seramik partiküllerinin edindiği, daha az yoğun ve dolayısıyla geçirgen bir yapı ile alakalıdır: bunun sonucu da, kalınlık alma hızında bir artıştır. Fakat genellikle bu durumda, döküm parçasının su içeriğinde de bir artış olur ki bunun sonucunda da deforme olabilme ihtimali de artar.

Ayrıca, tiksotropideki bir artış aynı zamanda çamurun boşaltılmasında/akışında da bir zorluğa ve bunun beraberinde getirdiği sorunlara tekabül eder: parçaların zayıf bir şekilde boşaltılması ile birlikte durgunlaşmış çamur ve bunun sonucunda meydana gelen çatlamların olmasıdır.

Buharlaşması gereken daha fazla su miktarı ve parçanın kalınlığında bulunabilen nem oranı nedeniyle ürün kurutma aşamasında da daha fazla zorluklar meydana gelecektir. Eğer hem tiksotropi hem de viskozite çok düşükse, şu sorunlar meydana gelebilir:

- Sertleşen çamur aşırı derecede geçirimsizdir (çok yoğun) ve dolayısıyla, kalınlık süreleri aşırı derecede uzundur.
- Sertleşen çamur pek esnek olmayabilir ve dolayısıyla da kesikler, kırıklar, çatlaklar vs. oluşumuna meyilli olacaktır.
- Özel durumlarda (özellikle fire clay şamotun kalın partikül boyutları) bir sedimentasyon sorunu olabilir ve bunun sonucunda da ürünün kompozisyonu kötü bir şekilde pürüzlü olabilir. Yukarıda anlatılanlar, Şekil 3.46'de ve tablo 2'de görülmektedir.



Şekil 3.46 – Deflokülasyon eğrisi ve kalınlık alma süreci

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Filling and draining = Doldurma ve boşaltma

Slip settling = Çamur çökmesi

Insufficiently plastic body = Yetersiz esnekliğe sahip masse

Return angle = Dönüş açısı

Body thickness in mm = mm olarak kek(masse) kalınlığı

Body humidity in % = % olarak kek(masse) nemi

Tablo 2 – Deflokülasyon durumunun döküm üzerindeki etkisi

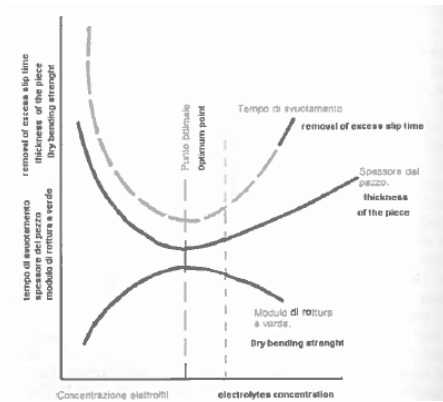
Deflokülasyon durumu	Döküme etkileri
Viskozite çok yüksek	Şekillendirmede herhangi bir kusura yol açmaz, hava kabarcıklarının oluşmasına yol açabilir
Viskozite çok düşük	Döküm lekeleri ve deformasyon
Tiksotropi çok yüksek	Hızlı şekil alma, yavaş ve /veya eksik boşaltma, çok ıslak ve tutarsız döküm massesi, sertleşme süresi daha uzun, kalınlıkta daha yüksek nem oranı (kuruma aşamasında zorluk)
Tiksotropi çok düşük	Yavaş şekil almayla birlikte damlamalı fakat kolay boşaltma, sert ve hafifçe esnek döküm (sertleşme çatlakları riski), sertleşme için en kritik süre, hızlı kuruma.

Dolayısıyla, sağlık gereçleri çamurları için doğru deflokülasyon durumunun tespit edilmesi son derece önemlidir. Elektrostatik mekanizmalar aracılığıyla deflokülasyon elde edildiğinde, zeta potansiyeli ölçümlerinden ideal deflokülant miktarının tespit

edilmesi mümkündür: bu deflokülant miktarı arttıkça zeta potansiyeli mutlak değer olarak, belli bir doza kadar artacaktır ve bu dozun ötesinde değeri denge kazanacaktır. Bu değer, doğru deflokülant dozajı için bir referans olarak alınabilir. Çamurun reolojik stabilizasyonu sadece elektrostatik değil, bunun yanı sıra steril olduğunda, sorun daha karmaşık hale gelir. Bu durumda, sadece zeta potansiyelini ölçmek anlamlı referanslar vermez. Bu nedenle, her halükarda, her çamur için seçilen deflokülantlardan artan miktarlarda eklemek ve aynı zamanda da çamurun reolojik değerlerini kaydetmek suretiyle bir deflokülasyon eğrisi oluşturulması tavsiye edilir. Reolojik eğri analiz edildikten sonra, şu hususlar arasındaki en iyi uyuma karşılık gelen deflokülant dozlarını seçmek gerekecektir:

- Çamurun viskozitesi ve tiksotropisi ve çamurun bununla bağlantılı özellikleri.
- Kalıbın yüzeyinde çökelen ilk massenin geçirgenliği.
- Kalınlık alma süresi.
- Döküm parçasının işlenebilirliği ve kıvamı.

Şekil 3.47, deflokülant dozuna bağlı olarak çamurun bazı kilit özelliklerinin trendlerini gösteren bir şemadır. Eğrilerin, trendleri aksi yöne dönmeye başlamadan önce, kararlı hale geldikleri alanda ideal deflokülasyon noktasının nasıl tespit edilebildiğine dikkat edin. Genelde bu, sağlık gereçlerine yönelik çamurların ılımlı az-deflokülasyon durumunda kullanıldıklarını ifade eder: aslında bu durum döküm yapılacak çamurun özelliklerini optimize etmek için uygun bir uzlaşma noktasını (diğer koşullar eşit iken) temsil eder. Ayrıca, en azından elektrostatik stabilizasyon durumunda, aşırı dozda deflokülant riskinden ve bunun sonuçlarından kaçınmak endüstriyel açıdan daha doğrudur.



Şekil 3.47 – Deflokülasyon durumuna göre çamurun özellikleri (kaynak: HERMANN).

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Removal of excess slip time = boşaltma süresi

Thickness of the piece = parçanın kalınlığı

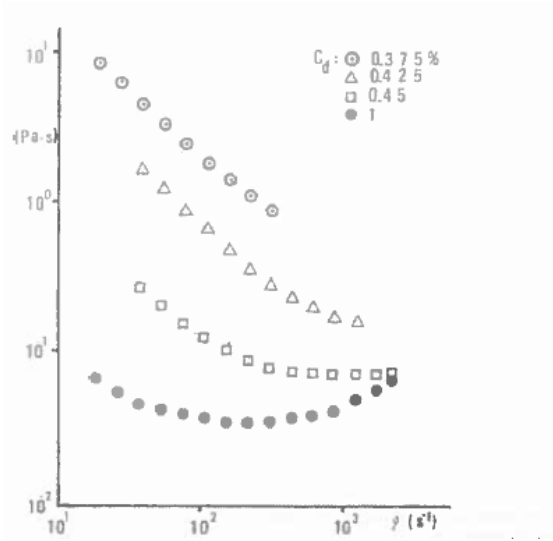
Dry bending strength = kuru mukavemet

Optimum point = optimum nokta

Electrolytes concentration = elektrolit konsantrasyonu

Bu aşırı deflokülasyon riskini daha iyi göstermek için, Şekil 3.48 [35] bir kil-kaolen süspansiyonuna (ağırlık olarak %61) ait viskozitenin, hız oranının bir fonksiyonu olarak değişim eğrilerini göstermektedir.

Her biri ağırlık olarak %0,375'ten başlayıp ağırlık olarak %1'e ulaşan farklı deflokülant konsantrasyonlarına sahip dört eğri elde edilmiştir.



Şekil 3.48 – Katı madde içeriği sabit (%61) fakat farklı konsantrasyonlarda deflokülant bulunan, farklı kaolen ve kil süspansiyonları için kayma hızı (γ) karşısında viskozitenin (η) davranışı (kaolen/kil (c/a) oranı: 1.1).

Söz konusu deflokülan, sağlık gereçleri endüstrisinde normal olarak kullanılan bir deflokülan'tır: bir karbonat ve sodyum silikat karışımı. Eğriler incelendiğinde, herhangi bir deflokülan seviyesinde, γ olarak anılan kritik bir hız gradyanı aşıldığında, süspansiyonun davranışı dilatant (genleşen) hale gelir, diğer bir deyişle hız gradyanındaki daha fazla artış karşılığında viskozitedeki artışla karakterize edilen bir davranış gösterir. Fakat bu davranış deflokülan miktarının artırılmasıyla daha önemli hale gelir ve daha düşük hız gradyanlarında meydana gelir. Uygulamadaki terimlerle ifade edersek bu, deflokülanın aşırı dozda olmasının çözünmenin ve çamurun pompalanmasının zorlaşması (yüksek γ değerleri) ile sedimentasyon olayına yol açması anlamına gelir (kalınlık oranının azalması, pek esnek olmayan döküm ve kuruma zorluğu gibi bilinen sorunlara ek olarak).

3.5.2. Reolojik davranışı etkileyen faktörler

Bu bölümde, sağlık gereçlerine yönelik bir çamurun reolojik davranışlarını etkileyen ana unsurlar üzerinde durulacaktır. Bu faktörler şunlardır:

- Çamurun bileşimi
- Ham maddelerin partikül boyutu dağılımı
- Sıcaklık
- Özgül ağırlık veya katı fazın miktarı
- Organik maddenin içeriği
- Çözünebilir tuzların içeriği
- Çözündürme suyunun kimyasal ve fiziksel özellikleri
- Çözünme ve dozlama enerjisi
- Deflokülanın tipi

Bu bölümdeki açıklamalar ışığında, neden bazı deflokülanların diğerlerinin yerine kullanıldığını ve bunların çamur üzerindeki etkilerini anlamak daha kolay olacaktır.

3.5.2.1. Çamurun bileşimi

Mineral bileşimi çamurun reolojik davranışını ve ana süreç parametrelerini büyük ölçüde etkiler: kalınlık alması ve hazırlık süresi, oluşan kalınlıktaki(massedeki) nem oranı, döküm parçanın kuruma oranı, vs. Genellikle, sağlık gereçlerine yönelik bir çamur bir plastik bir de plastik olmayan (buna zayıf kısım adı verilir) kısımdan meydana gelir.

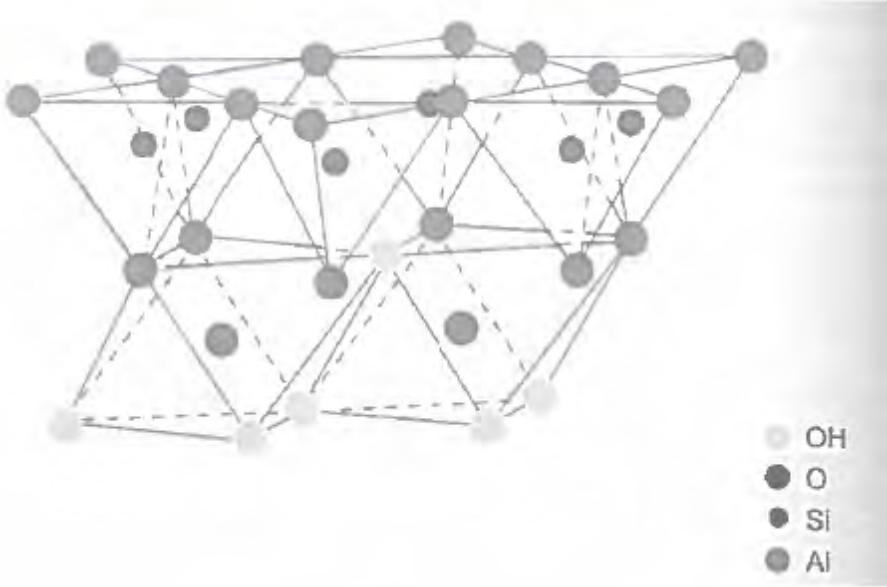
Bunlardan birincisi, değişken oranda bir araya gelen kil ve kaolen karışımından meydana gelirken ikincisi kuvars, feldspat ve şamottan (fire clay çamuruyla sınırlı) meydana gelir. Tabii ki bütün bu ham maddelerin tipi ve kullanım yüzdesi son derece farklıdır ve döküm sırasında çamurun davranışını farklı ölçeklerde etkiler. Fakat döküm özellikleri üzerinde neredeyse münhasıran belirleyici bir etkiye sahip plastik ham maddelerin hangileri olduğunu netleştirmek gerekir.

Plastik olmayan ham maddelerin partikülleri, çamurun reolojisini sadece hacim birimi başına düşen partikül sayısını arttıran unsurlar, yani çözelti katmanlarının akış direncini arttıran bir kütle olarak etkiler. Dolayısıyla, zayıf ham maddelerin etkisinin sadece mevcut olan partiküllerin sayısına bağlı olduğunu söylemek mümkündür. Buraya kadar anlatılanlara göre, döküm çamurunun özellikleri üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak amacıyla münferit plastik bileşenlerin reolojik davranışlarını incelemek gerekir.

Kaolen, sağlık gereçleri çamurlarının önemli bir parçasıdır. Miktarı fire clay çamurunda %13 ila 18'den vitrifiye çamurunda %30'a kadar değişir. Kaolenler, ağırlıklı olarak kaolinit ile birlikte küçük miktarlarda kuvars, feldspat, feldspatımsı ve bazen de mika gibi yardımcı minerallerden oluşurlar. Kaolenleri meydana getiren kaolinit, düzenli bir kristal örgüsüne sahip son derece saf bir birincil kaynaktan gelir. dolayısıyla, kaolenler düşük iyon değişimi ve göz ardı edilebilir bir çözünebilir tuzlar içeriği ile karakterize edilirler.

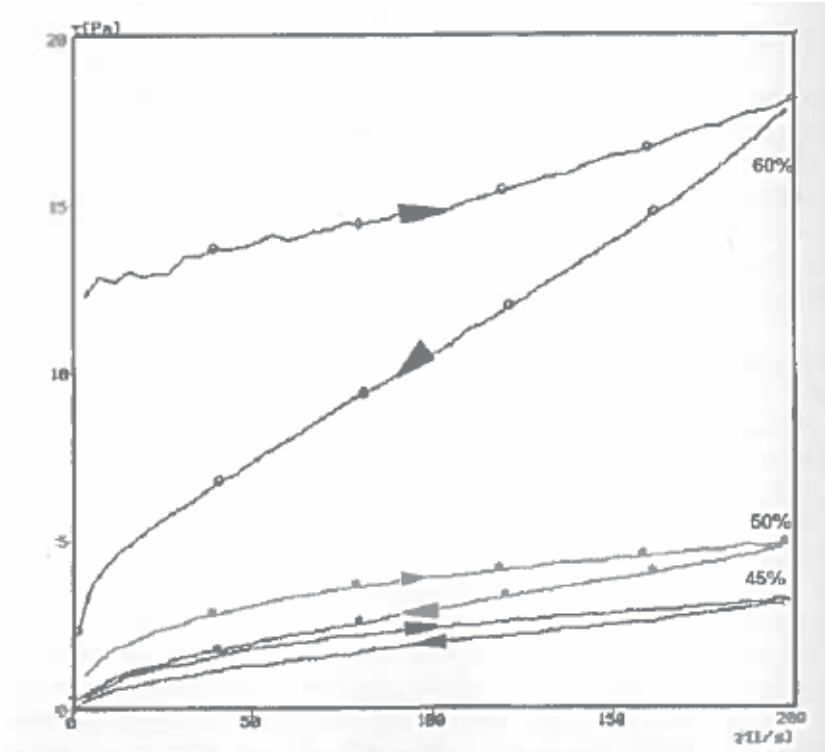
Killer, genellikle sağlık gereçlerine yönelik çamurların ağırlık olarak %20-26'sını oluştururlar ve son derece değişken bir mineral bileşimine sahiptirler: tamamıyla kaolinitik (diğer bir deyişle kaolinitten oluşan)

killerden, artan miktarlarda illit, kuvars ve feldspat içeren diğer killere kadar bir aralığa yayılan mineral bileşimine sahip olabilirler. Doğal olarak farklı killerin özellikleri bu killeri oluşturan bileşenlerin özelliklerinden etkilenir: dolayısıyla, örneğin, zayıf bileşenlerin (kuvars, feldspat) miktarı ne kadar fazla ise, kilin plastikliği de o kadar düşük olur ve daha kolay bir şekilde sıvı haline getirilebilir. Dolayısıyla, kısaca da olsa, killerin ana mineral bileşenlerinin reolojik davranışlarından bahsetmek gerekmektedir. Tortul kökene sahip kaolinitlere özgü bir yapısal düzensizlik gösteren özelliğe sahip olmasına rağmen kaolinit genellikle sağlık gereçlerine yönelik killerin ana bileşenidir. Şekil 3.49'da [31] gösterilen kristal yapı ile karakterize edilen kaolinit, neredeyse ihmal edilebilir bir seviyede iyon değişimine (örgünün düzensizlik derecesi ile birlikte artan) sahiptir. Kaolinit düşük ya da ihmal edilebilir bir akma noktasına sahip ve tiksotropik etkilere düşük eğilim gösteren psödoplastik reolojik davranış gösteren bir maddedir. Fakat katı maddenin konsantrasyonu yükseldikçe, kaolen çözeltisi akma noktasının ve tiksotropik olayların hassas seviyelerde ortaya çıkmasıyla plastik davranış göstermeye başlar (bkz. Şekil 3.50).



Şekil 3.49 – Kaolinitin yapısal şeması

Şekil 3.50 [31] buraya kadar anlatılan davranışı göstermektedir.

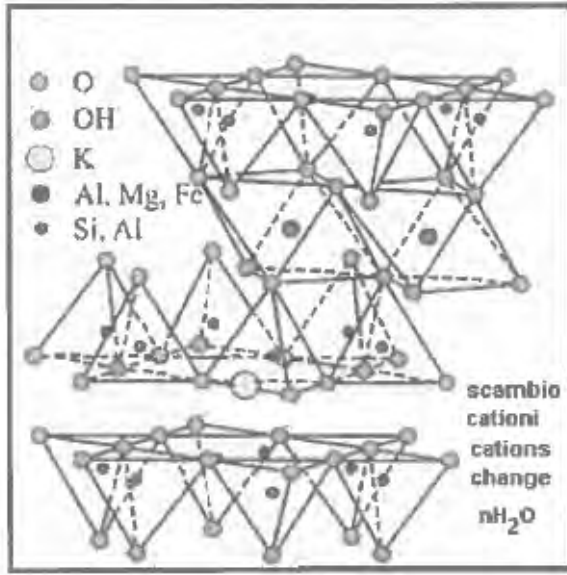


Şekil 3.50 – Farklı katı madde yüzdelerinde kaolenin reolojik davranışı

Defloküle olması için, pH değerini yükselten ürünlerin eklenmesi gerekir.

İllit kilde sıklıkla (kaolenlerde nadiren) bulunan diğer bir mineraldir ve kaolinit ile kıyaslandığında, izomorfik yerdeğişiklikler ve kristalin düzensizliklerden etkilenen örgü yapısından kaynaklanan daha yüksek bir iyon değişim kapasitesine sahiptir (üç katman: tetrahedron – oktahedron– tetrahedron); ve dolayısıyla, illit kaolinite göre daha yüksek bir plastiklik seviyesine sahiptir fakat deflokülasyonu daha zordur ve tiksotropisi daha yüksektir.

Simektit, son derece yüksek izomorfik yer değiştirmeden etkilenen bir örgüden (yine illit gibi üç katmanlı) (Şekil 3.51 [31]) oluşan bir kil mineralidir; ve bunun sonucunda da son derece yüksek plastikliğe sahiptir.



Şekil 3.51 – Smektitin yapısal şeması

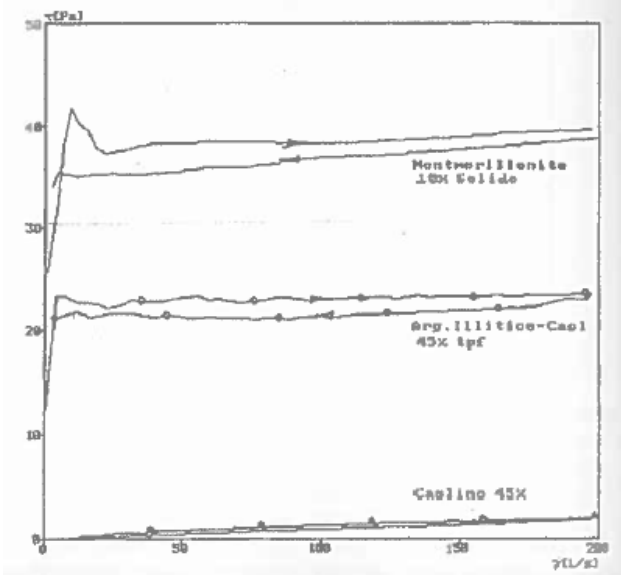
Smektit aynı zamanda büyük miktarlarda su emme kabiliyetine sahiptir ve deflokülasyon ve tiksotropik gelişim açısından kontrol altında tutulması son derece zordur. Dolayısıyla, smektitin döküme yönelik plastik ham maddelerde bulunmaması veya sadece çok küçük miktarlarda mevcut olması gerektiği açıktır. Böylelikle, sadece gösterge niteliğinde olsa da, döküme yönelik plastik ham maddelere ilişkin ufak bir sınıflandırma yapabilir ve bu sınıflandırmayı şöyle özetleyebiliriz:

- Kaolinit açısından çok zengin killer (ve tabii ki kaolenler) düşük plastiklik ve iyi dökülebilirlik özelliklerine sahiptirler.
- İllitik-kaolinitik killer genellikle daha plastik, daha tiksotropiktir ve defloküle olmaları daha zordur.
- Aynı zamanda küçük miktarlarda smektit içeren killerin defloküle edilmeleri zordur, son derece plastik ve son derece tiksotropiktirler.

Yukarıdaki hususları doğrulamak için, Şekil 3.52 [31] üç ham maddenin reolojik eğrilerini göstermektedir:

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

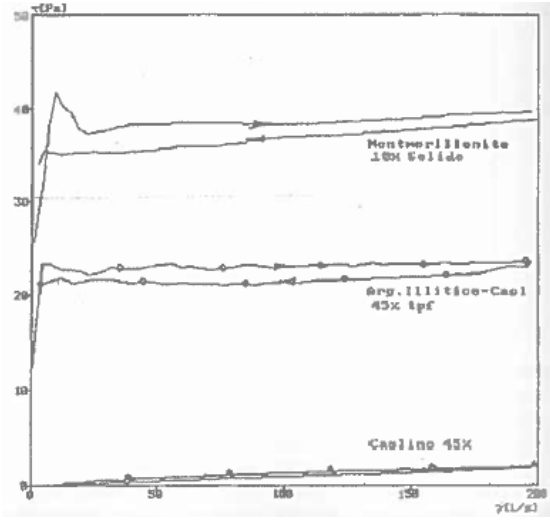
- Birinci eğri, %45 oranında su içerisinde dağılmış kaolene (kaolinit bazlı mineral) aittir.
- İkinci eğri, su içerisinde ağırlık olarak %45 oranında dağılmış illitik-kaolinitik bir kile aittir.
- Üçüncü eğri ise, su içerisinde ağırlık olarak sadece %10 oranında dağılmış bir montmorillonite (smektit bazlı mineral) aittir.



Şekil 3.52 – Kaolen, illitik-kaolinitik kil ve montmorillonit kilin reolojik davranışlarının kıyaslanması

Kaolenin nasıl düşük bir akma noktasına, viskoziteye ve tiksotropiye sahip olduğunu görmek oldukça basittir. İllitik-kaolinitik kil, ağırlık olarak aynı yüzdeye sahip olmasına ve aynı deflokülant miktarı söz konusu olmasına rağmen, çok daha yüksek bir akma noktasına, viskoziteye ve tiksotropiye sahiptir. Sulu çözelti içerisinde çok düşük miktarlarda (ağırlık olarak %10) daldırılrsa dahi, montmorillonit çok daha yüksek bir akma noktası, viskozite ve tiksotropi değerlerine sahiptir. Bu bölümde daha önce de bahsedildiği gibi, bir çamurun mineral bileşiminin etkisi kalınlık alma ve massenin sertleşmesinde dahi hissedilir. Genellikle, bütün diğer koşullar eşit olduğunda, daha plastik bir ham madde içeren bir çamurun (daha zayıf bir kil içerene kıyasla) daha yüksek sertleşmiş geçirgenliği ve dolayısıyla daha uzun kalınlık alma süresine sahip olacağı söylenebilir. Şekil 3.53[36], çamurun döküm hızının, kullanılan baz kaolenin döküm hızının bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiğini gösteren bir eğriyi ortaya koymaktadır.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM



Şekil 3.53 – Kaolenin döküm hızının çamurun döküm hızı üzerindeki etkisi, sabit ve 100 Poise'a eşit bir tiksotropide (Brookfield V60).

Bu benzerlik, tabii ki, bir ön yakınlaştırmadır çünkü gerçekte, bir çamurun döküm hızı aynı zamanda özgül yüzey alanı ve çamuru oluşturan ham maddelerin partiküllerinin boyutları ve morfolojisi gibi diğer parametreleri de etkiler. Bunların bir örneği Tablo 3'te [36] gösterilmektedir. Bu tablo, biri İngiliz plastik kilinden oluşan plastik bir baza sahip, diğeri ise Provins bölgesinden elde edilen Fransız kilinden yapılmış iki çamur ile ilgili döküm verilerini içermektedir. 1 saat 30 dakika içerisinde 8 mm kalınlık elde etmek için iki çamur defloküle edilmiştir.

Tablo 3 - 1 saat 30 dakika içerisinde 8 mm kalınlık oluşturmak için defloküle edilen çamurlar (kaynak: Vouillemet)

Plastik bileşen	% sodyum silikat	Gallenkamp ölçümü			Kil özelliği	
		Viskozite	60 dakikada tiksotropi	% olarak çamur nemi	Silika içeriği %	m ² /g olarak özgül yüzey
Provins havzası	2,4	40°	60°	21,	33	23
Kil n°1	3,7	60°	180°	23,5	34	21,9

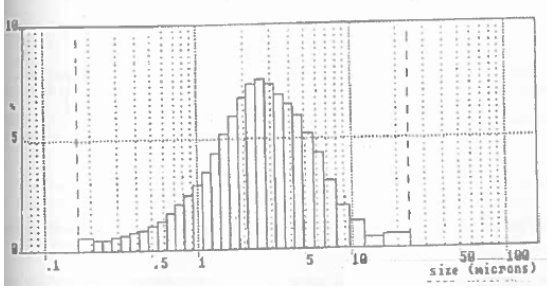
Tabloyu incelediğimizde, Fransız kilinden çamurun, daha düşük miktarda sodyum silikat ile defloküle edilmiş olmasına rağmen, daha düşük seviyelerde tiksotropi ve viskoziteye sahip olduğunu görebiliriz. Ayrıca, genellikle olanın aksine, daha düşük tiksotropiye sahip olmasına rağmen, Fransız kilinden çamur İngiliz kili içeren çamur ile aynı kalınlığı oluşturur.

3.5.2.2. Partikül boyutu dağılımı

çamuru oluşturan ham maddelerin partikül boyutu dağılımı, bir çamurun reolojik davranışını ve aynı zamanda ana döküm parametrelerinin tamamını önemli ölçüde etkiler. Çamuru hazırlamak için kullanılan ham maddeler arasında, plastik olanlar en inceleridir. Bunlar arasında da kil kesinlikle kaolenlere kıyasla çok daha incedir: aslında, kil partiküllerinin %60 ila %85'i 2 mikronun altındayken, kaolenlerde bu oran hiçbir zaman %40'ı aşmaz (en azından döküm için kullanılan ham maddeler söz konusu olduğunda). Dolayısıyla, plastik ham maddeler ve özellikle de killerin çamurların reolojik ve döküm özellikleri üzerinde daha büyük bir etki doğuracakları açıktır. Ne var ki, bütün bunlara rağmen, zayıf ham maddelerin partikül boyutunun çamurlar üzerindeki etkisi, sınırlı olsa da, göz ardı edilmemelidir.

Dolayısıyla bu bölümde dökümü etkileyen partikül boyutuna ilişkin bütün unsurlar incelenecektir.

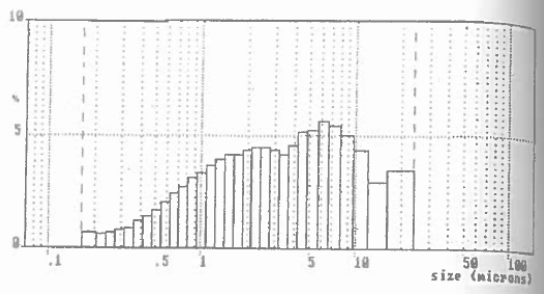
İlk olarak belirtilmesi gereken şey, partikül boyutunun tek tek ham maddelerin reolojik davranışları üzerindeki büyük etkisidir. Bu amaçla, Şekil 3.54 A [31] ve Şekil 3.54 B [31] sırasıyla iki farklı partikül boyutu inceltme sürecine tâbi tutulan aynı kaolenin partikül boyut dağılımını ve iki farklı partikül boyutu durumundaki reolojik eğrileri göstermektedir. Şekillerden kolaylıkla görüleceği üzere, daha fazla saçılım ile karakterize edilen partikül boyutu dağılımı (işlenmiş kaolen Şekil 3.54 B) aslında işlenmemiş olan kaolende görülen dilatant olmayan bir reolojik davranış sergilemektedir. Dolayısıyla, kaolenin reolojik eğrisinin dönüşümü sadece farklı bir partikül boyutundan kaynaklanmaktadır.



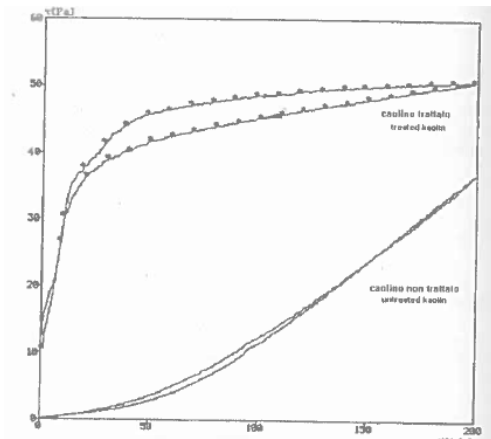
Şekil 3.54 A – İşlenmemiş kaolenin partikül boyutu dağılımı

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Size (microns) = boyut (mikron)



Şekil 3.54 B – İşlenmiş kaolenin partikül boyutu dağılımı



Şekil 3.55 – Farklı granülometrik eğrilere sahip kaolenin reolojik davranışının kıyaslanması

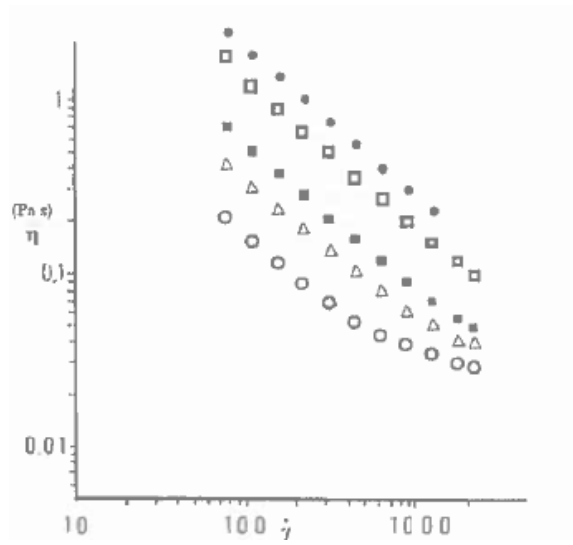
ŞEKİL ÜZERİNDE:

Treated kaolin = işlenmiş kaolen

Untreated kaolin = işlenmemiş kaolen

Partikül boyutu dağılımının bir kil süspansiyonunun reolojik özelliklerini nasıl etkilediğine ilişkin daha fazla bilgi için, ağırlık olarak %40 oranında bir kil-kaolen karışımı içeren süspansiyonla ilgili elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Bunlar, aynı kimyasal ve mineralojik bileşimlere sahiptir fakat partikül boyutu açısından büyük ölçüde farklılık gösterirler (kil, kaolene kıyasla çok daha incedir). Partikül boyutunun etkisini vurgulamak amacıyla, kille bağlantılı olarak kaolen içeriği değiştirilerek elde edilen süspansiyonlardan reolojik ölçümler alınmıştır. Bu sonuçlar, şunu vurgulayan Şekil 3.56, 3.57 [35] ve 3.58'de [35] gösterilmiştir:

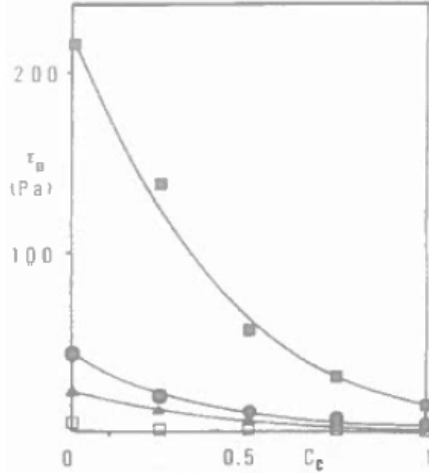
- Farklı kaolen içerikleri için hız gradyanının bir fonksiyonu olarak viskozite değişim eğrisi.



Şekil 3.56 – Sabit parametrelere sahip bir dizi sistem için logaritmik grafik η -log. γ : (40%) katı faz içeriği ve (0.1%) deflokülant, fakat farklı kaolen konsantrasyonlarıyla C_c (kaolen conc.) = 0%, $C_c = 0.25\%$ □, $C_c=0.5\%$ ■, $C_c=0.75\%$ ▲; $C_c=1.0\%$ ◇; burada C_c = kaolen içeriği (kaolen/kil oranı).

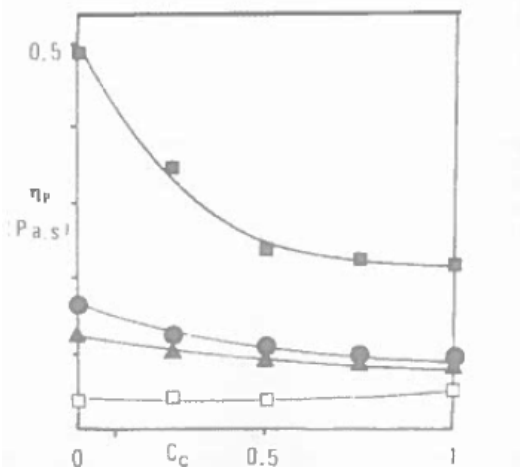
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

- Farklı deflokülan miktarlarında kaolen/kil oranının bir fonksiyonu olarak akma noktasının gelişimi.



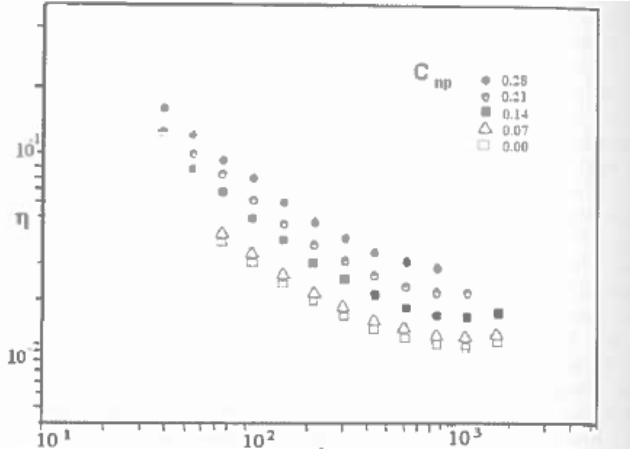
Şekil 3.57 – Kaolen konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak (%40) katı faz içeriğine sahip bir dizi sistem için akma noktasının davranışı, $C_d=0.1\%$ ■, $C_d=0.25\%$ ●, $C_d=0.3\%$ ▲, $C_d=0.45\%$ □; burada C_d = Deflokülan içeriği.

- Farklı deflokülan miktarlarında kaolen/kil oranı değişirken plastik viskozitenin değişimi.



Şekil 3.58 – Kaolen konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak (%40) katı faz içeriğine sahip bir dizi sistem için plastik viskozitenin davranışı, $C_d=0.1\%$ ■, $C_d=0.25\%$ ●, $C_d=0.3\%$ ▲, $C_d=0.45\%$ □; burada C_d = Deflokülan içeriği.

Şekil 3.56, aynı kayma hızında, kaolen içeriği kil aleyhine artarken süspansiyonların viskozitesinin nasıl kararlı bir şekilde azaldığını göstermektedir. Şekil 3.57’de, kaolen içeriği kil aleyhine artarken akma noktasının büyük ölçüde azaldığı (özellikle düşük deflokülant dozlarında) görülmektedir. Aynı şey, plastik viskozite için de geçerlidir (bkz. Şekil 3.58). Grafikler analiz edildiğinde, partikül boyutunun (diğer bir deyişle, kaolen içeriği) etkisinin düşük deflokülant dozlarında daha belirgin olduğu görülür: normalde daha ince partikül boyutunda daha büyük bir özgül yüzey alanı söz konusu olduğu için, bu tamamıyla normaldir: daha önce gördüğümüz üzere, deflokülasyon partiküllerin yüzeyinde bir müdahalede bulunduğundan, aynı deflokülant için, söz konusu yüzey ne kadar küçükse, deflokülasyonun etkisi de o kadar büyüktür. Ancak deflokülant miktarı en büyük özgül yüzey alanı için bile yeterli olduğunda, reolojik eğriler kaolen/kil oranına karşı duyarsız hale gelirler. %40 plastik ham madde içeren bir süspansiyona plastik olmayan ham madde (kuvars, feldspat) eklenmesinin (oran 1:1) etkisini anlayabilmek için, bir çalışma [35] yürütülmüştür: artan miktarlarda kuvars/sodyum feldspat 1:1 karışımı süspansiyona eklenmiştir. Daha fazla zayıf malzeme eklendikçe, süspansiyonun kuru fazının toplam ağırlığı ile ilgili aynı yüzdeyi korumak için deflokülant miktarı ayarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.59’da [35] gösterilmiştir.



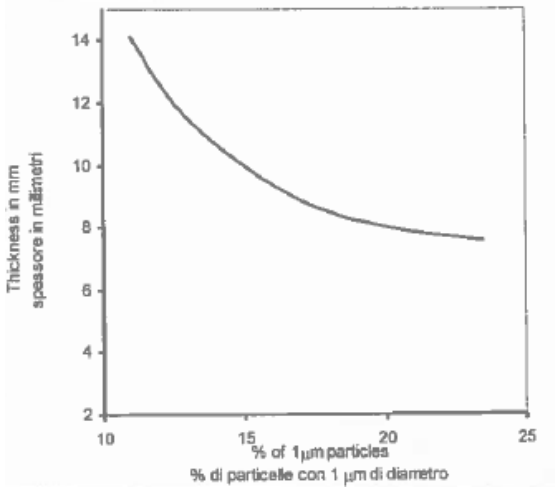
Şekil 3.59 – Farklı konsantrasyonlarda plastik olmayan bileşenler (C_{np}) içeren bir dizi süspansiyonun akış eğrileri. İlk süspansiyon, kaolen ve kil ile hazırlanmıştır ($C_S=40\%$, $c/a=1/1$, $C_d=0.25\%$).

Görünür viskozitedeki artışın, kaolen/kil oranı kil lehine değiştirildiğinde bulunandan daha düşük olduğunu görebilirsiniz.

Normal olarak, zayıf malzemeler deflokülasyon açısından temelde “inert” (etkisiz) oldukları için, plastik olmayan malzemeler eklemek suretiyle bir çamurun özgül ağırlığını arttırmak daha kolaydır. Bu aynı zamanda, yüksek

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

özgül ağırlık değerlerine (2 kg/l'ye kadar) ulaşılması gereken fire clay çamurlarda önemli dozlarda granüllü şamot kullanılmasının da sebebidir. Şamot plastik değildir ve dolayısıyla reolojik sorunlar olmaksızın özgül ağırlığı arttırmayı mümkün kılar. Aynı zamanda normalde daha kalın bir partikül boyutuna sahiptir (fine fire clay için 300 ile 500 mikron, fire clay için 800 ila 1000 mikron arasında değişen daha büyük oranlar). Daha büyük parçacık boyutu, (diğer koşullar aynı kaldığı sürece) önemli herhangi bir sorunla karşılaşılmaksızın daha yüksek özgül ağırlıklara ulaşılmasını mümkün kılar. Fakat daha önce de, ham maddelerin partikül boyutunun dökümün diğer işleme parametreleri üzerinde bir etkisi olduğundan bahsetmiştik: özellikle de kalınlık süresi. Şekil 3.60 [36], çamur içerisinde 1 mikrondan daha küçük partiküllerin oranının bir fonksiyonu olarak oluşan kalınlık trendini göstermektedir.



Şekil 3.60 – 1 mikronluk partiküllerin yüzdesinin döküm hızı üzerindeki etkisi.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Thickness in mm = mm olarak kalınlık

% of 1µm particles = 1µm partiküllerin yüzdesi

Bütün diğer koşullar aynı kaldığında, çamur içerisindeki 1 mikronun altındaki partiküllerin yüzdesi %15'ten %20'ye çekildiğinde, oluşan kalınlığın 10'dan 8 mm'ye, diğer bir deyişle %20 oranında düştüğünü görebiliriz. Aynı sonuç sertleşme süresi için de bulunabilir. Bütün bunlar kolaylıkla açıklanabilir: daha ince partiküller, kıvam kazanan çamurda (seçimli olarak

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

çamurun daha ince partiküllerinden oluşan) daha yoğun ve çamurdan kalıba yönelen su akışına karşı daha az geçirgen bir ön tabaka una yol açar. Dolayısıyla, killerin ve kaolenlerin ve öğütmeden kaynaklanan zayıf malzemelerin partikül boyutlarının doğru bir şekilde kontrol edilmesi son derece önemlidir.

3.5.2.3. Sıcaklık

Sıcaklığın, çamurun reolojik davranışı üzerinde göz ardı edilemez bir etkisi vardır. Sıcaklık düştükçe çözelti aracının (su) ve dolayısıyla tüm çamurun viskozitesi artar ve bunun tersi de geçerlidir. Sıcaklıktaki 30 °C'ye kadar artışlar, akma noktasını belirgin bir şekilde etkilemez. Sıcaklık ayrıca tiksotropi ile ilgili olarak da önemli bir rol oynar: genellikle, çamur az defloküle edilmiş olduğu takdirde, sıcaklığın artmasıyla tiksotropide artış olurken, çamur fazla defloküle edilmiş olduğu takdirde ise, tiksotropide bir azalma olduğu ifade edilir. Tabii ki, bütün bunlar, döküm parametrelerini etkiler. Sıcaklıktaki bir artış, az defloküle edilmiş bir çamurda daha yüksek bir kalınlık hızına sebep olur:

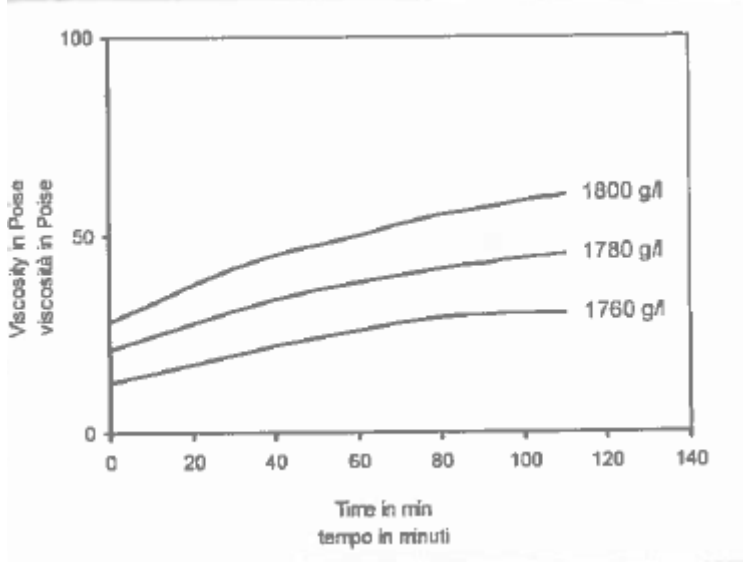
	A 25°C	A 50°C
<i>Kalınlık süresi</i>	100 dk.	60 dk.
<i>Sertleşme süresi</i>	48 dk.	29 dk.

Görüldüğü üzere, sıcaklık arttıkça sertleşme süresi de düşer. Öte yandan, eğer çamur fazla defloküle edilmiş ise, kalınlık u ve sertleşme sürelerindeki değişimler göz ardı edilebilir düzeydedir.

Çamuru daha yüksek bir sıcaklıkta dökmek aynı zamanda daha az nemli ve daha yüksek mekanik mukavemete sahip döküm parçaları elde edilmesini mümkün kılar. Bundan da anlaşıldığı gibi, döngü sürelerini ve döküm parçalarının mukavemetini düşürmenin gerekli olduğu basınçlı dökümde, çamur hemen her zaman 40 ila 42 C'ye ısıtılmış olarak kullanılır.

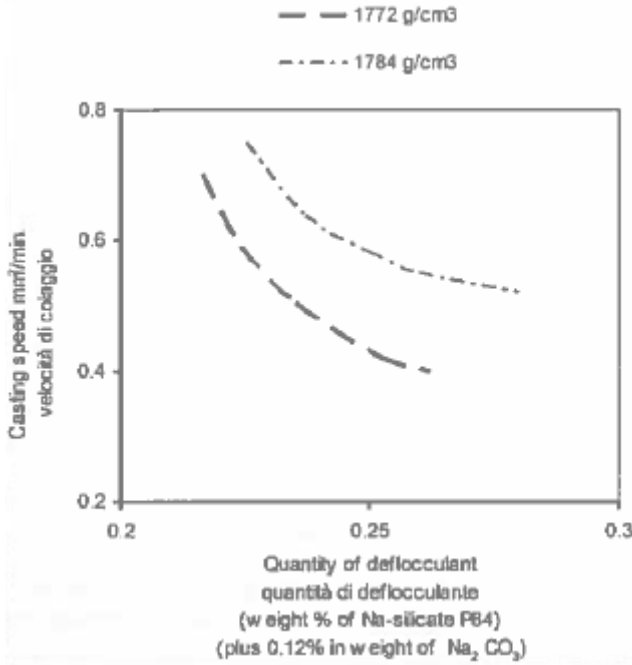
3.5.2.4. Özgül ağırlık (Litre ağırlığı)

Özgül ağırlık, her bir ham maddenin ve dolayısıyla da tüm çamurun reolojik davranışını önemli ölçüde etkiler. Örneğin, artan miktarlarda katı içeriği ve sabit bir deflokülant yüzdesine sahip kaolen çamurlarıyla ilgili akış eğrileri yapıldığında, özgül ağırlık arttıkça eğrilerin histeresisinde (gecikme) ve akma noktasında bir artış olduğunu fark ederiz. Ayrıca, reolojik davranış aslında psödoplastik ile plastik arasında da farklılık gösterir. Şekil 3.61 [36], buraya kadar anlatılanları sergilemektedir.



Şekil 3.61 – Çamurun farklı özgül ağırlık değerleri için sürenin bir fonksiyonu olarak viskozite artışı (tikotropik etki).

Çamurun özgül ağırlığındaki değişiklikler aynı zamanda tiksotropisini de etkiler. Özellikle, çözeltinin katı içeriği azaldıkça, tiksotropik olaylarda bir azalma olacaktır. Şekil 3.61 farklı özgül ağırlıklara sahip aynı çamurun tiksotropi eğrilerini (viskozite zaman içerisinde artar) göstermektedir. 1760 g/l özgül ağırlığa sahip çamur söz konusu olduğunda, zaman içerisindeki viskozite artışı daha yüksek özgül ağırlığa sahip çamura kıyasla sınırlıdır. Yukarıdaki durum, aynı zamanda kalınlık sürelerine de yansır. Özgül ağırlık aynı zamanda, kalınlık hızı ile deflokülant miktarı arasındaki bağıllık ilişkisini de etkiler: bu durum Şekil 3.62'de gösterilmiştir ve bu şeklin incelenmesiyle, daha yüksek bir özgül ağırlığa sahip çamur için, deflokülantın artışı ile kalınlık hızında meydana gelen azalmanın daha az önemli olduğu görülmektedir.



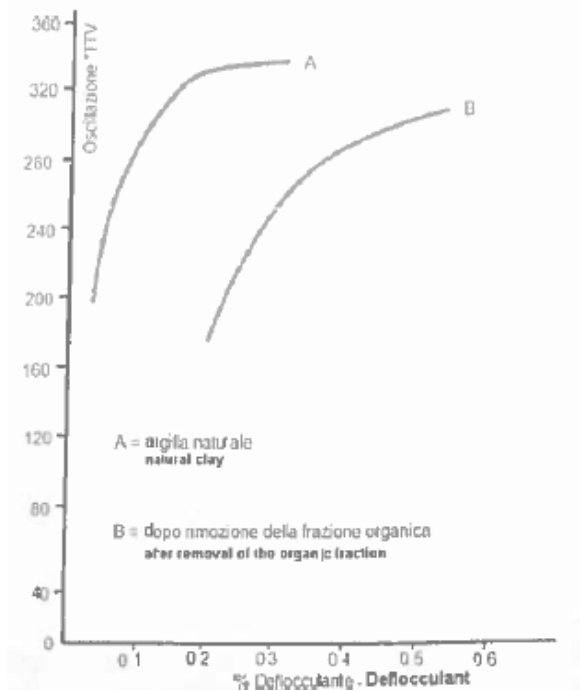
Şekil 3.62 – Farklı özgül ağırlık seviyelerinde deflokülant miktarının fonksiyonu olarak döküm hızında meydana gelen değişim (kaynak: BAYLEY-MOBLE).

Dolayısıyla, döküm sırasında çamurun performansını optimize etmek için, doğru katı içeriğini seçmek son derece önemlidir. Önemli bir kuralın göz önünde bulundurulması gerekir: bir çamurun hiçbir zaman kritik konsantrasyonuna yakın bir noktada işlenmemesi gerekir. Bu terim, çamurun temel parametrelerinin kontrolü açısından artık idare edilemez olduğu sınırı ifade eder. Aslında, kritik özgül ağırlığa çok yakın çalışıldığı takdirde, (özgül ağırlıktaki, deflokülant miktarındaki, ham maddenin özelliklerindeki ufak değişimler için) çamurun kontrol edilemediği ve çamurun kimyasal ve fiziksel özelliklerinde yapılan ufak değişikliklerin reolojik davranışta önemli değişikliklere neden olabilir.

3.5.2.5. Organik maddenin içeriği

Normalde, sağlık gereçlerine yönelik döküm killeri her zaman makul miktarlarda organik madde içerir. Bunlar, şekil ve boyut olarak büyük farklar gösterirler: ufak kümelerden (sadece birkaç mikron) birkaç santimetrelik topraklara kadar değişen. Fakat fark yaratan temel unsur, çözünür organik madde (ya da çözünür

hale getirilebilen madde) ile çözünmez organik maddedir. Deflokülasyonda su ile çözünge madde ve çözünge madde ile kil partikülleri arasındaki elektrostatik etkileşimler son derece önemli olduğu için, çamurun reolojisi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olan özellikle çözünür organik maddedir. Özellikle karbonlu maddeler var olduğunda, sodyum karbonatın iyi bir deflokülasyon etkisi vardır ve bunun sebebi tam olarak sodyum karbonatın linyit içerisinde bulunan kalsiyum iyonlarını çökeltebilmesi ve organik maddeyi çözünür kılmasıdır. Organik maddenin, kimyasal açıdan tanımlanması oldukça zordur: oldukça kompleks bir organik bileşenler karışımından oluşur. Organik madde bir kez çözüldüğünde, birçok elektrik yüklü noktanın varlığı ile karakterize edilen oldukça büyük bir molekül kümesi olarak gözükür. Kil partikülleri etrafında toplanan bu makromoleküller, kil taneciklerinin elektriksiz çift tabakasını olumsuz etkileyecek yüklü partikülleri inaktif hale getirerek adsorbe eder ve engeller. Bu etki temelinde, her ikisi de çamurun deflokülasyonu için son derece negatif olan sülfat ve klorür iyonlarında gerçekleşir. Ayrıca, bir solüsyon içerisindeki organik madde, organik kökenli gerçek bir deflokülant oluşturmak üzere (bkz. organik deflokülantlar), eğer varsa sodyum iyonu ile birleşir. Bu durumda, organik madde en azından kısmen endüstride kullanılan normal deflokülantların yerine geçer. Şekil 3.63 [38] aynı kilin organik madde içerdiği durumdaki ve organik madde giderildikten sonra meydana gelen durumdaki iki farklı deflokülasyon eğrisini göstermektedir (deflokülant miktarının bir fonksiyonu olarak Gallenkamp derecesi cinsinden viskozite).

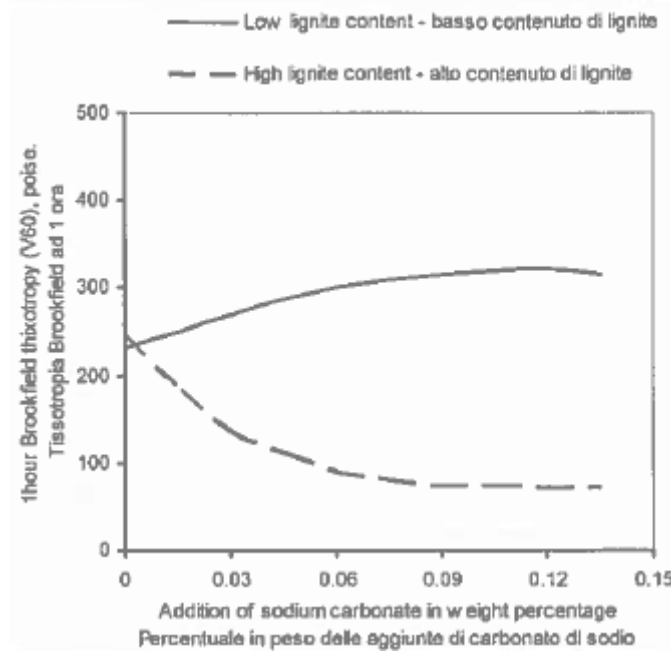


Şekil 3.63 – Doğal kilde (A) ve aynı kil için organik kısmın giderilmesinden sonra (B) viskozite – deflokülant miktarı arasındaki ilişki.

Organik maddenin giderilmesi üzerine, aynı seviyede viskozite elde etmek için gerekli olan deflokülan miktarının önemli ölçüde arttığı açıktır. Örneğin, organik madde ile 280 °G (Gallenkamp derecesi) elde etmek için, ağırlık olarak %0,1'den daha az miktarda deflokülan yeterli iken, karbonlu madde mevcut olmadığında, aynı viskoziteye ulaşmak için, aynı deflokülanı ağırlık olarak yaklaşık %0,35 eklemek gerekmektedir. Şekil 3.64 [36] sodyum karbonat – organik madde arasındaki etkileşimin yol açtığı etkinin önemi hakkında fikir vermektedir ve şekil şunu göstermektedir:

- Organik madde açısından zengin bir çamur ve organik madde içeriği düşük olan diğer bir çamur için sodyum karbonat içeriğinin bir fonksiyonu olarak tiksotropideki değişim.

Şekil 3.64 analiz edildiğinde, Na_2CO_3 'ün miktarı arttığında tiksotropinin düşük linyit içeriği durumunda arttığı ve bunun tersine yüksek organik madde içeriği durumunda ise azaldığı açıkça görülmektedir. Bu durum, - Na_2CO_3 organik maddenin çamurun reolojisi üzerindeki pozitif birleşik etkisini doğrulamaktadır.



Şekil 3.64 – Sırasıyla az ve çok linyit içeren iki çamur için sodyum karbonat içeriğinin bir fonksiyonu olarak tiksotropi değişimi (kaynak: E.C.C.)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Low lignite content = Düşük linyit içeriği

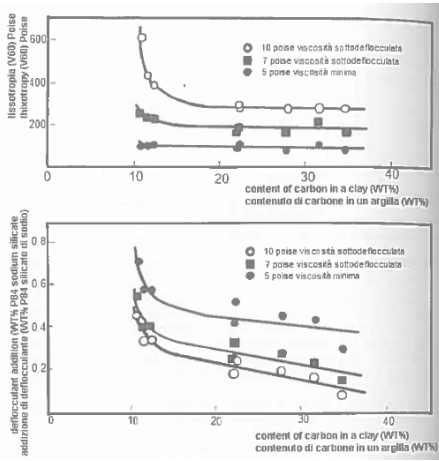
High lignite content = Yüksek linyit içeriği

1hour Brookfield thixotropy (V60), poise = 1 saat Brookfield tiksotropi, poise

Addition of sodium carbonate in weight percentage = Ağırlık yüzdesi olarak sodyum karbonat ilavesi

Öte yandan Şekil 3.65 [39], sabit bir deflokülant (sodyum karbonat) dozu ve özgül ağırlık korunmak suretiyle, bir kil çözeltisinin kil içerisinde bulunan karbonlu madde artışlarının bir fonksiyonu olarak tiksotropi trendlerini ve deflokülant ihtiyacını göstermektedir.

Bu şekilde fark edilen ilk şey, son derece az defloküle edilmiş bir çamur ile başlandığında bile, karbonlu madde içeriğinin artırılması tiksotropiyi azaltır ve kararlı hale getirir. Ayrıca, çamurdaki karbon yüzdesini arttırmanın, sabit bir özgül ağırlık ve belli bir viskoziteyi elde etmek için gereken deflokülant ihtiyacını azalttığı gerçeğinin doğrulandığını da görmekteyiz. Temelde bu durum, yukarıda açıklanan organik maddenin deflokülant etkisini sergilemektedir. Organik maddenin, özellikle de sodyum karbonat deflokülantı ile birleştiği takdirde, çamurun reolojik stabilizasyonu ve deflokülasyonun teşvik edilmesi açısından birincil derecede önem taşıdığı belirtilerek konu özetlenebilir. Fakat ideal organik madde içeriği hangi seviyede kabul edilebilir? Ham maddeleri ve çamur türlerini değiştirmenin muhakkak farklı durumlara yol açacağı göz önünde bulundurulduğunda, bu soruyu killerin karbon içeriğinin bir fonksiyonu olarak ve ağırlığın %'si şeklinde ifade edilen, bir çamur (Avrupa'ya özgü malzemelerden elde edilen) içerisindeki tiksotropi/% deflokülant oranı değerlendirmesine ilişkin bir grafik ile açıklamaya çalışabiliriz.



Şekil 3.65 – Doğal karbonun kil çamuru üzerindeki etkisi. (a) artan karbon içeriği ile alakalı olarak kil çamurunun V_{60} tiksotropisi üzerindeki stabilizasyon etkisi (çamur ağırlık olarak %0,125 sodyum karbonat içerir ve dökümde ağırlık olarak %66,2 katı konsantrasyonuna sahiptir); (b) kil çamurunun karbon içeriğini arttırmak, ihtiyaç duyulan deflokülant miktarını azaltır (çamur ağırlık olarak %0,125 sodyum karbonat içerir ve dökümde ağırlık olarak %66,2 katı konsantrasyonuna sahiptir).

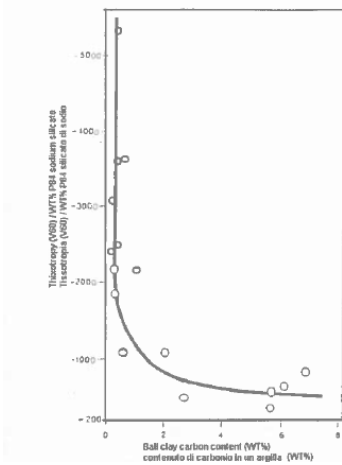
ŞEKİL ÜZERİNDE:

Thixotropy (V60) Poise = Tiksotropi (V60) Poise

Content of carbon in a clay (WT%) = Kil içerisindeki karbon içeriği

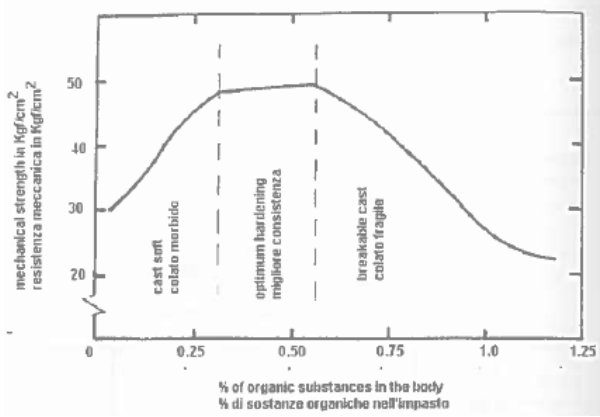
Deflocculant addition (WT% P84 sodium silicate) = Deflokülan ilavesi (%Ağırlık P84 sodyum silikat)

Şekil 3.66 aslında, bu oranın gelişimini göstermektedir ve kil içerisindeki ağırlık olarak %1,8 – 2 oranında karbon seviyesinin altında, oran keskin bir düşüş sergilemektedir. Oranın artması çamurun son derece kararsız olduğunu anlamına gelir. Aslında, deflokülan miktarındaki ufak değişiklikler tiksotropideki büyük değişimlere tekabül eder.



Şekil 3.66 – Kilin karbon içeriğinin sağlık gereçlerine yönelik bir çamurun tiksotropik “stabilitesi” üzerindeki etkisi

Aksine, eğer killerin karbon içeriği ağırlık olarak %2'ye eşit veya bunun üzerindeyse, bu oranda dikkate değer bir azalma olur ve böylelikle çamurda belirgin bir reolojik kararlılık sağlanır. Karbon içeriği ne kadar yüksek, çamurda o kadar kararlı hale gelir; ayrıca (Şekil 3.67) [8] döküm parçasının mekanik mukavemeti de organik madde içeriğine bağlıdır (ağırlık olarak %0,3 - %0,6 gibi bir maksimum değeri vardır). Dolayısıyla, çamur içerisindeki karbon seviyesi belli bir sınırın üzerine çıkarılamaz çünkü üretimde başka teknolojik sorunlar meydana gelebilir (örneğin, masse kalınlığının içindeki organik maddenin yetersiz oksidasyonu) ve ayrıca aşırı organik madde aşırı deflokülan olmasına yol açacak ve beraberinde bununla bağlantılı riskleri getirecektir.



Şekil 3.67 – Kil içerisinde mevcut bulunan organik madde içeriğinin bir fonksiyonu olarak sağlık gereçlerine yönelik kuru mukavemeti (kaynak: MJ Stentiford).

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Mechanical strength in Kg/cm² = Kg/cm² olarak mekanik mukavemet

Cast soft = yumuşak döküm

Optimum hardening = optimum sertleşme

Breakable cast = kırılabilir döküm

% of organic substances in the body = bünye içerisindeki organik maddelerin %'si

Dolayısıyla, üretimde diğer sorunlar yaratılmaksızın reoloji unsurunu optimize eden bir uygunluk noktası bulmak gerekir: genellikle kil içerisinde maksimum %2 ila 2,5 oranında karbon içeriği bulunmasının arzu edilmiş bir durum olduğunu gördük. Bünye ortalama olarak ağırlığın %22 – 24'ü oranında kil içerdiği için (en azından killer kullanıldığında), bünyenin ideal karbon içeriği ağırlık olarak %0,44 – 0,60 oranında olacaktır. Tabii ki, 90 ila 100 mikrondan daha küçük partiküller içerisinde bulunan karbondan bahsediyoruz. Örneğin, boyut olarak büyük linyit topraklarında (1 ila 2 cm'ye kadar) bulunan karbonun, herhangi bir üretim sorununu engellemek amacıyla, kil çözünme aşaması sırasında bu büyük boyutlu topraklar çözünmeyeceklerinden dolayı, çamurun hazırlanması sırasında uygun elekler kullanılarak dikkatli bir şekilde giderilmesi gerekmektedir.

3.5.2.6. Çözünabilir tuzların içeriği

Sağlık gereçlerine yönelik çamurlarında çözünabilir tuzlar mevcuttur çünkü

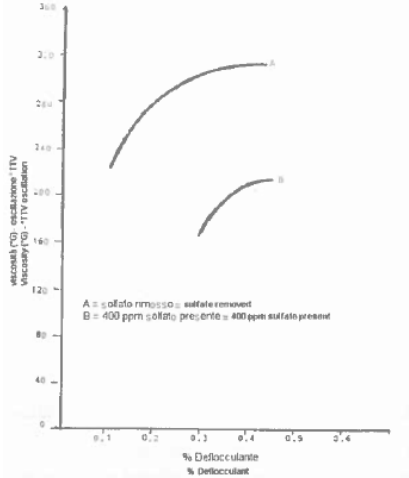
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

bunlar bazı ham maddeler (daha çok kil, fakat aynı zamanda feldspat) veya geri kazanılmış çamur veya kırık ve yeniden çözündürülen ham parçalar ile çamura dahil olabilirler. Aslında, hem geri kazanılmış çamurda hem de ham kırık parçalarda, kalıbın yapılmış olduğu alçının çözünmesinden dolayı bir miktar kalsiyum sülfat bulunur. Doğrusu, çözündürme suyu bile çözünebilir tuzlar barındırabilir (bir sonraki bölümde tartışıldığı üzere). Reolojik bakış açısından, bizim ilgilendiğimiz çözünebilir tuzlar temelde solüsyona SO_4^{2-} ve Cl^- iyonları katan tuzlardır: bu iyonlar aslında, her ikisi de zeta potansiyelinde bir azalmaya yol açtıkları için, deflokülasyon sürecine zararlıdır.

Yukarıda anlatılanlar, Şekil 3.68'de [38] iyi bir şekilde gösterilmiştir; bu şekil sülfatlar içermeyen ve içeren aynı ham madde için deflokülant miktarının bir fonksiyonu olarak viskozitenin gelişimini (Gallenkamp derecesi olarak ifade edilmektedir) göstermektedir.

290 °G seviyesinde bir viskoziteye ulaşmak için, sülfat içermeyen ham madde durumunda, ağırlık olarak %0,3'ten biraz fazla deflokülanta ihtiyaç duyulurken, aynı dozda deflokülanta sahip sülfat içeren aynı maddenin viskozitesi sadece 165 °G'dir.

Dolayısıyla, çamur içerisindeki çözünebilir tuz içeriğinin, özellikle de sülfatların ve klorürlerin kontrol edilmesi son derece önemlidir. Çözünebilir tuzlar nedeniyle kilin akışkanlaştırma konusunda sorunlarla karşılaşmaması için, çözünebilir tuz içeriğinin ağırlık olarak %0,2'yi aşmaması gerekir. Kilin içerisinde bulunan sülfürlerin hava ile temas ettiklerinde geçirdikleri oksidasyon süreci nedeniyle zaman içerisinde bir kilin sülfat içeriğinin arttığını belirtmemiz önemlidir (30 hafta içerisinde 8 mg/100 g'dan 24 mg/100 g'a çıkabilir). Fakat çamurun kalınlık mekanizmasını tetiklemek için küçük bir miktarda çözünebilir tuzun uygun olduğunu da unutmamak gerekir.

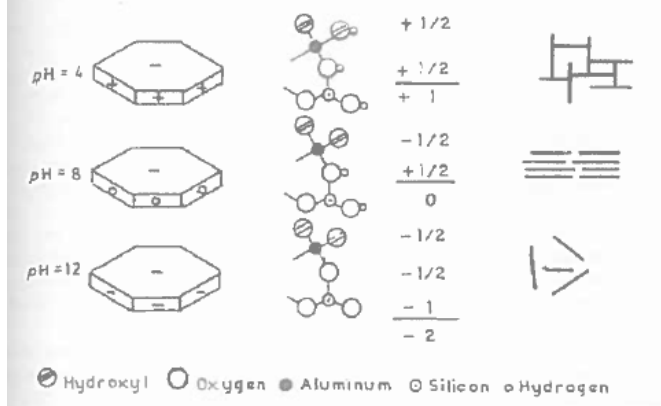


Şekil 3.68 – 400 ppm sülfat içeren (A) ve sülfatın giderilmesinden sonra (B) bir ham maddenin viskozitesi ile içerisindeki deflokülant arasındaki ilişki.

3.5.2.7. Çözündürme(açma) suyu

Su, evrensel olarak, seramik partiküllerinin çözündürüldüğü unsurdur; daha önce de gördüğümüz üzere, deflokülasyon ile ilgili bütün olgulara sebep olan şey tam olarak su-partikül etkileşimidir. Dolayısıyla, bir döküm çamuru için çözündürme aracı olarak suyun faydasını değerlendirmede göz önünde bulundurulacak kimyasal ve fiziksel özelliklerini analiz etmek önemlidir. Bu kimyasal ve fiziksel özellikler temelde şunlardır:

- pH: suyun pH değerinin süspansiyonun pH değeri üzerinde belirgin bir etkisi olduğu muhakkaktır; daha önceki bölümlerde gördüğümüz üzere, asidik bir pH seramik partiküllerinin kenarları üzerinde pozitif yükler ve orta kısımlarında ise negatif yükler olmasına yol açar. Bu durumun bir sonucu, çamur deflokülasyonunun doğru bir şekilde meydana gelmesini engelleyen, "iskambil kağıtlarından yapılmış eve" benzer bir yapı oluşması ile birlikte partiküller arasında bir çekim kuvveti oluşmasıdır. Öte yandan eğer pH bazik ise, seramik partiküllerinin bütün yüzeyleri negatif yüklenirler ve dolayısıyla da viskozitedeki düşüş önemli ölçüde azalır. Şekil 3.69, partiküllerin üzerindeki yükün ve bunlarla bağlantılı yapıların pH'a bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir.



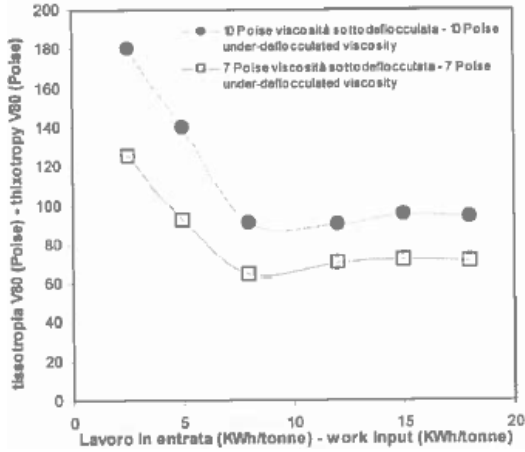
Şekil 3.69 – Farklı pH derecelerinde bir kil partikülü üzerindeki yüklerin oluşma şeması ve bunlarla bağlantılı sonuçlar

Ayrıca, pH'taki artış partiküllerin negatif yükünde ve dolayısıyla, bir çamurun deflokülasyonu için belirleyici bir faktör olan zeta potansiyelinde de (mutlak değer olarak) bir artışa sebep olur. En iyi deflokülasyon sürecine tekabül eden ideal pH değeri 8 ile 9 arasındadır; dolayısıyla su bu pH değerine ne kadar yaklaşırsa, döküm çamuru hazırlanması için o kadar uygun hale gelir. Öte yandan, uygun şekilde muamele edilmediği sürece, asidik pH değerine sahip sudan kaçınılması gerekir.

- Elektrik iletkenliği. Suyun elektrik iletkenliği içerisinde çözünmüş olan iyonların miktarına (ve hareketliliğine) bağlıdır; dolayısıyla, yüksek bir elektrik iletkenliği değeri solüsyon içerisinde iyonlar açısından zengin bir suyun göstergesidir. Bunlar elektriksel çift tabaka ve zeta potansiyelinde bir değişime sebep olarak ve dolayısıyla deflokülasyon sürecini etkileyerek kil partikülleri üzerinde kolaylıkla adsorbe olabilirler. Daha önceki bölümlerde bu olay detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu bölümde ise, suyun döküm çamurlarının hazırlanması için iyi olarak kabul edilmesi için, $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ifade edilen elektrik iletkenliğinin 1.500 – 2.000'den daha yüksek olması gerektiğini belirtmek yeterli olacaktır.
- Toplam sertlik. Bu genellikle, Fransız derecesi olarak ölçülür ve bir Fransız sertlik derecesi, 100 litre suda çözülmüş 1 g magnezyum ve kalsiyum tuzlarının (CaCO_3 olarak ifade edilen) varlığına karşılık gelir. Hofmeister serilerinden bildiğimiz gibi Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları Na^+ iyonlarına kıyasla kil partikülleri üzerinde daha kolay adsorbe olabilirler ve adsorbe oldukları takdirde alkali toprak iyonları elektriksel çift tabaka ve bunun sonucunda da zeta potansiyelinde bir düşüşe sebep oldukları için, iyi bir deflokülasyon süreci temin etmek için, suyun düşük bir toplam sertlik değerine, daha belirgin bir biçimde ifade etmek gerekirse 30 Fransız derecesinin altında bir değere sahip olması gerekir.
- Sülfat ve klorürlerin içeriği. Daha önceki bölümlerde, bu iyonların varlığının (SO_4^{2-} ve Cl^-) deflokülasyon süreci açısından zararlı olduklarını görmüştük. Dolayısıyla, su içeriğinde bu iyonların sınırlı miktarda olması son derece önemlidir. Özellikle, sülfatların toplam içeriğinin 400 ppm'nin altında klorürlerin toplam içeriğinin ise 250 ppm'nin altında olması uygundur. Denize yakın yerlerde bulunan kuyular söz konusu olduğunda klorür sorunu özellikle önem kazanır. Ayrıca, su kuyulardan çekildiği zaman çoğunlukla mevsimsel olaylardan (şiddetli yağmurlar veya aşırı kuraklık dönemleri) etkilenen belirgin değişkenlikler söz konusu olabilir. Deflokülasyon için uygun su mevcut olmadığında, ters ozmoz uygulamasına başvurulabilir. Ozmoza dayalı ve bitkilerin kullanıldığı bu süreç suyun iyon içeriğini son derece düşük seviyelere çeker. Bahsedilen bu süreç, özellikle çözünme için uygun saflaştırılmış (ilk miktarın %60'ından fazla) su ve kullanılması mümkün olmayan yüksek iyon konsantrasyonuna sahip artık su (yaklaşık %30 ila 40) üretecektir.

3.5.2.8. Çözünme(açılma) enerjisi

Çözünme aşaması sırasında çamurun temin edilen enerji çamurun reolojisini ve ayrıca döküm sırasındaki davranışını (kalınlık alma ve sertleşme süresi, vs.) büyük ölçüde etkiler. Artık partikül topaklarının sayısı ve dolayısıyla partikül- partikül ve partikül-su etkileşimlerinin seviyesi çözünme enerjisine bağlıdır. Şekil 3.70[39], çözündürme aşaması sırasında temin edilen enerji (kWh/ton olarak ifade edilen) değişirken iki çamurun (aynı bileşime sahip fakat bir tanesi az defloküle edilmiş) tiksotropilerinin gelişimini göstermektedir.



Şekil 3.70 – İki viskozite değeri sabit iken, Hycast VC kilin çözünmesine bağlı mekanik enerjideki artış nedeniyle tiksotropi değişimi.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

thixotropia V80 (Poise) = tiksotropi V80 (Poise)

10 Poise under-deflocculated viscosity = 10 Poise az defloküle edilmiş viskozite

7 Poise under-deflocculated viscosity = 7 Poise az defloküle edilmiş viskozite

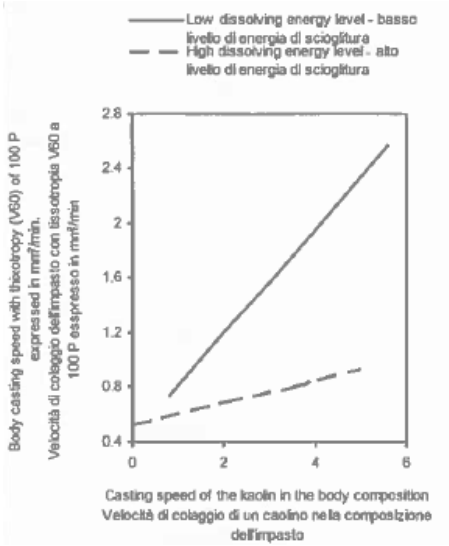
work input = çalışma girdisi

Verilen enerji artarken, tiksotropi ilk olarak hızlı bir şekilde azalır, daha sonra kararlı olur. Dolayısıyla bu durumda, çözünme enerjisi ile ilgili olarak reolojik stabilitenin sağlanması için aşılması gereken bir alt sınır tespit edebiliriz. Şekil 3.71 [36] iki farklı çözünme enerjisi seviyesinde çamurun döküm hızının, çamurun

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

kendisinin oluşturulmasında kullanılan kaolenin döküm hızına bağlılığını vurgulamaktadır.

Düşük çözünme enerjisi seviyelerinde, çamurun özelliklerinin kaolenin özelliklerine olan bağımlılığı yüksek çözünme enerjisi seviyelerinde meydana gelenden oldukça yüksek düzeydedir. Bu durum, daha etkin çözünme sürecinin kesinlikle daha ince partikül dağılımına yol açacağı gerçeği göz önünde bulundurularak açıklanabilir. Öte yandan, Şekil 3.72 [36] farklı çözünme enerjisi seviyelerinde tiksotropiye dayalı olarak döküm hızının nasıl değiştiğini göstermektedir. Yine, diğer bütün koşullar eşit iken, düşük enerji seviyelerinde döküm hızında bir artış olmaktadır.



Şekil 3.71 – İki farklı çözünme enerjisi seviyesi için sabit tiksotropide, kaolen döküm hızının çamur döküm hızı üzerindeki etkisi (kaynak: E.C.C.).

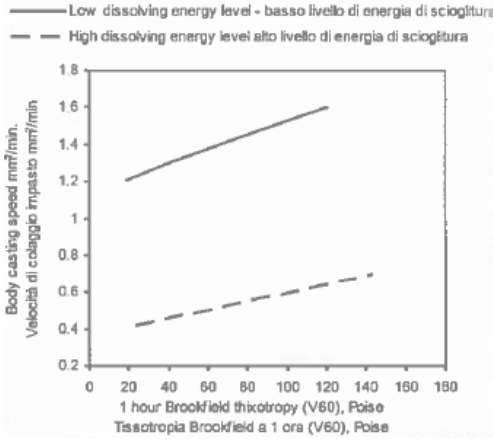
ŞEKİL ÜZERİNDE

Body casting speed with thixotropy (V60) of 100 P expressed in mm²/min. = mm²/dk olarak ifade edilen 100 P tiksotropi ile çamur döküm hızı

Casting speed of the kaolin in the body composition = çamur bileşiminde kaolenin döküm hızı

Low dissolving energy level = Düşük çözünme enerjisi seviyesi

High dissolving energy level = Yüksek çözünme enerjisi seviyesi



Şekil 3.72 – İki farklı çözünme enerjisi seviyesi için, döküm hızı ile tiksotropi arasındaki ilişki (kaynak: E.C.C.).

ŞEKİL ÜZERİNDE

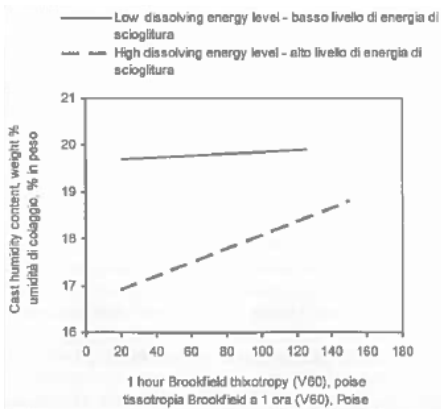
Body casting speed mm²/min = çamur döküm hızı mm²/dk.

1 hour Brookfield thixotropy (V60), Poise = 1 saat Brookfield tiksotropi (V60), Poise

Low dissolving energy level = Düşük çözünme enerjisi seviyesi

High dissolving energy level = Yüksek çözünme enerjisi seviyesi

Son olarak, Şekil 3.73 [36] döküm parçasının nem içeriğinin nasıl tiksotropiye ve aynı zamanda da çözünme süreci sırasında temin edilen enerji seviyesine bağlı olduğunu göstermektedir: özellikle de, çok fazla çözünmemiş olan çamur kullanılarak döküm yapıldığı takdirde döküm parçası daha nemli olacaktır.



Şekil 3.73 – Tiksotropi değerinin bir fonksiyonu olarak döküm neminin değişimi (kaynak: E.C.C.).

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Cast humidity content, weight % = Döküm nem içeriği, % ağırlık

1 hour Brookfield thixotropy (V60), poise = 1 saat Brookfield tiksotropi değeri (V60), Poise

Low dissolving energy level = Düşük çözünme enerjisi seviyesi

High dissolving energy level = Yüksek çözünme enerjisi seviyesi

Buraya kadar incelenenlerden yola çıkarak, çamurun en iyi özelliklerini elde etmek için, çözünme için ideal süreyi tespit etmenin (karıştırma cihazının hızı ayarlandıktan sonra) önemli olduğu sonucuna varabiliriz.

Aslında, eğer süre çok kısaysa, çamur kil partiküllerinden oluşan topraklar içerecektir ve bu da yukarıda anlatılan sonuçları doğuracaktır.

Öte yandan eğer süre çok fazlaysa, enerji israfının yanı sıra, teknolojik anomaliler (aşırı kalınlık u, fazla yoğun bir döküm kabuğu oluşması gibi) gösteren bir kek elde etme riski doğacaktır.

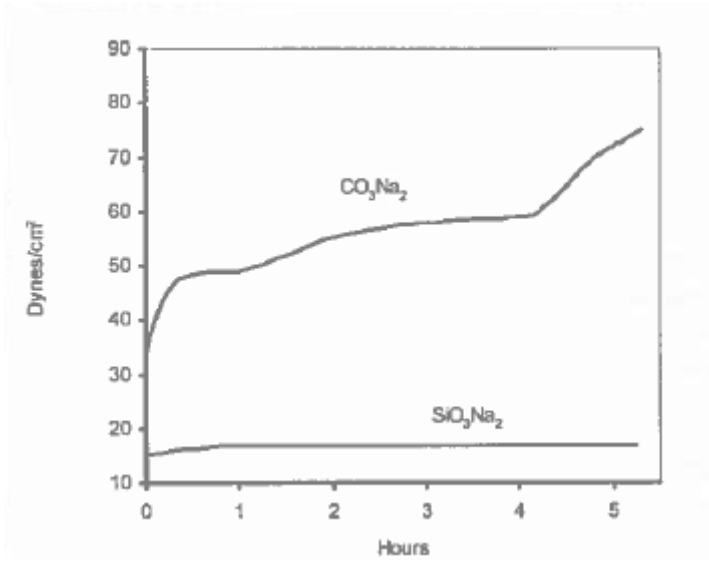
3.5.2.9. Deflokülant tipi ve miktarı

Bir çamurun reolojik davranışı üzerinde etkiye sahip bu en son unsur, kesinlikle en önemli olan ve en kapsamlı şekilde (ayrı zamanda hepsi çamurun reolojisi ve döküm davranışı üzerinde ayrı etkilere sahip olan birçok farklı deflokülant türü göz önünde bulundurularak) incelenmesi gereken unsurdur. Dolayısıyla bu bölümde tek tek deflokülantların ve bunların farklı miktarlarda kullanımının çamur üzerindeki etkileri değerlendirilecektir. Kitapta bunlara ayrılacak kısım ve pratik olması açısından, sadece sağlık gereçleri endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan deflokülantlar incelenecektir. Her bir deflokülantın deflokülasyon mekanizması, Bölüm 3.4.4'te ayrıntılı olarak analiz edildiği için, tekrar belirtmeyecektir.

Sodyum karbonat ve sodyum silikat

Bu iki deflokülant birlikte değerlendirilir çünkü normalde döküm çamurlarının deflokülasyonunda birlikte kullanılırlar. Karbonat – silikat karışımı sağlık gereçleri üretiminde neredeyse evrensel olarak en geniş çapta kullanılan deflokülanttır. Sodyum karbonat, sodyum silikata kıyasla görece olarak uzun bir reaksiyon süresine sahiptir ve dolayısıyla daha uzun kütleme süreleri gerektirir. Sodyum karbonatın deflokülasyon etkisi sodyum silikata kıyasla daha az etkilidir ve aşırı

deflokülasyon olayına daha yatkındır. Fakat sodyum karbonat çamura daha fazla alkalilik verme (sodyum silikata kıyasla) ve bununla ilgili, daha önceki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılan bütün faydaları sağlama avantajına sahiptir. Ayrıca, daha önce de bahsedildiği gibi, sodyum karbonatın çamurun reolojik stabilizasyonunda organik madde ile birlikte mükemmel bir sinerjistik etkisi vardır. Sodyum karbonat ile sodyum silikat arasındaki belirgin bir fark, bir durumda silikat diğesinde ise karbonat ile temin edilen aynı miliekivalan miktarındaki sodyum ile defloküle edilmiş aynı çamurun tiksotropik değişimlerini gösteren Şekil 3.74'teki [36] grafikte görülebilir.



Şekil 3.74 – Bir durumda silikat diğesinde ise karbonat ile temin edilen, aynı miliekivalan miktarında sodyum ile defloküle edilmiş bir çamurdaki tiksotropik değişimler (kaynak: JOUENNE).

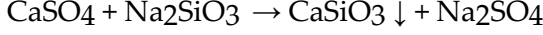
ŞEKİL ÜZERİNDE:

$$\text{Dynes/cm}^2 = \text{Din/cm}^2$$

$$\text{Hour} = \text{Saat}$$

Bütün diğer koşullar ve sodyum içeriği ekivalanı eşit olduğunda, çok daha az tiksotropik olan çamurların silikat ile elde edildikleri açıkça görülür. Çözelti içerisinde kalsiyum sülfat miktarı olduğu takdirde, sodyum silikatın tek başına iyi bir deflokülasyon sürecine yol açmadığının da altının çizilmesi

gerekir. Bu durumda meydana gelen reaksiyon şöyledir:



Na_2SO_4 çözünür olduğu ve çamur için zararlı olabildiğini daha önce gördüğümüz SO_4^{2-} iyonlarını çözüldüğü için bu, çeşitli deflokülanların bir arada kullanılmaksızın (ve CaSO_4 'ün giderilmesine yönelik olarak baryum karbonat kullanılmaksızın), iyi bir çamur deflokülasyon yöntemi değildir. Sodyum silikat ile sodyum karbonat arasındaki önemli diğer bir fark da, pH değeri ile ilgili etki alanlarının kapsamıdır. Aslında, sodyum silikat (esasen koloidal korumaya dayalı deflokülasyon mekanizması sayesinde) sadece belli pH değerlerinde etkili olan karbonata kıyasla çok daha geniş bir etki alanına sahiptir.

Doğal olarak, deflokülasyon durumu üzerinde etkili olan bu farklar nedeniyle de, bu iki deflokülant kalınlık süreleri ve döküm çamurunun özellikleri üzerinde de önemli bir etkiye sahiptirler. Özellikle şu hususlar üzerinde durulacaktır:

A. diğer bütün koşullar (özgül ağırlık, partikül boyutu dağılımı, görünür viskozite) eşit iken, karbonata kıyasla silikat daha az tiksotropik çamurlar elde edilmesine yol açar ve dolayısıyla da bu çamurlar şu özelliklere sahiptir:

- a. Döküm parçasının daha sert ve geçirimsiz bir yüzey katmanına sahip olması ve kalınlık alması için gerekli sürenin artması; bu durum, parçanın kalınlığında kuruma sırasında kırılmalara dönüşen, tehlikeli su içeriği farklarına yol açabilir.
- b. İşlenmesi zor ve dolayısıyla kalıp kesme ve rötüş aşamalarında çentik ve ufak çatlaklara daha fazla tâbi bir ; fakat ham iken daha yüksek bir mekanik mukavemete sahiptir.
- c. Döküm parçalarının yüzeyinde döküm lekeleri ve damarlar oluşmasına daha fazla meyilli olma.

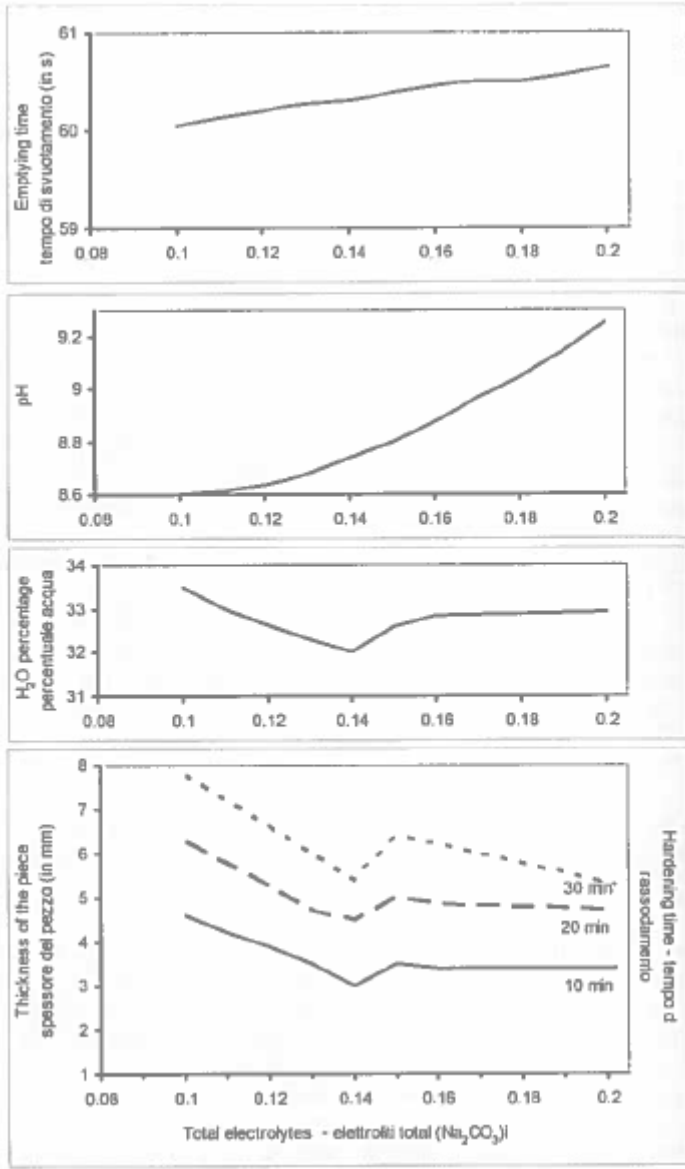
B. Sodyum karbonatın kullanılması, aynı görünür viskozite korunur ve döküm mamülüne daha iyi bir işlenebilirlik verilirken çamurun tiksotropisini yükseltmeye imkan sağlar. Fakat sodyum karbonatın çok az miktarda bile aşırıya kaçması çamurların sertleşmesine, fazla nemli

olmasına ve kalıptan çıkarıldıktan sonra deforme olmalarına yol açabilir. Şekil 3.75 [1] Na₂CO₃'ün çamurun çeşitli özellikleri üzerindeki etkisini dikkate alan grafikler sergilemektedir. Buraya kadar anlatılanlardan, dünya genelinde karbonat ve silikat karışımının kullanılmasının alışlagelmiş bir uygulama olduğu açıkça anlaşılmaktadır: bu uygulama, dökümde en iyi sonuçları veren özellikler arasında bir uyum sağlamaktadır. İki deflokülant arasındaki karıştırma oranı değişkendir ve mevcut ham maddelerle suyun özelliklerine uyarlanmalıdır. Avrupa kaynaklı ham maddelerle kullanıldığında, sodyum silikat/ sodyum karbonat oranı 2 ile 2,5 arasında değişir. Silikat/karbonat oranının aynı zamanda döküm parçalarının görünümü ve boşaltım üzerinde de önemli bir etkisi vardır [8]. Oranı karbonat lehine değiştirmenin boşaltma sırasında döküm parçasının iç yüzeyinin daha pürüzsüz olması fakat gerek miktar gerekse rölyef açısından dalgalı biçimlerin artması anlamına geldiği doğrulanmıştır. Silikat/karbonat oranı silikat lehine değiştirildiği takdirde tabii ki bunun tersi doğrudur. Her bir deflokülantın ağırlığın yüzdesi olarak ifade edilen miktarı şu ayrıntılara göre değişir:

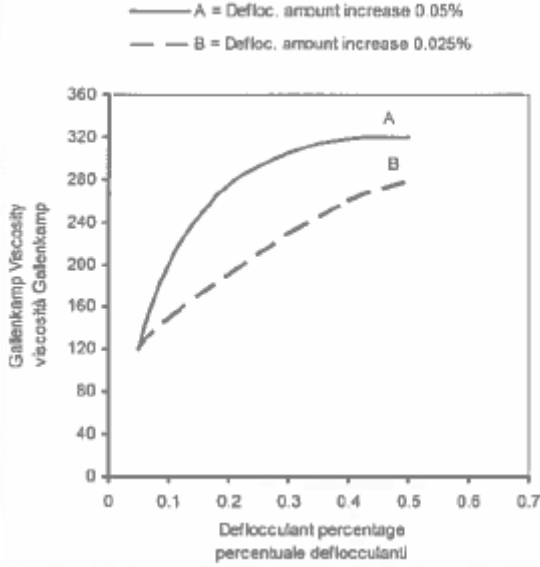
Sodyum silikat: % 0,10 – 0,20

Sodyum karbonat: %0,05 – 0,12

Ayrıca, deflokülantların çamura katılması için seçilen yöntemde de çok dikkat etmek gerekir. Çamurun reolojik eğrisinin gelişimi buna bağlıdır. Şekil 3.76, farklı şekilde eklenen aynı deflokülant miktarından iki farklı reolojik eğri elde edildiğini göstermektedir. Özellikle, aynı miktarda deflokülant miktarı ile fakat ilk olarak eklenmek suretiyle daha düşük bir viskozitenin elde edildiğini söyleyebiliriz. Dolayısıyla, deflokülant ekleme yöntemi bir kez seçildikten sonra, çamurun reolojik gelişiminde anormallikler olmasını engellemek için bu yöntemin mutlak surette sırasına göre uygulanması önemlidir. Bu husus genel olarak bütün deflokülantlar için geçerlidir, fakat sodyum karbonat için daha büyük ölçüde geçerliken sodyum silikat için daha az ölçüde geçerlidir.



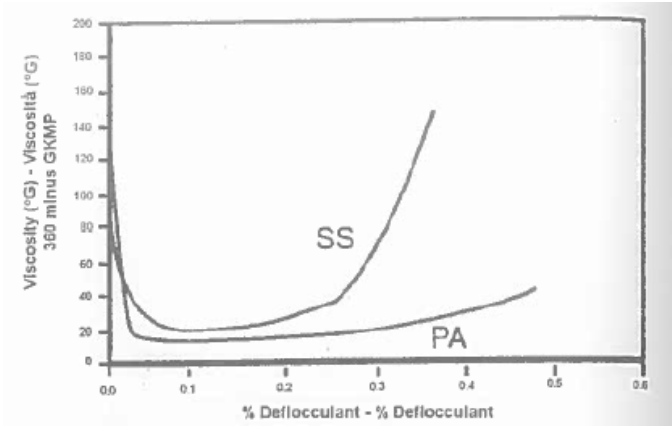
Şekil 3.75 – Sodyum karbonat içeriğinin çamurun özellikleri üzerindeki etkisi (kaynak: Hermann).



Şekil 3.76 – İçerisine aynı toplam miktarda deflokülan eklenen fakat farklı sürelerde uygulanan aynı çamurun deflokülasyon eğrileri

Poliakrilatlar

En yaygın olarak kullanılan poliakrilatlar sodyum poliakrilatlardır; daha küçük ölçekte kullanılanlar ise amonyum bazlı olanlardır. Çeşitli poliakrilat ilaveleri de sıklıkla piyasaya sürülmektedir. Bir çamuru sadece poliakrilatlar kullanarak defloküle etmek mümkündür fakat endüstriyel uygulamada poliakrilatlar daha ziyade sodyum karbonat ve silikata ilaveten ya da tamamıyla silikat yerine kullanılmaktadırlar. Dolayısıyla, bu deflokülan kategorisinin farklı özelliklerini vurgulamak amacıyla aşağıdaki tartışmalar poliakrilatlar ile silikat arasındaki kıyaslamaya öncelik verecektir. Şekil 3.77, birinci durumda sodyum silikat (SS) ve diğer durumda ise sodyum poliakrilat (PA) ile defloküle edilmiş aynı çamurun viskozite eğrilerini (Gallenkamp derecesi olarak ölçülmüş) göstermektedir [40]. Grafik incelendiğinde, yapılabilecek birinci gözlem, diğer bütün koşullar eşit iken, poliakrilatın silikata kıyasla daha düşük dozlarda deflokülasyona yol açtığıdır. Poliakrilat ilaveleri önemli ölçüde arttırıldıklarında bile viskozite eğrisi çok daha kararlı kalmaktadır.



Şekil 3.77 – Bir çamurda sodyum poliakrilat ve sodyum silikat kullanıldığında tipik deflokülasyon eğrileri.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Viscosity (°G) = Viskozite (°G)

360 minus GKMP = 360 eksi GKMP

% Deflocculant = % Deflokülant

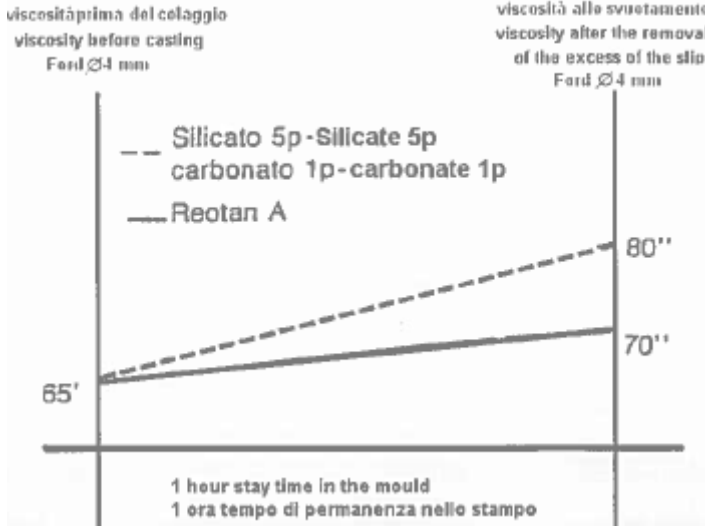
Bu durum, poliakrilatlar ile defloküle edilen çamurların az bir olasılıkla silikat ile (ve özellikle de sodyum karbonat ile) daha sık karşılaşılan aşırı deflokülasyon riskine maruz kaldıklarını doğrulamaktadır. Bu tabii ki bu ürünlerin farklı deflokülasyon mekanizmalarının doğrudan bir sonucudur.

Diğer bir önemli fark, poliakrilatlar tarafından temin edilen tiksotropik kararlılığının silikatın sağladığı tipik tiksotropik kararlılıktan daha fazla olmasıdır: bundan çıkan sonuçlar, poliakrilatlar ile defloküle edilen çamurların fazla çamurun daha iyi bir şekilde boşaltılmasını sağlaması, döküm parçalarının iç yüzeylerinin daha düzgün olması ile çamurun kalmaması ve damlamamasıdır.

Kurutma sırasında kırılmaları önlemek için bu çok önemlidir. Bütün bunlar, bir durumda silikatla (ve karbonatla), diğer durumda ise sodyum poliakrilatla (REOTAN A) akışkanlaştırılan aynı çamurun viskozitesindeki değişimleri (döküm öncesinde ve kalıpta bir saat kaldıktan sonra) sergileyen Şekil 3.78'de [41] gösterilmiştir: döküm öncesinde her iki çamur da aynı viskozite değerine sahiptir (65 saniye = Ford kabının sabit miktarı için akış süresi).

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Kalıpta 1 saat bekledikten sonra, silikat ile defloküle edilmiş çamurun viskozitesi 80 saniyeyken, eklenen poliakrilat ile defloküle edilmiş çamurun viskozitesi 70 saniyedir.



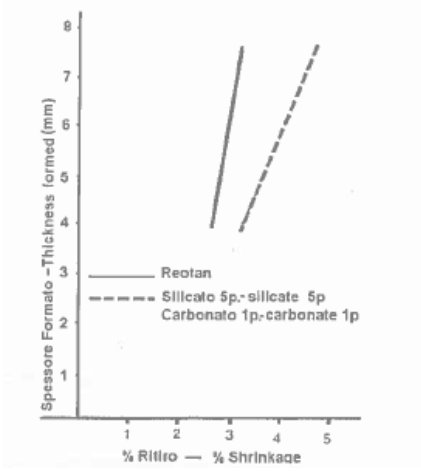
Şekil 3.78 - Bir durumda silikatla (ve karbonatla), diğer durumda ise sodyum poliakrilatla (REOTAN A) defloküle edilen aynı çamurun viskozitesindeki değişimler (döküm öncesinde ve kalıpta bir saat kaldıktan sonra).

Dolayısıyla poliakrilatların kullanılmasının tiksotropik olayları azalttığı ve böylelikle çamurun döküm parçalarından daha etkili bir şekilde tahliyesini sağladığı açıktır.

Silikat yerine poliakrilatın kullanılması, diğer bütün koşullar ve oluşan kalınlığın mm.si aynı iken, daha az küçülme olması anlamına gelir (Şekil 3.79 [41]). Yine aynı kalınlık oluştuğunda, silikat yerine poliakrilat ile defloküle edilen çamur döküm parçasında daha az su içeriği olmasını sağlar.

Şekil 3.80'de [41], boşaltılmasından 0,5 saat sonra, aynı kalınlığa sahip (örneğin 6 mm) poliakrilatlı çamurun nasıl %0,7 daha az su içerdiğini görebiliriz. Döküm parçasında bu şekilde su içeriğinin azalması genel bir durumdur ve hem masif döküm hem de boş döküm kalınlıklarında geçerlidir: Şekil 3.81 [40] ve 3.82 [40] sırasıyla bir masif döküm kalınlık ve bir boş döküm kalınlık için, biri silikat (SS) ve diğeri poliakrilat (PA) ile defloküle edilmiş iki çamur için su içeriği gelişimini göstermektedir.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM



Şekil 3.79 – Silikat yerine poliakrilat kullanımı, aynı koşullar altında ve mm olarak oluşan aynı kalınlıkta, daha düşük bir küçülmeye izin verebilir.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

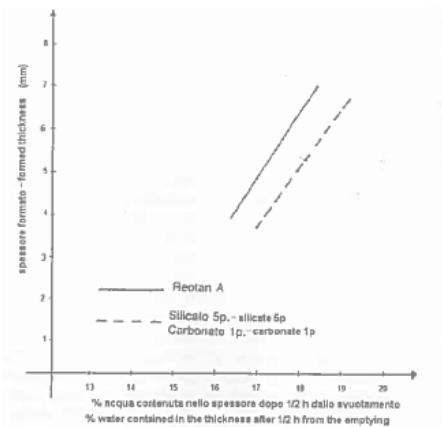
Thickness formed (mm) = Oluşan kalınlık (mm)

Reotan = Reotan

Silicate 5p = Silikat 5p

Carbonate 1p = Karbonat 1p

% Shrinkage = % Küçülme



Şekil 3.80 – Boşaltılmasından 0,5 saat sonra, aynı kalınlıkta (örneğin 6 mm) poliakrilatlı çamur yaklaşık %0,7 daha az su içerir.

ŞEKİL ÜZERİNDE:

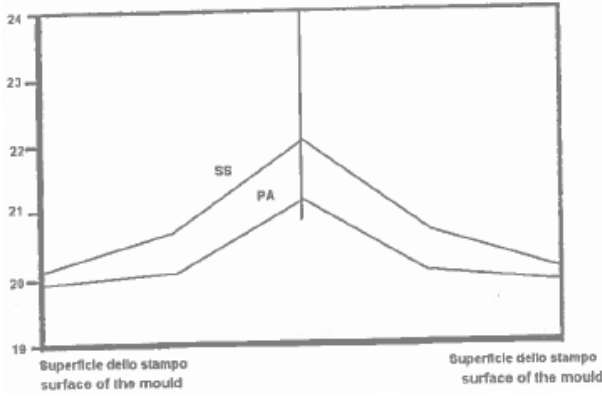
Thickness formed (mm) = Oluşan kalınlık (mm)

Reotan = Reotan

Silicate 5p = Silikat 5p

Carbonate 1p = Karbonat 1p

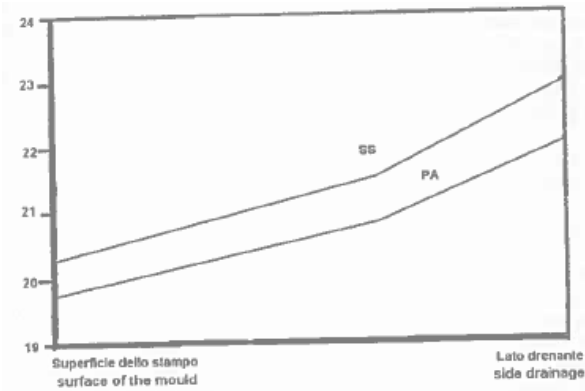
% water contained in the thickness after ½ h from the emptying = boşaltmadan ½ saat sonra kalınlık içerisinde bulunan su %



Şekil 3.81 –Masif döküm kesiti ile nem oranı

ŞEKİL ÜZERİNDE:

surface of the mould = kalıbın yüzeyi



Şekil 3.82 – Boş döküm kesiti ile nem oranı

ŞEKİL ÜZERİNDE:

surface of the mould = kalıbın yüzeyi

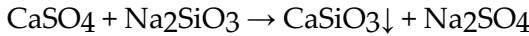
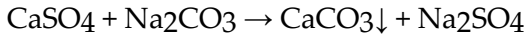
side drainage = yandan tahliye

Parçanın kalınlığındaki nem oranının azalması gerçeği son derece önemlidir çünkü bu müteakip parça kurutma işlemlerini daha kolay ve daha az riskli hale getirir.

Poliakrilatlar ile defloküle edilen çamurlarda elde edilen bu özel davranış (daha az küçülme ve döküm parçasında daha az su içeriği) birincil olarak, poliakrilat kullanımının sebep olduğu, çamurun yüzey gerilimindeki azalmaya bağlıdır. Daha düşük yüzey gerilimi kil partiküllerinin daha iyi ıslanmasını teşvik eder.

Denemeler SE.TE.C srl laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çamur sadece sodyum karbonat (ağırlık olarak %0,03 – 0,04) ve bir poliakrilat karışımı (ağırlık olarak %0,04) ile defloküle edilmiştir. bu karışımın yüzey gerilimi değerleri sodyum karbonat (%0,05) ve silikat (%0,10) ile defloküle edilen aynı çamurunki ile karşılaştırıldığında, birinci çamur (PA) için yüzey geriliminde yaklaşık %28'lik bir düşüş ölçülmüştür.

Endüstriyel olarak, yüzey gerilimindeki bu düşüşün döküm parçası içinde mikro hava kabarcıkları oluşması kusurunu da önemli ölçüde azaltmayı mümkün kıldığı da doğrulanmıştır. Bütün diğer koşullar eşit iken, çamurun yüzey geriliminin daha düşük olması çamur hazırlama ve pompalama aşamalarında sıvı çamur içerisinde bulunan havanın tahliyesini daha kolay kılar. Fakat kullanılan deflokülant türünün etkisi kalıplara da yansır; aslında, hem sodyum karbonat hem de silikatın kalıpları meydana getiren kalsiyum sülfata (sınırlı biçimde de olsa) kimyasal olarak zarar verdiği bilinmektedir:



Bunun yerine poliakrilat alçı ile özel bir reaksiyona girmez ve dolayısıyla da kalıbın kimyasal olarak daha az "yıpranmasını", böylelikle daha uzun ömürlü olmasını ve daha iyi bir yüzey kalitesine imkan vermesini sağlar. Son olarak, bütün döküm faaliyetlerinde kalıpların içinde biriken suyun, çamur poliakrilatla defloküle edildiği takdirde daha kolay transfer edildiğini gösteren deneyler

yapılmıştır [40]: diğer bir deyişle bir haftalık bir işleme süresi içerisinde, poliakrilatlı çamurların döküldüğü kalıplar ağırlık olarak önemli ölçüde artış göstermez. Öte yandan, silikat ile defloküle edilen çamurun döküldüğü kalıplar, buharlaşmayan suyun birikmesi nedeniyle, ağırlık olarak birkaç kg artış gösterirler.

Çamur içerisinde bulunan ve döküm sırasında alçı ile temasa geçen sodyum silikatın bir döküm operasyonu ile bir sonraki arasındaki kuruma aşaması sırasında kalıbın buharlaşma yöntemiyle su transfer etme kabiliyetini olumsuz etkilediği açıktır. Bu durum, kalıp üzerinde meydana gelen ve suyun buharlaşmasına imkan veren geçirgenliği azaltan camsı mikro silikat larından kaynaklanıyor olabilir. Poliakrilatların kullanılmasının, çamurun düşük yüzey gerilimi ile alakalı bütün kusurları arttırmak (örneğin, döküm lekeleri) gibi bazı dezavantajları olabilir. Ayrıca, poliakrilat ile defloküle edilen bir çamurun reolojik özelliklerinin gelişimini dikkatli bir şekilde incelemek gerekir zira bu özellikler sodyum karbonat ve silikat eklenen çamurlarinkilerden son derece farklı olabilir. Son olarak, poliakrilat karbonat-silikat karışımına kıyasla daha pahalı olduğu için, poliakrilat kullanımının maliyetlerini ve faydalarını değerlendirmek de önemlidir.

BÖLÜM 4

4. DÖKÜM ÇAMURLARI

4.1. Giriş

Bu bölüm, çamurun reolojik davranışı üzerinde en büyük etkiye sahip çamurların (ve dolayısıyla bunları oluşturan ham maddelerin) özelliklerini özetleyip bunlarla ilgili daha fazla detay vermektedir. Bunu yapmak için, kullanılan her bir ham madde için dikkate alınması gereken kimyasal ve fiziksel özellikleri değerlendirmeyi anlamak daha pratik ve kolay olacaktır. Dolayısıyla, döküm için ham madde seçiminde dikkate alınan ana kriterlerden bahsedilecektir. Tek bir ham maddenin özelliklerinin, nispi kullanım yüzdesine bağlı olarak, bütün çamuru etkileyeceği aşıkardır. Dahası, bir ham maddenin seçimi, bunun çamurun bütün özellikleri (plastiklik, pişirildiğinde ortaya çıkan özellikler, vs.) üzerindeki etkisini de dikkate almalıdır. Dolayısıyla, bu hususlar konu dışı gibi gözükseler de, ham maddelerin diğer işleme aşamalarındaki (döküme ilaveten) etkilerini göz önünde bulunduran ve ham maddelerin seçimine ilişkin tam bir kriter vermek için bunlardan da bahsedilmesi gerekir.

Nihai olarak, sağlık gereçleri üretiminde kullanılan çamurun tipik reolojik eğrileri sunulacaktır: vitrifiye ve fine fire clay.

4.2. Döküm çamurlarına yönelik ham maddeler

Daha önceki bölümlerde görüldüğü üzere, sağlık gereçlerine yönelik çamur hazırlanmasında kullanılan ham maddeler şunlardır:

- Vitrifiye: kil, kaolen, kuvars ve feldspat ve/veya feldspatımsılar, öğütülmüş pişmiş ıskartalar
- İnce fire clay: kil, kaolen, kuvars, feldspat (çok az miktarlarda ya da hiç) ve şamot, öğütülmüş pişmiş ıskartalar. Bazen az miktarlarda ek bileşenler (Volastonit, karbonatlar, vs.) çamura eklenir, fakat bu durumların marjinalliği göz önünde bulundurulduğunda, bu bölüm sadece yukarıda listelenen temel ham maddeleri inceleyecektir.

Vitrifiye çamurlarında ve fine fire clay'de kullanılan killer temelde aynıdır. Şu hususlar killere dayalı olduğu için, bunlar asli bir öneme sahiplerdir:

- Çamurun plastikliği ve işlenebilirliği
- Pişmemiş iken mekanik mukavemeti
- Pişirme sırasında çamurun (kısmen) vitrifikasyonu

Fakat özellikle, killer büyük oranda kolloidal partiküllerden oluştuğu için, çamurun reolojik özelliklerini büyük ölçüde etkilerler. Örneğin, katkıların içerikleri çamurun döküme uygun olup olmadığını belirler. Bu bölümün geri kalan kısmında, killerin döküm üzerindeki etkisi daha ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

4.2.1. Killer

4.2.1.1. Killerin mineralojisi

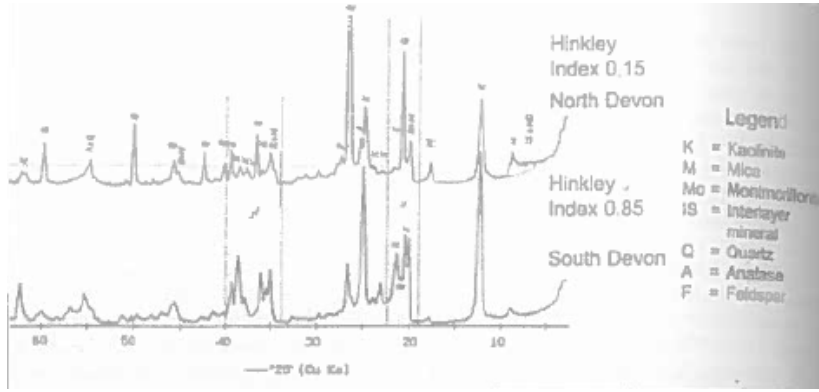
Kil adı, büyük oranda kaolinit, illit, klorit, montmorillonit, mika, feldspat ve kuvarstan oluşan, tortul kökenli volkanik kayaçların başkalaşımından kaynaklanan mineralleri ifade eder. Sağlık gereçleri endüstrisinde kullanılan killer, neredeyse

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

tama yakın Avrupa menşeyli killerdir ve mineralojik olarak aşağıdaki yüzdelerde kaolinit, kuvars, mika ve feldspattan meydana gelirler:

- Kaolinit %40-95
- Mika ve/veya feldspat %3-40
- Kuvars %1-40

Şekil 4.1 killere özgü difraktogramını (kırınım görünümünü) göstermektedir.



Şekil 4.1 – Killerin x-ışınları grafiği (kaynak: Stentiford – Mitchell).

Bu mineraller genellikle, çok daha az nispi miktarlarda, aşağıdakilerle ilgilidir:

- Farklı partikül boyutlarında karbonlu maddeler
- Smektitler
- Ara katmanlı kil mineralleri
- Titanyum bileşikleri (normal olarak anataz)
- Demir mineralleri (siderit, markazit, pirit, limonit)
- Çözünebilir tuzlar (sülfatlar, klorürler).

Killerin karakteristik özellikleri öncelikle mineralojik bileşimlerine, etkin madde

türüne ve mineralizasyon sürecine bağlıdır. Tek tek minerallerin üretim sürecinin en belirgin özellikleri üzerindeki etkisi aşağıda incelenmektedir.

Kilin ana bileşeni, kaolinittir ve dolayısıyla bu killerin özelliklerini en yoğun biçimde etkileyen element budur: killerin içerisinde, kristal örgüsü dahilinde değişken bir düzensizlik derecesinde bulunur.

Bu yapısal düzensizlikteki bir artışa genellikle plastiklikteki ve işlenebilirlikteki bir artış eşlik eder. Fakat bir unsur ile diğeri arasında var olan korelasyonu dikkate alan kesin bir ilişki oluşturmak imkansızdır zira bir kilin plastikliği üzerinde önemli etkiye sahip birçok unsur vardır ve bunların başında partiküllerinin inceliği gelir.

Killerin içinde bulunan mikalı mineraller ince bir tanecik yapısındadır ve bileşim olarak muskovitten illite kadar farklılık gösterir; fakat bunların hemen hepsi kristal örgüsü içerisinde demir yerine alüminyum bulunmasıyla karakterize edilirler.

Bu mineraller kilde normalde, buldukları killer ve çamurun pişirilmesinden sonra büyük ölçüde vitrifikasyonu oranını belirleyen çeşitli miktarlarda alkali metaller ve/veya toprak-alkali temin ederler. Mika örgüsünde izomorf bir ikame olarak demirin varlığı, killerin ve doğal olarak bunlardan elde edilen çamurların arka plan rengini etkiler. Bunun sonucunda, diğer elementlerin (titanyum) miktarı ve bileşik etkilerine bağlı olarak, krem-kahverengi bir ton elde edilir. Diğer bir önemli kil bileşeni kuvarstır ve kilde yıkama ve nakliye süreçleri nedeniyle kuvars yuvarlak tanecikler şeklinde bulunur.

Kilde kuvarsın varlığının ikili bir etkisi vardır:

- A. Ham maddede, ham iken kendisi plastik olmayan ve kilin plastikliği ile mekanik mukavemeti azaltan inert bir madde gibi davranır ve akışkanlığı artırır.
- B. Kuvars pişirmede kilin vitrifikasyon sıcaklığını artırır, aynı pişirme sıcaklığında gözenekliliği artırır ve her şeyden öte, kilin dilatometrik (genleşme) davranışını etkiler.

4.2.1.2. Killerin reolojik davranışları

Bir kilin reolojik davranışının dahil olduğu çamur üzerinde önemli bir etkisi vardır ve özellikle şunlardan etkilenir:

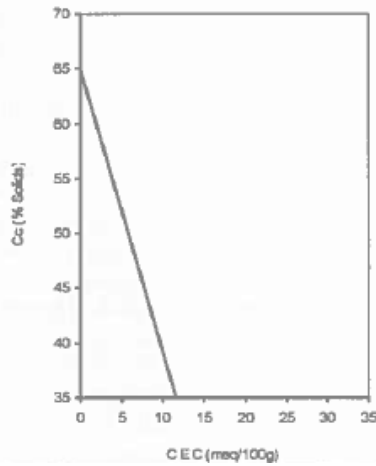
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

- Mineralojik bileşim
- Partiküllerin boyut dağılımı
- Organik maddenin doğası ve miktarı
- Çözünebilir tuzların türü ve miktarı

Mineralojik bileşimle ilgili olarak, daha zayıf, diğer bir deyişle daha az kaolinit ve daha fazla kuvars içeren killerin normalde daha kolay akışkanlaştırıldıklarını daha önce görmüştük. Mineralojik bakış açısından, bir kilin reolojik özelliklerinin, sınırlı olmalarına rağmen, smektitler ile aralarında mika/montmorillonit karışımı bir katman bulunan kil mineralleri varlığından büyük ölçüde etkilendiklerini belirtmeliyiz.

Bu minerallerin varlığı katyon değişim kapasitesi ile tespit edilir. Smektitin bulunmadığı kaolinitli bir kilde, değerler 10 – 15 miliekivalent/100 g'ı aşmazken aynı şekilde az miktarda organik madde içeriğine (bu da katyon değişim kapasitesini artırır) sahip fakat montmorillonit mineralleri içeren bir kilde değişim kapasitesi 25 – 30 miliekivalent/100 g üzerinde değerlere ulaşır.

Şekil 4.2, artan değişim kapasitesi değerleri ile ortaya konduğu üzere, kaolenlerin farklı smektit içerikleri ile çözündürülmesi suretiyle elde edilen, 500 cP viskoziteye kadar defloküle edilmiş bir dizi çözeltinin kritik döküm konsantrasyonunun gelişimini göstermektedir.



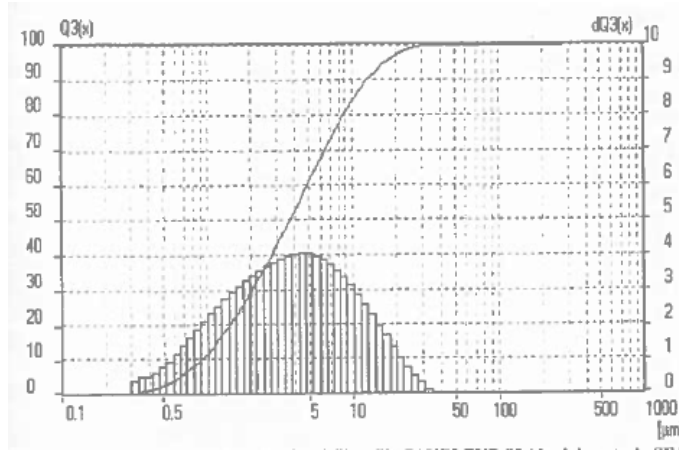
Şekil 4.2 – Katyon değişim kapasitesinin (CEC) bir fonksiyonu olarak kritik

konsantrasyonu (CC) (kaynak: STENTIFORD-MITCHELL)

Killer yerine kaolenler dikkate alınmıştır çünkü bunlar reolojik davranışı etkileyen faktörlerin daha fazla kontrol edilmelerine ve sınırlandırılmalarına imkan sağlarlar; fakat kaolenler için ileri sürülen şey killer için de geçerlidir. Şekil incelendiğinde, smektit içeriği ile birlikte (aynı organik maddeyle) değişim kapasitesi arttıkça döküm konsantrasyonunun düştüğü görülür. Kritik döküm konsantrasyonunun, ideal deflokülasyon durumunda 500 cP'ye eşit görünür viskoziteye sahip bir kil çamuru içerisinde bulunan katıların miktarı olarak tanımlandığı unutulmamalıdır.

Kritik döküm konsantrasyonu düştüğünde, aynı viskoziteye ulaşmak için çamur içerisindeki su miktarını arttırmak gerekir ki dolayısıyla akışkanlık bozulur. Sağlık gereçlerine yönelik bir çamurda, kil en ince partiküllere sahip olan ve kuşkusuz çamurun viskozitesini normal olarak en fazla etkileyen unsurdur.

Şekil 4.3 sağlık gereçleri endüstrisinde kullanılan tipik bir kilin partikül dağılımını göstermektedir.



Şekil 4.3 – SANBLEND 90 kilin granülometrik lazer dağılımı (kaynak: SE.TE.C. laboratuvarı)

Öte yandan, Tablo 1 iki farklı kilin partikül boyutu dağılımını gösterirken Tablo 2 de bunların reolojik davranışlarını göstermektedir.

Tablo 1 – İki kilin partikül boyutu dağılımı (kaynak: P.GLASSON-ECC)

Aşağıdaki değerlerde ağırlık olarak % artık:	<i>RAPIDE kili</i>	<i>Hycast VC kili</i>
+ 125 µm	2	1.5
+ 53 µm	3	2.5
- 5 µm	87	93
- 2 µm	70	81
- 1 µm	60	69
- 0.5 µm	45	56

Tablo 2 – RAPIDE ve VC killerinin reolojik özellikleri

	RAPIDE killer	Hycast VC killer
0.5 Pas'ta döküm aşamasında ağırlık olarak % konsantrasyon	70	66.5
0.7 Pas'ta ağırlık olarak % kullanılan deflokülan	0.6%	0.8%
0.5 Pas'ta ağırlık olarak % kullanılan deflokülan	0.8%	1.1%

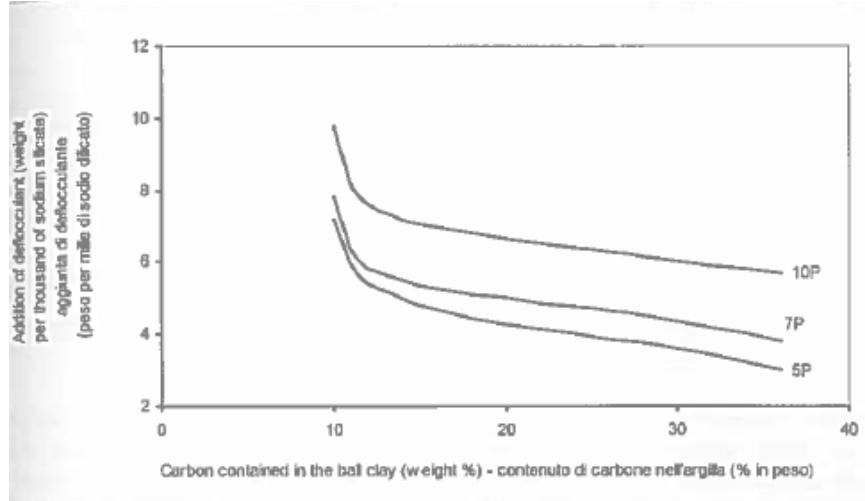
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Daha büyük partiküllere sahip kilin akışkanlaştırma kabiliyetinin daha yüksek olduğu aşıkaz gözükmeğdir, fakat akışkanlaştırma birçok faktöre dayalı olduğu için, bir kili akışkanlaştırmanın ne kadar kolay olduğunu sadece partikül boyutu analizinden tespit etmek mümkün değildir. Killerde hemen her zaman çeşitli türlerde karbonlu organik madde mevcuttur ve bu karbonlu organik madde temel olarak iki farklı fiziksel biçime ayrılır: boyutları 50 mikrondan büyük olan birinci biçime genellikle "linyit" adı verilirken, ikincisi koloidal biçimde bulunur. Organik maddenin varlığı genellikle kilin koyu rengine kendini gösterir. Linyit içeriği ile karbonlu maddeler arasında bir korelasyon vardır: linyitin her %1,5 ila 1,6'sı karbonlu maddelerin %1'lik miktarına tekabül eder.

Bu organik bileşikler kimyasal ve yapısal olarak iyi tanımlanmamıştır ve reçine, tanen, lignin, vs. kütlelerinden oluşur. Killerdeki karbonlu maddeler içeriği ağırlık olarak %0'dan %15'e kadar değişebilir.

Bu maddelerin, özellikle de koloidal olanların bir kilin reolojik özellikleri üzerinde yarattığı etki, 4.4. ve 4.5. Şekillerde ve daha önceki bölümlerde gösterildiği üzere, çok büyüktür.

Özellikle Şekil 4.4 organik madde içeriği değişmek suretiyle aynı kilin görünür viskozitesinin değişimini göstermektedir: organik madde içeriği artışı ile birlikte aynı viskoziteye ulaşmak için gerekli olan deflokülan miktarının nasıl azaldığını görebiliriz. Viskozite seviyesi ayarlandıktan sonra bile bu gerçek geçerlidir.



Şekil 4.4 – Organik madde içeriğinin bir kilin görünür viskozitesi üzerindeki etkisi (kaynak: GLASSON)

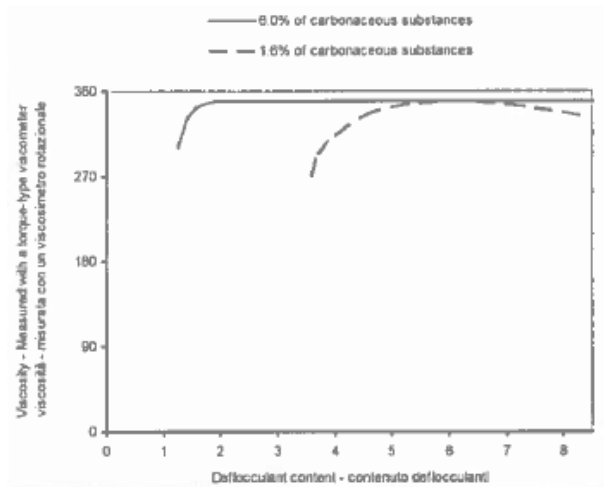
ŞEKİL ÜZERİNDE:

Addition of deflocculant (weight per thousand of sodium silicate) = Deflokülant ilavesi (binde oranında Na-Silikat)

Carbon contained in the ball clay (weight %) = Kilde bulunan karbon (% ağırlık)

Şekil 4.5 organik maddedeki artışın, deflokülant miktarı değişikçe akışkanlığı stabilize ettiğini göstermektedir. Bu, bir çamur içerisindeki organik bileşimlerin önemini vurgular.

Organik maddenin aktif bileşenine genellikle "hümkik asit" adı verilir ve hümkik asit 300 miliekivalan/100 g'a kadar değerlere ulaşabilen yüksek katyon değişim kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.5 – Karbonlu madde içeriğinin deflokülasyon eğrisi üzerindeki stabilizasyon etkisi (kaynak: STENTIFORD – MITCHELL)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Viscosity - Measured with a torque-type viscometer = Viskozite – Tork tipi bir viskozimetre ile ölçülmüş

6.0% of carbonaceous substances = Karbonlu maddelerin %6,0'ı

1.6% of carbonaceous substances = Karbonlu maddelerin %1,6'sı

Deflocculant content = Deflokülant içeriği

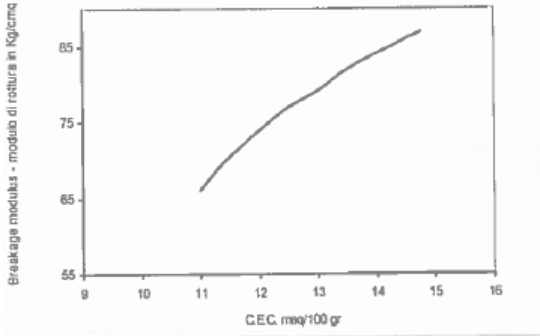
Bu maddelerin bir çamurun reolojik özellikleri üzerinde etki yaratma mekanizması, kil çözeltilerinde büyük ölçüde stabilizasyonuna ve daha fazla akışkanlığa sebep olan tamponlama etkisi ve koloidal partiküllerin kil misellerinin yüzeyleri üzerinde absorbe olarak topaklanmaya karşı koruyucu bir etki yaratmaları ile ilgilidir.

4.2.1.3. Killerin plastikliği ve mekanik mukavemetleri

Her ikisi de kil partikülleri ile su arasındaki fiziksel ve kimyasal etkileşimlerle ilgili olan, killerin plastikliği ve mekanik mukavemetleri birbirleriyle yakından ilgili özelliklerdir ve her ikisi de hemen hemen aynı faktörlere dayalıdır; bu faktörler:

- Mineralojik bileşim
- Değişim kapasitesi ve pH
- Misellerin morfolojisi
- Partikül boyutu ve boyut dağılımıdır.

Mineralojik bileşim son derece önemlidir zira bütün kil maddeleri aynı plastikliğe sahip değildir ve genellikle killeri oluşturan bazı minerallerin zayıflatma etkisi bile söz konusudur. Dolayısıyla, daha az kuvars ve kaolinit içeren killer daha plastiktir ve ham olduklarında bile daha yüksek bir mekanik mukavemete sahiplerdir. Eğer kil aynı zamanda en yüksek plastikliğe sahip kil minerali olan smektit içeriyorsa, bu özelliğe ilişkin değerler ve ham iken mekanik mukavemet daha da artar. Şekil 4.6, aynı organik madde içeriği söz konusu iken smektit içeriğinin bir göstergesi olan değişim kapasitesine dayalı olarak yaş mamul halindeki kilin mukavemetini göstererek bu anlatılanları sergilemektedir.



Şekil 4.6 – iyon değişim kapasitesinin bir fonksiyonu olarak bir kilin kuru mukavemeti (kaynak: STENTIFORD)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Breakage modulus = Kuru mukavemeti

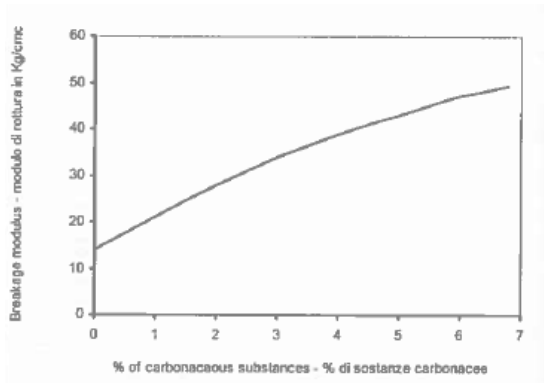
C.E.C. meq/100 gr = K.D.K (Katyon Değişim Kapasitesi) meq/100 gr.

Aşağıdaki Tablo 3, art arda bentonit eklenmesini müteakip bir kilin mukavemetindeki değişimi göstermektedir.

Tablo 3 – Bentonit ilavelerinin bir kilin kuru mukavemeti üzerindeki etkisi

% Bentonit	0.0	0.5	1.0	2.0	5.0
<i>Kuru mukavemeti (Kgf/cm²)</i>	45.5	52.5	52.5	59.5	87.5

Dolayısıyla, %5 oranında bentonit eklenmesi incelenen kilin mukavemetini ikiye katlamak için yeterlidir. Kil mineralinde bulunan organik madde miktarının aynı zamanda, Şekil 4.7'de gösterildiği üzere, söz konusu kilin hamken sahip olduğu mekanik mukavemet üzerinde de etkisi vardır. pH'ın plastiklik üzerindeki etkisi, diğer bütün koşullar eşitken, kil ara yüzeyine bağlı olan su tabakasının buna bağlı olduğu ile ilgilidir. Plastiklik üzerindeki aynı türdeki diğer bir etkiyi de, kil partikülleri üzerinde adsorbe olan iyonların türü yaratır: H⁺ ve Ca²⁺ gibi iyonlar suyu misele daha kuvvetli bir şekilde bağlar ve dolayısıyla da, plastikliği iyileştirmek için ihtiyaç duyulan su miktarının, adsorbe olan iyonların Na⁺ ve Li⁺ olduğu durumda gerekli olana kıyasla daha fazla olması anlamına gelir.



Şekil 4.7 – Karbonlu madde içeriğinin bir kilin kuru mukavemeti üzerindeki etkisi (kaynak: STENTIFORD- MITCHELL)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Breakage modulus = Kuru mukavemeti

% of carbonaceous substances = Karbonlu maddelerin %'si

Kil partiküllerinin boyutlarının ve bunların boyut dağılımları ile morfolojilerinin plastiklik üzerindeki etkisi çok büyüktür. Genellikle 1 mikronun altındaki partiküllerin yüzdesini bir kilin plastikliğinin bir göstergesi olarak alırız, ama bu her zaman doğru değildir çünkü misellerin morfolojisi de bir kilin plastikliğini önemli ölçüde etkileyebilir: dolayısıyla, ancak partiküllerin şekillerinin özdeş olduğu durumlarda, daha ince kil partikülü boyutlarına sahip killerin daha plastik olduklarını söyleyebiliriz.

4.2.1.4. Pişirme sırasında killerin davranışları

Pişirme sırasında killerin davranışlarını incelemek için ağırlıklı olarak aşağıdakilerden faydalanılır:

- Pişirme testleri
- Diferansiyel termal analiz (DTA)
- Termogravimetrik analiz (TG)
- Dilatometrik analiz

Pişirme testleri şunları belirlemek için kullanılır:

- Renk
- Su emme
- Küçülme

Ve dolayısıyla, farklı sıcaklıklarda testlerin tekrar edilmesi küçülme ile su emmesini maksimum pişirme sıcaklığı ile ilişkilendiren vitrifikasyon eğrisini ölçümlemeyi mümkün kılar.

Farklı termal testleri tanımlarken, anlaşılmasını daha kolaylaştırmak için, Tablo 4'te verilen verilerle karakterize edilen, sağlık gereçleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan iki kile atıfta bulunacağız.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Tablo 4 – Sağlık gereçlerine yönelik iki kilin kimyasal-fiziksel verileri (kaynak: W.B.B.)

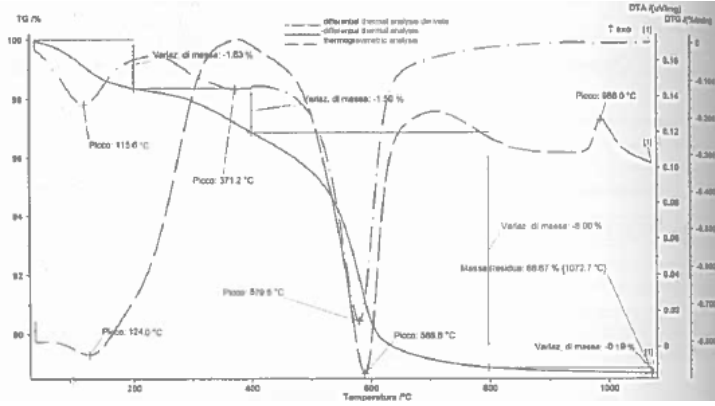
Kimyasal analiz %	SANBLEND 90 kil	ZODIAC kil
SiO ₂	57.1	56.0
Al ₂ O ₃	27.3	28.0
Fe ₂ O ₃	1.0	1.2
TiO ₂	1.3	1.1
CaO	0.2	0.2
MgO	0.3	0.3
K ₂ O	2.1	1.9
Na ₂ O	0.3	0.2
P.F.	10.1	11.4
Coal	1.8	1.9
125 µ m'de artık	0.10	0.25
Yüzey alanı (m ² /g olarak)	20	28

Diferansiyel termal analiz kil yüksek sıcaklıklara getirildiğinde (1230 – 1250 °C) meydana gelen bütün ekzotermik ve endotermik dönüşümlerin tespit edilmesini mümkün kılar. Termogravimetrik analiz, aynı termal çevrime maruz kalan kilin ağırlık kaybını ortaya koyar.

Son olarak, dilatometri ısıtıldığında veya soğutulduğunda bir kilin maruz kaldığı boyut değişimlerini kaydeder: killerle ilgili dilatometrik analiz için kullanılan maksimum sıcaklık genellikle 1000 °C'yi aşmaz çünkü bu sıcaklığın üzerinde küçülme, boyuttaki değişimleri 1000 °C'ye kadar tespit etme duyarlılığına sahip dilatometre tarafından kaydedilmek için fazla yüksektir. Şekil 4.8 ve 4.9, Tablo 4.4'teki killerle ilgili bahsedilen termal analizlerin eğrilerine ilişkin grafikleri göstermektedir.

Bunlar, kili oluşturan çeşitli minerallerin içeriklerindeki bir farkın termal analizlere nasıl yansıdığını daha iyi tespit edebilmek için seçilmişlerdir.

İki şekil incelendiğinde, termal analizlerin kili oluşturan mineral türlerini nasıl tespit edebildiği açıkça görülmektedir. Özellikle, DTA incelendiğinde, ZODIAC (Şekil 4.8) adlı kilin Sanblend'e kıyasla (Şekil 4.9) daha fazla organik madde içerdiği (200 – 450 °C aralığında ekzotermik pik daha belirgin) anında çıkarılabilir.



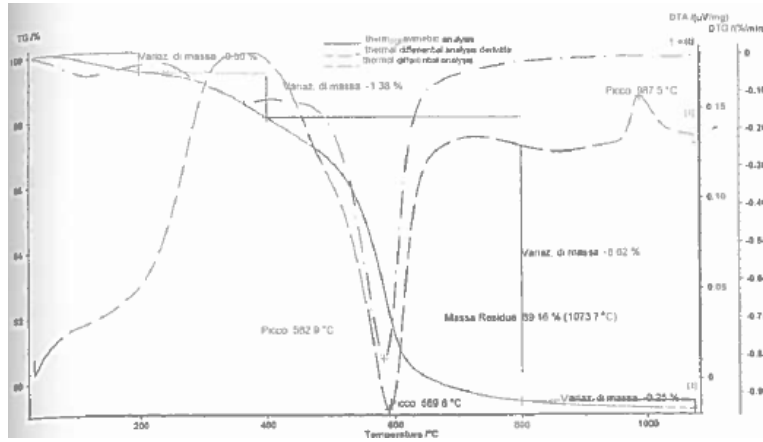
Şekil 4.8 – ZODIAC kilin termal analizi (kaynak: SE.TE.C. laboratuvarı)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Differential thermal analysis derivate = Diferansiyel termal analiz türevi

Differential thermal analysis = Diferansiyel termal analiz

Thermogravimetric analysis = Termogravimetrik analiz



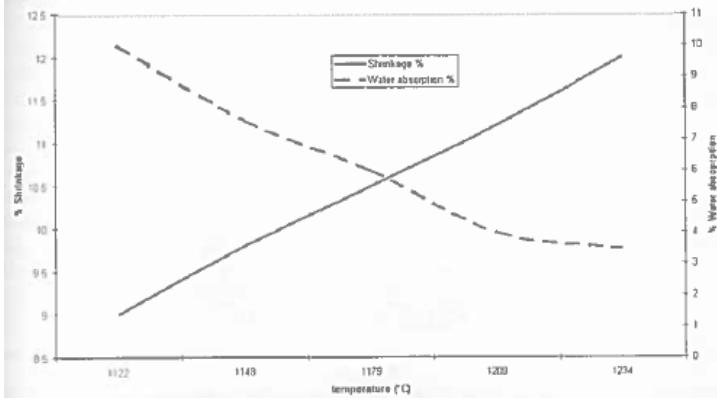
Şekil 4.9 – SANBLEND 90 kilin termal analizi (kaynak: SE.TE.C. laboratuvarı)

Pişirme sırasında killerin davranışlarına ilişkin incelemeyi tamamlamak için, vitrifikasyon eğrilerini de incelemek gerekir: uygun şekilde hazırlanmış numuneler, genellikle 1000 – 1250°C aralığındaki farklı sıcaklıklarda pişirmeye

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

tâbi tutulur; daha sonra küçülme, su emme, kuru mukavemeti ve beyazlık derecesi tespit edilir.

Şekil 4.10 ve 4.11 mineralojik analizleri Tablo 4'te verilen iki kilin vitrifikasyon eğrilerini göstermektedir; burada, farklı pişirme sıcaklıklarındaki su emme ve küçülme kıyaslanmaktadır.



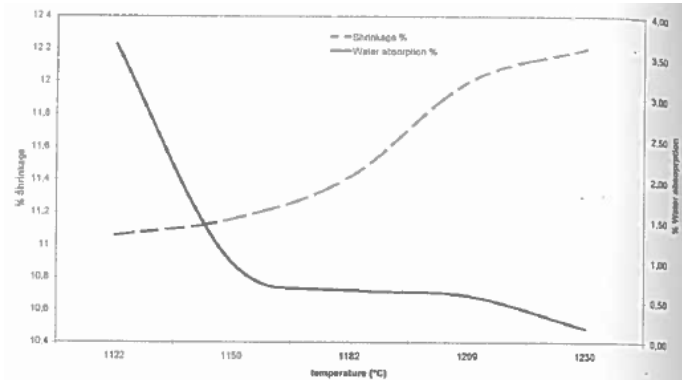
Şekil 4.10 – ZODIAC kilin vitrifikasyon eğrisi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Shrinkage % = % Küçülme

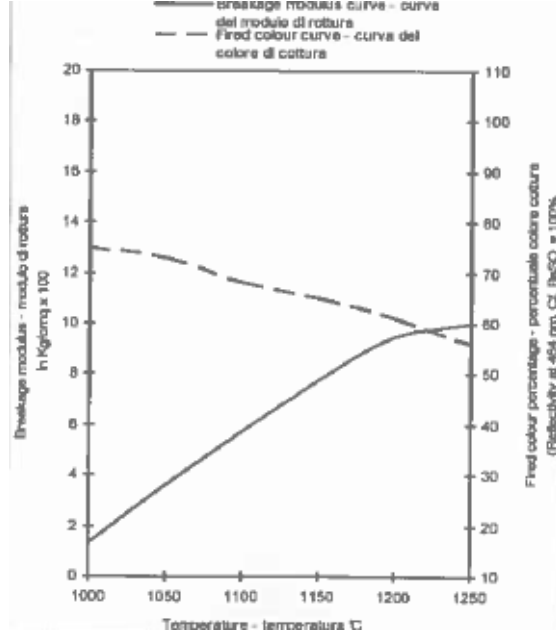
Water absorption % = % Su emme

Temperature (°C) = Sıcaklık (°C)



Şekil 4.11 – SANBLEND 90 kilin vitrifikasyon eğrisi

Öte yandan, Şekil 4.12 ve 4.13, pişirme sırasında ulaşılan farklı termal seviyelere göre iki kil malzemesinin mukavemetinin ve beyazlık derecelerinin gelişimini göstermektedir.



Şekil 4.12 – Sıcaklığa göre kuru mukavemeti ve pişmiş renk trendi değişimi (ZODIAC kil)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Breakage modulus in Kg/cm² x 100 = Kuru mukavemeti - Kg/cm² x 100

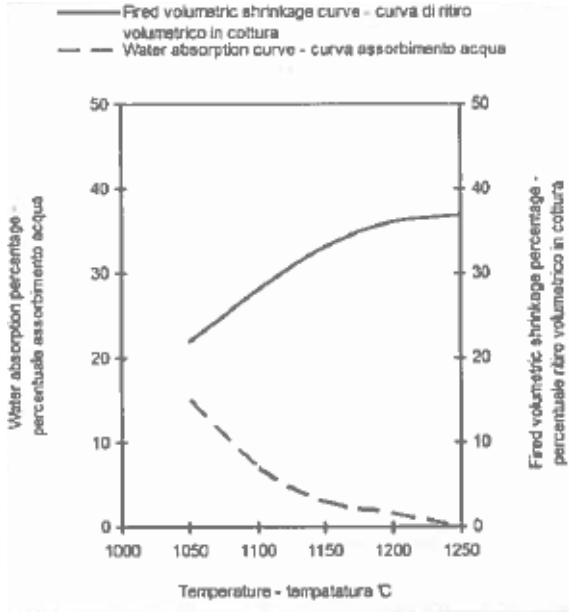
Temperature °C = Sıcaklık °C

Breakage modulus curve = Kuru mukavemeti eğrisi

Fired colour curve = Pişmiş renk eğrisi

Fired colour percentage = Pişmiş renk yüzdesi

(Reflectivity at 464 nm. Cf. BaSO₄ = 100%) = (464 nm. Cf. BaSO₄ yansıtıcılık = %100)



Şekil 4.13 - Sıcaklığa göre kuru mukavemeti ve pişmiş renk trendi değişimi (Sanblend 90 kil)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Water absorption percentage = Su emme yüzdesi

Fired volumetric shrinkage curve = Pişmiş hacimsel küçülme eğrisi

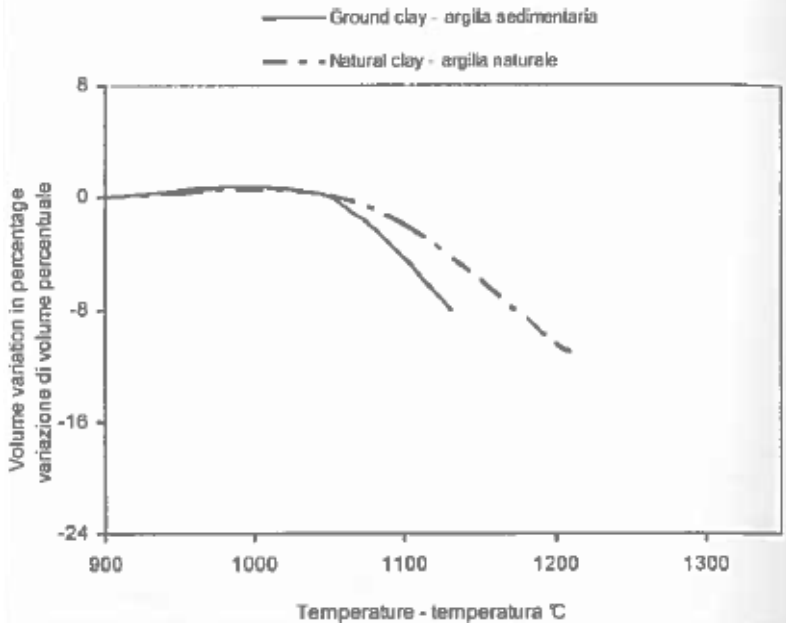
Water absorption curve = Su emme eğrisi

Temperature °C = Sıcaklık °C

Fired volumetric shrinkage percentage = Pişmiş hacimsel küçülme yüzdesi

Diğer kile kıyasla mika açısından daha zengin ve kaolinit açısından daha fakir olan Sanblend 75 kili, 1220 – 1230 °C’de maksimum vitrifikasyon gösterirken, kaolinit açısından daha zengin olan ZODIAC kili 1250 °C’nin üzerinde ancak tam vitrifikasyona ulaşır. Kimyasal ve mineralojik bileşime ek olarak, vitrifikasyon sıcaklığının belirlenmesinde başka bir faktör daha önemli bir rol oynar: kili meydana getiren minerallerin partiküllerinin ve özellikle de kuvars taneciklerinin inceliği.

Aynı miktarda serbest kuvars ve alkali içeren killer arasında, en ince kuvars partiküllerine sahip olan en düşük sıcaklıkta vitrifikasyonu görecektir. Bunun bir örneği olarak, Şekil 4.14 iki farklı partikül boyutu dağılımına sahip aynı kilin küçülmesine ilişkin gelişimi sergileyen eğrileri göstermektedir. Daha ince olan malzemenin (öğütmek suretiyle elde edilmiş) nasıl vitrifiye olmaya ve dolayısıyla daha büyük partiküllere sahip olandan daha önce küçülmeye başladığını görebiliriz.



Şekil 4.14 – Granülometrik dağılımın vitrifikasyonun başlama sıcaklığı üzerindeki etkisi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Volume variation in percentage = Yüzde olarak hacim değişimi

Ground clay = Öğütülmüş kil

Natural clay = Doğal kil

Temperature °C = Sıcaklık °C

4.2.1.5. Kil seçim kriterleri

Bir kil seçmek için, aşağıdaki anahtar özellikleri analiz etmek iyi bir fikir olacaktır:

- Kimyasal ve mineralojik analiz
- Partikül boyutu dağılımı
- Plastiklik
- Karbonat ve çözünebilir tuzlar içeriği
- Ham haldeyken mekanik mukavemet
- Reolojik özellikler: akışkanlaşma eğrisi, tiksotropi
- Ham haldeyken ve pişmiş halde küçülme
- Vitrifikasyon eğrisi
- Pişmiş halde renk
- Termal analizler: DTA (diferansiyel termal analiz), TG (termogravimetrik analiz), dilatometre (genleşme ölçümü)

Sağlık gereçlerine yönelik kil için gerekli olan özellikler genelde şöyledir:

- Pişirildiğinde beyaz renk, dolayısıyla içerik olarak $Fe_2O_3 + TiO_2 < \%2-3$
- Ham haldeyken yüksek mekanik mukavemet: genellikle 3,5 MPa'ya eşit, $> 35kg/cm^2$
- Kimyasal ve mineralojik bileşim ile partikül boyutu eğrisinin stabilitesi
- Karbon içeriği ağırlık olarak %2 ile 3 arasında

Büyük miktarlar, reolojik davranış açısından faydalı etkiler sağlamalarına rağmen, pişirme sırasında ve özellikle de modern hızlı döngüye (12 – 13 saat) sahip fırınlarda sorunlar yaratırlar;

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

- Çözünebilir tuz içeriği ağırlık olarak <math><0,15</math> ila 0,18
- Döküm açısından iyi davranış: ağırlıkça katı oranı % 60 ila 70 arasında döküm konsantrasyonu, 500 cp'ye eşit 0,5 Pas viskozite, ağırlık olarak %0,7 ila 1,1 oranında deflokülant (sodyum silikat)
- Mümkün olan en geniş vitrifikasyon aralığı
- Pirit, siderit ve kalsiyum karbonat gibi katışkuların bulunmaması

Bu genel kriterlerin ötesinde, kil seçimi kullanılan teknolojik döngüye, çamurun diğer bileşenlerine ve elde edilen nihai çamurun ana özelliklerine dayalı olarak yapılmalıdır: bir kil çamurun ve teknolojik sürecin hemen hemen bütün teknolojik parametrelerini ve özellikle de şunları bilfiil etkiler:

- Ham haldeyken ve piştiğinde küçülme
- Çamurun reolojik özellikleri
- Kalınlık alma ve sertleşme süresi
- Piştiğinde deformasyon
- Ham haldeyken mekanik mukavemet ve işlenebilirlik
- Kuruma döngüsü
- Pişirme döngüsü

4.2.1.6. Sağlık gereçleri endüstrisine yönelik killer

Bu bölüm, sağlık gereçleri endüstrisinde daha yaygın olarak kullanılan killerin bazılarını ele almaktadır. Bunların temel kimyasal ve fiziksel özellikleri, menşeyeri ve imalatçıları gösterilecektir (bkz. Tablo 5).

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Tablo 5 – Sağlık gereçleri endüstrisine yönelik killer

Kil	Hywate superb	Arimo 991	Hycast V.C.	Hycast classic	Hycast Rapide	RS335	Sanblend 75	Sanblend 90
<i>Menşe bölge/ülke</i>	Devon /BB	İspanya	Devon/BB	BB	BB	Fransa	BB	BB
<i>Maden şirketi</i>	IMERYS.	EURO ARCE	IMERYS	IMERYS	IMERYS	Ceratera	W.B.B.	W.B.B.
<i>Kimyasal bileşim</i>	49.0 33.0 1.1 0.9 0.2 0.3 1.8 0.2 14.0 2.5	57.8 27.7 1.5 0.85 0.3 0.5 2.35 0.30 9.7 1.0	53.0 30.0 1.2 1.0 0.2 0.3 2.0 0.2 12.2 2.2	56.0 28.0 1.3 1.2 0.2 0.3 2.2 0.3 10.7 1.5	53.0 30.0 1.1 1.1 0.2 0.3 1.7 0.2 12.5 2.0	61.8 24.3 1.4 1.4 0.2 0.3 1.5 0.3 8.4 0.4	53.4 30.0 1.1 1.1 0.2 0.4 2.2 0.3 12.0 2.5	57.1 27.3 1.0 1.3 0.2 0.3 2.1 0.3 10.1 1.8
<i>Mineralojik bileşim</i>								
<i>Kaolinit %</i>	70.0	51.0	64.0	62.0		39.0	56.0	48
<i>Mikalı bileşenler % Kuvars %</i>	19.0	17.0	22.0	20.0		19.0	21.0	48
<i>Feldspat %</i>	6.0	20.0	11.0	15.0	2.0	41.0	16.0	61
<i>Karbonlu maddeler % Diğer mineraller %</i>	-	-	-	-	70.0	-	-	24
<i>Karbonlu maddeler % Diğer mineraller %</i>	4.0	12	3.0	2.0	45.0	1.0	3.0	-
<i>Ağırlık %'si olarak granülometrik dağılım</i>								
<i>> 125 mikron</i>	1.5	2.8	1.5	0.8	2.0	6.0	0.2	0.1
<i>< 2 mikron</i>	84.0	60.0	77.0	76.0	70.0	22.0	79.0	74.0
<i>< 0.5 mikron</i>	63.0	50.0	54.0	55.0	45.0	8.0	57.0	51.0
<i>Kuru maddelerde kgf/cm2 olarak mukavemeti</i>	55.0	105.0	55.0	75.0	35.0	80.0	78.0	88.0
<i>Katıların %'si olarak kritik döküm konsantrasyonu</i>	65.0	66.0	66.5	50.0	70.0	-	67.0	69.0
<i>Deflokülan %'si (1:1 sodyum karbonat + sodyum silikat, 500 cp'de)</i>	1.3	0.9	1.05	0.8	0.8	-	0.5	0.2
<i>% su emme</i>								
<i>1.120°C</i>	11.0	8.0	9.0	8.5	15.0	-	8.0	8.0
<i>1.140°C</i>	4.0	0.1	3.0	2.0	4.0	5.5	0.2	0.5
<i>Beazlık</i>								
<i>1.120°C</i>	78.0	-	70.0	66.0	75.0	-	67.0	65.0
<i>1.140°C</i>	68.0	-	56.0	50.0	58.0	-	52.0	52.0
<i>% lineer kuru-pişmiş küçülme</i>								
<i>1.120°C</i>	11.8	5.9	11.0	10.0	9.0	-	12.5	10.5
<i>1.140°C</i>	15.0	9.8	14.0	13.0	13.5	7.5	14.5	13.0

4.2.2. Kaolenler

Kaolenler, daha önce killere ilgili olarak gördüğümüz üzere, çamura gerekli olan plastikliği ve işlenebilirliği sağlamak için dahil edilirler. Oysa ki bunların kısmen kilin yerine kullanılması, bünyelerin beyazlık derecesini iyileştirir, alümina oranını arttırır ve dolayısıyla yüksek sıcaklıklarda deformasyona karşı direnci iyileştirir. Ayrıca kaolen, kile kıyasla daha kalın partiküllerden oluştuğu için, genellikle kalınlık almayı destekler.

4.2.2.1. Kaolenlerin mineralojisi

Çin kili olarak da bilinen kaolenler, feldspat kayalarının hidrotermal başkalaşması sonucunda meydana gelirler fakat öte yandan genellikle killeri karakterize eden uzun mesafeli taşıma süreçlerine maruz kalmazlar. Dolayısıyla, neredeyse sadece kaolinitten meydana gelen kaolenler daha saf görünürler, daha büyük partiküllere sahiptirler ve killerde gördüğümüze kıyasla daha yüksek bir kristallik derecesine sahiptirler. Kaolenlerin içerisinde küçük miktarlarda mevcut bulunabilen diğer mineraller hemen hemen sadece kuvars ve mika ve/veya feldspattır. Demir ve titanyum bileşikleri hemen hiç yoktur ve demirin kristal örgüsü içerisinde ikame derecesi son derece düşüktür. Bu, kaolenlere pişirme sonrasında yüksek derecede beyazlık verir. Organik madde hiç bulunmaz ve çözünebilir tuzların varlığı önemsiz seviyededir. Bir Çin kilinin mineralojik bileşimi genellikle aşağıdaki sınırlar içerisinde değişkendir:

- Kaolinit %75-93
- Mika % 4-20
- Feldspat %0-3
- Kuvars %1-4

4.2.2.2. Kaolenlerin reolojik özellikleri

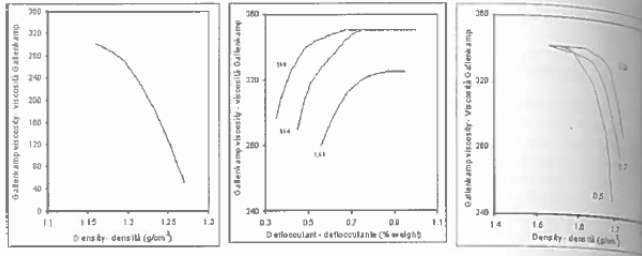
Kaolenlerin reolojik davranışları killere önemli ölçüde farklıdır çünkü:

- Organik madde içermezler

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

- Büyük parçalara doğru kayan bir partikül boyutu eğrisine sahiptirler
- Smektit içermezler
- Kaolenleri meydana getiren kaolinit daha yüksek bir kristallik derecesine sahiptir ve bu da düşük bir değişim kapasitesini doğurur
- Çözünebilir tuzlar içermezler.

Şekil 4.15 çamurun değişen özkütlesinin ve deflokülan (sodyum silikat) miktarının bir fonksiyonu olarak bir kaolenin akışkanlaşma eğrilerini göstermektedir.



Şekil 4.15 – CC31 kaolenin deflokülasyon eğrileri (kaynak: W.B.B.)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Gallenkamp viscosity = Gallenkamp viskozitesi

Density (g/cm³) = Özkütle (g/cm³)

Deflocculant (% weight) = Deflokülan (% ağırlık)

Genellikle, killerde olduğu ve aşağıdaki Tablo 6'da gösterildiği gibi, diğer bütün özellikler eşitken, daha kalın partiküllere sahip bir kaolenin daha küçük partiküllere sahip olana kıyasla döküm için daha uygun olduğu ileri sürülebilir.

Tablo 6 – Farklı granüloметрик dağılımlara sahip iki kaolenin döküm özelliklerinin kıyaslanması

	Kaolen A	Kaolen B
Ağırlığın %'si olarak granüloметрик dağılım		
>53	0.03	0.10
>10	4	20
<2	70	40
Kütlece katı %'si olarak döküm konsantrasyonu	63.0	64.5
500 cP viskozite için, ağırlık %'si olarak sodyum silikat miktarı	0.75	0.55

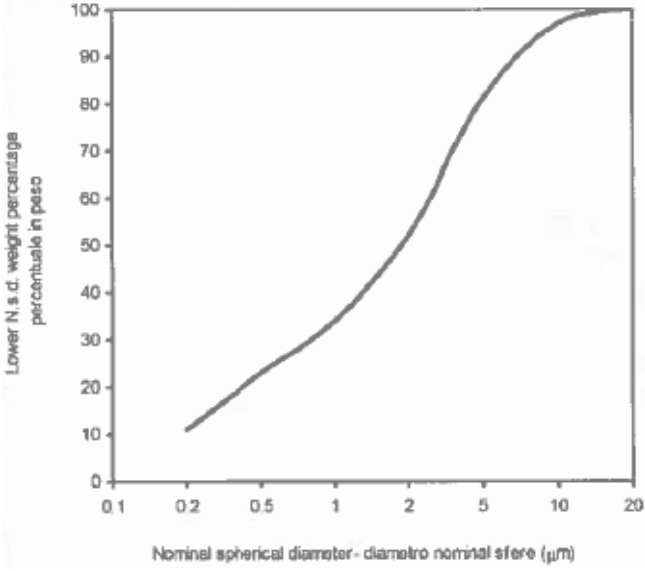
Değerlendirilen iki kaolenin hemen hemen aynı kimyasal ve mineralojik bileşime sahip oldukları vurgulanmalıdır.

4.2.2.3. Kaolenlerin plastikliği ve kırılma katsayıları

Kaolenlerin ham haldeyken plastiklikleri ve mekanik mukavemetleri killeriinkine kıyasla belirgin ölçüde düşüktür. Bunun sebebi, özellikle, kaolenlerin killere kıyasla şu özelliklere sahip olmalarıdır:

- Smektit içermeyen farklı bir mineralojik bileşim
- Daha büyük partiküllere ve daha düşük değişim kapasitesine sahip daha kristalli bir kaolinit
- Organik maddenin neredeyse hiç bulunmaması

Şekil 4.16, endüstride yaygın olarak kullanılan bir kaolinitin partikül boyutu eğrisini göstermektedir.



Şekil 4.16 – CC31 kaolenin granülometrik eğrisi (kaynak: W.B.B)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Nominal spherical diameter (μm) = Nominal küre çapı (μm)

Lower N.s.d. weight percentage = Daha düşük N.k.ç. ağırlık yüzdesi

Tablo 7, partikül boyutu dağılımının plastiklik ve kuru mukavemeti üzerindeki etkisini daha iyi vurgulamak amacıyla, farklı partikül boyutu dağılımına sahip iki kaoleni kıyaslamaktadır. Kaolenler için bile partikül boyutunun plastikliği etkileyen tek unsur olmadığını akılda tutmak akıllıca olacaktır.

Aynı zamanda, partiküllerin şekillerinin bir etkisi vardır. İnce partiküllere sahip kaolenin mukavemetinin daha büyük partiküllere sahip kaoleninkinin iki katı olduğunu görebiliriz.

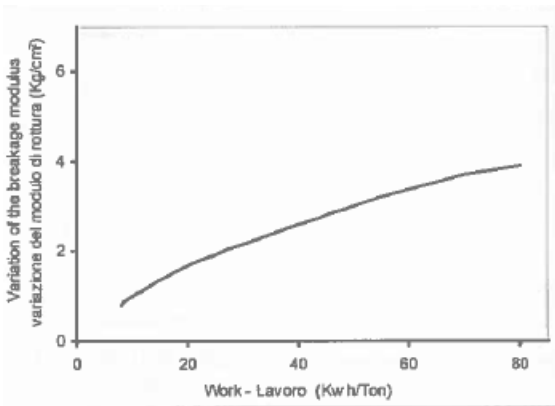
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Tablo 7 – Granülometrik dağılımın kuru mukavemeti üzerindeki etkisi

	NSC Kaolen	LPC Kaolen
Ağırlığın %'si olarak granülometrik dağılım		
>53	0.1	1.0
>10	16	20
<2	40	33
Kgf/cm ² olarak kuru mukavemeti	16	8

Fakat kaolenin mekanik mukavemeti aynı zamanda, ham madde imalatçısı tarafından maruz bırakıldığı mekanik muamele ile temin edilen enerjiye de bağlıdır.

Şekil 4.17 bunu göstermektedir: 4 kgf/cm²lik daha yüksek bir kuru mukavemeti elde etmek mümkündür.



Şekil 4.17 – Mekanik işlemlerle yapılan işin bir fonksiyonu olarak bir kaolenin mukavemetindeki değişim (kaynak: BAYLEY – NOBLE)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Variation of the breakage modulus = Mukavemetinin değişimi

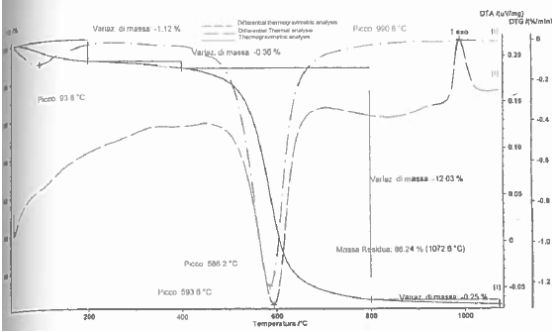
Work (Kwh/ Ton) = İş (Kwh/ Ton)e

4.2.2.4. Pişirme sırasında kaolenlerin davranışları

Pişirme sırasında kaolenlerin davranışları birçok açıdan killerininkine benzer. Bu davranışlar ağırlıklı olarak şunlardan etkilenir:

- Kimyasal ve mineralojik bileşim
- Partiküllerin inceliği

Şekil 4.18, endüstride yaygın olarak kullanılan bir kaolene uygulanan termal analizlerle ilgili eğrileri göstermektedir.



Şekil 4.18 – CC31 kaolenin termal analizi (kaynak: SE.TE.C. laboratuvarı).

ŞEKİL ÜZERİNDE

Differential thermogravimetric analysis = Diferansiyel termogravimetrik analiz

Differential thermal analysis = Diferansiyel termal analiz

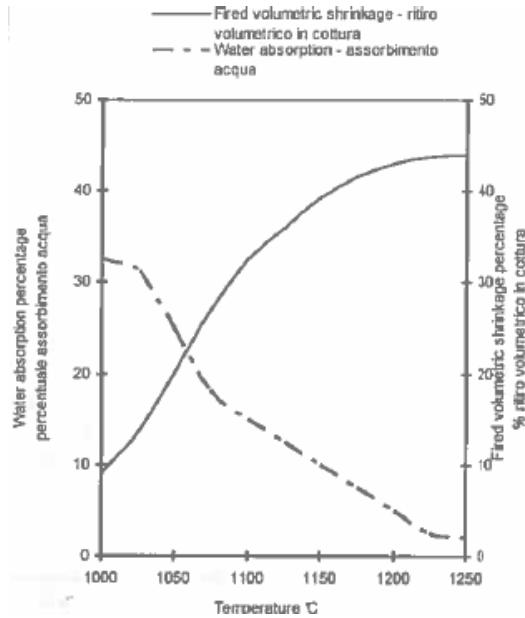
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Thermogravimetric analysis = Termogravimetrik analiz

DTA grafiği incelendiğinde, organik maddenin yanması ile ilgili ekzotermik piklerinin hiç olmadığını, fakat su içeriğinin kaybedilmesi ve metakaolenin dönüşümü ile ilgili piklerin çok belirgin olduklarını görebiliriz.

Bunlar, yüksek miktarlarda kaolinitin varlığını ve bunun yüksek yapısal düzen derecesini kanıtlar. Termogravimetrik analiz, hemen önceki cümlede belirtileni doğrularken, dilatometrik analiz çok düşük bir serbest kuvars içeriği olduğunu gösterir.

Şekil 4.19 termal analiz için değerlendirilen aynı kaolenin vitrifikasyon eğrisini gösterir. Endüstride normal olarak kullanılan pişirme sıcaklıklarında bile (1250 °C) kaolenerin su emme değeri ile sergilenen belirgin gözeneklilik özelliklerini korudukları görülebilir: buna, bileşim içerisinde bulunan yüksek kaolinit yüzdesi ve düşük mika ve/veya feldspat miktarı sebep olur.



Şekil 4.19 – CC31 kaolenin vitrifikasyon eğrisi (kaynak: W.B.B)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Fired volumetric shrinkage = pişmiş hacimsel küçülme

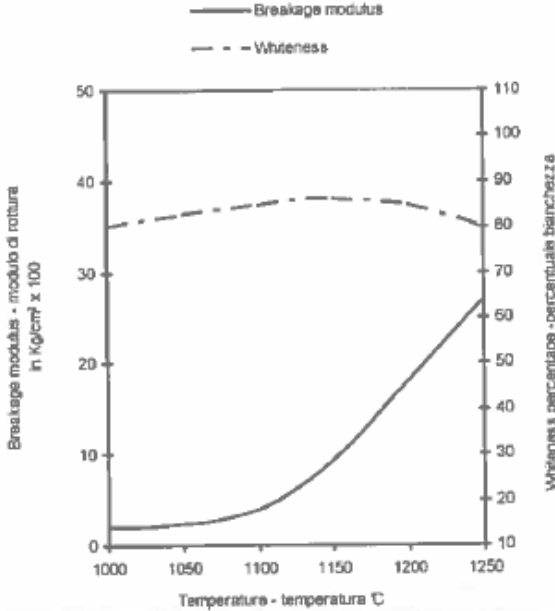
Water absorption = Su emme

Water absorption percentage = Su emme yüzdesi

Temperature = Sıcaklık

Fired volumetric shrinkage percentage = pişmiş hacimsel küçülme yüzdesi

Öte yandan Şekil 4.20 pişirme sıcaklığının bir fonksiyonu olarak pişirilmiş parçanın mekanik mukavemetinin gelişimini ve beyazlık derecesini göstermektedir. Killer söz konusu olduğunda, sıcaklık artarken beyazlık derecesinin sürekli olarak azalmasına rağmen, kaolenlerin oldukça düşük demir ve/veya titanyum bileşiği içerikleri sayesinde ulaşılan termal seviyeye daha az bağımlı, daha yüksek bir beyazlık derecesine sahip oldukları görülebilir.



Şekil 4.20 – Sıcaklığa göre kuru mukavemeti değişimi ve pişmiş renk trendi (CC31 kaolen) (kaynak: W.B.B)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Breakage modulus = Kuru mukavemeti

Whiteness = Beyazlık

Breakage modulus in $\text{Kg/cm}^2 \times 100 = \text{Kg/cm}^2 \times 100$ olarak kuru mukavemeti

Temperature = Sıcaklık

Whiteness percentage = Beyazlık yüzdesi

4.2.2.5. Kaolen seçim kriterleri

Bir kaolenin seçimine ilişkin kriterler, daha önce kilin seçiminde gördüklerimize benzerdir, fakat temel özelliklerini değerlendirmek için başvurulacak olan standart değerler farklıdır:

- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ içeriği < % 1-1,5
- Ham haldeyken mekanik mukavemet > 0,8 MPa'ya eşit 8 kg/cm^2
- Kaolenin ağırlık olarak %63 ile 79 arasında döküm konsantrasyonu, 500 cP'ye eşit 0,5 Pas görünür viskozite, ağırlık olarak %0,5 ila 0,55 deflokülan (sodyum silikat).

4.2.2.6. Sağlık gereçleri endüstrisine yönelik kaolenler

Bu bölüm, sağlık gereçleri endüstrisine en yaygın kullanılan kaolenlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini başlıca teknolojik konular açısından ele alacaktır. Aynı zamanda, bütün kaolenlerin menşe ülke ve satıcı firmaları da belirtilecektir (Tablo 8).

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Tablo 8 – Sağlık gereçleri endüstrisine yönelik kaolenler

<i>Kaolen</i>	N.S.C.	Remblend	L.P.C.	C.C.	L.S.	IMPERI AL	ZETTLITZ Z	D.S.	B.B.
Menşee bölge/ülke	Cornwall BB	Cornwall BB	Cornwall BB	Dartmoor BB	Fransa	ÇK	ÇK	ÇK	H
Maden şirketi	E.C.C.	E.C.C.	E.C.C.	W.B.B.	Gruppo Harwanne	Sedleky Kaolen	T.K.	T.K.	GRUPE MIN.IND.
<i>Kimyasal Bileşim</i> SiO ₂ % Al ₂ O ₃ % Fe ₂ O ₃ % TiO ₂ % CaO% MgO% K ₂ O% Na ₂ O% F.l.% C%	48.0 36.5 0.9 0.060 0.060 0.3 2.0 0.1 11.9	48.0 36.5 0.92 0.05 0.07 0.3 2.0 0.1 12.0	48.5 36.0 0.95 0.06 0.05 0.3 2.5 0.15 11.7	48.0 36.8 0.9 0.1 0.1 0.3 2.6 0.1 12.0	49.0 36.1 0.79 0.16 0.06 0.26 1.53 0.06 11.8	47.3 37.6 0.9 0.2 0.6 0.5 0.8 - 17.6	47.3 37.5 0.8 0.2 0.6 0.5 0.8 - 12.6	48.9 36.0 0.9 0.3 0.7 0.3 1.3 - 12.3	59.0 28.0 1.4 0.3 0.05 0.1 0.5 0.05 10.5
<i>Mineralojik bileşim</i> kaolinite % mikali bileşenler % kuvars % feldspat % diğer mineraller %	85.0 12.0 - 1.0 2.0	83.0 13.0 - 2.0 2.0	83.0 13.0 - 2.0 2.0	- - - 2.0 4.0	83.0 11.0 - 2.0 4.0	94.0 - 4.0 2.0 -	93.0 - 4.0 3.0 -	84.0 - 7.6 8.4 -	71.0 2.0 23.0 2.0 2.0
<i>Küttelece % granülometrik dağılım</i> > 53 mikron < 10 mikron < 2 mikron	0.15 16.0 40.0	0.25 20.0 39.0	1.0 20.0 32.0	- - 52.0	0.5 16.0 42.0	10.0 17.0 54.0	12.0 16.0 57.0	2.2 - 60.5	4.0 22.0 40.0
<i>Kuru mamül Kgf/cm² olarak kuru mukavemeti</i>	15.0	11.0	9.0	10.0	9.2	10.0	27.0	8.0	10.0
<i>Küttelece % olarak kritik döküm konsantrasyonu</i>	69.0	66.5	65.0	63.0	63.0	-	-	-	64.0
<i>Deflokülant %'si (1:1 sodyum karbonat + sodyum silikat, 500 cp/de)</i>	0.45	0.48	0.44	-	-	-	-	-	-
<i>% su emme</i> 1.120°C 1.140°C	13.0 8.0	16.5 9.5	16.0 9.0	- -	19.0 12.0	- 5.0	- 5.1	- 4.1	24.0 21.0
<i>Beyazlık</i> 1.120°C 1.140°C	80.0 81.0	82.0 83.0	81.0 83.0	- -	- -	- -	- -	- -	82.0 84.0
<i>Lineer kurutulmuş -pişirilmiş küçülme %</i> 1.120°C 1.140°C	7.5 10.5	7.0 10.5	7.0 10.0	- -	4.0 7.8	- -	- -	- -	6.0 7.0

4.2.3. Kuvars

Kuvars, sağlık gereçleri ürünleri için birincil öneme sahip, içerisinde %20 ila 30 arasında değişen yüzdelerde vitrifiye ve %10 ila 18 arasında değişen yüzdelerde fire clay dahil olan bir malzemedir.

İki bünye türünde değişen derecelerde olsa dahi, kuvarsın yarattığı etki şu şekilde özetlenebilir:

- Plastik malzemeler pahasına miktarı arttırıldığı takdirde, çamurun dökülebilirliğini arttırır.
- Plastikliği düzeltir: plastik olmayan bir malzeme olarak, plastikliği azaltır.
- Genellikle çok az miktarlarda demir ve/veya titanyum içerdiği için, nihai ürünün beyazlık derecesini arttırır.
- Bünyenin genleşme katsayısını değiştirme imkanı sağlar.
- Kısmen feldispatik cam ile birlikte mullit oluşumuna yol açar; mullit ise, artık kuvars ile birlikte pişirme sırasında deformasyon etkisini azaltan seramik bünyenin iskelet(destek) yapısını oluşturur.

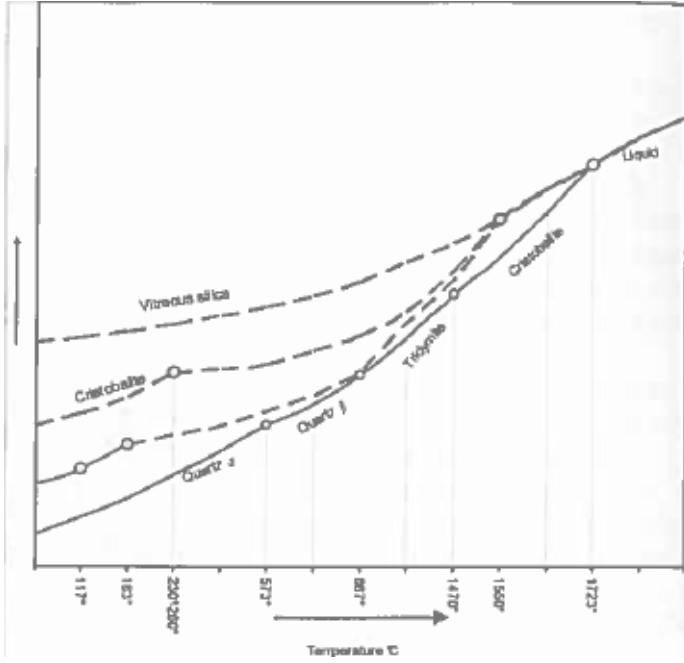
Silika molekülü SiO_2 , çeşitli kristal formlarında meydana gelebilir: kuvars, tridimit ve kristobalitin yanı sıra amorf silika olarak da mevcut bulunabilir. Bütün kristalli formlar atomların uzamsal dağılımlarının yeniden düzenlenmesi suretiyle, farklı bir örgü yapısına sahip diğer kristal formlarına dönüşebilirler. Farklı yapıların her birinin kararlılığı, Şekil 4.21'deki grafikte gösterildiği gibi, sıcaklığa bağlıdır.

Gerçekte, sıcaklığın etkisi bir allotropik formdan diğerine dönüşüme yol açmak için nadiren yeterli olur çünkü bu, diğer ham maddeler tarafından temin edilen çamur içerisinde genellikle bulunan mineralleştirici maddelerin katalizör etkisini gerektirir.

En iyi katalizörler alkaliler ve toprak alkalilerdir. Bir fazdan diğerine dönüşümün hızı da, kuvars taneciklerinin inceliğinden büyük oranda etkilenir. Çamurların

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

bileşimi ve endüstriyel çevrimlerde kullanılan sıcaklıklar göz önünde bulundurulduğunda, kuvarsin bütün olası dönüşümleri arasında endüstriyel açıdan en ilgi çekici olan, tersinebilir alfa kuvars → beta kuvars değişimidir. Bu dönüşüm, 573 °C'de, hacimdeki ani bir değişimle birlikte meydana gelir (Şekil 4.21) ve söz konusu ani değişim, parçanın bütün hacminde eş zamanlı olarak gerçekleşmediği takdirde, seramik bünyenin çatlamasına yol açabilir.



Şekil 4.21 – Kuvarsin yapısal dönüşümleri

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Vitreous silica = amorf silika

Cristobalite = Kristobalit

Quartz = Kuvars

Tridymite = Tridimit

Liquid = Sıvı

Temperature = Sıcaklık

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Bu durum, özellikle vitrifiye sağlık gereçlerinde , pişirme ve yeniden fırınlama eğrilerini büyük oranda etkiler. Bazı durumlarda, aynı sorun kristobalitin yaklaşık 230 °C'de dönüşümü nedeniyle de meydana gelebilir, fakat normalde kristobalitin önemli miktarlarda oluşmasına imkan sağlayan koşullar sağlık gereçleri üretim süreçlerinde var olmadığı için, bunun sadece şamot ile birlikte ufak miktarlarda kristobalit dahil olan fire clay bünyeler söz konusu olduğunda dikkate alınması gerekir. Sağlık gereçleri üretimine yönelik bir kuvars seçiminde göz önünde bulundurulacak kriterler şunlardır:

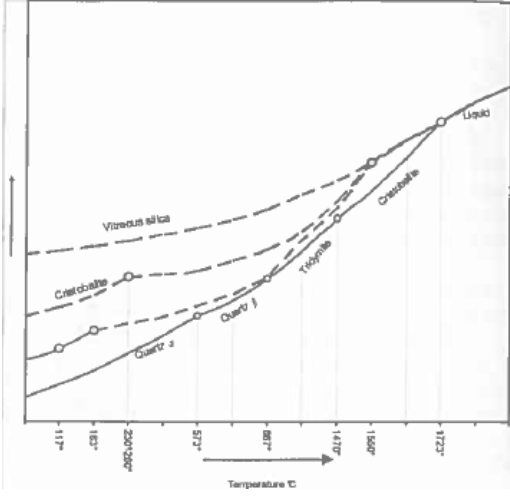
- SiO_2 içeriği > %96
- Alkali içeriği < %0,2
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ < %0,1

Partikül boyutu, aşağıdaki kılavuz ilkelere göre üretilecek ürüne en iyi şekilde uyan şekilde olmalıdır:

- 2 ve 0,2 mikron arasındaki partiküllerin büyük miktarda olması, çamurun plastikliğini azaltır
- Endüstriyel imalatta normal olarak karşılaşılan koşullarda, sadece 10 mikrondan daha küçük olan partiküller feldispatik cam tarafından çözündürülürler.

Dolayısıyla, partiküllerin en az %50'sinin bu boyutun altında olmaları tavsiye edilir.

- 60 mikrondan daha büyük partiküllerin miktarının düşük olması (< %2) tavsiye edilir.
- Aşırı derecede ince partiküller çamurun reolojik özelliklerinin kontrol altında tutulması ve kalınlık süresi açısından dökümü etkileyebilirler.
- Partiküllerin ince olması ayrıca ürünün küçülmesi üzerinde de bir etki yaratacaktır.



Şekil 4.22 – Alfa kuvars – beta kuvars dönüşümü ile ilgili boyut değişimi

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Thermal expansion percentage = Termal genleşme yüzdesi

Temperature °C = Sıcaklık °C

Alpha quartz = Alfa kuvars

Beta quartz = Beta kuvars

Yukarıdaki şekilden, partikül boyutu eğrisiyle ilgili olarak sadece genel önerilerde bulunabileceğimiz ve her bir üreticinin buna göre hangi partikül boyutu dağılımının kendi üretim şirketi için daha iyi olduğunu tespit etmesi gerektiği açıkça görülmektedir.

Seramik endüstrisinde kullanılan kuvars, genellikle tortul ve metamorfik kökenlidir ve kuvarsın hemen hemen bütün türleri yüksek derecede saflığa sahiptir. Tablo 9, endüstride en fazla kullanılan kuvarsın ana kimyasal ve fiziksel verileri ile menşelerini göstermektedir.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Kuvars	10.000	NW12	IM4	P4	VQV1	MICRO TIPO/405
İmalatçı	AKW	SIBELCO	GRUPPO MIN. IND.	GRUPPO MIN. IND.	GRUPPO MIN. IND.	HIRSCHAU
	98.7	99.5	98.95	98.6	98.3	98.2
	0.6	0.1	0.8	0.8	0.8	0.9
<u>Kimyasal bileşim</u>	< 0.03	< 0.1	0.06	0.04	0.12	0.1
SiO ₂ % Al ₂ O ₃ %	0.05	-	0.02	0.03	0.01	0.1
Fe ₂ O ₃ % TiO ₂ % CaO%	< 0.02	< 0.1	0.2	0.04	0.05	-
MgO% K ₂ O%	< 0.03	< 0.1	-	-	0.15	-
Na ₂ O% F.L.%	< 0.3	< 0.1	0.02	0.1	0.01	0.6
	-	< 0.1	-	-	0.25	-
	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
<u>Ağırlığın %'si olarak granülometrik dağılım</u>						
> 125 mikron	-	0.1	-	-	-	2.0
> 100 mikron	-	0.5	1.6	1.6	1.0	-
> 80 mikron	3.0	1.5	-	-	-	-
> 63 mikron	14.0	12.0	-	-	-	-
> 40 mikron	-	88.0	-	-	-	60.0
< 40 mikron	-	-	-	-	-	-

Tablo 9 – Sağlık gereçleri endüstrisine yönelik kuvars

4.2.4. Ergiticiler

Bu terim, bünyenin vitrifikasyon sıcaklığını düşüren bir grup maddeyi ifade eder: bunlar, kullanılmadıkları takdirde gerekli olan sıcaklıktan çok daha düşük sıcaklıklarda camsı bir faz oluştururlar. Ergiticilerin etkisi, vitrifiye sağlık gereci ürünlerinin vitrifikasyonuna imkan sağlar ve kullanıldıklarında fire clay ürünün gözenekliliğinde bir azalma sağlarlar. Pişirme sırasında, Ergiticilerin ürettiği camsı kitlenin iki etkisi vardır:

- Serbest silika ve kil maddeleri ile etkileşime girer ve mullitleşme sürecini destekler
- Gözenekleri kapatır ve seramik bünyenin yoğunluğunda artışa neden olur

Sıvı çamurda plastik olmayan ergiticiler kuvarsa benzer bir şekilde davranırlar, diğer bir deyişle zayıflatma etkisine sahiplerdir. endüstride en yaygın kullanılan akılar, feldspat ve feldspatımsılardır: virifiye sağlık gereçleri ürünlerinde %15 ila 22 arasında değişen miktarlarda kullanılırken, fine fire clay hamurunda küçük miktarlarda (%3-8) kullanılırlar ya da hiç kullanılmazlar.

4.2.5. Feldspat

Feldspat terimi, bir dizi silika-alümina ve alkali ve/veya alkali toprak metalleri ifade eder; bunların en önemlileri şunlardır:

- Potasyum feldspatın ana bileşeni ortoklaz ($K_2OAl_2O_36SiO_2$).
- Sodyum feldspatın ana bileşeni albit ($Na_2OAl_2O_36SiO_2$).

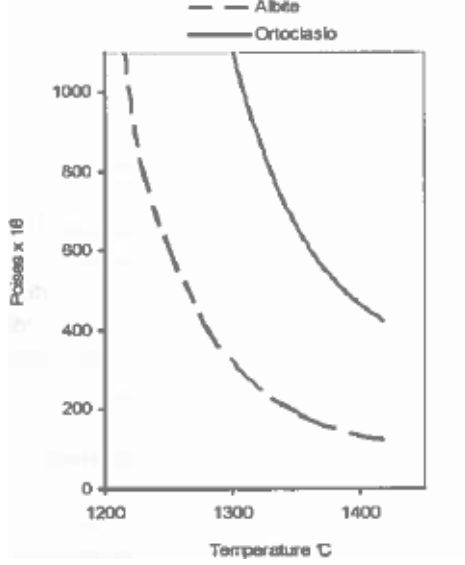
Endüstride kullanılan doğal feldspatlar hiçbir zaman saf değildir ve anortit ve kuvars gibi bazı ikincil maddelerin ilavesiyle birlikte, genellikle yukarıda bahsedilen iki türün bir bileşimidir. Potasyum feldspat halen vitrifiye ürünleri için ideal ergitici olarak kabul edilir çünkü çok geniş bir ergime aralığına sahip son yüksek viskoziteli amorf faz elde edilmesini sağlar. Endüstriyel bakış açısından, bunun önemli avantajları vardır:

- Potasyum camın yüksek viskozitesi, pişirilen üründe gözle görülür bir deformasyon olayı riskine yol açmaksızın yüksek bir vitrifikasyon derecesine ulaşılmasını mümkün kılar.
- Endüstriyel bir fırının aynı kesiminin çeşitli alanları arasında önemli sıcaklık derecelerine sıklıkla rastlanabilir (özellikle üst ve alt kısımlarda). Dolayısıyla, 600 mm'den daha yüksek olabilen sağlık gereçleri gibi parçalarda, aynı parçanın çeşitli kısımlarında önemli vitrifikasyon farkları oluşabilir.

Feldspatın ergime aralığı ne kadar genişse, bu olay da o kadar azalır. Saf potasyum feldspat, 1150 °C'de uyumsuz ergime noktasına sahiptir. Bu bulgu teorik öneme sahiptir çünkü saf feldspat gibi endüstriyel malzemeler bulmak mümkün değildir. Saf sodyum feldspat, potasyum feldspata göre daha sınırlı bir ergime aralığına

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

sahip daha az viskoz bir cam elde edilmesini sağlar ve 1118 °C'de uyumlu bir şekilde ergir. Şekil 4.23 sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ergimiş albit ve ortoklazın viskozitelerinin gelişimini göstermektedir.



Şekil 4.23 - Albit ve ortoklazın viskoziteleri (kaynak: JOUENNE)

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Poises x 10 = Poise x 10

Albite = Albit

Ortoclasio = Ortoklaz

Temperature °C = Sıcaklık °C

Aslında, endüstriyel uygulamada feldspatların ergitilmesiyle elde edilen camın viskozitesi, karıştırıldığı maddelerin türü, miktarı ve partikül boyutlarının yanı sıra uygulanan pişirme döngüsünden etkilenir.

Feldspatın dönüşüm sıcaklığının belirlenmesinde başka bir unsur daha kilit bir

rol oynar: feldspatın partikül boyutu dağılımı – daha ince partiküller eğrinin tamamını daha düşük sıcaklıklara doğru taşır.

Bu durum endüstriyel uygulamada son derece önemlidir çünkü normalde halihazırda öğütülmüş olan malzemeler kullanılırken, feldspatı sadece kimyasal ve mineralojik bileşimi açısından değil aynı zamanda sahip olduğu partikül boyutu dağılımına göre de seçmek gereklidir. Feldspat partiküllerinin %40 ila 55'inin 10 mikrondan daha küçük olması tavsiye edilir. Partikül boyutu seçilirken, aşırı ince fraksiyonların (<10 mikron) döküm sırasında ciddi sorunlara yol açtığını göz önünde bulundurmak gerekir, dolayısıyla çamurun reolojik özelliklerinin bozulmamasını sağlamak için, partikül boyutu dağılımı konusunda bir uzlaşma sağlanmalıdır.

Azami beyazlığı sağlamak için, $Fe_2O_3 + TiO_2$ içeriğinin %0,3'ü aşmaması gerekir. Daha kolaylıkla bulunabildiği için ekonomik meselelerden dolayı sodyum feldspatın tercih edilmesi bir kenara, sodyum ya da potasyum feldspat kullanımı arasında tercih yaparken aşağıdaki hususların göz önünde bulundurulması gerekir:

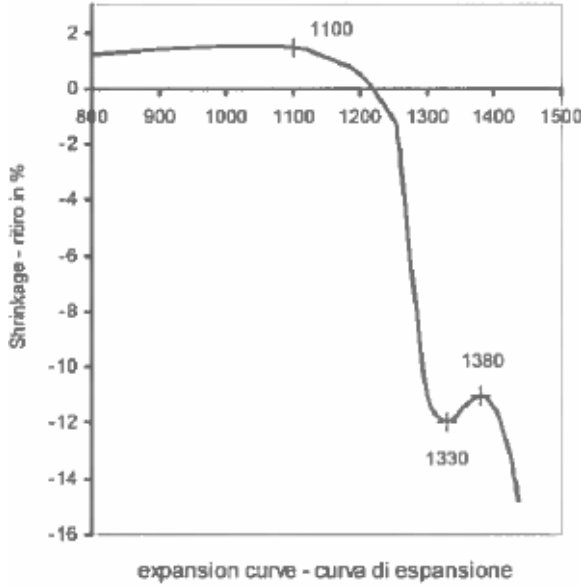
- a) Potasyum feldspat, sodyum feldspata kıyasla daha yüksek bir ergime sıcaklığına sahiptir; dolayısıyla, sağlık gereçlerinde olduğu gibi 1250 °C'nin altında pişirilen bünyelerde kullanım için sodyum feldspat daha iyidir çünkü sodyum feldspat daha hızlı döngülerdeki daha düşük sıcaklıklarda daha iyi vitrifikasyon sağlar ve genel olarak maliyetleri düşürür. Sodyum, yüksek sıcaklıklarda potasyumdan daha az kararlıdır.
- b) Sodyum feldspat ile kıyaslandığında, potasyum feldspat içinde bulunduğu bünyeye pişirme sırasında deformasyona karşı daha fazla direnç ve daha geniş bir vitrifikasyon aralığı sağlar. Özellikle, potasyum feldspat içeren bünyeler yaklaşık 50 °C civarında geniş bir vitrifikasyon aralığına sahiplerken, kullanılan ergitici sodyum feldspat olduğunda bu değer 25 – 30 °C'ye düşer. Genellikle, pişirilen ürünlerin deformasyon etkilerine maruz kalma ihtimali olan ve sodyumun daha düşük kararlılığa sahip olacağı yüksek pişirme sıcaklıklarında (>1250 °C) potasyum feldspat kullanılır.

Şekil 4.23'te gösterilen ergimiş feldspatımsı camın viskozitesinin gelişiminden,

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

yaklaşık 1260 – 1280 °C’de sodyum feldspatın viskozitesinin, potasyum feldspat ile daha yüksek sıcaklıklarda elde edilenlere kıyasla, deformasyonun endüstriyel olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde uygun şekilde tutulmasını sağlayacak değerlere sahip olduğunu görebiliriz.

Aynı şekilde, 1250 °C’nin altında, sodyum feldspatın viskozitesinin hızlı bir şekilde arttığı ve pişirilmekte olan parçalarda herhangi bir aşırı deformasyon riskini ortadan kaldırdığı da açıkça görülmektedir. Bir feldspat seçilirken ve özellikle de hızlı bir döngüde kullanılacak bir bünyeye dahil etmek üzere seçim yaparken dikkate alınacak diğer bir unsur da, serbest kuvars çözünme kapasitesidir: bu bağlamda, albit ortoklaza kıyasla belirgin biçimde daha aktif iken, ortoklaz da bunun yerine kil maddelerinin ayrışmasından ortaya çıkan ürünlere etki etmek konusunda daha iyidir. Pişirilen feldspatların bütün özelliklerinin, şiddet ve kinetik olarak, ve özellikle de yüksek sıcaklık oranları ve hızlı döngüler söz konusu olduğunda, partikül boyutu koşullarına bağlı olduğunu hatırlatmakta fayda var. Ayrıca, bir feldspatın yumuşamaya ve ergimeye başladığı sıcaklıkları bilmek de önemlidir.



Şekil 4.24 – Bir potasyum feldspatın genleşme – küçülme eğrisi (kaynak: JOUENNE).

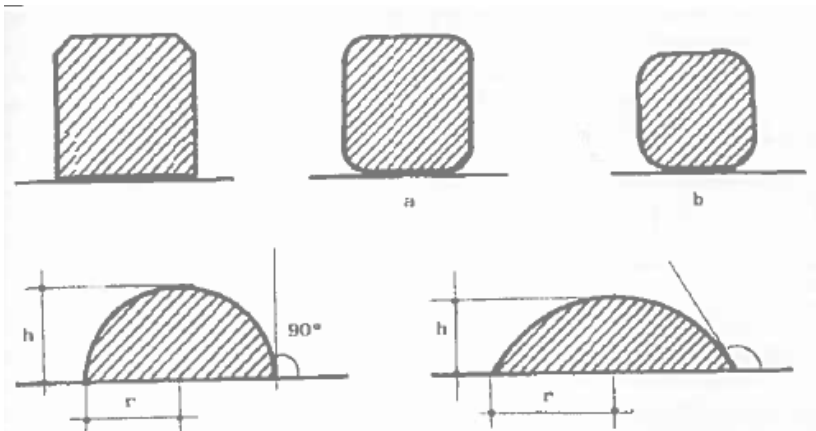
ŞEKİL ÜZERİNDE:

Shrinkage % = Küçülme %

Expansion curve = Genleşme eğrisi

Sıcaklık artışı sırasında bir feldspatın davranışını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir analiz türü, ısıtmalı mikroskoptur. Akı örneği, durumu değerlendirilmek üzere farklı sıcaklıklarda fotoğraflanır. Bu test sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli değişimler şunlardır: (Şekil 4.25)

- Küçülmenin başlaması; bu, numunenin arkasına yerleştirilen özel bir ölçek ile değerlendirilebilir (Şekil 4.25a).
- Numunenin köşelerinin yuvarlaklaşması (Şekil 4.25b) ergiticinin yumuşamaya başladığını gösterir.
- Numune, yüksekliği yarıçapa eşit olacak şekilde, bir yarım küre biçimini alır (Şekil 4.25c): söz konusu madde erimektedir.
- 1540 °C'de, numune ile ateşe dayanıklı destek arasında ölçülen temas açısı (Şekil 4.25d), feldspatların aşırı pişme ölçüsünü verir (genellikle potasyum; çünkü bu sıcaklıklarda sodyum söz konusu olduğunda, numune düz bir şekil alır).



Şekil 4.25 – Isıtmalı mikroskop testi sırasında numunenin aldığı şekiller

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Tablo 10, sağlık gereçleri üretiminde en sık kullanılan feldspatları ve bunların ayırt edici özelliklerini göstermektedir.

Tablo 10 – Sağlık gereçleri endüstrisine yönelik feldspatlar

Feldspat	F7	FS 800 S	FSKN	POLAR 6400	NC- 4	ESF 5016	K 31/11	VAV	VV1
İmalatçı	GRUP. MIN.IND	AKW	GOTTFRIED	SWEDEN	ABD	ESAN TÜRKİYE	KANDT WCCS	GRUPPO MIND. IND.	GRUPPO MIN.IND.
	70.5	67.5	76.1	66.4	68.2	70.74	69.8	67.1	65.9
Kimyasal bileşim									
SiO ₂ % Al ₂ O ₃ %	17.6	17.0	15.0	18.1	18.9	17.92	18.4	20.0	20.0
Fe ₂ O ₃ % TiO ₂ %	0.36	0.12	0.46	0.1	0.1	0.08	0.1	<0.15	0.35
CaO%MgO%	<0.04	0.50	0.03	-	-	0.26	-	0.30	0.30
K ₂ O%Na ₂ O%	0.61	0.02	0.29	0.2	1.6	0.5	0.4	<0.5	0.55
FL%	9.10	0.04	0.02	<0.1	-	0.2	-	0.6	1.60
	0.4	12.5	3.66	11.4	4.5	0.4	0.5	10.5	0.60
	9.6	0.6	4.37	2.6	6.7	9.5	10.4	0.3	9.80
	0.69	1.3	0.69	0.2	0.1	0.5	0.4	0.5	0.80
Mineralojik bileşim									
Ortoklaz %	-	-	-	-	-	2.37	93.4	1.0	2.0
Albit %	-	-	-	-	-	80.2	-	91.0	86.0
Anortit %	85.0	76.0	21.5	-	-	-	-	-	-
Kaolinit %	-	5.0	36.7	-	-	-	-	-	-
Kuvars %	-	-	-	-	-	5.15	-	2.0	3.0
Diğer mineraller %	10.0	7.0	9.7	-	-	11.21	6.6	3.0	4.0
	5.0	12.0	31.9	-	-	0.98	-	3.0	5.0
Ağırlık % olarak granüloметриk dağılım									
> 125 mikron	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 63 mikron	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 10 mikron	2	1.8	2.0	0.5	3.0	3.0	8 ÷ 15	2.5	2.5
> 6.3 mikron	-	-	-	-	65.0	30.3	45 ÷ 52	-	-
> 2 mikron	-	-	-	-	17.0	18.0	6 ÷ 13	-	-
< 2 mikron	-	-	-	-	15.0	11.0	17 ÷ 23	-	-
< 2 mikron	-	-	-	-	1.0	-	10 ÷ 12	-	-

4.2.6. Feldspatımsılar ve diğer ergiticiler

Sağlık gereçleri endüstrisinde genellikle diğer ergiticiler özellikle değerli teknolojik özellikleri olduğunda veya düşük maliyetli olarak kolayca bulunabilir olduklarında kullanılır. Bunların en önemlileri nefelin siyenit ve pegmatitlerdir. Nefelin siyenit, siyenitik kayalarda bulunan bir feldspatımsı olan nefelinden ($\text{Na}_2\text{O Al}_2\text{O}_3 2\text{SiO}_2$) meydana gelen doğal bir maddedir. Yüksek bir alkali oksit içeriğine (%15 ila 17) ve diğer ergiticilerin bileşiminde bulunandan daha yüksek oranda alümina (yaklaşık %24) sahiptir. Bu özel kimyasal bileşim nefeline özellikle hızlı döngülerde sağlık gereçlerine yönelik vitrifiye ürün üretimi için bu maddeyi ideal kılan özellikler sağlar. Yüksek alkali içeriği, albitte olduğu gibi, nispeten düşük sıcaklıklarda bünyenin vitrifikasyonunu sağlamasını mümkün kılar, fakat albitin aksine nefelin siyenit bünyelere çok geniş bir vitrifikasyon aralığı sağlar. Ayrıca, yüksek alümina içeriği sayesinde, nefelinin ürettiği cam oldukça viskozdur ve sodyum feldspat bulunan bir bünyede bulunan deformasyon miktarını büyük ölçüde azaltır.

Dolayısıyla, nefelin-siyenitin en azından sağlık gereçleri üretiminde kullanılan sıcaklıklarda albitin faydaları ile ortoklazın faydalarını bir araya getirmenin yanı sıra ergimiş durumdayken yüksek bir ıslatma gücüne sahip olduğunu söyleyebiliriz. Islatma gücü sayesinde, bünyenin diğer bileşenlerinin partikülleri ile sıkı bir temas sağlar ve dolayısıyla bunlara çok daha kolay saldırarak çözümlenebilir. Bu maddenin tek dezavantajı, satın alma maliyetinin yüksek olmasıdır. Ayrıca, nefelin kullanılması çamurun reolojik kararlılığının azalmasına yol açar: deflokülant miktarının bir fonksiyonu olarak viskozite eğrisi, feldspat bulunan bir bünyenin tipik eğrisine kıyasla, çok fazla küçülür. Bu durum, son derece küçük deflokülant değişimlerinde bile yeterince defloküle olmamış (ya da aşırı defloküle olmuş) bir çamura yol açabilir. Deflokülant olarak metakrilat kullanıldığı takdirde bu kusur asgariye indirilebilir.

Pegmatitler kuvars ve feldspat, sodyum ve/veya potasyumun doğal karışımlarıdır ve sıklıkla küçük miktarlarda kil minerali de içerirler. Pişirme sırasındaki davranışları aynı alkali oksitlere sahip feldspatınkine benzer. Yüksek SiO_2 içerikleri (%85'in bile üzerine çıkabilir), düşük miktarlarda ergiticiler ve çok daha yüksek ergime sıcaklıkları ile karakterize edilirler. Ergitici olarak pegmatitin kullanılması, sadece feldspatın değil fakat aynı zamanda kuvarsın da tamamıyla ikamesi anlamına gelir. Bu madde normalde sadece kolaylıkla bulunabildiği

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

ve kalitesinin iyi ve değişmez olduğu ülkelerde (Almanya) kullanılır. Aslında, doğal pegmatitlerin kimyasal ve mineralojik bileşimleri, dolayısıyla da teknolojik özellikleri büyük oranda farklılıklar gösterir. Tablo 11, endüstride en yaygın kullanılan nefelinlerle pegmatitlere ilişkin en önemli kimyasal ve fiziksel verileri göstermektedir.

Tablo 11 – Sağlık gereçleri endüstrisine yönelik nefelinler ve pegmatitler

Akı	STANDART PEGMATİT	GPA45 PEGMATİT	NEFELİN SİYENİT N.C.	NEFELİN SİYENİT	PEGMATİT
İmalatçı	TIRSHEN REUTER/D	GOTTFRIED D	ELKEMS. N	CANADA	HUTSCHEN REUTHER/D
Kimyasal bileşim	81.1 10.5 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 7.2 0.3 - - 0.5	81.2 11.1 0.09 0.12 0.04 0.03 7.12 0.28 - - 1.01	57.0 23.8 0.1 1.1 - - 9.1 7.8 0.3 0.3 1.1	60.7 23.3 0.1 - 0.7 0.1 4.6 9.8 - - 0.6	81.0 10.2 0.1 0.1 0.2 - 7.3 0.5 - - 0.6
Mineralojik bileşim	43.2 3.0 - 51.9 2.8 -	41.7 2.4 - 48.4 7.3 -	62.0 - 38.0 - - -	- - - - - -	47.0 - - 50.0 3.0 -
Ağırlık % olarak granüloметриk dağılım					
> 125 mikron	0.2				
> 63 mikron	2.8				
> 10 mikron	97.0		0.1		
> 6.3 mikron					
> 2 mikron					
< 2 mikron					

4.2.7. Şamot

Bu terim, normalde hem kalsine edilmiş hem de öğütülmüş kili ifade eder ve fire clay bünyelerinin hemen hemen bütün plastik olmayan kısmının yanı sıra vitrifiye sağlık gereçleri çamurlarına öğütülmüş olarak tekrar katılan vitrifiye ıskartalarını kapsar. Bu bölümde, bu iki malzemeyi ayrı ayrı inceleyeceğiz.

4.2.7.1. Vitrifiye sağlık gereci şamotu (Öğütülmüş Iskarta kırığı)

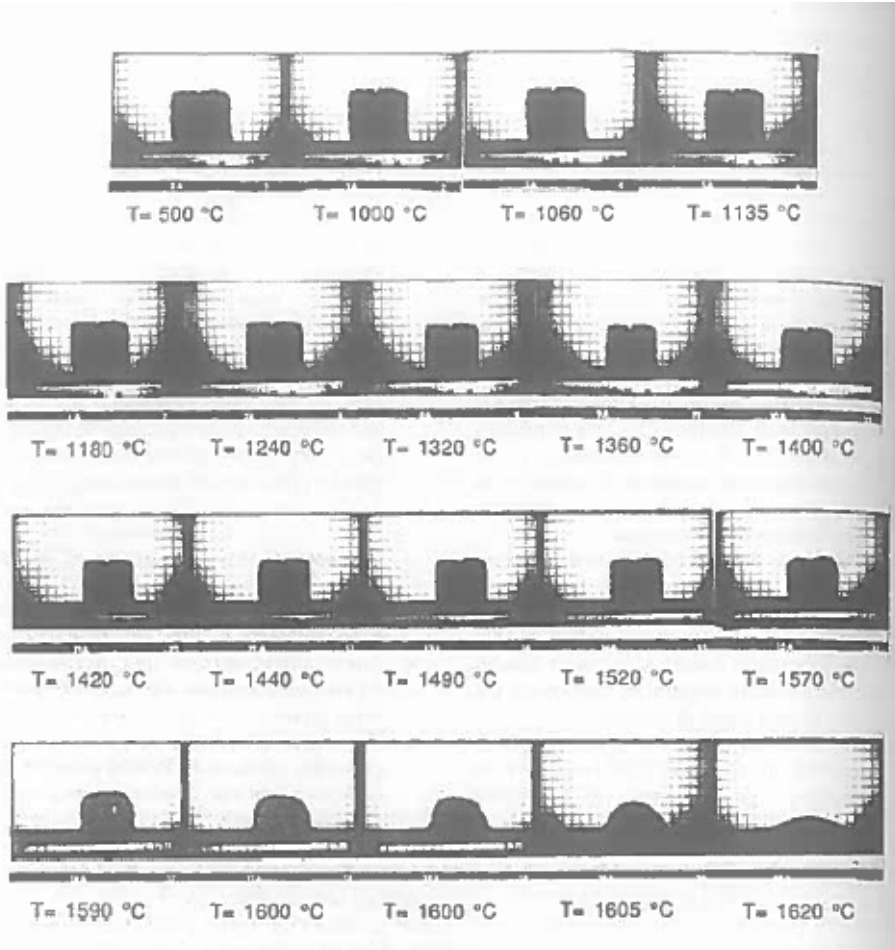
Şamot, vitrifiye bünyelere kuvars ve feldspatın kısmi ikamesi olarak katılır. Şamotun kullanımı, ekonomik ve artan bir şekilde ekolojik nedenlerle dayandırılmaktadır. Bu durum aslında, üretim döngüsünden arta kalan endüstriyel atıkların yeniden kullanılmasıdır ve imha maliyetlerinden tasarrufun yanı sıra aynı zamanda bünye içerisindeki pahalı malzemelerin kısmen ikamesi de söz konusudur. Gerçekte, bu malzemenin kullanılmasını ilginç kılan sadece bu nedenler değildir. Daha teknolojik nedenler de söz konusudur ve bunlar şu şekilde özetlenebilir:

- a) Öğütülmüş atıktan meydana gelen şamot, tamamıyla atıl bir madde değildir zira parçaları kaplayan sırtı da içerir. Dolayısıyla, aynı vitrifikasyon derecesi ile birlikte bünye içerisindeki feldspat içeriğinin azalmasına yardımcı olabilen ufak bir ergime etkisine sahiptir. Şamot su içerisinde Na⁺ iyonları bırakır ve dolayısıyla zayıf bir deflokülant görevi de görür.
- b) Yüksek alümina içeriği (ortalama %23 – 24) sayesinde, şamotun bünyeye katılması, uygun şekilde kuvars ve feldspatı ikame ettiği takdirde, vitrifikasyon/deformasyon oranının optimize edilmesini mümkün kılar.
- c) Kuvars yerine şamot kullanılması, bünyenin genleşme katsayısının değiştirilmesini mümkün kılar ve hepsinin ötesinde, özellikle hızlı pişirme döngüleri söz konusu olduğunda, alfa kuvars/beta kuvars dönüşümünü ve bunun olumsuz etkilerini azaltır.
- d) Şamotun uygun partikül boyutları ve miktarlarda seçilmesi, kısmen çamurun reolojik özelliklerinin ve döküm sürelerinin ayarlanmasını mümkün kılar.

Bazı durumlarda vitrifiye şamot, fire clay bünyelerine de katılır.

Tablo 12 bir şamotun temel kimyasal ve fiziksel parametrelerini göstermektedir.

Şekil 4.26 ısıtmalı mikroskop ile yapılan testte ısıtma sırasında şamotun davranışını göstermektedir ve buradan da bu malzemenin ergime sıcaklığının 1600 °C'ye yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26 – Bir vitrifiye şamotun Ergime davranışı

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

Tablo 12 –RC4 vitrifiye şamotun kimyasal-fiziksel özellikleri (imalatçı Maffei)

	71.1
	23.0
	0.55
	0.35
<u>Kimyasal Bileşim</u>	
SiO ₂ %	71.1
Al ₂ O ₃ %	23.0
Fe ₂ O ₃ %	0.55
TiO ₂ %	0.35
CaO%	1.0
MgO%	0.30
K ₂ O%	1.5
Na ₂ O%	1.8
F.L.%	0.4
<u>Mineralojik analiz</u>	Kuvars, mullit ve yeni oluşmuş camı/ amorf fazlar
<u>% ağırlıkça granüloметриk dağılım</u>	> 63 mikron 2.2
<u>Yumuşama sıcaklığı</u>	1.490° C
<u>Ergime sıcaklığı</u>	1.600° C

4.2.7.2. Fire clay şamotu

Şamot, alümina açısından zengin kaolenlerin veya killerin yüksek sıcaklıklarda, çoğunlukla döner tipte fırınlarda kalsine edilmesiyle üretilir. Fırlandıktan sonra şamot öğütme ve elemeye tâbi tutulur. Her şeyden öte fırınlama şamotun nihai gözenekliliğini belirler; bu son derece önemlidir çünkü, diğer bütün koşullar eşitken, gözeneklilik çamur içerisindeki su miktarını ve dolayısıyla çamurun özgül ağırlığı ile küçülme oranını etkiler. Sağlık gereçleri endüstrisinde genellikle kullanılan şamot %3 ila 7 arasında değişen su emme seviyesine sahiptir.

Öğütmenin, mümkün olduğunca köşeli yapıdan yuvarlatılmış partiküller üreten makinelerle yapılması gerekir.

Aynı zamanda eleme işlemi de çok önemlidir çünkü çamurlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olan şamotun partikül boyutu dağılımı buna bağlıdır .

Daha ince partiküller şunlara yol açar:

- Daha fazla karıştırma suyu ve dolayısıyla ham iken ve pişirildiğinde daha fazla küçülme fakat özellikle çamurun reolojik kararlılığının sağlanmasında daha büyük zorluk.
- Pişirilmiş bünyenin daha fazla mekanik mukavemete sahip olması.
- Pişirildiğinde deformasyonda artış.
- Pişirilmiş olan un gözenekliliğinde azalma.
- Termal şoklara karşı daha düşük direnç.
- Ham parçanın yüzeyinin daha iyi kaliteye sahip olması ki bu, hemen her zaman angob uygulamasını aşırı hale getirir ve bitmiş parça üzerindeki tanecikler ve siyah noktalar gibi kusurlarda önemli ölçüde azalmaya yol açarak daha iyi bir kalite sağlar.

Şamotun farklı endüstrilerin ihtiyaçlarını karşılayabilen optimum partikül boyutuna sahip olması için, partikül boyutları uyumlu hale getirilebilir. Bunun için, piyasada mevcut, farklı partikül boyutlarından oluşan iki ya da üç şamotun karışımı kullanılabilir.

Fire clay imalatında, genellikle 0-0,5, 0-0,8 ve 0-1 mm'lik partikül boyutu fraksiyonları kullanılır. 0 ile 0,3 mm'lik partiküllere sahip şamot, hemen her zaman ince fire clay için kullanılır ve bazı durumlarda 0 ila 0,5 mm'lik partikül boyutuna sahip daha küçük miktarlardaki malzemeler ile karıştırılır.

Bir fire clay bünyeleri içerisindeki şamot plastik olmayan inert (etkisiz) bir madde olarak davranır ve pişirme sırasında seramik bünye içerisindeki iskeleti

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

oluşturarak deformasyonu önler. Şamotlar genellikle bakır ve demir bileşikleriyle kirlenmiştir ve bunlar nihai ürünün yüzeyinde siyah ya da yeşil lekelerle yol açarak kalitesini telafi edilemez şekilde bozarlar. Üretim döngüsü içerisinde partikül boyutu dağılımını değiştirmek üzere çamuru elemek mümkün olmadığı için, hemen her zaman imalatçısı tarafından saflaştırılmış şamot kullanılır.

Şamot seçimine ilişkin kriterler, sadece partikül boyutuna dayalı değildir; aynı zamanda yüksek olması (%35 – 38) gereken alümina içeriğine ve genleşme katsayısına da bağlıdır. Şamot fire clay bünyesinin ana bileşeni olduğu için, dilatometrik eğrisi son derece önemli hale gelir çünkü bu bünyenin dilatometrik eğrisini de büyük oranda etkiler.

Tablo 13, seramik sağlık gereçleri endüstrisinde kullanılan bazı şamotlara ilişkin en önemli kimyasal ve fiziksel verileri sergilemektedir.

Tablo 13 – Sağlık gereçleri endüstrisine yönelik şamotlar

Şamot tipi	EPUREE	GFR	MP35
İmalatçı	AGS FRANSA	GOTTFRIED ALMANYA	KAOLEN BULGARİSTAN
<u>Kimyasal bileşim</u>	56.9	65.5	58.1
	38.5	29.4	38.0
	1.5	1.76	1.0
SiO ₂ %	1.6	1.69	0.31
Al ₂ O ₃ %	0.3	0.4	0.12
Fe ₂ O ₃ %	0.3	0.69	0.24
TiO ₂ %	0.8	0.45	0.93
K ₂ O%	0.1	0.1	0.12
Na ₂ O%	0.1	-	0.15
F.L.%	0.1	-	0.15
% olarak su emme	3.5÷4.5	5.3	3.5÷4

4.3. Sağlık gereçleri çamurlarının reolojik eğrileri

Bu bölüm, sağlık gereçlerine yönelik vitrifiye ve fine fire clay çamurunun tipik reolojik eğrilerini göstermektedir. Eğriler, bir rotasyon viskozimetre ile elde edilmiştir. Ölçümler, mümkün olduğunca tipik üretim koşullarının yinelenmesi amacıyla, endüstriyel olarak kullanılan değerlere yakın, farklı kayma hızlarında ve sürelerde alınmıştır. Ayrıca, reolojik ölçümler her çamur için deflokülant türü değiştirilmek ve diğer bütün koşullar (çamur bileşimi, hazırlama yöntemi, sıcaklık, vs.) aynı tutulmak suretiyle alınmıştır. Bu, farklı deflokülantlar nedeniyle ortaya çıkan farklı reolojik davranışların vurgulanmasını kolaylaştıracaktır.

4.3.1. Vitrifiye çamurlarına ilişkin reolojik eğriler

Bu bölüm, vitrifiye sağlık gereçleri çamurlarına özgü reolojik eğrilere değinmektedir. Eğriler, aynı bileşime sahip, birinde deflokülant olarak sodyum karbonat + sodyum silikat, diğerinde ise sodyum karbonat ve V-788D olarak tanımlanan poliakrilatlardan oluşan bir karışım kullanılan iki vitrifiye çamuru üzerinde, farklı kayma(akma) hızlarında, rotasyon viskozimetre kullanılarak elde edilmiştir.

Kullanılan standart vitrifiye bünye, Tablo 14'te yer alan formüle sahiptir:

Tablo 14 –Vitrifiye çamur formülasyonu

<i>Ham madde</i>	<i>Yüzde (%)</i>
<i>Kil</i>	25
<i>Kaolen</i>	29
<i>Kuvars</i>	25
<i>Sodyum feldspat</i>	21

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

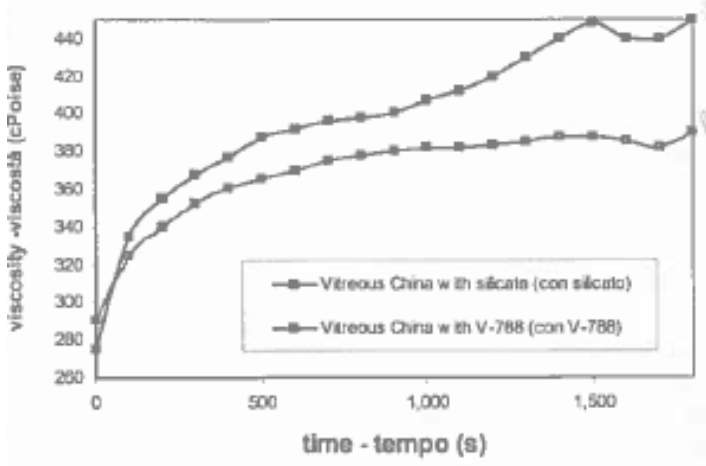
Deflokülant olarak, sodyum silikat (%0,12) veya V788D (%0,04) ile birlikte şunlar kullanılmıştır:

- Sodyum karbonat %0,07
- Baryum karbonat %0,05

Dolayısıyla, bütün grafikler biri silikat, diğeri ise poliakrilat kullanımına ilişkin iki eğriyi göstermektedir. Çamurun standart özgül ağırlığı, 1,802 – 1,805 kg/l olarak alınmıştır.

Birinci eğri, çalkalanıp ölçüm hücreğine yerleştirilen çamur üzerinde ölçüm yapılarak elde edilmiştir; viskozimetre rotorunun hızı 50 rpm olarak ayarlanmıştır; bu koşullar altında geçirilen süre 1800 saniyedir.

Şekil 4.27de, sırasıyla sodyum silikat ve poliakrilatlardan oluşan karışım ile defloküle edilen iki vitrifiye çamur ile elde edilen reogramlar gösterilmektedir.



Şekil 4.27 - Sodyum silikat ve poliakrilatlardan oluşan karışım ile defloküle edilen vitrifiye çamurların reogramları

ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

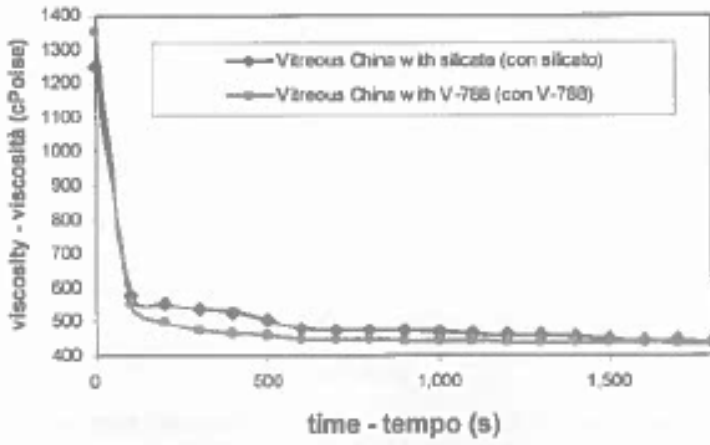
time (s) = süre (saniye)

vitreous china with silicate = silikalı vitrifiye çamuru

vitreous china with V-788 = V-788'li vitrifiye çamuru

Poliakrilatın deflokülasyon etkisi, gerek etki süresi gerekse nihai viskozite değeri açısından net bir şekilde daha etkilidir.

Şekil 4.28, 90 dakika boyunca dinlenmeye bırakılan (çalkalanmamış) ve daha sonra yine 50 rpm rotor hızına sahip viskozimetrenin ölçüm hücreğine konmuş aynı çamurlardan elde edilen reogramları göstermektedir.



Şekil 4.28 - Dinlenmeye bırakılan (90 dakika süresince karıştırılmadan) ve daha sonra yine 50 rpm rotor hızına sahip viskozimetrenin ölçüm hücreğine konmuş vitrifiye çamur reogramları

ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (santi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

vitreous china with silicate = silikatlı vitrifiye çamuru

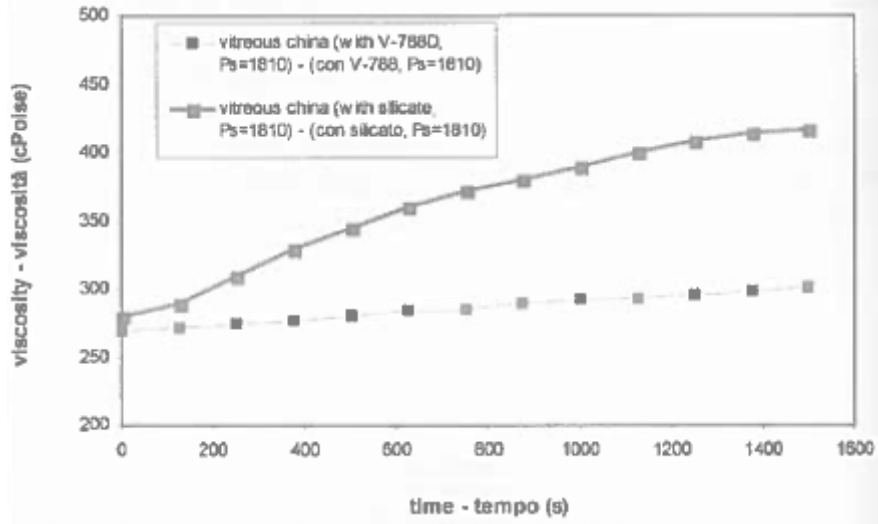
vitreous china with V-788 = V-788'li vitrifiye çamuru

Çalkalanmaksızın, 90 dakika süresince bekleme süresi büyük oranda kalınlık alma süresine eşdeğerdir. Dolayısıyla, bu simülasyon kalınlık alma sırasında alçı kalıp içerisinde hareketsiz bir şekilde kalan ve bunu takip eden boşaltma aşaması sırasında hızlı bir şekilde tahliye edilen çamurun reolojik özelliklerini

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

etkili bir şekilde yineler. çamurların ilk etapta son derece yüksek bir viskoziteye sahipken (tikotropik davranışları nedeniyle), çalkalanmaya maruz kalır kalmaz viskozitelerinin hızlı bir şekilde düştüğü şekilden görülebilir. Viskozitedeki bu azalma hızlı bir düşer azalır ve en sonunda tamamıyla ortadan kalkar. Burada da, daha düşük ölçekte de olsa, poliakrilatın daha hızlı ve daha yoğun bir etkisi vardır. Ayrıca, çamurun özgül ağırlığına (ve dolayısıyla katı madde içeriklerine) göre çamurların viskozitelerindeki değişimi tespit etmeye yönelik olarak da iki farklı deflokülant ile laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir: 4.29, 4.30 ve 4.31 numaralı şekiller, sırasıyla 1,810; 1,820 ve 1,840 kg/l özgül ağırlıklarına sahip çamurların reolojik eğrilerini göstermektedir.

Ölçüm yapma koşulları, 12 rpm'lik bir rotor hızı ve 1500 saniyelik ölçüm süresidir.



Şekil 4.29 – Sodyum silikat ve bir poliakrilat karışımı ile defloküle edilen, 1,810 kg/l özgül ağırlığa sahip vitrifiye çamura ilişkin reogramlar

ŞEKİL ÜZERİNDE:

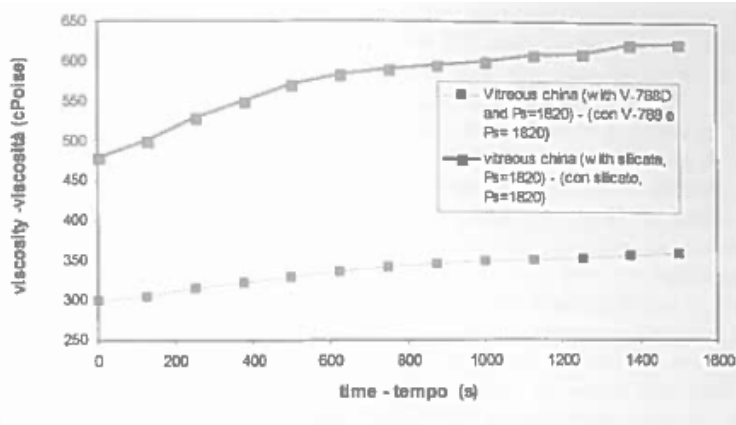
viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

vitreous china (with V-788, Ps=1810) = Vitrifiye çamuru (V-788 içeren, özgül ağırlık = 1810)

vitreous china (with silicate, Ps=1810) = Vitrifiye çamuru (silikat içeren, özgül ağırlık = 1810)

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM



Şekil 4.30 - Sodyum silikat ve bir poliakrilat karışımı ile defloküle edilen, 1,820 kg/l özgül ağırlığa sahip vitrifiye çamuruna ilişkin reogramlar

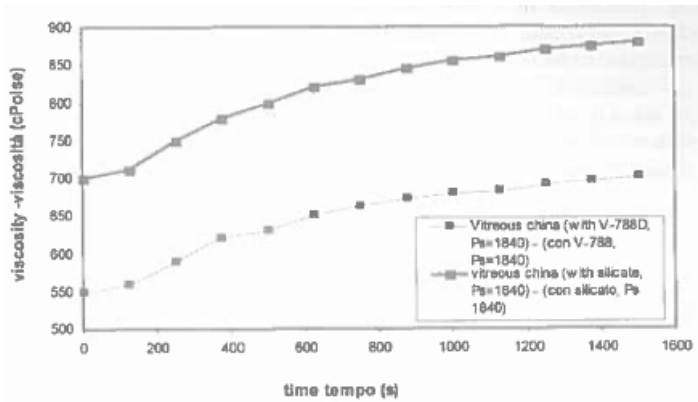
ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (santi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

vitreous china (with V-788, Ps=1820) = Vitrifiye çamuru (V-788 içeren, özgül ağırlık = 1820)

vitreous china (with silicate, Ps=1820) = Vitrifiye çamuru (silikat içeren, özgül ağırlık = 1820)



Şekil 4.31 - Sodyum silikat ve bir poliakrilat karışımı ile defloküle edilen, 1,840 kg/l özgül ağırlığa sahip vitrifiye çamuruna ilişkin reogramlar

ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

vitreous china (with V-788, Ps=1840) = Vitrikiye çamuru (V-788 içeren, özgül ağırlık = 1840)

vitreous china (with silicate, Ps=1840) = Vitrikiye çamuru (silikat içeren, özgül ağırlık = 1840)

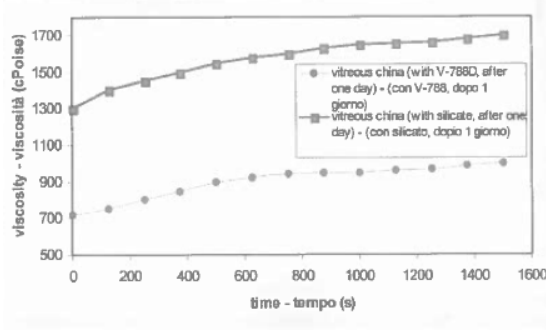
Yukarıdaki üç şekil analiz edildiğinde, şu tespitlerde bulunabiliriz:

- A. Özgül ağırlığın etkisi: çamurların katı madde içeriği arttıkça, viskozitelerinin de arttığı aşikardır.
- B. İki çamurun viskozitelerindeki farklı boyuttaki artış: sodyum silikat ile defloküle edilen çamurun viskozitesi, özgül ağırlığındaki her 20 g/l'lik artış için yaklaşık 200 centi-Poise artış göstermektedir; poliakrilat söz konusu olduğunda ise özgül ağırlıktaki her 20 g/l'lik artış için viskozitedeki artış, en azından belli bir eşiğe kadar, 50 centi-Poise bölgesindedir. 1840 g/l'den itibaren yukarı doğru çıkıldıkça, poliakrilatta dahi viskozite değerlerinde önemli bir artış gözlemlenir.

Fakat vurgulanması gereken en önemli nokta, poliakrilatların kullanılmasının yaklaşık 150-200 centi-Poise seviyesinde daha düşük viskozite değerinin (her özgül ağırlık seviyesi için) korunmasına imkan sağlamasıdır. Ayrıca, poliakrilatlardan oluşan bir karışım ile defloküle edilen çamurların eğrilerinin, silikat ile defloküle edilen çamurlara kıyasla, nasıl gözle görülür bir biçimde zaman içerisinde kararlı kaldığını kolaylıkla görebilirsiniz.

Son olarak, çamurların olgunlaştırılmaları ya da yaşlandırılmaları ile ilgili reolojik değişimler analiz edilmiştir. 4.32, 4.33, 4.34 ve 4.35 numaralı şekiller, bu amaçla sırasıyla çamurların hazırlanmasından sonra 1., 6., 9. ve 12. günlerde silikat ve poliakrilat karışımı ile defloküle edilen çamurların viskozite eğrilerini göstermektedir.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM



Şekil 4.32 – Sodyum silikat ve poliakrilat karışımı ile defloküle edilen vitrifiye çamurunun 1. yaşlandırma gününde elde edilen reogramlar

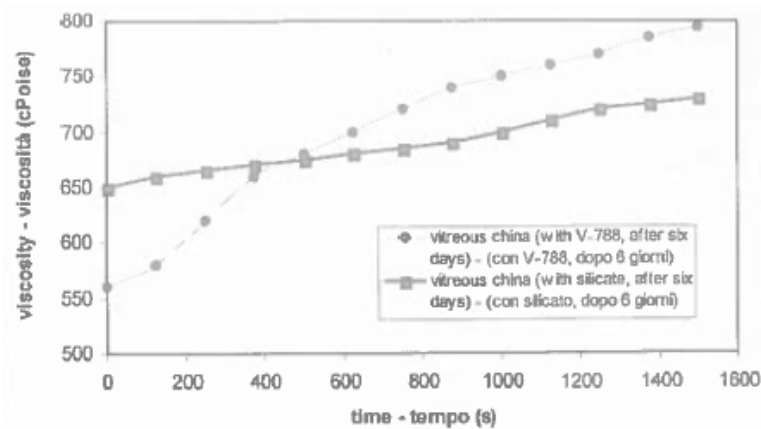
ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

vitreous china (with V-788D, after one day) = Vitrifiye çamuru(V-788D içeren, bir gün sonra)

vitreous china (with silicate, after one day) = Vitrifiye çamuru(silikat içeren, bir gün sonra)



Şekil 4.33 – Sodyum silikat ve poliakrilat karışımı ile defloküle edilen vitrifiye çamurunun 6. yaşlandırma gününde elde edilen reogramlar

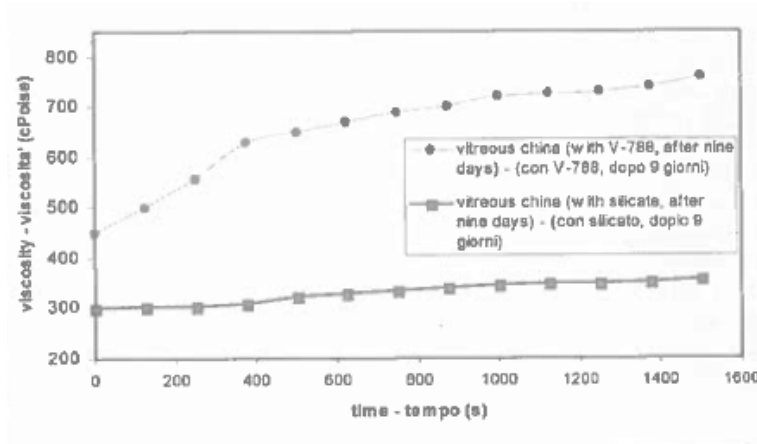
ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

vitreous china (with V-788D, after six days) = Vitrikiye çamuru (V-788D içeren, altı gün sonra)

vitreous china (with silicate, after six days) = Vitrikiye çamuru (silikat içeren, altı gün sonra)



Şekil 4.34 – Sodyum silikat ve poliakrilat karışımı ile defloküle edilen vitrikiye çamurunun 9. yaşlandırma gününde elde edilen reogramlar

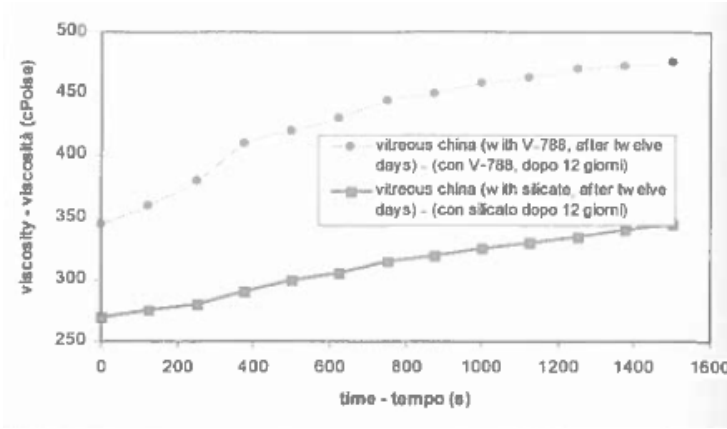
ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

vitreous china (with V-788D, after nine days) = Vitrikiye çamuru (V-788D içeren, dokuz gün sonra)

vitreous china (with silicate, after nine days) = Vitrikiye çamuru (silikat içeren, dokuz gün sonra)



Şekil 4.35 – Sodyum silikat ve poliakrilat karışımı ile defloküle edilen vitrifiye çamurunun 12. yaşlandırma gününde elde edilen reogramlar

ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

vitreous china (with V-788D, after twelve days) = Vitrifiye çamuru (V-788D içeren, on iki gün sonra)

vitreous china (with silicate, after twelve days) = Vitrifiye çamuru (silikat içeren, on iki gün sonra)

Bu davranışı analiz etmek son derece önemlidir çünkü bu optimum olgunlaştırma süresinin tespit edilmesi açısından önemlidir. İyi bir akışkanlık, doğru tiksotropi, uygun işleme süreleri (kalınlık alma ve katılaşma süreleri) ve döküm parçasının optimum kararlılığı arasında en iyi şekilde uygunluğu sağlamak ancak olgunlaştırma doğru olduğunda mümkündür. Şekilde gösterilen grafikler incelendiğinde, şu sonuçları çıkarabiliriz:

- 1. Gün: Çözüldükten hemen sonra, özellikle de sodyum silikat kullanıldığında, çamur aşırı yüksek viskoziteye sahiptir.
- 6. Gün: Viskozite değerleri kabul edilebilir seviyelere gelmeye başlar.
- 9. Gün: Silikat ile sıvılaştırılan çamurun viskozite değerleri aşırı düşüş gösterirken poliakrilat kullanılan çamur iyi değerleri korur.

- 12. Gün: Silikatın bulunduğu çamur 300 centi-Poise'lık bir değere sahiptir ve bu değer iyi döküm özellikleri için fazla düşüktür; buna rağmen poliakrilatlardan oluşan karışım ile defloküle edilen çamur düşük olmasına rağmen halen kabul edilebilir seviyelerde olan viskozite değerlerini korur.

Özetlersek, poliakrilat ile defloküle edilen çamur kesinlikle daha kararlı ve yaşlandırmaya karşı daha dirençliyken, silikat ile defloküle edilen çamur daha 9. günden itibaren kullanılamaz durumdadır.

Tabii ki, yukarıdaki değerlerin laboratuvarında tipik endüstriyel koşullardan kesinlikle farklı çalkalama ve sıcaklıklarla elde edilen belirli yaşlandırma koşullarına işaret ettiklerini ve dolayısıyla elde edilen mutlak değerler olarak değil, ancak yaşlandırma koşullarında deflokülantların nasıl değerlendirildiklerine dair bir gösterge olarak kabul edilebileceklerini belirtmek gerekir.

4.3.2. Fire clay'e ilişkin reolojik eğriler

Bu bölümde, aşağıda Tablo 15'te verilen bileşime sahip fine fire clay çamurlarına özgü reolojik eğrilere değinilmektedir.

Tablo 15 –Fire clay çamuru formülasyonu

<i>Ham madde</i>	<i>Yüzde (%)</i>
<i>Kil</i>	22
<i>Kaolen</i>	20
<i>Kuvars</i>	20
<i>Şamot</i>	38

Kullanılan deflokülanlar şunlardır:

- Sodyum karbonat %0,07
- Baryum karbonat %0,05

ve %0,15 sodyum silikat ile %0,05 oranında poliakrilatlardan oluşan bir karışım (V-788D).

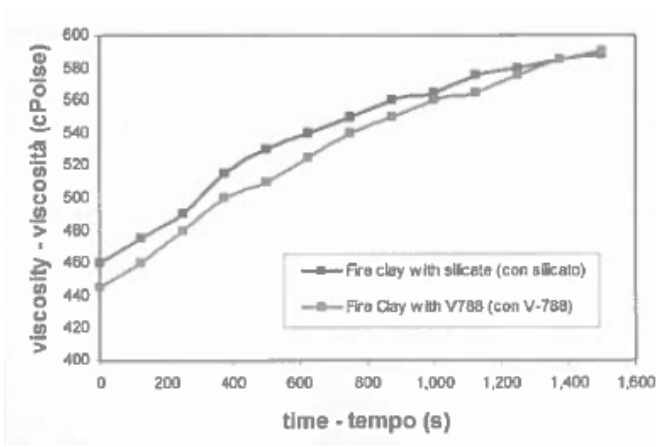
Çamurun özgül ağırlığı: 1,930 kg/l.

Yeniden üretilen bütün eğriler, vitrifiye durumunda da belirtildiği gibi, laboratuvar koşullarında, rotasyon viskozimetre kullanılarak elde edilmiştir; bu durumda, her birinin kendine özgü etkisini daha iyi vurgulamak için, iki farklı deflokülan (sodyum silikat ve poliakrilatlardan oluşan bir karışım) kullandık.

Şekil 4.36'daki grafikler, sürenin bir fonksiyonu olarak 50 rpm/dk'lık bir rotor ve viskozimetre hareketine maruz bırakılan bir çamurun viskozite değerlerini göstermektedirler.

Vitrifiye çamurun da daha önce görüldüğü üzere fire clay için de poliakrilat karışımı, sodyum silikat içeren çamura kıyasla daha düşük bir viskozite değeri temin eder.

Eğer fazla harcı tahliye ederek kalınlık oluşumu aşamasını (çamur 90 dakika boyunca dinlendirilir) simüle edersek (bkz. Şekil 4.37), sodyum silikat yerine poliakrilatların kullanıldığı bir çamurun kullanılmasının çok daha az viskoz bir karışım elde edilmesini sağladığını ve bunun bir kez daha harekete maruz bırakıldığında düzeltilmiş viskozite değerlerini kazanmasının daha hızlı olduğunu kolaylıkla görebiliriz. Özellikle fine fire clay gibi viskoz çamurlar söz konusu olduğunda, döküm parçalarının düzgün şekilde boşaltılmasını sağlamak açısından bu durum önemlidir. Özgül ağırlıkla ilgili reolojik eğriler konuyu kısa tutmak açısından buraya dahil edilmemiştir zira bunlar **vitrifiye çamurunda** görülen duruma benzer bir durumu teyit etmektedirler. Bunun yerine, çamurun yaşlandırılması ile ilgili viskozite/süreye ilişkin trend eğrilerini incelemek daha uygun olacaktır. Tabii ki, çalışma koşulları **vitrifiye çamuru** için kullanılanlar ile aynıdır. 4.38, 4.39, 4.40 ve 4.41 numaralı şekiller sırasıyla çamurun hazırlanmasından sonra 1., 6., 9. ve 12. günlere ilişkin eğrileri göstermektedir.



Şekil 4.36 – Sodyum silikat ve poliakrilat karışımı ile defloküle edilen fire clay çamurunun reogramları

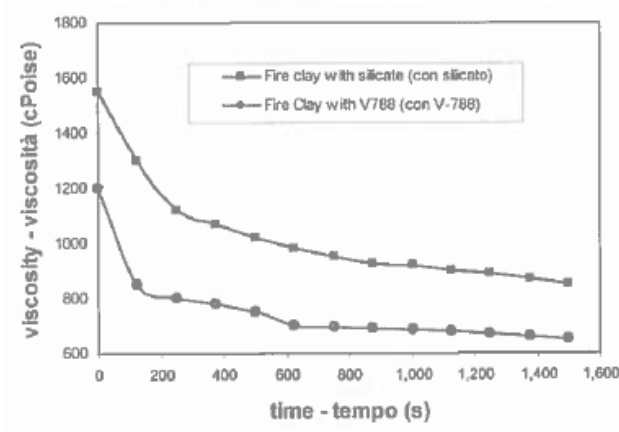
ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

Fire clay with silicate = Silikatlı fire clay

Fire clay with V788 = V788'li fire clay



Şekil 4.37 – Bekletilen (90 dakika süresince karıştırmadan) ve daha sonra 50 rpm'ye eşit rotor hızına sahip viskozimetrenin ölçüm hücreğine yerleştirilen fire clay çamurunun reogramları

ŞEKİL ÜZERİNDE:

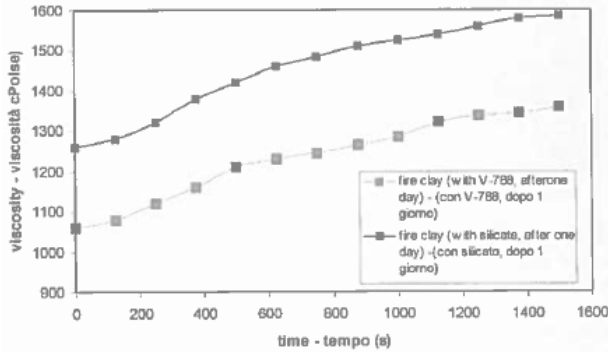
SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNDE DÖKÜM

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

Fire clay with silicate = Silikatlı fire clay

Fire clay with V788 = V788'li fire clay



Şekil 4.38 - Sodyum silikat ve poliakrilat karışımı ile defloküle edilen fire clay çamurundan 1. yaşlandırma gününde elde edilen reogramlar

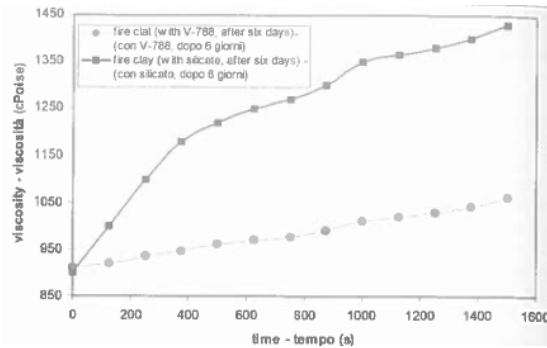
ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

Fire clay (with V788, after one day) = Fire clay (V788 içeren, bir gün sonra)

Fire clay (with silicate, after one day) = Fire clay (Silikat içeren, bir gün sonra)



Şekil 4.39 - Sodyum silikat ve poliakrilat karışımı ile defloküle edilen fire clay çamurundan 6. yaşlandırma gününde elde edilen reogramlar

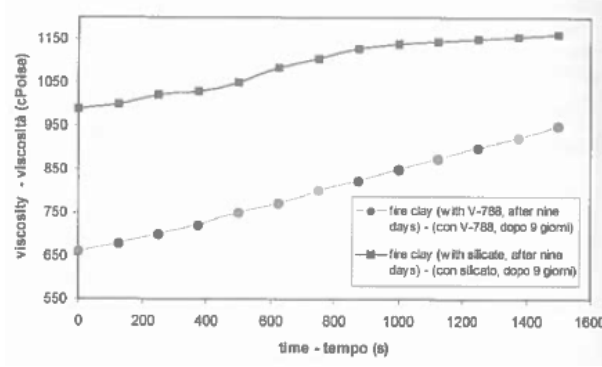
ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

Fire clay (with V788, after six days) = Fire clay (V788 içeren, altı gün sonra)

Fire clay (with silicate, after six days) = Fire clay (Silikat içeren, altı gün sonra)



Şekil 4.40 - Sodyum silikat ve poliakrilat karışımı ile defloküle edilen fire clay çamurundan 9. yaşlandırma gününde elde edilen reogramlar

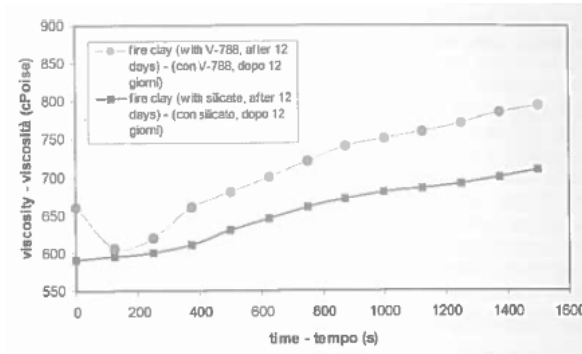
ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

Fire clay (with V788, after nine days) = Fire clay (V788 içeren, dokuz gün sonra)

Fire clay (with silicate, after nine days) = Fire clay (Silikat içeren, dokuz gün sonra)



Şekil 4.41 - Sodyum silikat ve poliakrilat karışımı ile defloküle edilen fire clay çamurundan 12. yaşlandırma gününde elde edilen reogramlar

ŞEKİL ÜZERİNDE:

viscosity (cPoise) = viskozite (centi-Poise)

time (s) = süre (saniye)

Fire clay (with V788, after twelve days) = Fire clay (V788 içeren, on iki gün sonra)

Fire clay (with silicate, after twelve days) = Fire clay (Silikat içeren, on iki gün sonra)

Şekil 4.38'de (1. gün) açıkça görülmektedir ki, viskozite değerleri fazla yüksektir çünkü çamur henüz olgun değildir ve dolayısıyla deflokülanlar henüz etkilerini tam olarak göstermemektedir; bu durum hem silikat hem de poliakrilat karışımı ile defloküle edilen çamurlar için geçerli olmasına rağmen poliakrilat karışımı ile defloküle edilen çamur yaklaşık %15 seviyesindeki en düşük viskozite değerlerini gösterir ve bu deflokülanın daha etkili olduğunu doğrular.

6. yaşlandırma gününde, poliakrilatın neredeyse kararlı olmuş bir çamura yol açarken silikatın optimum reolojik değerlerden hala uzak olduğu bilinmektedir.

Yaşlandırmanın 9. gününde, poliakrilatlı karışım mükemmel şekilde olgunlaşmıştır; silikatla akışkanlaştırılan çamur da kararlı hale gelmiştir fakat %20 seviyesinde daha yüksek bir viskozite değerine sahiptir.

Silikat ile defloküle edilen çamur, poliakrilatlarla defloküle edilen çamura benzer şekilde, 12. yaşlandırma gününde iyi bir reolojik davranışa erişir.

Dolayısıyla, fire clay çamuru için de **vitrifiye çamurlarında** varılan sonuçlara benzer sonuçlar çıkarılabilir:

- Poliakrilat karışımı ile defloküle edilen çamur, daha hızlı bir şekilde olgunluğa erişir; daha da önemlisi bu olgunluk zaman içerisinde korunur ve dolayısıyla, silikatla defloküle edilen çamura kıyasla yaşlanma olgusuna daha az maruz kalır.

Daha önce de belirtildiği gibi, bu bölümde aktarılan viskozite değerleri ve yaşlandırma süreleri, çeşitli ürünlerle defloküle edilen çamurların farklı davranışları konusunda ancak gösterge niteliğindedir; bir endüstriyel uygulama ile kıyaslandığında tamamıyla farklı olan çalışma koşullarına (çözünme, çalkalanma, sıcaklık, vs.) ilişkin mutlak değerler olamazlar.

4.4. Çamur dökümünü etkileyen diğer fiziksel parametreler

Reolojik davranışlara ilişkin yapılan ölçümlere ek olarak, çamur dökümünü etkileyen fiziksel parametrelerdeki diğer değişimleri kontrol etmek için ilave ölçümler yapılmıştır. Aşağıdakiler bu konulardaki en ilginç verilerdir.

4.4.1. pH

Tablo 16 – Sırasıyla sodyum silikat ve poliakrilatlardan oluşan bir karışımla defloküle edilen iki vitrifiye çamuruna ilişkin pH ölçümleri

Çamur	Deflokülant	Ölçüm günü	pH
Vitrifiye	Sodyum silikat	1°	7.73
		2°	8.02
	V-788D	1°	7.52
		2°	7.94

4.4.2. Yüzey gerilimi

Bir çamurun poliakrilatlardan oluşan bir karışım ile defloküle edilmesinin, sodyum silikat ile akışkanlaştırılan bir çamurunkine kıyasla %27 – 30 oranında daha düşük yüzey gerilimine yol açtığı doğrulanmıştır. Bu durum, çamurun davranışına ilişkin çok önemli sonuçlar çıkarılmasını sağlar; bu sonuçların başlıcaları aşağıda sıralanmıştır:

- Daha düşük bir yüzey gerilimi, bütün diğer çalışma koşulları aynı olduğu takdirde, çözündürme, pompalama / transfer, çalkalama sırasında içerisinde ve dolayısıyla dökümler içerisinde oluşan hava kabarcıklarının tahliye edilmesini kolaylaştıracaktır ve daha az hava kabarcığı olacaktır;
- Daha düşük bir yüzey gerilimi, massenin daha düşük atık nem içeriğine ve daha düşük küçülme oranına sahip olmasını sağlayacaktır;
- Kalıbın yüzeyinde oluşan başlangıçtaki döküm filminde kıvrımlı yerlerde

gerilmeleri düşürmesi ile kalınlıkta serbest yüzeylerde buruşukluk oluşması önlenmektedir.

4.4.3. Laboratuvar döküm testleri

Deflokülan olarak silikat ve bir poliakrilat karışımının kullanıldığı iki çamurla döküm testleri yapılmıştır ve bunların sonuçları Tablo 17'de özetlenmiştir.

Tablo 17 – Deflokülan olarak sodyum silikat ve bir poliakrilat karışımının kullanıldığı iki çamura ilişkin döküm testi sonuçları

	Silikatlı çamur	V-788D'li çamur
Kalıptan çıkarılan parçadaki nem %	17.01	15.74
Kuru küçülme (%)	2.95	2.23
Piştirilmiş küçülme (%)	7.32	6.99
Kuru eğilme mukavemeti (Kg/cm²)	25.44	26.75

Rakamlar daha düşük yüzey geriliminin çamurun fiziksel özellikleri (küçülme ve döküm sonrası nem içeriği) üzerindeki etkisini doğrulamaktadır. Piştirilmemiş haldeki mekanik mukavemet değerleri ile ilgili olarak, kaydedilen ufak değişimler sadece bu tür ölçüme özgü hassasiyet eksikliğinden kaynaklanıyor olabilir; numunedeki ufak harici veya dahili kusurlar elde edilen mukavemet değerinin değişmesi için yeterlidir.

Ne var ki, silikat yerine poliakrilatların kullanılmasının piştirilmemiş halde ortaya çıkan mekanik eğilme mukavemetinde bir azalmaya yol açmadığı sonucuna varabiliriz.

4.4.4. V-788D'nin endüstriyel uygulaması

Laboratuvarda ulaşılan pozitif sonuçları müteakip, poliakrilatlardan oluşan V-788D karışımı endüstriyel seviyede uygulanmıştır; özellikle, günde 20 ton fire clay ve 12 ton vitrifiye üretimine sahip bir tesiste, silikatın yerine aşamalı olarak V-788D kullanılmış ve en sonunda silikat tamamıyla tasfiye edilmiştir.

18 ayı aşan üretim süresince aşağıdaki parametreler gözlemlenmiştir:

- Çamurun reolojik davranışı;
- Pişirme öncesinde kırılan parçaların yüzdesi;
- Pişirme sonrasında kırılan parçaların yüzdesi;
- Bitmiş ürünün içerisindeki hava kabarcıklarının yüzdesi;
- Toplam bitmiş ürünler içerisinde 1. kalite ürünlerin yüzdesi.

Ulaşılan sonuçlar son derece umut vericidir:

- ✓ Reolojik davranış: çamur zaman içerisinde daha fazla kararlı ve daha düşük tiksotropi gösterir ve bunun sonucunda fazla çamurun tahliyesi daha iyi olur; döküm parçasının iç yüzeyleri, damla ya da çamur birikmesi olmaksızın son derece temizdir. Bu, serbest kalınlık alanlarının zayıf tahliyesi nedeniyle ortaya çıkan kırılmalarda önemli ölçüde azalma sağlar (hem pişirmeden önce hem de sonra). Ayrıca, pişirilen parçada yüzey bozukluğu/deformasyona yol açan parçaların içerisindeki yapışma parçalarında önemli ölçüde azalma olmuştur. Son olarak, uzun süreli üretim kesintileri sırasında, çamur yaşlanma olayının neredeyse tamamıyla ortadan kalktığı görülmüştür (Hem vitrifiye hem de fine fire clay çamurlarında).
- ✓ Pişirme öncesinde kırılan parçaların yüzdesi: daha iyileştirilmiş ve daha tutarlı reolojik davranışların doğal bir sonucu olarak, kırılan parçaların yüzdesi ortalama %6 ila %4 seviyesinde belirgin bir şekilde düşmüştür. Bu sonuçlar, büyük ölçüde döküm parçalarının içinde daha düşük seviyede atık nem içeriği olması ve dolayısıyla kuruma sırasında daha düşük oranda küçülme olması sayesinde elde edilmiştir.
- ✓ Pişirme sonrasında kırılan parçaların yüzdesi: burada da, 18 aylık bir dönem süresince, kırılan parçalarda kayda değer bir azalma gözlemlenmiştir; kırılan parçaların oranı %5,2 seviyesinden %3,7'ye düşmüştür. Doğal olarak, bu kırılma yüzdeleri (hem pişirme öncesinde hem de sonrasında) aynı çalışma koşulları altında ve her şeyden öte aynı

ürün karmasında değerlendirilmiştir.

- ✓ Bitmiş ürünün içerisindeki hava kabarcıklarının yüzdesi: V-788D'nin kullanılmaya başlanmasından önce, hava kabarcıkları, denetimden geçen toplam parçaların %10-11'ine tekabül edecek şekilde, kusurlu parçaların toplam sayısı içerisinde %40-45 seviyesindedir. V-788D'nin kullanılması ve bunun sonucunda çamurun yüzey geriliminin yaklaşık %30 oranında düşmesi, çamurdan hava kabarcıklarının daha kolay tahliye edilmesini mümkün kılmıştır; ve böylelikle imalat döngüsünün diğer bütün çalışma koşulları aynı tutularak, bitmiş ürünlerdeki hava kabarcıklarında ortalama %41 azalma sağlanmıştır. Bu konudaki iyileşme, fine fire clay karışımı için daha belirgindir (vitrifiye'ya kıyasla yaklaşık 2 -3 yüzde puan daha yüksek).
- ✓ Birinci kalite yüzdesi: hava kabarcıklarındaki azalmanın bir sonucu olarak, fine fire clay için birinci kalite ürünlerin yüzdesinde yaklaşık %4-4,5; vitrifiye içinse %3,5 civarında artış gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 5

5. DÖKÜM KUSURLARI

5.1. Giriş

Döküm parçalarında bulunan kusurlar çok çeşitlidir ve genellikle departmandaki operasyonel koşullardan da kaynaklanırlar: örneğin, yarı mamul sağlık gereçleri parçalarındaki çok sayıda çatlak; havanın sıcaklık ve nem özelliklerinden ve havanın parçalar üzerindeki hızından kaynaklanır. Dolayısıyla, döküm kusurlarının ana sebepleri arasında şunlar sayılabilir:

- Çamurun özellikleri: reolojik özellikler, plastiklik, yarı mamül haldeyken küçülme, yarı mamül haldeyken mekanik mukavemet, yüzey gerilimi.
- Modelleme: çıkış açıları, kavis yarıçapları, masif dökümün yürütülmesi, çamurun boşaltma eğimleri, boş dökümle masif döküm arasındaki bağlantı, ters deformasyonlar, çamur besleme deliklerinin konumu.
- Çamur besleme devreleri: uygun boyut, besleme sistemi, boru hatlarının geliştirilmesi, çamur depolama tankları.
- Yarı mamül seramiğin kuruma koşulları: sıcaklık, nem ve kurutma havasının hızı.
- Kalıplar: hem alçı hem de reçine kalıpların içerisindeki gözeneklilik

özellikleri (ve gözeneklerin dağılımı), kalıp bakımı ve optimum döküm koşullarının yenilenmesi.

- Döküm makinaları: döküm yöntemleri, parçaların kalıptan çıkarılma sırası.
- Dökümü gerçekleştiren kişi: farklı döküm aşamalarının uygulanması.

Dolayısıyla aşağıdaki bölümlerde, döküm parçalarında yarı mamülün kalıptan çıkarılması ve kurutulmasından sonra bulunan ana kusurlar incelenecektir (kusurların oldukça büyük bir kısmı, ancak yarı mamülün kurutulmasından sonra belirgin hale gelir).

Tabii ki bu analiz çok kapsamlı olmayabilir fakat en yaygın olarak karşılaşılan kusurları kapsayacaktır. Özel sorunlarla ilgili kusurlar değerlendirmeye alınmamıştır ve daha önceki bölümlerde açıklanan kusurlar da buraya dahil edilmemiştir.

5.2. Döküm çıkıntıları

Aynı zamanda döküm yapışma parçası ya da döküm izi adı da verilen bu kusur, boş döküm alanlarında döküm yüzeyinin geri kalanına kıyasla kabartma şeklinde yapışmış bir parça olarak görülür. Çıkıntı parçaları, hem dış yüzeyde hem de iç yüzeyde görülebilir ve genellikle döküm parçasının belirli alanlarında yoğunlaşır. Bu kusur bitmiş ürünün kalitesini önemli ölçüde etkiler: aslında, çıkıntı parçaları pişirme sonrasında daha belirgin hale gelir. Bu sorunun tipik bir örneği, ağız kısmı yukarıda kalacak şekilde dökümü yapılan klozetlerde görülür: bu kusur, ağız kısmının ortasında veya ön kısmı civarında belirgindir.

Yüzey gerilimi nedeniyle gerilim zarının kırılmasına yol açan çamur akışına bağlıdır [8]. Çamur akışı koşulları (örneğin, çamur giriş konumu) değiştirilerek bu kırılmanın meydana geldiği konum değiştirilebilir. Örneğin, yukarıda bahsedilen klozetler söz konusu olduğunda, bu kusur döküm sırasında kalıbın konumu 180° döndürülerek ortadan kaldırılabilir (ağız kısmı altta ve masif döküm kaide yukarıda). Ham haldeyken bu çıkıntı parçaları çamurun geri kalanından daha koyu renkli gözüktür çünkü bu kısımda daha yüksek konsantrasyonda hümit madde bulunur ve hümit maddeler, kuşatıcı zara kıyasla yüzey gerilimini yükselterek yapışma parçalarını kabartırlar ve çıkıntı oluşur. Bu kusur aynı zamanda çamurun yüzey gerilimi değiştirilerek de (yüzey gerilimi düşürülerek fakat daha sonra göreceğimiz üzere bu da diğer sorunlara yol açabilir), kalıpların doldurulması hızlandırılarak ve bünye çamuru içerisindeki hümit madde içeriği düşürülerek azaltılabilir.

5.3. Döküm lekeleri

Bu kusur pişirme sonrasında sırn altından dahi net bir şekilde görülebilen, parçanın yüzeyindeki gerçek koyu bir leke olarak kendini gösterir. Leke dairesel bir halka şekline sahiptir ve etrafında daha ince ve daha açık renkli bir halka daha vardır. Döküm lekeleri çamur yukarıdan döküldüğü zaman meydana gelir (ve

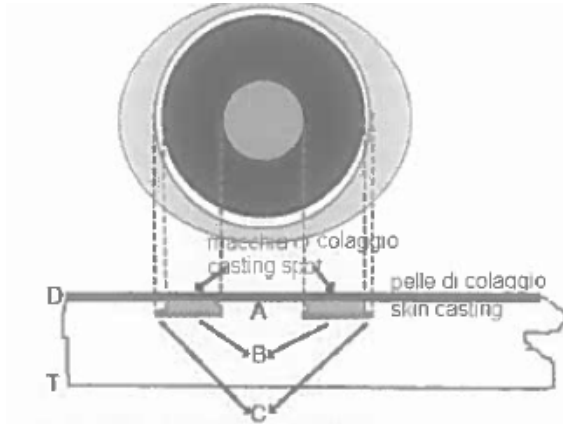
aşağıdaki bir kaynaktan gelmez).

Bu kusura bir açıklama getirmek için, yüzey geriliminin tetiklediği olaya tâbi olarak çamurun davranışını değerlendirmek gerekir. Aslında, suyun (çamurun çözündürme maddesi) yüzey gerilimi hava ile temas halindeki yüzey üzerinde bir çeşit zar oluşturur ve burada çamuru oluşturan en ince partiküller yoğunlaşır.

Buna bağlı olarak [6], bir çamurun serbest yüzeyi, yüzeyin kendisine paralel yönlene kil ve hümit partiküller (en ince partiküller) açısından özellikle zengindir. Dolayısıyla, açık döküm sırasında, döküm zarı adı verilen, sertleşen çamurun kalınlığı içerisindeki kıyasla daha yüksek geçirimsizliğe sahip ince bir yüzey tabakasının oluştuğunu görürüz. Çamurun alçıyla temas halindeki kısmı, daha da yoğun ve geçirimsiz bir döküm zarına sahip olacaktır zira, yönlene ince kil partiküllerinin yanı sıra alçı kalıbın emmesiyle tercihli olarak çekilen koloidal partiküller olacaktır. Jouenne [43] döküm lekelerinin gerilim zarının kırılması nedeniyle meydana geldiklerini deneysel olarak göstermiştir. Kalıpla temasa geçmeden önce, çamur püskürtmesi gerilim zarıyla kaplanmaktadır.

Alçının emici yüzeyiyle çarpışınca bu zar hem alçının emmesiyle tutulur hem de püskürtme memesinin kinetik enerjisi tarafından üretilen iç basınçla gerilir.

Kinetik enerji ne kadar büyükse (dolayısıyla püskürtme memesinin damlama noktası o kadar yüksektir), zarın kırılma noktasına ulaşınca kadar maruz kaldığı gerilme de o kadar büyük olur. Kırılma yüzeyi genellikle çamur püskürtme memesinin bitiş yüzeyi civarında bir alanla kesişir. Burada meydana gelen şeyler, Şekil 5.1'de gösterilmiştir. A ile işaretlenmiş olan alan, püskürtme memesinin çarpma alanıdır.



Şekil 5.1 – Döküm lekelerinin temsili görünüşü, yüzey kesitinin görünüşü (kaynak: Jouenne, değiştirilmiş). A= çamur akışının çarpışma alanı; B = döküm lekeleri; C = silis kumu açısından zengin halka; A ve D = döküm zarı; T = sertleşmiş çamur

Burada, D harfiyle gösterilen alanlarda olduğu gibi (Şekil 5.1) (döküm lekelerinin dışındaki alan), alçının çamur üzerindeki emme etkisi koloidal partiküllerden oluşan ince tabaka tarafından hafifletilmektedir. Normal bir döküm zarı ilk olarak bu alanlarda ve daha sonra sertleşen çamurun geri kalanı üzerinde meydana gelir. Öte yandan Şekil 5.1'de B ile işaretlenen alanlarda (gerçek döküm lekesi), burası gerilim zarının kırılma alanı olduğu için, döküm zarının etkisi yoktur. Dolayısıyla alçının emme gücü doğrudan çamurun iç kısmı üzerinde şiddetli bir şekilde işler (döküm zarı tarafından oluşturulan bir filtre yoktur). Her zamanki gibi, tercihi olarak absorbe edilen partiküller, bağlı su küresiyle çevrelenmiş, daha ince olan kil partikülleridir. Kil partikülleri sertleşir (birbirlerine göre ve kalıbın yüzeyine göre paralel bir şekilde düzenlenmiş) ve bu sertleşme kalıbın kuvvetli emmesi nedeniyle normal döküm zarından daha kalın ve yoğundur. Ayrıca, bu katmanın süreci o kadar hızlıdır ki silika kumu veya kuvars partiküllerinin ayrışmalarına yol açar (döküm lekesinin kenarları). Buna tekabül eden katmanın aşırı yoğunluğu ve koloidal (ve organik) madde açısından zenginliği yüzeyin bu kısmına ham haldeyken yüksek seviyede bir geçirimsizlik ile yüksek seviyede camsı olma eğilimi verir ve pişirilmesi sonrasında bu kısımda, sıranın genellikle yapışmakta zorlandığı, çamurun geri kalanından daha koyu renkli bir leke oluşur. Bu kusur püskürtme memesinin döküm yüksekliği, alçının gözenekliliği, çamurun yoğunluğu ve kilde organik madde içeriği ile artar.

Fakat döküm lekesi, her şeyden öte, çamurun çok düşük yüzey gerilimi nedeniyle meydana gelir. Aslında, aynı çamur söz konusu olduğunda, döküm lekesi kusurunu azaltmak ya da ortadan kaldırmak için, yoğunluğu artırarak ya da bir katkı maddesi katarak (örneğin % 1 oranında aljinat) yüzey tansiyonunu arttırmak yeterlidir. Kusurun ortadan kalktığı yüzey gerilimi değerinin sınırı, vitrifiye çamuru için 130 dyn/cm'dir (ps 1810 kg/l) [6].

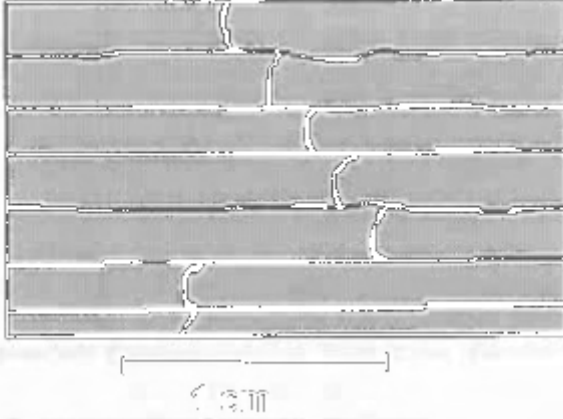
Bu kusuru azaltmak için başvurulabilecek diğer yöntemler şunlardır [8]:

- Daha düşük seviyede gözenekliliğe sahip bir alçı kullanmak ve böylelikle zarı tutan kuvveti azaltmak, kırılmayı önlemek.
- Çamurun yoğunluğunu arttırmak: bu da (daha önce bahsedilen yüzey geriliminin arttırılmasına ilaveten), koloidal partiküllerin daha az hareketliliğe sahip olmalarını sağlar.
- Feldspat yerine kuvars içeriğini yükseltmek (tabii ki, **vitrifiye çamurunun** vitrifikasyonunu tehlikeye artmayacak şekilde, gerekli sınırlar içerisinde): kuvars partikülleri kil partiküllerine daha fazla bağlanır ve bir şekilde kusurun meydana gelmesini azaltır. Feldspattaki azalma kusurun bulunduğu alanı daha az camsı olabilir hale getirir ve dolayısıyla etkisinin azalmasına katkıda bulunur.
- Hidrolizle iyonları serbest bırakan deflokülanların miktarını azaltmak ve böylelikle kusura maruz kalan alanın camsı olma kabiliyetini arttırmak.
- Zarın kırılmasına yol açabilecek çarpışma enerjisini azaltacak şekilde

püskürtme memesini kalıbın yüzeyine teğet şekilde yönlendirmek.

5.4. Döküm halkaları

Bu türdeki bir kusur, Şekil 5.2'de büyütülmüş olarak gösterilmiştir ve bunlar, döküm parçasının üzerinde birbirlerinden birkaç mm uzaklıkta, kabarık paralel halkaların oluşmasıyla meydana gelirler. Bu kusur, tabii ki rötuş aşamasında ortadan kaldırılabılır veya azaltılabilir, fakat bu daha uzun işleme süreleri gerektirir ve dolayısıyla bu kusurdan kaçınılması gerekir.



Şekil 5.2 – Döküm halkası

Çamurun yüzey gerilimine bağlı olan bu kusur, kalıp doldurma işlemi çok yavaş olduğunda meydana gelir. Bu kusurun açıklaması şu şekildedir: kalıbın içerisine bir kaynak olarak yerleştirilen çamuru çevreleyen gerilim zarı, kalıpla temas halindeki alanda hava ile temas halindeki iç alana kıyasla farklı bir davranış sergiler.

Alçının gözenekliliği nedeniyle, bununla temas halinde olan zar kalıbın yüzeyine yapışmaya zorlanır. Bu zarın kendisinin daha fazla direnç göstermesini sağlar. Bunun aksine, havayla temas halinde olan zarın iç kısmı kalıp içerisindeki çamuru arttırma eğiliminde olan basıncın etkisi altında çatlar. Zar çatladığında, çamur yüzeyine yaklaşarak kalıbın içerisinde yükselir ve daha sonra çatlayacak olan başka bir zar daha oluşturur: bu süreç, kalıp doluncaya kadar aynı trendle devam eder. Aslında, damar damar olan her bir halka her seferinde oluşan zarın kenarına tekabül ederken yatay yivler de (dikey yivlerle bağlanmış) çamurun alçıyla temas nedeniyle halihazırda oluşmuş birinci çamur tabakasının içerisinden geçtiği yolu temsil eder. Tabii ki, doldurma işlemi ne kadar uzun sürerse bu kusurun açığa çıkması da o kadar fazla olur ve halkalar da birbirlerinden daha uzak olur. Zaman içerisinde, alçı kalıbın yüzeyinde de aynı paralel çizgiler meydana gelecektir: iki yiv arasındaki boşluk, alçı kristallerinin oluşumuna yol açan kalsiyum sülfatla aşırı doygunlaşmış su ile dolar. Böylelikle söz konusu yivler oluşur ve kalıp üzerindeki aynı paralel yivleri beraberinde getirir. Bu olay, kalıbın kalitesinin bozulmasına katkıda bulunur ve dolayısıyla da ömrünü kısaltır. Bu kusuru ve sonuçlarını

asgariye indirmek için, alçı kalıpları doldurma hızını mümkün olduğunca arttırmak yeterlidir.

5.5. Düzensiz yüzey yivleri

Bu, boş döküm sağlık gereçleri parçalarında görülen tipik bir kusurdur. Bu kısımlar, farklı çamur akışlarının birleştiği alanlardır ve bunun sonucunda da ilgili gerilim zarları üst üste biner. Gerilim zarı üzerinde mevcut bulunan koloidal partiküllerin yoğunlaşması nedeniyle döküm parçasının çeperinde çamurun geri kalanından daha koyu renkli düzensiz izler kalacaktır. Bu alanların kendine özgü bileşimi, gerek kurutma gerekse pişirme sırasında, çamurun davranışını değiştirebilir ve dolayısıyla kritik bir sorun teşkil eder. Bu sorunların üstesinden gelmek için, çamurun akışını optimize ederek bu kusurun etkisini asgariye indirmek amacıyla, kalıp içerisine çamuru beslemek için en iyi noktayı araştırmak gerekir. Kalıp doldurma hızını arttırmanın bu kusurun azaltılması üzerinde olumlu bir etkisi olabilir.

5.6. Düzensiz kordonlar

Bu kusur da sadece boş döküm sağlık gereçleri kısımlarında görülen tipik bir kusurdur ve parçanın iç yüzeyi üzerindeki son derece düzensiz kabarık alanların varlığıyla kendini gösterir. Pişirme sonrasında, bu düzensizlikler parçanın dış yüzeyinde de görülecektir ve çeper kalınlığı ne kadar ince ise o kadar fazla görülürler. Bu düzensizlikler, çoğunlukla aşırı tiksotropik davranışın yol açtığı çamurun düzensiz şekilde tahliyesinden kaynaklanır. Bu sorunun belirgin biçimde azaltılabileceğini gösteren, (bütün diğer koşullar eşitken) deflokülant olarak silikat yerine poliakrilatın kullanıldığı bazı deneyler yapılmıştır. Bu kusuru azaltmanın diğer bir yöntemi de serbest duvarın kalınlığını arttırmaktır. Fakat bu kusur sadece vitrifiye ürünlere özgüdür.

5.7. Çamur durgunluğu

Tabii ki bu sorun sadece boş döküm kısımlara sahip sağlık gereçlerinde görülür. Bu kusur kendisini, düzgün şekilde tahliye olmadığı için sağlık gereci parçasının bazı iç kısımlarında durağan şekilde kalan çamur nedeniyle kalınlık birikintileri olarak gösterir. Kalınlıktaki bu anormal artış (uç örneklerde boş döküm kanalları tamamıyla tıkayan bir kalınlık artışıdır), kurutma ya da pişirme sırasında hemen her zaman çatlakların oluşmasına yol açar. Gerçekte, ancak pişirme sonrasında ortaya çıkan çatlaklar kurutma sonrasında da mevcuttur fakat bunlar gözle görünmeyen alanlardadır ve dolayısıyla gizlenmiştir: örneğin, klozetin sifon suyu giriş deliği bölgesinin hemen üzerindeki kısımda bu tür bir kusur meydana gelebilir. Kırılmanın sebebi, aşırı kalınlığın parçanın diğer kısımlarına kıyasla kuruma yapısında lokal bir değişime sebep olmasıdır. Ayrıca, son derece tiksotropik durağan bir çamurdan oluşan fazla kalınlık yüksek bir nem içeriğine sahiptir ve bu nem içeriği sağlık gerecinin bu bölgesinin kuruma sürecini daha ileriki zamanlarda da değiştirir. Çamurun durgunluğuna aşağıdaki sebeplerin biri

ya da birden fazlası bir arada sebep olabilir:

- Çamurun yanlış bir şekilde defloküle edilmesi ve bunun sonucunda aşırı bir tiksotropi değerinin ortaya çıkması;
- Çamur drenaj yüzeyinin uygun olmayan eğimi: iyi bir drenajın sağlanabilmesi için en az 8°'lik bir eğimin gerektiği yerde tipik mekanik döküm kusuru;
- Çamurun tahliyesi için bir çıkış noktasına sahip olmayan ölü alanların bulunduğu zayıf modelleme.

5.8. Nem ve kararsız döküm

Bu durumda, döküm parçalar yumuşak ve aşırı derecede deformasyona müsaittir ve genellikle kendi ağırlıkları altında çökebilirler.

Bu kusurun pek çok sebebi olabilir:

- Yetersiz sertleşme süresi (en azından mekanize dökümde) ya da çok düşük üfleme hava basıncı.
- Çamurun aşırı tiksotropisi: yüksek bir tiksotropi değerinin her zaman için daha nemli, yumuşak ve daha kararsız bir döküm parçasına tekabül ettiğini daha önceki bölümlerde görmüştük.
- Alçı kalıpların aşırı nemi.
- Kalıbın doğru şekilde hazırlanmaması; bu durumda, döküm parçasının kararsızlığı parçanın yüzeyinin bir kısmıyla sınırlıdır.

Bu kusurun sebeplerine karşı uygulanması gereken önlemler aşıkardır.

5.9. Sert, pek plastik olmayan döküm

Döküm parçası çok sert olduğunda ve işlenmeye müsait olmadığına, bu durum özellikle boş döküm ve çamur döküm alanları arasındaki geçiş bölgelerinde çatlakların oluşmasıyla ilgili önemli sorunlara yol açabilir. Bu tür kırılmalar, sadece çamurun düşük seviyedeki plastikliğine değil aynı zamanda parça daha henüz kalıp içerisindeyken hızlı su kaybetme ve önemli ölçüde küçülmeye başlama eğilimine de bağlanabilir. Masif döküm parçalar doğal olarak, boş döküm kısımlara kıyasla, daha hızlı su kaybedeceklerdir (ve dolayısıyla küçüleceklerdir). Bu, parçanın çatlamasına yol açan iki farklı küçülme yaratır. Ayrıca, çamurun düşük plastiklik seviyesi yarımamül sağlık gereci ile çalışılmasını zorlaştırır ve rötuş işlemi, daha sonraki kurutma ve pişirme aşamalarında belirgin hale gelecek olan mini çatlakların oluşmasına yol açabilir.

Bu kusurun ana sebepleri şunlardır:

- Çok düşük tiksotropiye sahip aşırı defloküle edilmiş çamur.
- Aşırı sertleşme süresi; bu nedenle programlanandan önce parçaların kalıptan çıkarılması gerekir.
- Alçı kalıba doğru muamele yapılmaması.
- Aşırı kurutulmuş kalıplar.
- Plastik ham maddeler açısından fazla fakir bir çamur.

5.10. Fazla döküm zarı

Kalınlık almaya ayrılmış olan bölümde, suyun alçı kapillerleri tarafından emilmesinin, ince koloidal partiküllerin baskın bir şekilde mevcut bulunmaları ile karakterize edilen ilk sertleşmiş çamur katmanının oluşmasına nasıl sebep oldukları anlatılmıştı. Bu ilk tabakaya döküm zarı adı verilir ve dolayısıyla bu normaldir. Fakat eğer döküm zarının kalınlığı (ya da yoğunluğu) aşırı hale gelirse, önemli sorunlar ortaya çıkabilir ve bu sorunların başlıcaları şunlardır:

- Kalınlık almada zorluklar
- Kalınlık içerisindeki nem içeriği ve tutarlılık açısından homojenliğin yitirilmesi: özellikle yoğun ve işlenmesi zor, son derece sert bir dış tabaka ve son derece yumuşak ve nem dolu bir iç tabaka oluşacaktır. Bu nem oranının müteakip kurutma aşamasında olumsuz bir etkisi olacaktır.
- Çamurun sertleşmesinin ideal şekilde olmaması.

Bu tür kusurların tamamı, suyun çamurun içinden kalıba doğru taşınmasını ciddi şekilde engelleyen kalıbın aşırı geçirimsizliğine atfedilebilir. Bu kusur, iki ana faktöre bağlanabilir:

- Kalıbın fazla şiddetli emilim yapması ve buna bağlı olarak aşırı derecede kuru kalması ya da hatalı bir gözeneklilik dağılım eğrisine sahip olması.
- Çamur içerisinde aşırı miktarda koloidal (ve/veya organik) madde olması ve bunun sonucunda döküm zarının anormal oluşumu.

Bu kusurun ana sebepleri olan bu faktörlere, yanlış deflokülant miktarı neticesinde reolojik anormalliği (aşırı düşük tiksotropi) ekleyebiliriz.

5.11. Kalınlık boyunca boşluklar olması

Bu temelde, masif döküm işleminin mükemmel olmayan bir şekilde tamamlanmasıdır: kalıbın alçı duvarlarıyla temas halindeki iki kalınlık tek bir

kalınlık oluşturacak şekilde birleşmemiştir. Bu kusurun tehlikesi aşıkardır çünkü parça ısıtılırken boşlukların içindeki hava, çamurun boşlukların üstündeki kısmının kırılmasına (ve bazen de patlamasına) neden olacak şekilde genleşecektir. Bu durum şu nedenlerden kaynaklanabilir:

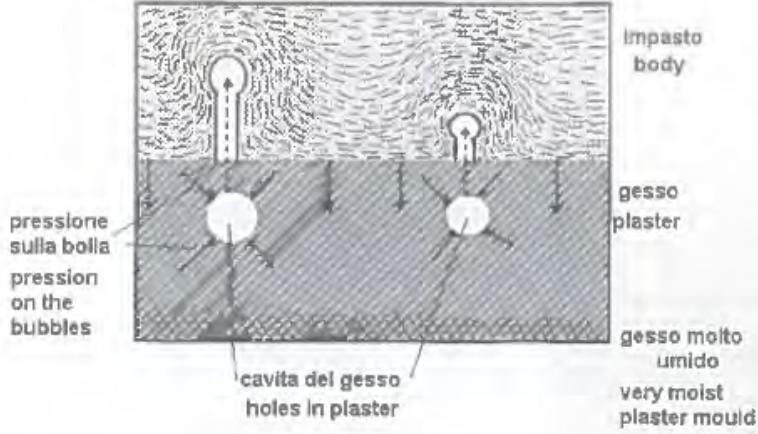
- Yetersiz kalınlık süresi.
- çamurun uygun olmayan özellikleri (reolojik ve/veya özgül ağırlık): özgül ağırlık ve tiksotropi fazla düşüktür. Kalıp (alçı kalıp söz konusu ise), nemli ve/veya fazla eski olabilir.
- Modellemenin yanlış yapılması: çok fazla masif döküm açıklığı, çamur beslemesini destekleyecek şekilde boyutlandırılmamış olması.

5.12. Hava delikleri

Döküm kusurları arasında en yaygın olanlardan biri, döküm parçasının yüzeyi üzerinde veya döküm zarının hemen altında tek tek veya kümeler halinde dizili küçük hava deliklerinin olmasıdır. Kusurun oluşumu, çamur yüzeyinde sertleşme sırasında veya ilk sertleşen katmandan hemen sonra, döküm sırasında konumlanan ufak hava baloncukları sebep olur. Bitmiş parçaya önemli ölçüde hasar veren bu kusurun çeşitli sebepleri olabilir fakat bunların en önemlileri şunlardır:

- Kalıba dökülen çamurun içerisinde halihazırda hava kabarcıkları vardır: aslında, çözünme (açılma) aşamasında, sıvı çamur çok miktarda hava içerir ve bunların daha sonra, çamur çok yavaş bir karıştırma işlemine maruz tutulmak suretiyle, döküm aşamasında giderilmesi gerekir. Fakat eğer sıvı çamur içerisinde çok fazla hava varsa ve kürlenme süresi kısaysa, eğer karıştırma hızı doğru değilse veya eğer çamurun yüzey gerilimi ve reolojik özellikleri hava baloncuklarının tahliyesini desteklemek için ideal değilse, bu hava kabarcıkları çamur içerisinde aşırı miktarda hapsolurlar. Ayrıca, eğer pompalama devresi (pompalar ve borular) doğru ebatlara sahip değilse veya iyi yapılmamışsa (örneğin, boru kesitinde çok fazla değişiklik), bu durum hava kabarcıklarının artmasına yol açacak koşullar yaratacaktır. Son olarak, makinanın döküm devresi iyi tasarlanmamışsa, bu durum da aynı sorunlara yol açabilir.
- Hava, döküm aşamasında oluşabilir:
 - a) Doldurma aşamasında: çamuru kalıba doldurmaya yönelik deliklerin yanlış konumlandırılması ya da çamurun aşırı hızlı doldurulması hava kabarcıklarının oluşmasına sebep olabilir; kalıp dolum açıklıkları yakınlarında sürekli olarak yer alan hava kabarcıkları bulmak sıklıkla karşılaşılan olağan bir durumdur.
 - b) Kalınlık alma aşaması sırasında: alçı kalıp yüzeyde kuru fakat derin iç kısımlarında çok nemliyse, alçının gözeneklerindeki havanın absorbe edilen suya yol vermesi gerekir. Bu havanın kalıbın yüzeyine doğru hareket etmekten başka yolu yoktur. Söz konusu

hava burada, sertleşmekte olan döküm yüzeyinde mikroskobik hava kabarcıklarının oluşumuna yol açar (Şekil 5.3). Kalıbı oluşturan alçının kalınlığı aşırı olduğunda bu kusurun meydana gelmesi tesadüf değildir: gerçekten de bu durumda derinlerde birikmiş olan suyu gidermek çok zordur.



Şekil 5.3 – Baloncukların oluşumu

ŞEKİL ÜZERİNDE:

Pression on the bubbles = Hava kabarcıkları üzerindeki basınç

Holes in plaster = Alçının içindeki delikler

Very moist plaster mould = Çok nemli alçı kalıp

Plaster = Alçı

Body = bünye

5.13. Kuruma sırasında çatlamlar

Kuruma sırasında meydana gelen çatlamları incelerken, konuyu parçanın belirli geometrik özelliklerinden ve dolayısıyla bunun sonucunda özellikle bir döküm yüzeyi ile bir diğeri arasında meydana gelen nem oranı farkından kaynaklanan çatlamlarla sınırlandıracağız. Temelde, sağlık gereçlerinin (özellikle klozetlerin) uygunluğu çoğunlukla, büyük boş döküm alanlarının bulunduğu bir kalıbın inşasını gerektirir. Daha önceki bölümlerde derinlemesine anlatıldığı üzere, nem

içeriği boş döküm ve masif döküm alanları arasında farklılık gösterdiğinden, farklı küçülme nedeniyle kırılmaların oluşmasına yol açabilecek bir nem değişim derecesi olacaktır. Bu sorun, iç yüzeyleri kurutan hava akımlarının yarı mamülün boş döküm kısımlarını havalandıramaması nedeniyle büyük ölçüde şiddetlenecektir. Dolayısıyla, boş döküm alanlarının dış ile iç kısımları arasındaki ve bu boş döküm alanları ile çekirdek döküm alanları arasındaki nem değişim derecesinde daha fazla artış olacaktır. Bu olay uygun şekilde kontrol altına alınmadığı takdirde, farklı küçülmeler nedeniyle birçok parçada çatlamalara yol açacaktır. Bu sorunu gidermek için hemen her zaman dinamik yavaşlatılarak kurutma koşulları kontrol altında tutulur.

En yaygın kullanılan yöntemler, havanın hızı ile sıcaklık ve nem koşullarının kontrol altında tutulmasıdır. Özellikle karmaşık durumlarda, döküm parçalar kısmen ya da tamamıyla, parçanın dış yüzeyinin kuruma hızını önemli ölçüde yavaşlatabilen kağıt tabakalarla kaplanır. Bu şekilde, kuruma hızı bakımından sağlık gerecinin dış yüzeyine iç yüzeyi ile aynı şekilde muamele etmek yönünde bir çaba gösterilmiş olur. Çok sıklıkla, parçanın geometrik zorluklarına ve birimin mikro-iklimsel koşullarına bağlı olarak döküm parçaların 24 saat süresince, hatta bazı durumlarda 48 saat boyunca kapalı durmaları gerekir.

NOTLAR

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Bu kitap SERSA tarafından
Seramik Sektörüne ücretsiz
dağıtılmak üzere hazırlanmıştır.



SERSA
SERAMİK SATIÇI GİRİŞİMCİLERİ DERNEĞİ