

PALP REOLOJİSİNİN ÖĞÜTME İŞLEMİNE ETKİSİ VE KONTROLÜ

The Influence and Control of Slurry Rheology on Grinding Operation

Alper ÖZKAN ^m
Meftuni YEKELER^{**>}

ÖZET

Cevher hazırlama ve metalurjik işlemlerde çok önemli bir yere sahip olan öğütme işlemi, düşük tenörlü ve ince boyutlarda serbestleşen cevherlerin değerlendirilmesi gerekliliği nedeniyle önemini daha da artırmaktadır. İnce öğütme işlemlerinde çoğunlukla tercih edilen yaş öğütmede palp reolojisi etkin bir rol oynamaktadır. Palpler, farklı yoğunluklarda farklı reolojik davranışlar göstererek öğütme işlemlerini etkilerler. Bu derlemede, değirmenlerde farklı palp akış koşullarında öğütme işleminin nasıl etkilendiği kırılma parametreleri yardımıyla açıklanmış ve reolojinin kontrolüyle öğütme performansının nasıl değiştiği hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Palp Reolojisi, Viskozite, Öğütme

ABSTRACT

The grinding process, which has an important place in mineral and metallurgical processing, has gained importance due to the processing of low grade ores and evaluation of the fine liberated sizes. The rheology of the pulp plays very important role preferably in wet grinding. Pulps affect the grinding processes by responding different rheological behavior at varying pulp densities. This paper shows how the grinding process is affected against the different pulp flow conditions in the mill by means of breakage parameters and also grinding efficiency was explained by the control of rheology.

Keywords: Pulp Rheology, Viscosity, Grinding

^{*} Arş.Gör., Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas
[^] Doç.Dr., Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas

1. GİRİŞ

Öğütme, cevher hazırlama ve metalurjik işlemlerde önemli bir rol oynamakta ve maliyeti artıran bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılmakta olan araştırmalar bu maliyetleri azaltmak yönünde olmaktadır.

Palp reolojisi öğütme ve sınıflandırma işlemlerinde çok etkili olmaktadır. Geçmiş yıllarda bir çok araştırmacı tarafından, bilyalı değirmenle öğütme işleminde palp reolojisinin etkisi incelenmiştir. Çeşitli araştırmalarda da (Austin vd., 1984; El-Shall ve Somasundaran, 1984; Klimpel, 1982a; 1982b; 1983; 1997a; 1997b) dağıtıcı kimyasal maddelerin kullanımıyla palpın kayma gerilmesi değeri artırılmaksızın, palp yoğunluğunun yükseltilebildiği belirlenmiştir. Böylelikle değirmenlerin öğütme kapasitesi artırılabilir. Değirmen tarafından çekilen gücün de palp viskozitesiyle ilişkili olduğu bulunmuştur (Fuersteneau vd., 1990). Bilyalı değirmenle öğütme işleminde dağıtıcı kimyasal madde kullanılmıyorsa veya kullanılmıyorsa, boyut küçültme oranının birim katı başına toplam enerji tüketiminin bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur. Bu nedenle öğütmeye yardımcı kimyasal maddelerin değirmen kapasitesini artırdığı açıktır, fakat enerji tüketimindeki etkileri yeterli değildir (Fuersteneau vd., 1985; Velamakanni ve Fuersteneau, 1987).

Değirmen içerisinde öğütülen malzemenin akışı öğütme işleminin önemli unsurlarından biridir. Malzeme akışı, palp akışkanlığı, palpın dağılımı ve flokülasyon durumu, katıların ve ortamın yoğunluğu gibi palpın fiziksel özelliklerine bağlıdır. Diğer bir ifadeyle, bu özellikler tanelerin öğütme zonunda nasıl hareket edeceğini belirlemektedir (Somasundaran ve Lin, 1972).

DeneySEL çalışmalar ise malzemelerin kuru öğütülmesi üzerinde aglomerasyon etkisinin, yaş öğütmede ise palp reolojisinin etkili olduğunu göstermiştir. Tane boyutu küçüldükçe, palp reolojisinin etkisi daha çok hissedilir sınırlandırıcı olmaktadır. Taneler 10 µm ve alt boyuta öğütüldüğünde (örneğin pigmentler ve ince kimyasallar) öğütme işleminin etkinliği tamamen palp reolojisiyle saptanabilir (Klimpel,

1997b). Bu tip ultra-ince öğütme işlemlerinde dağıtıcı kimyasal maddelerin kullanımı zorunlu hale gelmektedir. Palp viskozitesi, tane boyutu incelidikçe artarken, sıcaklık ve palpın katı oranındaki değişimler de palp viskozitesini önemli ölçüde etkilemektedir (Gao ve Forsberg, 1993). İnce öğütme işlemlerinde palpın kontrolünde birkaç yöntem vardır. Bu yöntemlerin hepsinde kayma gerilmesi değerinin en aza indirilmesi ya da yok edilmesi amaçlanır. Bu yöntemlerden birincisi yüksek derecedeki bir akışkan ortamda malzemeleri öğütmek ve ikincisi ise palpta yüksek katı oranı korunurken palp reolojisinin kontrolü amacıyla öğütmeye yardımcı kimyasal maddeler olarak adlandırılan uygun yüzey aktif maddeler ve dağıtıcılar kullanılmaktadır (Klimpel, 1997b).

Bu derlemede, değirmenlerde oluşan farklı reolojik koşulların öğütme işlemine olan etkileri, öğütmeyi çok iyi karakterize eden kırılma parametreleri (S_c ; özgül kırılma hızı ve B_{50} ; toplam kırılma dağılım fonksiyonu) ile açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca reolojinin kontrolü hakkında bilgi verilmiştir.

2. REOLOJİ VE VİSKOZİTE

Öğütmenin yaş olarak yapıldığı ortamlarda palpta katı oranı, tane boyut dağılımı ve ortamın kimyası gibi özelliklerin etkisi değirmenlerde harcanan enerji seviyesinin bir fonksiyonu olmakta ve pulp reolojisi konusuna girmektedir (Barnes vd., 1989). Pek çok endüstriyel öğütme işlemi sürekli olduğu için ortaya çıkan reoloji zamandan bağımsızdır. Bir palpın içsel sürtünmesi veya akışkanlık direnci viskozite olarak tanımlanmaktadır. Palpın viskozitesi arttıkça akışkanlığı azalır. Viskozite, Eşitlik(1) ile tanımlanır.

$$\tau = r \cdot \dot{\gamma} \cdot f(T) \quad (1)$$

Burada;

τ : kayma gerilmesi (kg/m.sn²),

$\dot{\gamma}$: vizkozite,

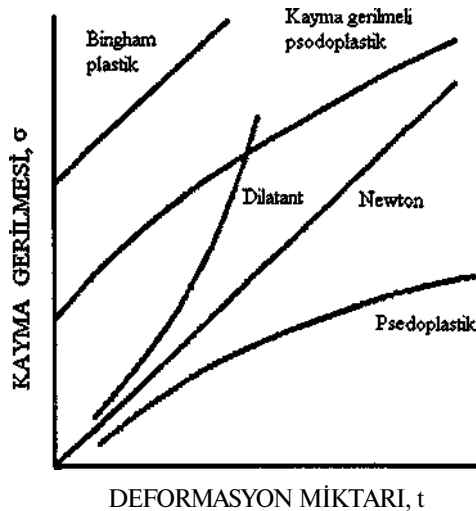
r : deformasyon miktarı (palp hareketinin hız gradyanı) sn⁻¹

$f(T)$: T olduğunda, palpın Newton akışı

sözkonusudur ve viskozite gerilme/ deformasyon eğrisinin (stress/strain curve) eğimi olup uygulanan kayma gerilmesi değerinden bağımsızdır. Kompleks fonksiyon $\tau/\dot{\gamma}$ 'nin sunumunda en yaygın yöntem "kuvvet yasası modelidir (Eşitlik 2).

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

Burada; K ve n belirli bir palp için sabitlerdir. K sabiti, τ 'ye doğrudan bir yaklaşımla viskoziteyle ilgilidir. K değeri arttıkça palp viskozitesi de artar, n sabiti ise akış indeksi olarak tanımlanır ve Newton akışından ($n=1$) palpın uzaklaşma derecesinin bir ölçüsüdür. Şekil 1, zamandan bağımsız palp davranışlarını gösterir. $n < 1$ olduğunda, palp psodoplastiktir (pseudoplastic), yani kayma gerilmesi arttıkça deformasyon miktarı daha fazla olur. Viskozite, gerilme/deformasyon eğrisinde düşme başladığı andaki eğim olup, verilen gerilme enerjisi arttıkça, palp daha düşük viskozite oluşması nedeniyle daha serbest akmaya başlayacaktır. Diğer taraftan, $n > 1$ olduğunda, palp seyreltik olup, verilen gerilme enerjisi arttıkça, palp akışına daha fazla bir direnç yani daha yüksek viskozite oluşur. Kayma gerilmeli psodoplastik palpte ise akış belirli bir kayma gerilmesi değerinin aşılmasından sonra gerçekleşecektir.



Şekil 1. Genelleştirilmiş zamandan bağımsız palp akış eğrileri

Daha önce ifade edildiği gibi, öğütme işleminde katı oranı, tane boyut dağılımı ve kimyasal madde ilavesi etkilerinin neredeyse tümünün bu farklı palp reolojisi yapılarıyla doğrudan ilişkili olduğu açıklanmaktadır (Kawatra ve Bakshi, 1997; Klimpel, 1982b; 1997a).

Palp Teolojisinin kontrolü öğütme ve sınıflandırma işlemlerinin verimliliğini artırır. Reolojinin anında (*on-line*) gözlenmesi bu işlemlerin daha yakın kontrolünü sağlar. Ancak, reolojinin ölçümündeki zorluklar nedeniyle akımda reolojik ölçüm yapan uygun bir reoloji ölçer henüz yeterli düzeyde geliştirilememiştir (Bakshi ve Kawatra, 1997; Shi ve Napier-Munn, 1996a). Bunun nedeni süspansiyonun kararsız yapısından kaynaklanmaktadır. Herhangi bir ölçüm yapılamadan katılar τ (genellikle çökelirler. Palp reolojisinin standart viskozimetreler kullanılarak belirlenmesi ise oldukça zordur. Karıştırma tankları ve gravite akış kapları gibi numune hazırlama cihazları ile dönen viskozimetreler kullanılarak bu sorunun üstesinden gelinmeye çalışılmıştır. Mevcut viskozimetreler arasında üç temel tip vardır: Bunlar; aksel silindir, kılcal tüp ve titreşen küre tip viskozimetrelerdir. Aksel silindir viskozimetreler, milinin dönüş hızının değişimiyle değişen belirli bir deformasyon miktarındaki viskoziteyi ölçebilirler. Deformasyon miktarındaki bu kontrol nedeniyle aksel silindir viskozimetreler birçok uygulama için çok cazip olmuşlardır. Ancak, tanelerin çökmesi bu cihazda ciddi sorunlara yol açmaktadır ve güvenilir viskozite ölçümleri için özel palp hazırlama teknikleri gerektirirler. Kılcal tüp ve titreşen tip viskozimetreler ise sadece bir deformasyon miktarındaki viskoziteyi ölçebilirler. Bu nedenle deformasyon miktarıyla değişen Newton olmayan palplar için kullanılamazlar (Bakshi ve Kawatra, 1997; Kawatra ve Bakshi, 1996).

3. REOLOJİNİN ÖĞÜTME İŞLEMİNE ETKİSİ VE KONTROLÜ

Dönen ortamlı değirmenler (tumbling ball mills) ve dönen şaftlı değirmenlerin (rotating shaft mills) mümkün olan (kabul edilebilir kütle akış özellikleri olan) en yüksek yoğunlukta

çalıştırıldıklarında çok etkili oldukları bilinmektedir. Yani daha viskoz palplar öğütme hızını artırmak için tercih edilir (Wang ve Forssberg, 1997). Ancak yine de birinci-derece kırılma kinetiğinin korunması için yeterince düşük bir viskozite isterler.

Palp reolojisinin öğütme işlemine etkisine yönelik çalışmalar çoğunlukla bilyalı değirmenler üzerinde yapılmıştır. Kawatra vd. (1997) tarafından yapılan çalışmada ise palp reolojisinin otojen değirmenlerdeki etkisi incelenmiştir. Viskozite çok düşük veya yüksek olduğunda otojen değirmenlerinde yine verimlik azalmaktadır. Düşük viskozite, şarj içerisindeki enerji iletimini ve öğütme zonunda tanelerin zayıf konumda kalmasına neden olarak değirmenin etkinliğini azaltır. Yüksek viskozite ise öğütücü darbelerin yutulmasına bağlı olarak verimliliği azaltır.

Bir palpın baskın bir reolojik davranışa sahip olduğu söylendiğinde, aslında öğütme sırasında iri boyuttan ince boyuta öğütülen palpın birkaç farklı reolojik yapı sergilediği anlaşılmaktadır. Ancak mevcut yapılardan biri öğütme sırasında baskın olacaktır. Bu kompleks değişen reolojik yapı, yüksek boyut küçültme oranı içeren kesikli öğütme işlemlerinde daha açıktır (Klimpel, 1997a).

Katı oranının bir fonksiyonu olarak viskozite ve net üretim arasındaki ilişki Şekil 2'de görülmektedir. Şekilde A, B ve C olarak isimlendirilen üç farklı bölge oluşmaktadır. Düşük katı oranı değerlerindeki A bölgesinde elde edilen net üretim miktarı geniş bir katı oranı değişim aralığında sabit kalmaktadır. Orta derecede katı oranına sahip palplara karşılık gelen B bölgesinde (psodoplastik bölge) elde edilen net üretimde açık bir şekilde artış gözlenmektedir. Yüksek katı oranı değerlerindeki C bölgesinde ise (kayma gerilmeli psodoplastik bölge) net üretim miktarı azalmaya başlamaktadır.

Çeşitli cevher ve kömürler için B bölgesinin yeri ve katı oranı aralığında değişme söz konusudur. B bölgesinin yeri çoğunlukla hacimce %45-55 katı oranında ve %0-8 aralığında veya kimyasal madde ilavesiyle (B bölgesi) %2-11

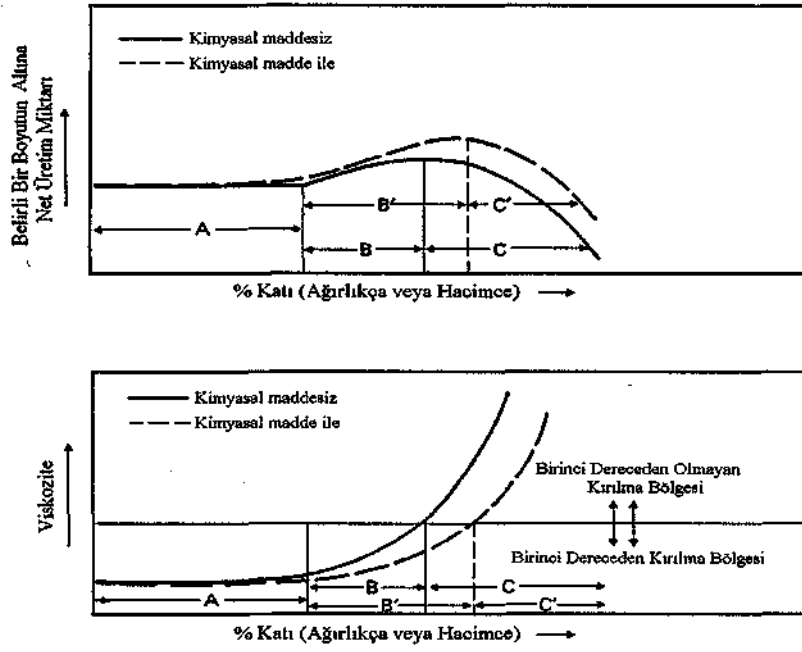
aralığındadır. Net üretimdeki artış B bölgesinde %0-10, B' bölgesinde ise %0-21 aralığında olabilir (Klimpel, 1983).

B bölgesi palplarının, A bölgesinde harcanan toplam enerji miktarı ile karşılaştırıldığında öğütme verimini artırmalarının nedeninin palpta psodoplastik bir reolojik yapının olmasından kaynaklandığı görülmektedir. C bölgesinde ise psodoplasise ile birlikte belirli bir kayma gerilmesi değerine sahip palp davranışı baskındır ve bu açık bir şekilde öğütme veriminde hızlı bir düşüşe yol açar.

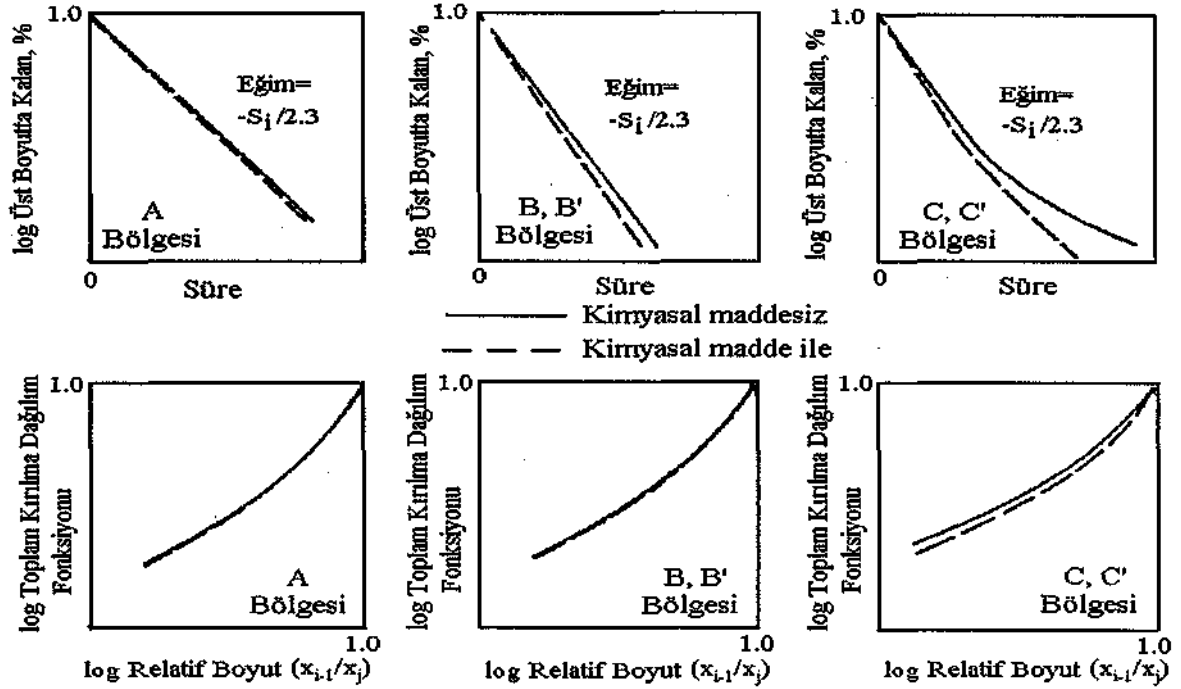
A bölgesi ile B ve B' bölgeleri birinci-dereceden kırılma kinetiği gösterirler; B ve B' bölgeleri, A ve C bölgelerinden daha yüksek kırılma hızları (S_c) verirler. C ve C bölgeleri ise daha yavaş ve birinci-dereceden olmayan kırılma kinetiği gösterirler. Bu durum, i boyutlu taneler için tipik olarak birinci dereceden öğütme kinetiği eğrilerini gösteren Şekil 3'de verilmiştir. Ayrıca, Şekil 3'de toplam kırılma dağılım fonksiyonu eğrileri de verilmiş olup, B_j (toplam kırılma dağılım fonksiyonu) değerlerinin farklı bölgelerdeki koşullardan fazla etkilenmediği görülmektedir. Kırılma hızı (S_c) hem malzeme hem de çalışma koşullarını yansıtırken, 2^y öğütülen malzemenin bir özelliği olup bu bölgelerde değişmediği beklenmektedir (Austin vd., 1984; Klimpel, 1997a). Ayrıca, Şekil 3 yüksek yoğunluklu palplar için belirlenen B_y değerlerinin, daha düşük yoğunluklu palplara göre daha ince toplam kırılma dağılımı değerleri (yüksek $<p$, düşük y) verdiğini göstermektedir (0 değeri malzemeyi karakterize eden B_c fonksiyonuna ait bir değer olup, besleme boyutuna yakın tanelerin ne kadar hızla alt boyuta geçtiğini ifade eder; y ise B_y eğrisinin eğimi olup, bu değer azalması bazı tane boyutlarının kırılması sonucu çok daha ince boyutlu tanelerin oluştuğunu gösterir).

A, B ve C bölgelerinin yerini ve aralığın genişlemesini şu faktörler belirler: Palpın katı oranı değeri, mevcut ince tane miktarı, malzemenin kendine özgü kırılma yapısı, değirmen palp yükü koşulları, kimyasal ortam, vs (Klimpel, 1997a).

Beslenen malzemede ve öğütme sırasında



Şekil 2. Kesikli öğütme testlerinde katı oranının bir fonksiyonu olarak palp viskozitesi ve net üretim arasındaki ilişki (Klimpel, 1982b)



Şekil 3. Viskozite bölgesinin bir fonksiyonu olarak özgül kırılma hızı (S_i) ve toplam kırılma dağılım fonksiyonunun (B_y) değişimi (Klimpel, 1982b)

üretileen ince tane miktarı A, B ve C bölgelerinin yerinin belirlenmesinde çok önemli bir faktördür. İster beslenen malzemeden isterse öğütme sırasında üretileenden kaynaklansın, palptaki taneler inceldikçe, daha düşük katı oranlı A bölgesinden B ve C bölgesine dönüşüm olur. Ayrıca, öğütme sırasında taneler inceldikçe, B bölgesinin % katı oranı aralığı azalır.

A, B ve C bölgelerinin yerini ve aralığını etkileyen bir önemli faktör de malzemenin doğasında var olan kırılma karakteristiğidir. Bu toplam kırılma dağılım fonksiyonu (f,y) ile tespit edilebilir (Şekil 3). y değeri malzemelerin kırılma özelliklerinin karakterize edilmesinde uygun ve ölçülebilir bir parametre olup, bu değer azaldıkça, A bölgesinden B ve C bölgelerine daha düşük katı oranlarında dönüşüm olur. y değerinin artması ise istenilen psodoplastik B bölgesinin % katı oranı aralığını genişletir.

Değirmen palp yükü koşulları da A, B ve C bölgelerinin yeri ve aralığı üzerinde etkilidir. Değirmenin palp tarafından az doldurulması optimum palp koşulları ve maksimum verim eldesini çok zorlaştırırken, palp tarafından aşırı doldurulması ise ince tane üretiminde azalmaya yol açar.

B bölgesinin yerini ve boyutunu önemli ölçüde etkileyen diğere bir faktör de palp davranışını değiştirmek için kimyasal madde kullanımınıdır. Klimpel ve Hansen (1989) tarafından yüksek katı oranlarında ve/veya yüksek ince tane varlığında gelişen kayma gerilmesini en aza indirmek ve/veya yok etmek için etkili polimerik dağıtıcılar geliştirilmiştir. Polimerik dağıtıcıların inorganik kimyasallarla karşılaştırıldıklarında öğütme işleminde üzerinde daha yüksek bir etkiye sahip oldukları bulunmuştur (Wang ve Forssberg, 1997). Basit olarak ifade edilirse, öğütmeye yardımcı kimyasallar olarak isimlendirilen bu maddeler % katı değeri aralığını genişletirler yani daha yüksek katı sıkışmasını (higher packing density) sağlarlar. Ancak yine de palpm yapısı psodoplastik olarak korunur. Geliştirilen bu etkinlik daha yüksek yoğunluktaki palplarla, dönen ve şaftlı değirmenlerin çalıştırılabilmelerini sağlar. Sodyum silikat, tripolifosfatlar gibi inorganik dağıtıcılar ve lignon sülfonatlar gibi organik

dağıtıcılar öğütmeye yardımcı kimyasallar olarak kullanılmıştır. Bu kimyasalların en büyük dezavantajı, kullanılan birim malzeme başına ucuz olmalarına rağmen kullanım miktarlarının polimerik dağıtıcılara göre çok yüksek (2 ile 20 kat) olmasıdır. Sonuç olarak, yüksek katı oranlarında palpın kayma gerilmesi değerinin etkisini en aza indirmek için uygun reoloji kontrol kimyasallarının kullanımı hem istenilen psodoplastik B bölgesini genişletir ve hem de sabit öğütme boyutunda daha yüksek verimler sağlar.

Değirmendeki tane boyut dağılımı artan süreyle değişmekte olup, yeni yüzeylerin üretimi soğurulmamış kimyasalları soğuracaktır. Buna bağlı olarak da palpm reolojik karakterinin değişmesi söz konusu olacaktır (Klimpel, 1983; 1997a).

Shi (1994) tarafından yapılan çalışmalarda ise düşük katı konsantrasyonunda ve yüksek ince tane içeriğinde (hacimce katı oranı %42'den az ve -38 um tane boyutu %25-35 oranından fazla) reolojik karakterin seyreltik olması olasıdır. Palp yoğunluğu artar ve ince tane oranı azalırsa palpm psodoplastik karakter göstermesi mümkündür. İnce tane oranı veya palp yoğunluğunun artması hem seyreltik hem de psodoplastik davranış için kayma gerilmesi değerinin yükselmesine yol açar (Shi ve Napier-Munn, 1996b). Bu sonuçlar Klimpel'in (1982; 1983) sonuçlarıyla uyumludur. Ancak, Klimpel (1982) değirmen beslemesine ince tane ilavesini, daha iyi öğütme verimliliği için psodoplastik davranışa ulaşılması açısından önermiştir. Bu, Shi (1994)'e göre sadece palpm katı oranı yaklaşık olarak hacimce %30'dan yüksek olduğunda doğrudur, yani artan ince tane içeriği psodoplastik davranışa yol açar. Ancak palpm katı oranı hacimce %30'dan düşük ise ince tane içeriğinin artması istenmeyen seyreltik davranışa yönelimle sonuçlanacaktır.

Öğütmeye yardımcı olarak uygun viskozite kontrol kimyasallarının tespiti konusunda, birkaç gerekli koşul belirlenmelidir. Bilinen kimyasalların çoğu düşük molekül ağırlıklı ve suda çözülebilir polimerlerdir. Gerekli koşullar aşağıda sıralanabilir (Klimpel, 1982b):

Kimyasal madde, palp viskozitesini

etkilemesi amacıyla öğütülen cevher/kömürde katı yüzeylerine yeterince soğurulmalıdır.

- Kimyasal madde kullanımıyla palp viskozitesinin kontrolü veya azaltılabilmesi için palp viskozitesi yeterince yüksek olmalıdır.
- Değişen kimyasal derişim, pH, su kalitesi (iki değerli ve üç değerli iyonların varlığında) ve mevcut kayma gerilmesinin bir fonksiyonu olarak daha düşük viskoziteler için kimyasal madde uygun olmalıdır.

Kimyasal madde zehirli olmamalı ve bozulmamalıdır.

Kimyasal madde, flotasyon, kıvamaştırma ve peletleme gibi daha sonraki işlemleri olumsuz etkilememelidir.

Öğütme işlemlerinde kimyasal madde kullanımı ekonomik bakımdan uygun olmalıdır.

Yukarıdaki koşullardan herhangi biri önemli ölçüde bozulduğunda, endüstriyel ölçekte öğütmeye yardımcı madde kullanımı uygun olmayacaktır.

4. SONUÇ

Sonuç olarak yaş öğütme işleminde üç kontrol edilebilir faktör, palpm reolojik özelliklerini belirlemektedir. Bunlar; palp yoğunluğu, tane boyu dağılımı ve kimyasal ortamdır. Palp reolojisinin optimum durumda korunmasıyla sürekli öğütme işlemlerinde üretimde %20'lere kadar bir artış sağlanabilmektedir. Bu faktörlerin etkisiyle ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

Bir çok kömür ve mineral palpları düşük palp yoğunluklarında (%40-45 hacimce katı oranından düşük) seyreltik karakter gösterirler.

Seyreltik bölgede öğütme birinci-derecedendir.

- Artan palp yoğunluğu, palpm psodoplastik davranışa yönelimine neden olur. Belirli bir palp yoğunluğunda, daha psodoplastik bir karakter katıların içsel sıkışması toplanmasının artırılmasıyla (ince tane ilavesi veya boyut dağılımının kontrolüyle) sağlanabilir.

Bir palp, kayma gerilmesine sahip olmayan psodoplastik davranış gösterdiğinde, öğütme birinci-derecedendir.

Öğütmeye yardımcı kimyasal maddeler kayma gerilmesi olmayan palplarda psodoplastik davranış korumak için veya yoğun psodoplastik palplarda kayma gerilmesi değerini azaltmak için faydalıdır.

Öğütme çok yoğun bir palp üzerinde yapılırsa, kayma gerilmesi değeri hızla artar ve kırılma hızlarının yavaşlamasıyla birlikte birinci-dereceden olmayan kırılma gerçekleşir.

Öğütmeye katkı sağlayan uygun kimyasal maddelerin aranan koşulları gösteren yapı ve işlemlerde olması endüstriyel kullanımda faydalar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Austin, L.G., Klimpel, R.R. ve Luckie, P., 1984; "Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling", SME, New York.

Bakshi, A.K. ve Kawatra, S.K., 1997; "Plant Trial of a New On-line Pressure Vessel Rheometer for Slurries", Comminution Practices, Ed. S. Komar Kawatra, SME, Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, USA, s. 69-76.

Barnes, H.A., Hutton, J.F. ve Walers, K., 1989; "An Introduction to Rheology", New York.

El-Shall, H. ve Somasundaran, P., 1984; "Mechanism of Grinding Modification by

Chemical Additives: Organic Reagents", Powder Technology, 38, s. 267-273.

Fuersteneau, D.W., Venkataraman, K.S. ve Velamakanni, B.V., 1985; "Effect of Chemical Additives on the Dynamics of Grinding Media in Wet Ball Mill Grinding", International Journal of Mineral Processing, 15, s. 251-267.

Fuersteneau, D.W., Kapur, P.C. ve Velamakanni, B., 1990; "A Multi-Torque Model for the Effects of Dispersants and Slurry Viscosity on Ball Milling", International Journal of Mineral Processing, 28, s. 81-98.

Gao, M. ve Forssberg, E., 1993; "The Influence of Slurry Rheology on Ultra-Fine Grinding in a Stirred Ball Mill", XVIII International Mineral Processing Congress, Sydney, Australia, s. 237-244.

Kawatra, S.K. ve Bakshi, A.K., 1996; "On-line Measurement of Viscosity and Determination of Flow Types for Mineral Suspensions", International Journal of Mineral Processing, 47, s. 275-283.

Kawatra, S.K., Bakshi, A.K., Shoop, K.J. ve Eisele, T.C., 1997; "Slurry Rheology in Autogenous Grinding and Classification", Comminution Practices, Ed. S. Komar Kawatra, SME, Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, USA, s.155-163.

Klimpel, R.R., 1982a; "Laboratory Studies of the Grinding and Rheology of Coal-Water Slurries", Powder Technology, Cilt. 32, s. 267-277.

Klimpel, R.R., 1982b; "Slurry Rheology Influence on the Performance of Mineral/Coal Grinding Circuits", Mining Engineering, s. 1665-1668.

Klimpel, R.R., 1983; "Slurry Rheology Influence on the Performance of Mineral/Coal Grinding Circuits-Part 2", Mining Engineering, s. 21-26.

Klimpel, R.R. ve Hansen, R.D., 1989; "The Chemistry of Mineral Slurry Rheology Control

Grinding Aids", Minerals and Metallurgical Processing, Cilt. 6, Sayı. 1, s. 35-43.

Klimpel, R.R., 1997a; "The Impact on Industrial Grinding Circuits of Changing and/or Controlling the Slurry Rheology, Comminution Practices, Ed. S. Komar Kawatra, SME, Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, USA, s.1-9.

Klimpel, R.R., 1997b; "Introduction to the Principles of Size reduction of Particles by Mechanical Means", Instructional Module Series, Series Ed. R. Rajagopalan, Particle Science Technology, Florida, USA, 41 s.

Shi, F.N., 1994; "Slurry Rheology and Its Effect on Grinding", Doktora Tezi University of Queensland (JKMRC).

Shi, F.N. ve Napier-Munn, T.J., 1996a; "Measuring the Rheology of Slurries Using an On-line Viscometer", International Journal of Mineral Processing, 47, s. 153-176.

Shi, F.N. ve Napier-Munn, T.J., 1996b; "A Model for Slurry Rheology", International Journal of Mineral Processing, 47, s. 103-123.

Somasundaran, P. ve Lin, I.J., 1972; I and EC Processes Des. Dev., 11, 321.

Velamakanni, B.V. ve Fuersteneau, D.W., 1987; "The Influence of Polymeric Additives on the Rheology of Dense Slurry", Biotechnology and Separation Systems, Ed: Y.A., Attia, , s. 211-223.

Wang, Y. ve Forssberg, E., 1997; "Ultra-fine Grinding and Classification of Minerals", Comminution Practices, Ed. S. Komar Kawatra, SME, Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, USA, s. 203-214.