

Yeni Bir Kırma Tekniği : Elektrohidrolik Kırma ve Ufalamanın Esasları

Erdoğan YİĞİT

Su altı arkının oluşu :

Bu olay kimyevi infilakın bir benzeridir. Su altındaki iki elektrod arasında kalan kanal şeklindeki su hacmi, çok kısa zamanda meydana gelen yüksek voltajlı elektrik deşarjı ile plazma dediğimiz çok yüksek sıcaklık, basınç ve büyük miktarda iyonize olmuş bir gaz haline geçer. Bu ani hacim genişlemesi çevredeki suyun ataleti dolayısı ile yüksek basınçlı şok dalgaları hasıl eder. Martin (1) 5,8 mikrofardlık bir kapasitörün 25 kilovoltluk bir akıma deşarjında 30 000° Kelvin sıcaklık ve 8 300 atmosfer basınç müşahade etmiştir.

Elektrohidrolik kırmanın tarihçesi :

Elektrik enerjisinin bir kapasitörde toplandıktan sonra havada veya su altında iki elektrod vasıtasıyla deşarj edilmesinden yüksek basınçlı ses veya şok dalgalarının h a s'li olduğu bir çok araştırmacı tarafından bilinerek alakalı bazı tecrübeler bu yüzyıl başlarından itibaren yapılmaya başlanmıştır (2,3,4).

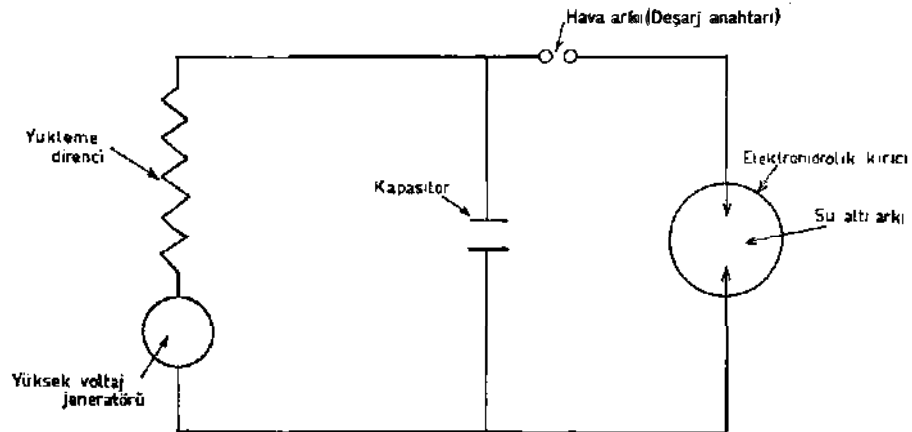
Bu elektrik enerjisi İnfilakının katı cisimlerin kırma ve ufalamasında kullanılabilme olanağının ilk tetkik deneyleri 1952 senesinde Amerika Birleşik Devletlerinde Allis-Chalmers Manufac Co. (5) laboratuvarlarında yapılmışsa da, ilk geniş çapta araştırma Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliğinde Yutkin (6) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Mevcut bilgilerin ışığı altında İngilterede de Atomik Enerji Araştırma kuruluşu 1959 da bir Elektrohidrolik Kırıcı yaparak aletin elektrik devresine ait bazı tekamüller kaydetmiştir (7, 8).

Daha sonra yazar Imperial College'daki doktora çalışmaları esnasında Elektrohidrolik Kırma parçalanma mekanizmasını inceleyerek şok dalgaları ile kırma randımanı yükseltici bazı buluşlar yapmıştır (9, 10).

Elektrohidrolik Kırma elektrik devresi ve deşarj teorisi :

Elektrohidrolik Kırıcılarda en çok kullanılan ve çok basit olan devre Şekil 1. de gösterilmiştir.



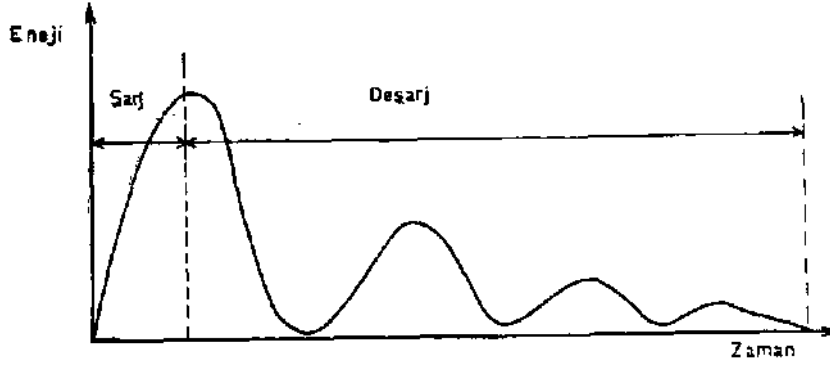
ŞEKİL-1-Elektrohidrolik kırma devresi

* Asst. Prof. O.D.T.Ü.

Cilt : X Sayı : 3

Normal halde bir kapasitörün deşarj eğri-
si devrenin direnç, indüktans ve kapasitansı-

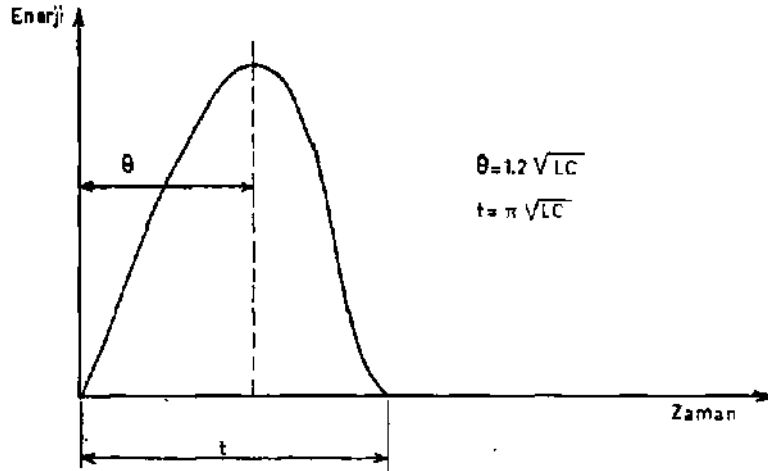
nın fonksiyonu olarak Şekil 2. deki gibi sönüm-
lü bir dalga hareketidir. (11)



Şekil : 2 — Normal bir kapasitör deşarj eğrisi.

Böyle bir deşarj ardı ardına şiddetleri
gittikçe azalan müteaddit şok dalgaları
hasıl eder. İlk kuvvetli dalga kâfi derecede kuvvetli
olduğundan bir parçalama yapabildiği halde

müteakip dalgaların parçalama kudreti ol-
madığından onların enerjisi heba olmuş olur.
Tek bir şok dalga cephesi elde etmek için lü-
zumlu deşarj eğrisi Şekil 3. de verilmiştir.



Şekil : 3 — İdeal bir kapasitör eğrisi.

Bu ideal eğriye sönüm faktörü (11) adı-
nı verdiğimiz değer'inin 1 veya bîre yakın ol-
ması halinde erişilir ve bu faktörün değeri
aşağıdaki şekilde verilir.

$$\zeta = \frac{1}{2} \cdot R \cdot \sqrt{C/L} \quad (D)$$

Burada R devrenin toplam direnci olup
çok büyük kısmı su altı elektrodlarının ara-
sındaki dirençtir ve uzaklığın bir fonksiyonu-
dur. Elektrodlar yakınlaştıkça R değış-

miş olur. C devrenin toplam kapasitansı ve L
de toplam indüktansdır.

Biz kapasitörde toplanan enerjiyi $1/2 \cdot C \cdot V^2$
olarak bildiğimize göre güç bu enerjinin za-
mana bölünmesidir.

$$G = \frac{1/2 \cdot C \cdot V^2}{t} \quad (2)$$

Biz şok dalgaları ile parçalama yüksek
şok-basınçlarını tercih edeceğiz. Bunun se-
bebi muayyen bir değer altında dalgaların

enerjilerinin hiçbir parçalama husule getirmeden katı maddelerin deformasyonlarında kaybolması ve ayrıca dalga basıncının yayılma esnasındaki sönümünün dalga şiddetinin bir fonksiyonu olması ve kırma randımanı bakımından en uygun sönümün yüksek basınç değerli şok dalgalarında olduğudur.

Yukarıdaki 2 no'lu formülde t yarım periyottur ve

$$t = Tc.yUC'ye eşittir (12).$$

Şok dalga şiddetinin fazla olması gücün büyük olmasına bağlıdır. Bu gücün istenildiği kadar yüksek olması da kapasitör sırası C kapasitör seçimiyle başlangıçta tesbit edildiğine göre devrenin indüktansı L'ı mümkün olduğu kadar azaltmakla kabildir. İndüktansın azaltılması aynı eksenli aranjmanların gerek kapasitör yapımında gerekse deşarj devresinde kullanılması suretiyle devredeki halka teşekküllerine mani olmakla olur.

İndüktansın azalması ile kırma randımının artması icap ettiği yukarda teorik olarak gösterilmiştir. Bunun deneysel isbatı İngiltere Atomik Enerji Araştırma kuruluşundaki araştırmalarda yapılmış; Elektrohidrolik kırma tecrübelerinde aynı eksenli aranjmanlar ile indüktans 0, 1 mikrohenri'ye kadar düşürülmüş ve kırma randımanı ile orantılı artışlar kaydedilmiştir. Yazarın çalışmaları esnasında da başlangıç noktası olarak aynı aranjmanlar kullanılmış ve tecrübelerde devrenin indüktansı 1 mikrohenri olmuştur.

Eğere enerji deşarjını Şekil 3. de olduğu gibi kabullenirsek ark tarafından hasil olan basınç Zingermann (13) tarafından geliştirilen aşağıdaki formülle verilir :

$$P = 0,7 \sqrt{\frac{Q.J}{\theta.t}} \quad (3)$$

$$J = \frac{E}{l} = \frac{C.V^2}{2.l}$$

(E = kapasitörün toplam enerjisi,
l – elektrodlar arasındaki mesafe)

0 = 1,2.yılıc ve t = v VLC, Q = 1 (su için) değerleri yerine konulursa :

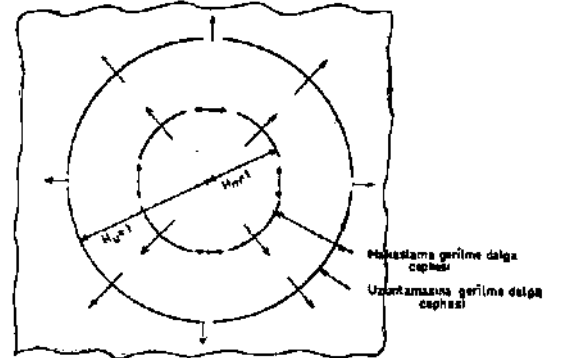
$$P = 0,26. \frac{V}{\sqrt{LJ}} \quad (4)$$

çıkar. Formülde birimler M.K.S. sisteminde Pise atmosfer olarak bulunur.

Şok dalgalarının karakteristikleri ve parçalama teorisi :

Su altı arkı başlangıçta silindirik bir şok dalga cephesi hasil eder ve bu dalga cephesi yayıldıkça küresel olur.

Genel olarak şok dalgaları bir elastik ortamda uzunlamasına ve enlilemesine (makaslama) gerilme dalgaları hasil eder (14). İsimlerinden de anlaşılacağı gibi uzunlamasına dalgalarda madde parçacıkları dalga istikametine paralel; basınç gerilmesi dalgalarında intişar istikameti yönünde, gergi gerilmesi dalgalarında intişar istikametine karşı hareket halindedirler. Makaslama gerilmesi dalgalarında ise parçacıklar yayılma istikametine dik olarak hareket halindedirler. Bu durumlar şematik olarak Şekil 4 de gösterilmiştir.



Şekil : 4 – Uzunlamasına ve makaslama gerilme dalgalarının yayılımı.

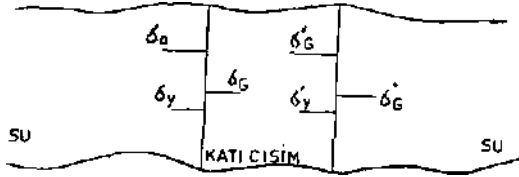
Uzunlamasına ve makaslama gerilme dalgalarının hızları aşağıdaki formüllerle verilir (14).

$$H_u = \frac{3.W(1-V)}{p.<1+v>} \sqrt{2} \quad (5)$$

Burada H_u uzunlamasına dalganın hızı, K maddenin Bulk modülü, ρ maddenin özgül ağırlığı ve maddenin Poisson katsayısıdır.

Burada ise H_M makaslama dalğanın hızı, G maddenin rijidite modülü ve ρ maddenin özgül ağırlığıdır.

Makaslama dalgalarının hızları uzunlamasına dalgaların hızlarının takriben yarısına eşittir. Uzunlamasına dalgalar makaslama dalgalarından çok daha hızlı olduğu ve gergi gerilmeleri hasıl ettikleri için —Taşların gergi gerilmesi mukavemetleri basınç gerilmelerine nisbetle çok düşüktür — taşların şok dalgaları ile çatlama mekanizmasında ilk tetkik edilmesi İcap eden bir kaynaktır.



Şekil : 5 — Uzunlamasına bir dalğanın dik olarak su içinde bir cisme çarpmasından sonra yansımaları ve geçirilmeleri.

Şekil 5. de su içindeki bir katı cismin dik olarak uzunlamasına düz bir gerilme dalga cephesine maruz kalması şematik olarak gösterilmiştir. σ_0 arktan hasıl olan uzunlamasına basınç gerilme dalgasıdır. Bu dalga su/katı madde sathında yansıyan basınç gerilme dalgasına ayrılır. Geçirilen dalga σ_G katı madde içinde yoluna devam eder ve katettiği yolla orantılı olarak şiddeti azalarak σ_G katı madde/su sathında yansıyan gergi gerilmesi dalgası σ_Y ve geçirilen basınç gerilmesi dalgası σ_G ye ayrılır.

90° lik bir vuruşta yansıyan ve geçirilen dalga şiddetleri aşağıdaki formüllerle hesap edilir:

$$\sigma_Y = \frac{\rho_2 \cdot c_2 - \rho_1 \cdot c_1}{\rho_2 \cdot c_2 + \rho_1 \cdot c_1} \cdot \sigma_0 \quad (7)$$

Bu formülde yansıyan dalga — İse basınç — İse gergi gerilmesi dalgasıdır.

$$\sigma_G = \frac{2 \cdot \rho_2 \cdot c_2}{\rho_2 \cdot c_2 + \rho_1 \cdot c_1} \cdot \sigma_0 \quad (8)$$

Geçirilen dalga gelen dalğanın her zaman aynı çeşididir. Yani basınç gerilme dalgası basınç, gergi gerilme dalgası gergi olarak geçer.

Yukardaki formüllerde σ_0 satha vuran şok dalgasının değeri, σ_Y yansıyan σ_G geçirilen dalga kuvvetleridir. ρ_1, ρ_2, c_1, c_2 iki fazın (yukardaki misalde katı madde ve suyun) sırasıyla özgül ağırlıkları ve uzunlamasına dalgaların bu ortamdaki yayılma hızlarıdır, $\rho \cdot c$ ye maddenin karakteristik impedansı adi verilir.

Eğer şok dalgası 90° den farklı bir vuruş yapıyorsa uzunlamasına dalgadan ayrıca makaslama gerilme dalgaları da yansır ve geçirilir. Bunların formülleri daha karışık olduğu için verilmemiştir.

Su altı arkının hasıl ettiği şok dalgası bir katı maddeye çarptığında genellikle o maddede 4 çeşit gerilme husule gelir.

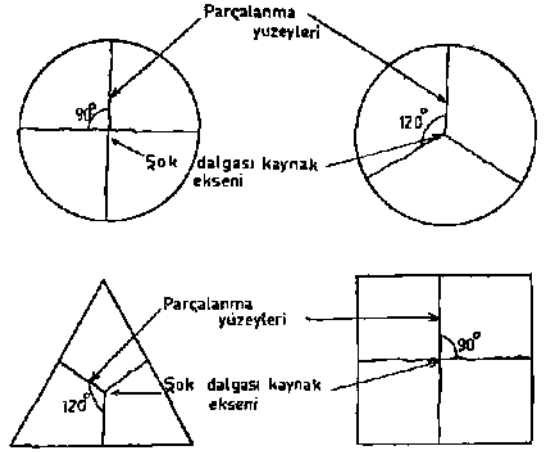
1. Uzunlamasına gerilme dalgasından hasıl olan basınç gerilmeleri.
2. Silindirik şok dalgasının yayılması esnasında husule gelen ve bir tazyik kazanında hasıl olan statik halka (Hoop) gerilmelerine benzeyen dinamik halka gergi gerilmeleri.
3. Bir basınç dalgasının katı/su sathındaki yansımından hasıl olan gerilmeleri. Bunlara ilk bulunan ismine izafeten Hopkinson levha çatlama mekanizması denir.
4. Katı cismin köşelerinden yansıyan gergi gerilmelerinin birbirini kuvvetlendirmesinden hasıl olan birleşik gergi gerilmeleri ve bunların yansıyan makaslama gerilmeleri ile olan kombinasyonları.

Yazarın teorik ve deneysel çalışmalarının bîr kısmı yukardaki gerilmelerden hangisinin Elektrohidrolik çatlatma mekanizmasında daha etken olduğunu ortaya koyan bir etüddür. Bu kısa makalede detaya İnilmeden yalnızca varılan neticeler kısaca izah edilecektir.

Elektrohidrolik kırmada esas olarak 2. İnci maddede zikredilen dinamik halka ger-

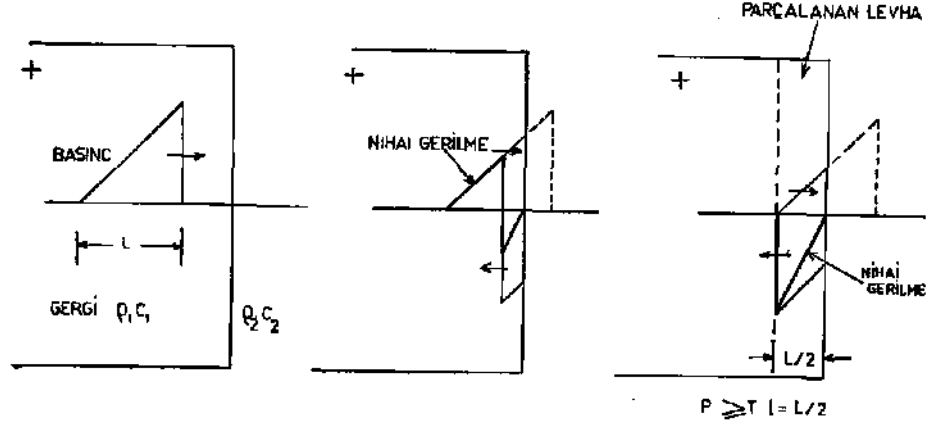
gi gerilmeleri rol oynamaktadır. Bu gerilmeler dalga cephesinin silindirik veya iki boyutlu düşünürsek dairevi olması dolayısıyla oluşmaktadır. Düz bir şok cephesinde mevzu bahis değildirler. Statik halka gerilmelerine benzemekle beraber önemli bazı farklar arz ederler. Mesela statik bir olayda bir basınç kazanında bir çatlak meydana gelince bu gerilmeler ortadan kalkar, ve müteakip çatlaklar mevzu bahis değildir. Çünkü kazandaki basıncı hasil eden gazın kaçak yapması dolayısıyla basınç hemen düşmüştür. Halbuki dinamik bir dairevi dalga cephesinde bir çok radyal çatlak aynı anda meydana gelmektedir. Ayrıca çok önemli bir husus bu radyal çatlakların kullanılan malzemenin mutlak bir homojenite göstermemesine rağmen mükemmel bir simetri arz etmesidir. Şekil 6 da şematik olarak deneylerde elde çatlak sistemleri gösterilmiştir.

İkinci bir çatlama sebebi olan Hopkinson levha çatlamalarında cismin büyüklüğü şok



Şekil : 6 — Muhtelif geometrilere şok dalgasının hasil ettiği simetrik radyal çatlaklar.

dalgasının dalga boyu ve şiddeti ile sınırlanmıştır. Şekil 7. de bir serbest satıhta Hava ile temasta bulunan satıhtan şok dalgasının yansımaları sureti ile hasil olan Hopkinson levha parçalanma mekanizması gösterilmiştir.



Şekil : 7 — Serbest satıhta dalga yansımaları ve Hopkinson levha çatlama mekanizması.

Bu halde levha kalınlığı aşağıdaki formülle verilir:

$$l = \frac{L \cdot T}{2 \cdot P} \quad (9)$$

Burada Z levha kalınlığı L şok dalgasının boyu, T maddenin dinamik gergi mukavemeti ve P serbest satıhta yansıyan gergi gerilmesi şiddetidir. Levha sayısı da aşağıdaki formülle verilir:

$$N = \frac{P}{T} \quad (10)$$

Asgari bir Hopkinson çatlama elde etmek için $T < P$ olmalıdır. Bu halde

$$l < L/2 \quad \text{olur.}$$

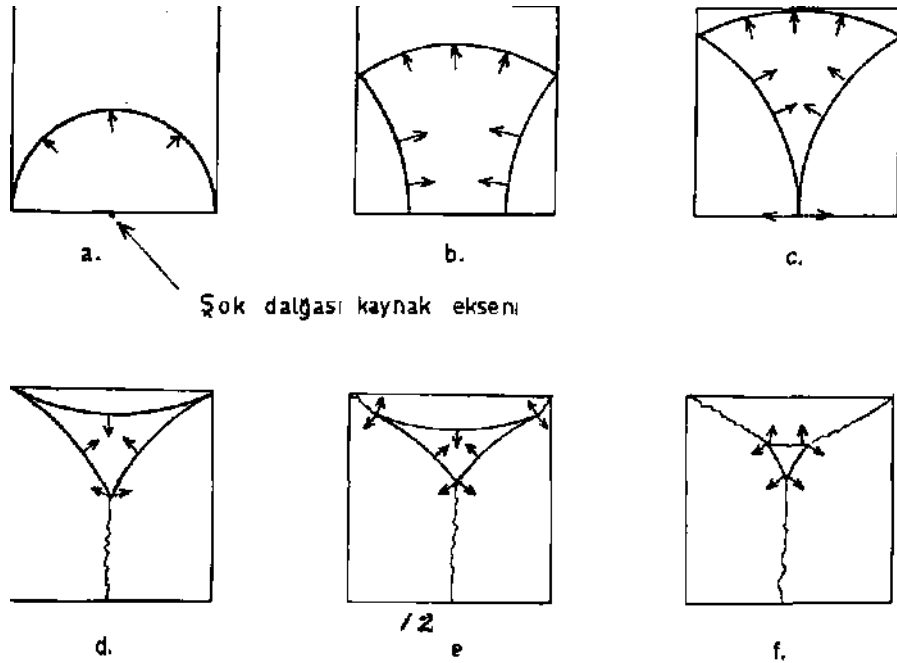
Yani parçalanma kalınlığı dalga boyunun yansısına eşittir. Bu demektirki L/2 den küçük boyutlu katı maddeler yansıyan gergi

gerilme dalgası şiddetinin ancak maddenin dinamik gergi mukavemetini eşit olması halinde Hopkinson parçalanmaları hasil etmezler. Yalnız 9 no.lu formülden de görüleceği üzere yansıyan gergi gerilme şiddeti maddenin dinamik gergi mukavemetinin birkaç misli olursa orantılı olarak l de $L/2$ nin bir kaç misli küçüğü olur.

Yapılan elektrohidrolik kırmalarda parçalar genellikle şok dalga boyunun yarısından çok küçük olduklarına göre bu çeşit parçalanma mekanizması doğrudan doğruya

yansıyan gergi gerilmesi şiddetinin maddenin dinamik gergi mukavemetinin bir kaç misli olmasına bağlıdır.

Diğer bir Önemli parçalanma mekanizması cismin köşelerinden yansıyan birbirini kuvvetlendiren gergi gerilmeleridir. Burada çatlak başlangıcı için cismin boyutu bir faktör değildir, Yansıyan gergi gerilmelerinin şiddetinin cismin dinamik gergi mukavemetinden fazla olması kafidir. Şekil 8. de parçalanma mekanizması gösterilmiştir.



Şekil : 8 — Köşelerden yansıyan gergi gerilmelerinin kuvvetlenmesi ve çatlak teşekkülü mekanizması.

Yansıyan dalganın şiddeti evvelce verilen formüllerden görüleceği üzere katı cismin temas ettiği ortamın İmpedansına bağlıdır. Bu ortam su olursa dalganın şiddetine bağlı olmakla beraber hemen hemen yansı yansır. Eğer ortam hava olursa havanın impedansının ($p.c = 4 \times 10^{-4}$) çok küçük olması dolayısıyla şok dalgasının hemen hepsi gergi gerilme dalgası olarak yansır. Yazar yaptığı deneylerde bu şekil bir aranjman gerçekleştirmiş ve kırma randımanı takriben iki misli artmıştır.

Evveldi izahlardan da anlaşılacağı üzere yansıyan dalga şiddetinin arttırılması Hop-

kinson levha çatlama mekanizması ve köşe çatlakları mekanizması için mühim olup radyal çatlakların hasil olmasında bir faktör değildir.

Netice ve Elektrohidrolik Kırma Tekniğinin geleceği:

Şimdiye kadar sayısı mahdut araştırmacılar elektrik devresinin ıslahı ve elde edilen şok dalgasının en uygun şekilde kırmada kullanılması hususunda gelişmeler yapmışlar da, esasen çok randımsız bir enerji değişim ameliyesi olan konvansiyonel kırma randımanlarına dahi erişilememiştir. Bunun-

la beraber Elektrohidrolik Kırma ve Ufalama bazı ümit verici karekteristiklere haizdir ve bunlar şu şekilde özetlenebilir :

1. Elektrik enerjisi mekanik bir takım araçlar olmadan doğrudan doğruya bir infilâk ile katı cisimlere nakledilmekte ve kırma hasil olmaktadır. Bu hususta deşarj devresinin elemanlarının ıslahı ile çoğaltılabilirle ümidi mevcuttur.

2. Elektrohidrolik kırıcılarda hasil olan mahsul konvansiyonel kırıcıların mahsullerine nazaran Cevher Hazırlama ve daha başka endüstrilerde kullanılması durumuna göre bazı avantajlara sahiptir. Meselâ, arzu edilmeyen toz yüzdesi daha azdır, taneler daha kübiktir, tane satırları daha temizdir, satlı fiziki deformasyonla kimyevi bir değişikliğe uğramamıştır, kırmadan dolayı kirlenme çok azdır. (Konvansiyonel kırıcılar demir kirlenmesi yaparlar).

3. Her ne kadar yüksek voltajların tatbiki dolayısıyla bir takım tedbirlerin alınması icap ederse de Elektrohidrolik Kırıcıların yapımı ve kullanılmaları daha basittir.

4. Çok yüksek bir selektif kırma yüzdesi mevcut olup bu husus geliştirildiği takdirde bir zenginleştirme metodu olabilir.

BİBLtOGttAFİK TANITIM

- (1) Martin, E. A.: The underwater spark an example of gaseous conduction at about 100 000 atmospheres, Jour. Appl. Phys. 31 (1960) 2, 265.
- (2) Svedbe^g, T.: Berichte der Deutschen Chemische Geselsehaft 38 (1905) 3616.
- (3) Michel - Levy, A, Marour, H.: Compte Rendus 18 (1934J 9, 1960.
- (4) Suits, C. G.: Notes on high intensity sound waves Gen. Elec. Rev. 39 (1939) 430.
- (6) Yutkin, L.: The electrohydraulic effect Mashgiz, Moscow (1955).
- (7) Maroudas, N.G. A.E.R.E. M, 1261, (1963)
- (8) Cartey-Macauley, K. W. Hitchon, J. W.: Maroudas, N. G.: Energy consumption in electroaidrolic crushing', Trans. Inst. Chem. Ehgr. 44 (1966) T395.
- (9) Maroudas, N. G., Johnston, H .A.; Yiglt, E. The mechanism of Electrohydraulic Crushing Deohema Monog. 57 (1967) 551.
- (10) Yigit, E.: Ph. D. thesis, Londra Üniversitesi (1967).
- (11) Dept. of Electrical Eng. M.I.T. Electric circuits (1943) 220 (John Wiley and sona Inc.).
- (12) Früngel. F.: High speed pulse Technology (1965) Academic Press.
- (13) Zingermann, A. S.: Soviet Phys. Tech. Phys. 1, (1957) 2454.
- (14) Rinehart, J. S.: The role of stress waves in the comminution of brittle rocklike materials. Int. Symp. on stress wave propagation In materials, (1960) 247.