

Teknik Kurusürtünmeli Ötektoidaltı Çelik/Çelik Sisteminde Aşınma Dayanımı Yüzey Bölgesi Sertliği ve % C-İlişkisi

A.Halim DEMİRCİ

Doç.Dr.

Mühendislik Fakültesi

Makina Bölümü

Uludağ Üniversitesi

Bursa

Aşınma miktarının sertlik ve C-oranına bağlı olarak değişimi ötektoidaltı alaşımsız çelik malzeme çiftlerinde teknik kuru kayma sürtünmeli bir deney cihazında incelendi. Sistematik Sertlik değişimi uygulamada su verme sonu temperleme sıcaklığının değişimi ile sağlandı. Aşınmanın C-miktarına bağımlılığının tayininde deney elemanlarının sertlik değerlerinin sabit tutulmasına dikkat edildi.

Aynı sistemde aynı yüzey sertliğinde bile olsa, karbon oranına bağlı olarak aşınma direncinin arttığı ve bu artma miktarının yüksek sertlik değerlerinde daha da büyüdüğü görülmektedir.

GİRİŞ

Malzemelerin aşınması ancak sürtünme doğuracak bir izafi hareketin varolduğu sistemler için söz konusudur. Bu bakımdan sürtünme ve aşınma davranışı sadece bir malzeme özelliği değil, bir sistem özelliği olarak değerlendirilmelidir. Bu sistem özelliği ayrı ayrı sürtünme elemanlarının aşınma özelliklerinin süperpozisyonu şeklinde hesaba katılmayacağından, verilen bir sürtünme ve aşınma özelliğinin, belirli bir tribolojik sistem için geçerli olacağı açıktır. Bu noktadan hareketle, bu çalışmada, tarif edilen bir tribosistemde, teknik önemi dolayısıyla ve sistematik deneylere elvereceği varsayımıyla seçilen bir malzeme grubunda-ötektoidaltı çeliklerde-belirtilen ısı işlem şartlarına bağlı olarak aşınma davranışları incelendi. Tekrarlanabilir deney sonuçlarına ve ölçme hassasiyetine izin verecek şekilde imal edilen bir deney düzeneğinde [1], sistemin diğer faktörleri sabit tutularak aşınma direnci-yüzey bölgesi sertliği ve % C-ilişkisi gösterilmeye çalışıldı. Ayrıca önemli bir malzeme karakteristiği sayılan sertlik değerinin, kolaylık bakımından birçok durumlarda aşınma için bir kriter olarak kullanılageldiği bilindiği için, bu kullanımın, burada verilen bir tribosistemde ne derece geçerli ve/veya yaklaşık olduğu, söz konusu malzeme grubu yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

Karbon oranı farklı çeliklerin seçilmesi ile de aşınmanın verilen sistemde, % C-bağımlılığını belirlemek yanında, aşınma için sertlik kriterinin geçerliliği hakkında bulunacak sonuçlar desteklenmek istenmiştir.

MATERYAL VE METOD

Tribolojik Sistem

Deney sisteminde, bir tribosistemi oluşturan

her dört unsur (temel ve karşı sürtünme elemanları, yağlama elemanı veya ara madde, çevre) mevcuttur. Sistemde yağlama ve çevre değişikliği öngörülmemiştir. Çevre olarak atmosfer ve deney boyunca bilinçli olarak, bütünlük için temizlenmeyen-aşınma tozlarından oluşan bir ara maddesi söz konusudur. Bu bakımdan burada verilen sistem için kuru sürtünme yerine teknik kuru sürtünme terimini kullanmak doğru olacaktır.

Kayma, bütün önemli sürtünme sistemlerinde en az bir komponent olarak var olduğundan deney düzeneğinde esas alınmıştır. Kayma hızının sürtünme süresindeki değişimi yaklaşık sinüs değişiminde olup, 0.15 [m/s] ortalama değerindedir.

Yükleme basıncı 16 [N/cm²] olup kayma yolu 150 mm alınmıştır. Bütün deneylerde alt numuneler aynı yarı mamul parçadan alınan 60 SiMn5 yay çeliğindedir. Sabit tutulan alt numune malzemesi değişken bir faktör olarak sisteme girmeyip analizi şöyledir:

% C:0.60 % Si:1.40 % Mn:0.80 % P ve % S:0.035

Deney Malzemesi ve İlgili İşlemler

Sürtünme-aşınma deneylerinde temel sürtünme elemanları için karbon oranları değişik alaşımsız perlitaltı çelikler kullanılmıştır (% C:0.15; 0.30; 0.39; 0.49; 0.50).

Ayrıca deney sonuçları hafif alaşımlı 37 MnSi5 çeliğinin aynı tribosistemde programa alınmasıyla desteklenmek istenmiştir.

Bütün deney parçaları, imalat ve diğer ön işlemler sırasında bozulması söz konusu normal

yapılarını tekrar kazandırmak için önce normalize edilmişlerdir (bütün parçalar için normalizasyon sıcaklığı $T_A=A_3+50^\circ\text{C}$ ve tutma zamanı 45 dakika alınmıştır [2]). Sonraki ısı işlem programı parçalara su verildikten sonra (su verme sıcaklığı $T_S=A_3+45^\circ\text{C}$ ve γ -bölgesinde tutma süresi 45 dakika) çeşitli sıcaklıklarda temperlemek esasına dayanır (temperleme süresi 1.5 saat).

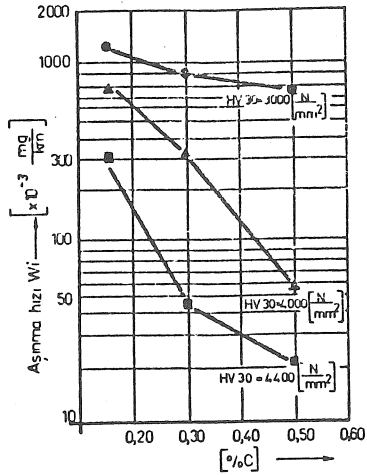
Deneylerden önce temel ve karşı sürtünme elemanlarının sürtünme yüzeyleri $R=0.3\ \mu\text{m}$ ve $R_t=3\ \mu\text{m}$ değerleriyle verilen belirli bir başlangıç yüzey pürüzlülüğüne getirilmiştir.

Aşınma miktarı ağırlık farkı ölçümüyle (tartı hassasiyeti $10^{-4}\ \text{g}$) ve gerektiği hallerde sürtünme kuvveti ise bağlantı çubuklarına yapıştırılmış ölçme dirençleri (strain-gauge Rozetleri) yardımıyla belirlenmiştir. Elemanların aşınma davranışının tayin edilmesi için ölçülen aşınma miktarları toplam sürtünme yoluna izafe edilmiştir (aşınma hızı).

DENEY SONUÇLARI

Aşınma Intensitesinin Karbon Oranına (% C) Bağlı Olarak Değişimi

Eşit yüzey sertliği ve sabit diğer tribolojik şartlar altında, seçilen ötektoidaltı çeliklerin C-miktarına bağlı olarak 2.1 km'lik bir sürtünme yolu intervalindeki aşınma hızı değişimi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1 Çeşitli sertlikteki ötektoidaltı çelik malzemelerin C-oranına bağlı olarak aşınma intensitesi değişimi ($l_w=2100\ \text{[m]}$; $p=16\ \text{[N/cm}^2\text{]}$; $v_0=0.15\ \text{[m/s]}$)

Söz konusu çeliklerde aynı sertlik değerleri (HV 30:3000 N/mm²; 400 N/mm²; 4400 N/mm²) değişik ısı işlem uygulanmasıyla sağlandı. Yüksek ve düşük % C'lu çeliklerin aşınma hızları arasındaki fark yüzey sertliğiyle birlikte artmaktadır. Yüzey sertlikleri eşit bile olsa % 0.15 C'lu çeliğin aşınma hızı, HV=4400 N/mm² yüzey sertliği değerinde, yük-

sek karbonlu (% 0.30 C) alaşıma göre 15 katı kadar daha fazladır; bu aşınma hızı farkı ortak sertliğin küçük olduğu değerlerde hemen hemen ortadan kalır (HV=3000 N/mm² değerinde sadece yaklaşık 1.5 katı).

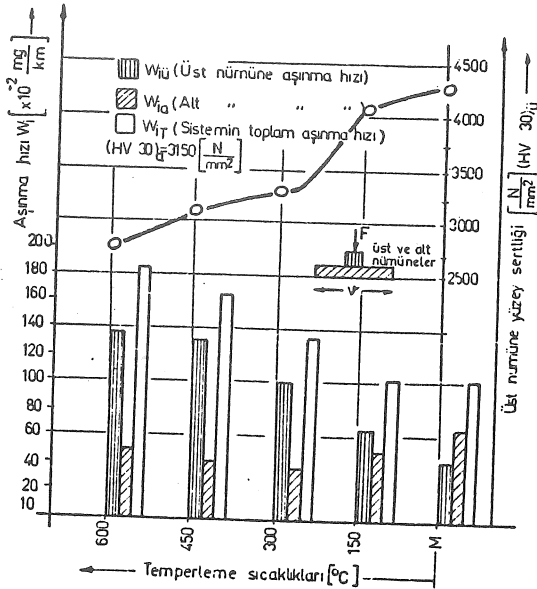
Aynı sertlik değerinde alınan bu sonuçlar iç yapı bağımlılığı ile ilgilidir. Yüksek karbonlu çeliklerin su verme işleminden sonra diğerleriyle aynı sertliğe sahip olabilmeleri, daha fazla temperlenmiş martensite sahip olmasını gerektirir. Bu ise, aşınma mukavemetini artırıcı yönde etki eder (ve diğer iyileştirilmiş mekanik özelliklere sahip olması bakımından da istenir). İç yapı bağımlılığı ile ilgili benzeri sonuçlar küresel grafitli dökme demirler üzerinde yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. İzoterm dönüşüm sonunda elde edilen beynitik yapı aynı sertlikteki temperlenmiş martensitik yapıya göre % 20 kadar daha fazla aşınma mukavemeti gösterir. Bu sonuç ise, daha fazla kalıntı ostenit (restostenit) oranı ile ilgili bulunmuştur [3]. Aşınma hızının C-miktarı ile belirtilen ilgisi ötektoidaltı alaşımsız çelikler için geçerlidir. Daha yüksek karbonlu çelik malzemeler için (% C 0.8) yapıda II. sementitin (tane sınırı sementiti) oluşması dolayısıyla bir süreksizlik söz konusudur. Aynı şekilde yapıda kalıntı ostenidin (restostenit) var olması ve miktarı, yüksek deformasyon kabiliyeti ve yumuşaklığı yüzünden değişik özellikler doğurur. Bu iç yapı değişiklikleri aşınma için C-oranından bağımsız olarak yeni bir etken faktör oluşturur. II. sementit fazının ısı işlemlerle yuvarlatılmış olması veya tane sınırları boyunca ince tabaka oluşturmaları halinde, miktarları aynı bile olsa, aşınmaya etkilerinin büyük olması beklenir.

Sistem Özelliği Olarak Aşınma-Yüzey Sertliği İlişkisi

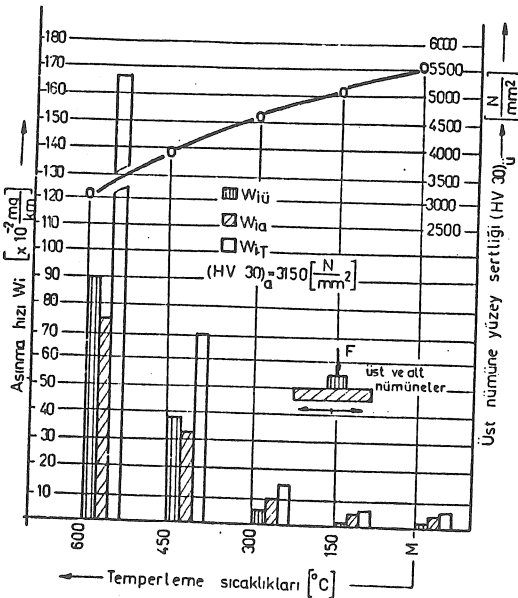
Aşınma ile önemli bir malzeme karakteristiği sayılan sertlik değerlerinin bağımlılık durumunu belirlemek için karşı sürtünme elemanları tüm malzeme karakteristikleriyle sabit tutulmuştur; alt numunelerin deney başlangıcı taşlanmış yüzeylerinin sertlikleri, bütün deneyler için HV30=3150 N/mm² (ve HRC=35) değerindedir. Şekil 2-4'de, genel olarak, yükselen sertlikle toplam aşınmanın azaldığı görülmektedir.

Aynı şekilde muayene edilen bütün malzemeler için esas sürtünme elemanlarının (üst numunelerin) 2.1 km sürtünme yolu sonundaki aşınma miktarları yüzey sertliği düştükçe, artmaktadır. Buna karşılık karşı sürtünme elemanları (alt numuneler) esas elemanların artan sertlikleriyle (diğer deney faktörlerinin sabit kalması halinde) sürekli bir artış veya düşüş göstermemektedir. Alt numune aşınması açısından sistem ele alınacak olursa, aşınmanın değişimi yüzey sertliğiyle orantılı değildir. Örnek olarak % 0.15 oranında C-bulunduran çeliğin 300°C'deki temperleme sıcaklığı sonunda elde edilen sertlik değeri (HV30=3250 N/mm²) karşı eleman için minimum aşınma miktarını doğurduğu verilebilir; üst elemanın daha düşük sertlik değerlerinde karşı elemanın aşınma miktarı azalmadığı gibi, tam tersine artmaktadır (Şekil 2). Malzeme ve sertlik değerleri sabit kalan alt numunelerin % 0.30 C'lu çelik malzeme elemanlarıyla beraber çalışması halinde ise

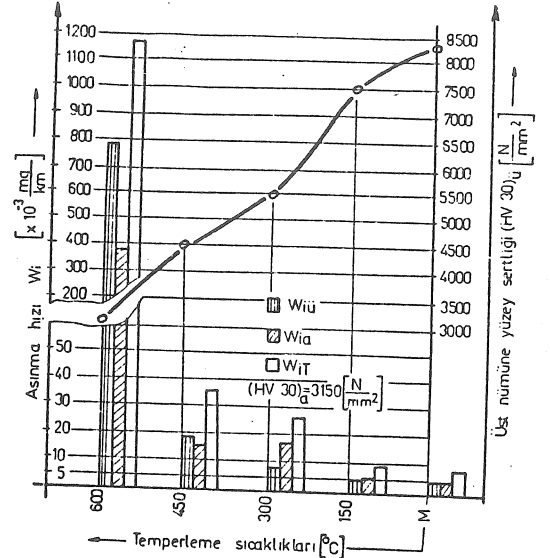
karşı eleman aşınmasında benzeri bir eğilim görülür. Karşı eleman verilen deney şartlarında, üst numunenin ensert ($HV=5500 \text{ N/mm}^2$) veya en yumuşak olduğu ($HV=3000 \text{ N/mm}^2$) değerlerinde değil, $HV=5000 \text{ N/mm}^2$ sertlik değerinde bir minimum gösterir.



Şekil 2 Sürtünme elemanlarından birinin yüzey sertliğine bağlı olarak çelik/çelik sisteminin aşınma davranışı. Üst eleman (temel eleman) malzemesi: % 0.15 C-çeliği. Karşı eleman: 60 SiMn5; M: su verme sonu (temperlenmemiş) iç yapı. ($l_v=2100 \text{ [m]}$; $p=16 \text{ [N/cm}^2]$; $v_o=0.15 \text{ [m/s]}$)



Şekil 3 % 0.30 C'lu çelik üst eleman yüzey sertliğine bağlı olarak sistemin aşınma davranışı. Karşı eleman: 60 SiMn5; M: Martensitik yapı ($l_v=2100 \text{ [m]}$; $p=16 \text{ [N/cm}^2]$; $v_o=0.15 \text{ [m/s]}$)



Şekil 4 % 0.49 C'lu çelik üst eleman yüzey sertliği-sistem aşınma davranışı ilişkisi. Karşı eleman: 60 SiMn5 M: Martensitik yapı ($l_v=2100 \text{ [m]}$; $p=16 \text{ [N/cm}^2]$; $v_o=0.15 \text{ [m/s]}$)

Diğer malzemelerle yapılan deneylerde de gerek esas ve karşı sürtünme elemanlarının gerekse sistemin toplam aşınma miktarı sertlik değerleriyle doğru orantılı bir değişme göstermemektedir; 37 MnSi5/60 SiMn5 sürtünme çiftinin toplam ve elemanlarının ayrı ayrı aşınma miktarlarında (üst numuneler $150-130^\circ\text{C}$ civarında temperlenerek % 18 kadar sertlik düşüşü sağlandığı halde) herhangi bir değişiklik kaydedilmemiştir [10].

Bu sonuçlar sadece sertlikten ziyade, sistemde rol oynayan aşınma mekanizmaları ve onların katılma oranlarıyla ilgilidir. Heterojen iç yapıya sahip olan sürtünme elemanlarının aşınmasında adhesyon ön planda olamayacağı için [4] sistemin aşınmasında tribooksidasyon ve abrazyon mekanizmaları etkilidir. Diğer sistem faktörleri yanında çiftlerin birbirlerine göre sertlik değerleri bu mekanizmaların katılma oranlarını etkiler. Sertliğin yüksek olduğu değerlerde (alaşsız çeliklerde yaklaşık $HV_{30}=5000 \text{ [N/mm}^2]$) yüzey pürüzlülüğü tepecikleri ve bu tepeciklerde oluşan yüksek lokal gerilmeler aşınmaya yönlendirici mekanizmaların oluşumundan sorumludur.

Bu gerilmeler altında tepeciklerin plastik deformasyonu ve aynı derecede küçük bölgelerin aktive edilmesi sonucu kendini gösteren tribooksidasyonla çok sınırlı bir aşınma doğmuş olur (Şekil 4).

Sertliğin düşmesiyle (ve temperleme ile plastik şekil değiştirme kabiliyetinin artmasıyla hızlandırılan) sürtünme oksidasyonu miktarı artar ki bu durum $3000-4000 \text{ N/mm}^2$ sertlik değerlerindeki aşınma artışı demektir. Bu aralıkta (sertlik düşüşü dolayısıyla) oksit bölgeleri koruyucu özelliğini kaybeder, çünkü oksit tabakalarının tribolojik zorlanma altında kolayca çökmesini ve -gevrek olduğu için-kırılmasını

önleyecek temel malzeme özelliği (sertliği) kalmamıştır. $HV=4000 \text{ N/mm}^2$ (Fe_2O_3) ve $HV=5000 \text{ N/mm}^2$ (Fe_3O_4) sertlik değerlerindeki oksit tabakalarından kopan aşınma tozları kendisinden daha az veya eşdeğer sertlikteki sürtünme elemanları temel malzemesini çizebilecek ve mikro talaş kaldırma olayı başlatacaktır. Abrasiv aşınma mekanizmasının hakim olduğu bu bölge, çok ani bir aşınma yükselmesiyle bütün deney malzemelerinde kendini gösterir.

SONUÇ

Deney sonuçları ısı işlem uygulanarak aşınma davranışı iyileştirilmek istenen sürtünme elemanlarının, çalışacağı karşı elemana göre ve toplam sistem veya temel eleman aşınması açısından, işlem görmemiş elemanlardan daha kötü sonuçlar verebileceğini ifade etmektedir. Şekil 3, 150°C temperleme sıcaklığında, temel eleman ve sistem aşınması bakımından optimum aşınma davranışı çıktığını göstermektedir. Şekil 2'de 300°C temperleme sıcaklığında karşı eleman açısından minimum aşınma hızının ortaya çıkışı, çelik malzemeler için, genel olarak eşit sertlikteki çiftlerin uygunluğu sonuçlarıyla paralellik içindedir [5]. Abrasiv aşınmanın hakim olduğu bölgelerde bile aşınma direncinin sadece sertliğe bağlı olmadığı bu çalışma çerçevesinde (eşit sertlik bölgelerindeki pek farklı aşınmalar: Şekil 2-4'deki $HV=3000 \text{ N/mm}^2$ civarı) ve ilgili literatürden çok sayıdaki çalışmalarda açıkça görülmektedir [6-9].

Burada sadece sertlik artışı değil, sürtünme yüzey bölgesinin deformasyon kabiliyeti ve yumuşak tavlama soğuk şekil değiştirmiş çeliklere doğru artan içgerilme ve tekstür değişimi, sonuçların yorumlanmasında göz önüne alınması gereken faktörlerdir. Diğer malzeme karakteristikleri hesaba katılmadan ve ölçülmeden bir sürtünme elemanına verilen sertlik yükseltilmesi, sistemin durumuna göre olumsuz etki yaparak aşınma miktarını artırıcı olabilir.

RELATIONSHIP OF WEAR RESISTANCE-SURFACE HARDNESS AND % C IN TECHNICAL DRY SLIDING OF HYPO-EUTECTOID STEEL/STEEL SYSTEM

The research detailed in this paper is concerned with the determination of wear value changes, depending on hardness and % C. It is examined with a technical dry-sliding test apparatus with the hypoeutectoid non-alloy steel material couples. The systematical change of hardness is obtained with change of tempering temperature after quenching. The particular consideration is given to keep the value of hardness constant at the determination of the dependent of % C on wear. It is seen that the resistance of wear increases depending on % C, even for the same surface hardness at given tribological system.

KAYNAKÇA

- 1 Demirci, H., Teknik Kuru Sürtümlü Bir Deney Düzenegi Tasarım ve İmalatı, Mühendis ve Makina, 29-330 (1987), 24-29.
- 2 Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle, Hrsg. Max-Planck Institut für Eisenforschung. Verlag Stahleisen M.B.H. Düsseldorf 1961/1972.
- 3 Zum Gahr, K.-H., Wagner, R., Abrasiver Verschleisswiderstand von Gusseisen mit Kugelgraphit bei unterschiedlichen Sekundergefüge. Arch. Eisenhüttenwes. 50 (1979), 315-320.
- 4 Habig, K.-H., Verschleiss und Härte von Werkstoffen, Carl Hanser Verlag München-Wien-1980.
- 5 Uetz, H., Föhl, J., Beeinflussung des Verschleisses durch richtige Paarung von Werkstoff und Schmierstoff. VDI-Berichte, 185 (1972), 35-44.
- 6 Poll, G., Der Einfluss der realen Systemeigenschaften auf die Kraftschluss-gesetze bei walzender Relativbewegung. Diss. RWTH.-Aachen 1983.
- 7 Krause, H., Demirci, A.H., The Texture Changes in the Running Surfaces as the Result of Frictional Stress, Wear 61 (1978) 2, 325-332.
- 8 Krause, H., Demirci, A.H., Plastische Verformungen hervorgerufen durch Reibungsbeanspruchung im Kontaktflächenbereich eines Walzsystems. Zeitschrift für Metallkunde, 70 (1979) 8, 496-499.
- 9 Tackenberg, W., Verbesserung der Verschleisslebensdauer hochbeanspruchter ebener Gleitpaarungen, Diss. RWTH-Aachen 1979.
- 10 Demirci, A.H., Perlitli Alaşımsız Çeliklerde Isıl İşlemlerle Aşınma Mukavemeti Değiminin İncelenmesi, I. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 19-21 Eylül 1984, ODTÜ, Ankara, 539-548.