

TEKNİK KURUSÜRTÜNMELİ ÖTEKTOİDALTI ÇELİK/ÇELİK SİSTEMİNDE AŞINMA DAYANIMI YÜZEY BÖLGESİ SERTLİĞİ VE % C-İLİŞKİSİ

A. Halim DEMİRCİ*

ÖZET

Aşınma miktarının sertlik ve C-Oranına bağlı olarak değişimi perlitaltı alaşımız çelik malzeme çiftlerinde teknik kuru kayma sürtünmeli bir deney cihazında incelendi. Sistematik sertlik değişimi uygulamada suverme 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.

ABSTRACT

Relationship of Wear Resistance-Surface Hardness and C % in Technical Dry Frictioned Hypo-eutectoid Steel/Steel System

The research detailed in this paper is concerned with the determination of wear value changes, depending on hardness and rate of C. It is examined with a technical dry-sliding frictioned 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 dependency of C % on wear. It is seen that the resistance of wear increases depending on the rate of C, even if in the same surface hardness at given tribological system.

* Prof. Dr.; Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bursa.

GİRİŞ

Malzemelerin aşınması ancak sürtünme doğuracak bir izafi hareketin var olduğu sistemler için sözkonusudur. 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-belirtelen ısı işlem şartlarına bağlı olarak aşınma davranışları incelendi. Tekrarlanabilir deney sonuçlarına ve ölçme hassasiyetine izin verecek şekilde imal edilen bir deney düzeneğinde¹, 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 kullanılacağı bilindiği için, bu kullanımın, burada verilen bir tribosistemde ne derece geçerli ve/veya yaklaşık olduğu, sözkonusu 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" sözkonusudur. 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 nümuneler aynı yarımamul parçadan alınan 60 SiMn5 yay çeliğindedir. Sabit tutulan alt nümune 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 ile İlgili İşlemler

Sürtünme-Aşınma deneylerinde temel sürtünme elemanları için karbon oranları değişik alaşımsız perlitli 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 sözkonusu 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 alınmıştır². Sonraki ısı işlem programı parçalara su verildikten sonra (suverme 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} 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 yolu-na izafe edilmiştir (Aşınma hızı).

DENEY SONUÇLARI

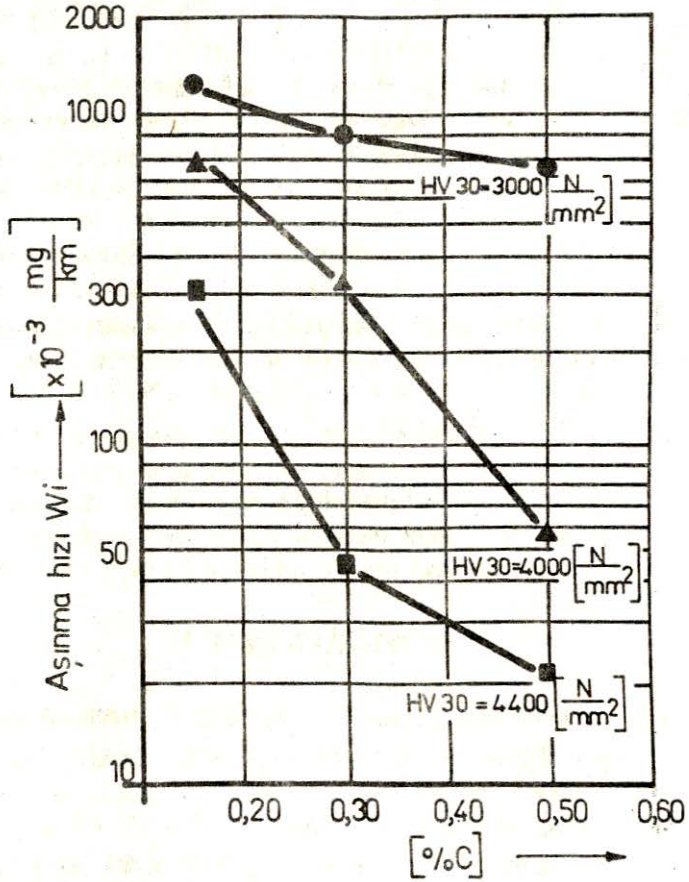
Aşınma İntensitesinin Karbon Oranını (% C) Bağlı Olarak Değişimi

Eşit yüzey sertliği ve sabit diğer tribolojik şartlar altında, seçilen ötektoid-altı çeliklerin C-miktarına bağlı olarak 2,1 km'lik bir sürtünme yolu intervalindeki aşınma hızı değişimi Şekil 1'de görülmektedir.

Sözkonusu çeliklerde aynı sertlik değerleri (HV 30:3000 [N/mm²]; 4000 [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, yüksek karbonlu (% 0,30 C) alaşıma göre 15 katı kadar daha fazladır; bu aşınma intensitesi farkı ortak sertliğin küçük olduğu değerlerde hemen hemen ortadan kalkar (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 sahibolabilmesi, daha fazla dönüştürülmüş martensite sahip olmasını gerektirir. Bu ise aşınma muhtavemetini 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 beynitik dönüşüm yapısı aynı sertlikteki ıslah edilmiş martenzitik yapıya göre % 20 kadar daha fazla aşınma mukavemeti gösterir.



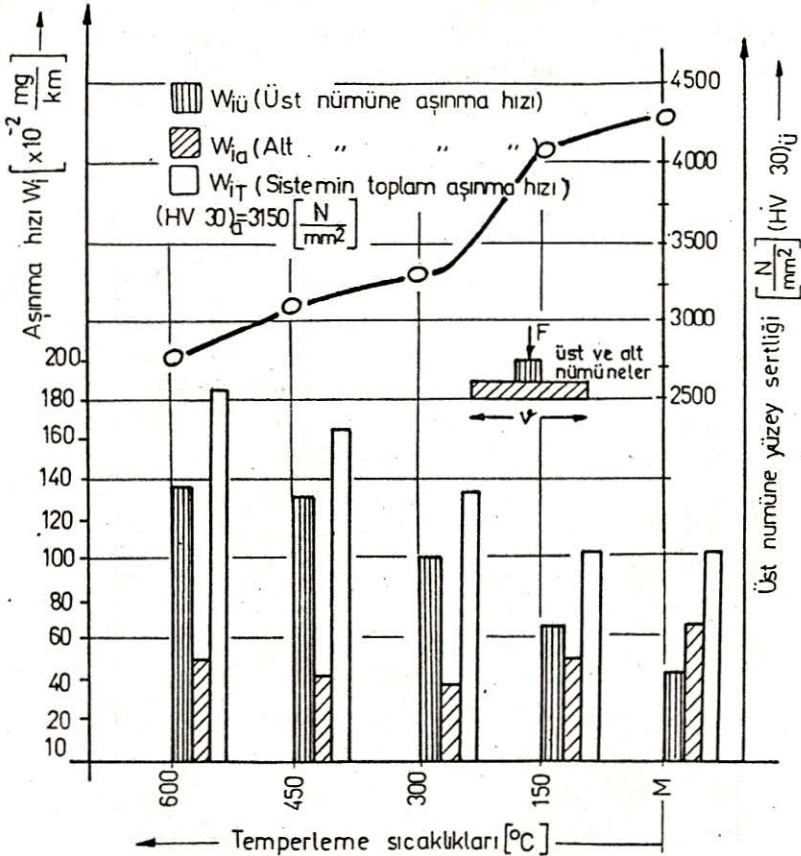
Şekil 1 - Çeşitli sertlikte ötektoidaltı çelik malzemelerin C-oranına bağlı olarak aşınma intensitesi değişimi ($l_w = 2100$ [m]; $p = 16$ [N/cm^2]; $v_0 = 0,15$ [m/s])

Bu sonuç ise daha fazla restostenit oranı ile ilgili bulunmuştur³. Aşınma hızının C-miktarı ile belirtilen ilgisi perlitaltı alaşımsız çelikler için geçerlidir. Daha yüksek karbonlu çelik malzemeler için (% C > 0,8) yapıda II. sementitin oluşması dolayısıyla bir süreksizlik sözkonusudur. Aynı şekilde yapıcı kalıcı oste-nidin (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 işlemleriyle yuvarlatılmış olması veya tane sınırları boyunca ince tabaka oluşturmaları, miktarları aynı bile olsa, aşınmaya etkilerinin büyük olması beklenebilir.

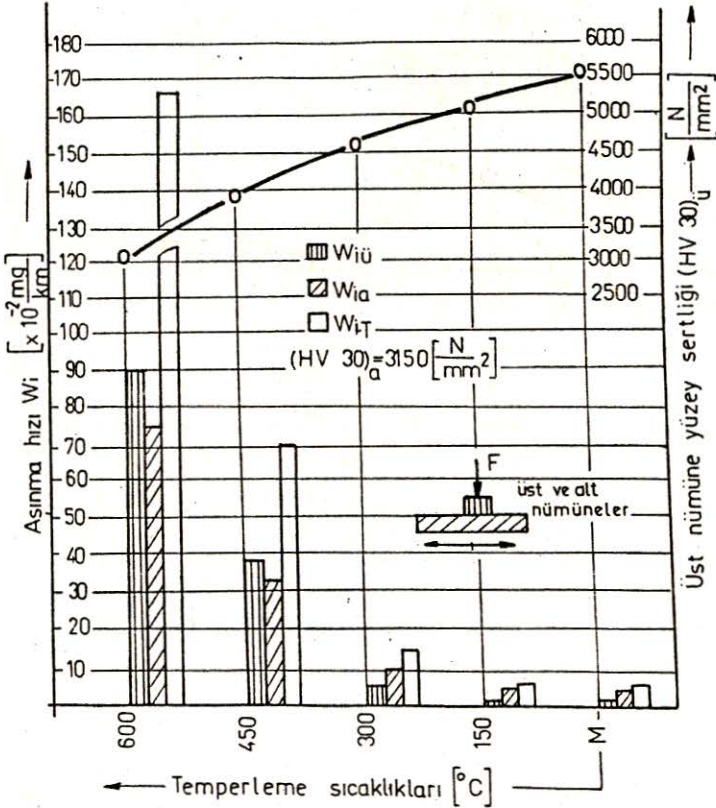
Sistem Özelliği Olarak Aşınma Yüzey Sertliği İlişkisi

Aşınma ile önemli bir malzeme karakteristiği sayılan sertlik değerlerinin bağımlılık tendensini belirlemek için karşı sürtünme elemanları tüm malzeme karakteristikleriyle sabit tutulmuştur; alt numunelerin deney başlangıcı taşlanmış yüzeylerinin sertlikleri, bütün deneyler için $HV_{30} = 3150 \text{ N/mm}^2$ (ve HRC = 35) değerindedir. Şekil 2.4'de genel olarak, yükselen sertlikle toplam aşınmanın azaldığı görülmektedir.



Şekil: 2 - Sürtünme elemanlarından birinin yüzey sertliğine bağlı olarak çelik/çelik sisteminin aşınma davranışı. Üst eleman (temel eleman) malzemesi: % 0,15 C-Çeligi. Karşı eleman: 60 SiMn5; M: Su verme sonu (temperlenmemiş) iç yapı. ($l_w = 2100 \text{ [m]}$; $p: 16 \text{ [N/cm}^2]$; $v_0 = 0,15 \text{ [m/s]}$)

Aynı şekilde muayene edilen bütün malzemeler için esas sürtünme elemanlarının (üst nünunelerin) 2,1 km sürtünme yolu sonundaki aşınma miktarları yüzey sertliği düştükçe, artmaktadır. Buna karşılık karşı sürtünme elemanları (alt nünuneler) esas elemanların artan sertlikleriyle (diğer deney faktörlerinin sabit kalması halinde) sürekli bir artış veya düşüş göstermemektedir. Alt nünune 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 nünunelerin % 0,30 C'lu çelik malzeme elemanlarıyla beraber çalışması halinde ise karşı eleman aşınmasında benzeri bir tendens görülür. Karşı eleman verilen deney şartlarında, üst nünunenin ensert (HV = 5500 N/mm²) veya en yumuşak olduğu (HV = 3000 N/mm²) değerlerinde değil, HV = 5000 N/mm² sertlik değerinde bir minimum gösterir.

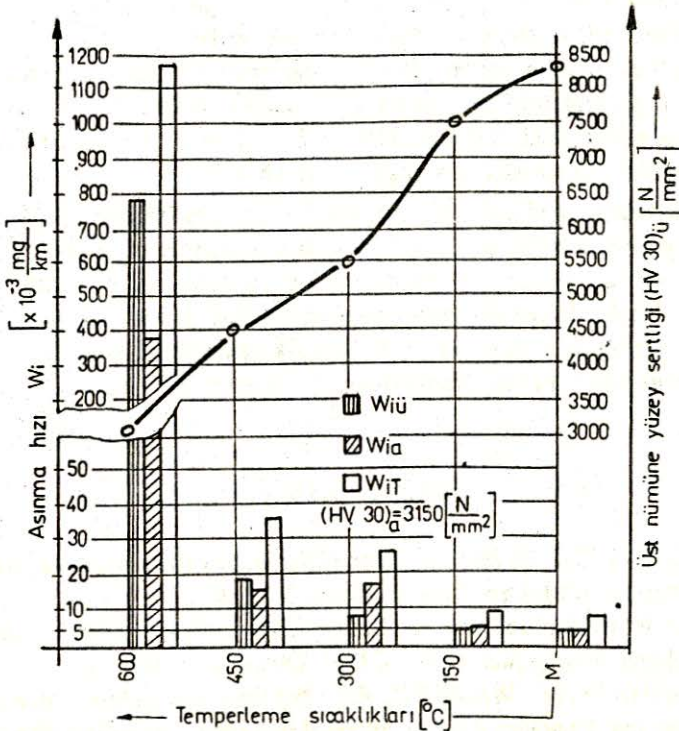


Şekil: 3 - % 0,30 C'lu çelik üst eleman yüzey sertliğine bağlı olarak sistemin aşınma davranışı. Karşı eleman: 60 SiMn5; M: Martensitik yapı ($t_w = 2100$ [m]; $p = 16$ [N/cm²]; $v_0 = 0,15$ [m/s])

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 top lam ve elemanlarının ayrı ayrı aşınma miktarlarında (üst numuneler 150-300°C civarında temperlenerek % 18 kadar sertlik düşüşü sağlandığı halde) herhangi bir değişiklik kaydedilmemiştir¹⁰.

Bu sonuçlar sadece sertlikten ziyade, sistemde rol oynayan aşınma mekanizmaları ve onların katılma oranlarıyla ilgilidir. Heterojen iç yapıya sahipolan sürtünme elemanlarının aşınmasında adhesyon ön planda olamayacağı için⁴ 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 $HV_{30} = 5000 [N/mm^2]$) yüzey pürüzlülüğü tepecikleri ve bu tepeciklerden oluşan yüksek lokal gerilmeler aşınmaya yönverici 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).



Şekil 4 - % 0,49 C'lu çelik üst eleman yüzey sertliği-sistem aşınma davranışı ilişkisi. Karşı eleman: 60 SiMn5 M: Mantensitik yapı ($l_w = 2100 [m]$; $p = 16 [N/cm^2]$; $v_0 = 0,15 [m/s]$)

Sertliğin düşmesiyle (ve temperleme ile plastik şekil değiştirme kabiliyetinin artmasıyla hızlandırılan) sürtünme oksidasyonu miktarı artar ki bu durum 3000-4000 [N/mm²] 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 N/mm² (Fe₂O₃) ve HV = 5000 N/mm² (Fe₃O₄) sertlik değerlerindeki oksit tabakalarından kopan aşınma tozları kendisinden daha az veya eşdeğer sertlikteki sürtünme elemanları temel malzemesini çizebilecek ve "mikrotaşı kaldırma" olayı başlayacaktır. 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 aşınması açısından, işlem görmemiş elemanlardan daha kötü sonuçlar verebileceğini ifade etmektedir. Şekil 2'de 300°C temperleme sıcaklığında, sistem aşınması bakımından optimum aşınma davranışının ortaya çıkışı, çelik malzemeler için, genel olarak eşit sertlikteki çiftlerin uygunluğu sonuçlarıyla paralellik içindedir⁵. Abrasiv aşınmanın hakim olduğu bölgelerde bile aşınma direncinin sadece sertliğe bağlı olmadığı bu çalışma çerçevesinde (eşit sertlik bölgelerindeki pek farklı aşınmaları: Şekil 2-4 deki HV = 3000 N/mm² civarı) ile ilgili literatürden çok sayıdaki çalışmalarda açıkça görülmektedir⁶⁻⁹.

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 gözönüne alınması gereken faktörlerdir. Diğer malzeme karakteristikleri hesaba katılmadan ve ölçülmeden bir sürtünme elemanına verilen sertlik yükseltilmesi, sistemin durumu-na göre olumsuz etki yaparak aşınma miktarını artırıcı olabilir.

KAYNAKLAR

1. DEMİRCİ, H.: Teknik kuru sürtünmeli bir deney düzeneği tasarım ve imalatı. Mühendis ve Makine. 29-330 (1987), S. 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) s. 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 Nr. 185 (1972) s. 35-44.
6. POLL, G.: Der Einfluss der realen Systemeigenschaften auf die Kraftschlussgesetze bei wälzender Relativbewegung Diss. RWTH.-Aachen 1983.
7. KRAUSE, H., DEMİRCİ, A.H.: The Texture changes in the running surfaces as the result of frictional stress. Wear 61 (1978) s. 325-332.
8. KRAUSE, H. DEMİRCİ, A.H.: Plastische Verformungen hervorgerufen durch Reibungsbeanspruchung im Kontaktflächenbereich eines Wälzsystems. Zeitschrift für Metallkunde 70 (1979) 8, s. 496-499.
9. TACKENBERG, W.: Verbesserung der Verschleisslebensdauer hochbeanspruchter ebener Gleitpaarungen Diss. RWTH-Aachen 1979.
10. DEMİRCİ, A.H.: Perlitli alaşımsız çeliklerde ısı işlemlerle aşınma mukavemeti değişiminin incelenmesi. I. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi 19-21 Eylül 1984, ODTÜ, Ankara, s. 539-548.