

AISI D6 ÇELİĞİNİN ADHESİF AŞINMA DAVRANIŞINA ISIL İŞLEM ŞARTLARI VE KAYMA HIZLARININ ETKİLERİ

Hasan HASIRCI

Döküm Eğitimi A.B.D., Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara
hasirci@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 07.10.2009 ; Kabul/Accepted: 31.05.2010)

ÖZET

Bu çalışmada, AISI D6 çeliğinin adhesif aşınma davranışına uygulanan tavlama ve normalizasyon ısıl işlemlerinin etkileri araştırılmıştır. Normalizasyon işleminde, çelik numuneler, 900 ve 950°C'de 30 dakika östenitlenmiş ve daha sonra havada soğumaya bırakılmıştır. Numune 850°C'de 30 dakika süreyle tavlansmıştır. Adhesif aşınma testleri, disk üzerinde pim cihazında, 20 ve 40N yük altında 1 ve 1.5 m s⁻¹ kayma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Tavlansmış numune adhesif aşınma direncinde ve sertliğinde azalma göstermiştir. Normalize edilmiş numunelerin adhesif aşınma direnci ve sertliği 900°C'de 30 dakikada artmış, ancak 950°C'de 30 dakikada sertlik ve aşınma direnci azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adhesif aşınma, AISI D6 çeliği, normalizasyon.

EFFECTS OF HEAT TREATMENT CONDITIONS AND SLIDING SPEEDS ON THE ADHESIVE WEAR BEHAVIOR OF AISI D6 STEEL

ABSTRACT

In this study, effects of wear speeds on the adhesive wear behavior of heat treated AISI D6 steel were investigated. In normalization, steel specimens were austenitized at 900 and 950 °C for 30 minutes and then air-cooled. Sample was annealed at 850 °C for 30 minutes. Adhesive wear tests were performed by pin-on-disc adhesive wear tester under loads of 20 and 40 N at a sliding speeds of 1 and 1.5 m s⁻¹. Annealed sample showed decreasing adhesive wear resistance and hardness. Adhesive wear resistance and hardness of normalized specimen increased up to 900 °C for 30 minutes, but it decreased at 950 °C for 30 minutes.

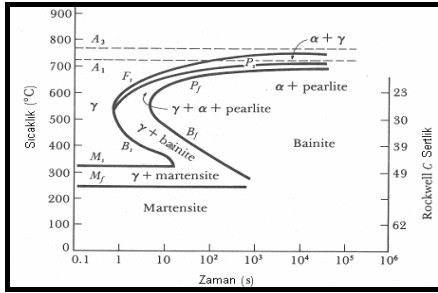
Keywords: Adhesive wear, AISI D6 steel, normalizing.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelik malzemeler, farklı amaçlarla çok farklı kullanım alanlarına sahip metalik malzemelerin başında gelmektedir. Bu nedenlerle farklı beklentilere sahip çeliklerin üretimi gerekmektedir. Bu malzemeler alaşım elementi ilavesi, deformasyon ve ısıl işlem yoluyla bu farklı beklentileri karşılayabilecek hale getirilebilmektedirler. Bu amaçlar doğrultusunda çeliklere normalizasyon, tavlama, östemperleme, martemperleme, borlama gibi daha bir çok ısıl işlem uygulanarak bu malzemelerin özellikleri geliştirilmekte ve hedeflenen amaçlara uygun malzemeler üretilmektedir [1-6]. Çelik malzemelere; tokluk, sertlik, süneklik ve işlenebilirlik özelliklerini geliştirmek, tane yapısını incelemek, artık gerilmeleri gidermek ve aşınma direncini

geliştirmek için farklı ısıl işlemler uygulanmaktadır. Bunların en önemlilerden birisi normalizasyon ısıl işlemleridir. Normalizasyon, çeliklerin kritik tavlama sıcaklığı üzerine ısıtılması ve havada soğutulması işlemlerini kapsamaktadır. Normalizasyon ötektoid altı ve ötektoid üstü çeliklerin her ikisi için üst kritik sıcaklık üzerinde uygulanabilir [1-5]. AISI D6 çeliği ısıl işlemlerdeki iyi boyutsal kararlılık ve derinliğine sertleştirme yapılabirlikleri ile öne çıkmaktadır. Isıl işlemlerin ardından yüksek oranda basma dayanımı ve aşınma direnci gösterirler. Bu çelik malzeme yüksek abrasif ve adhesif aşınma direncine sahiptir. Yumuşak ve sert kesme işlemlerinde kullanılırlar. Seramik kaplıları, kırıcı ve öğütücü tekerlekleri imalatları yaygındır. Derin çekme işlemlerinde, eğme, soğuk ve sıcak çekme araçları üretilebilir. AISI D6 çeliğinin

üstün yapısal ve mekanik özellikleri nedeniyle bir çok etkene karşı dayanıklı ve uzun ömürlü takımların imalatında kullanılmasında etkili olmaktadır [7-11].



Şekil 1. Çelikler için zaman-zaman-sıcaklık-dönüşüm (TTT) diyagramı [5] (Time-temperature-transformation (TTT) diagram for steels)

Şekil 1'de sıcaklık, süre ve sertlik ilişkisi sürekli zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramı yardımıyla gösterilmektedir. Çeliğin normalleştirilmesi neticesi, tavlama daha sert ve mukavemetli çelik oluşturmak, işlenebilirliği geliştirmek, tane yapısının modifiye edilmesi ve inceltmesi, çekme mukavemeti ve sertlikte azalma olmaksızın, nispeten iyi süneklik elde edilmektedir.

Isıl işlemlerin çelik malzemelere uygulanma amaçları doğrultusunda; tavlama ve normalizasyon ısıl işlemlerinin AISI D6 malzemesinin yapı, sertliği ile farklı yük ve kayma hızlarındaki adhesif aşınma karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL WORKS)

Aşağıda Tablo 1'de kimyasal bileşimi verilen AISI D6 çeliği çubuk şeklinde satın alınmıştır. Çelik malzemeye uygulanan ısıl işlemler Tablo 2'de özetlenmiştir. Numunelerin tavlama ısıl işlemleri 850°C'de, normalizasyon işlemleri ise 900 ve 950°C'de 30 dakika atmosfer kontrolsüz fırında işlem sıcaklık kontrolünün yapıldığı ortamda östenitlenerek havada soğumaya bırakılması şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. AISI D6 malzemesinin kimyasal bileşimi (%) (Chemical composition of AISI D6 material)

C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr
2,15	0,38	0,33	0,22	0,17	-	11,98
Ni	Mo	Cu	Al	Ti	V	Nb
0,16	0,13	0,05	0,014	0,003	0,038	0,004
W	Co	Sn	Pb	Fe		
0,61	0,034	0,009	0,022	Kalan		

Tablo 2. AISI D6 çeliğine uygulanan ısıl işlemler (Heat treatments applied to AISI D6 material)

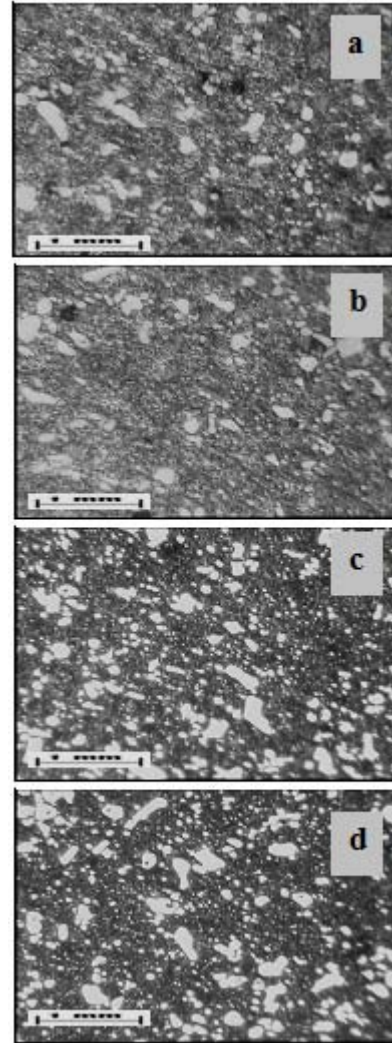
Numune no	Uygulanan Isıl İşlemler
1	İşlemsiz
2	850 °C sıcaklıkta 30 dakika tavlama
3	900 °C sıcaklıkta 30 dakika normalizasyon
4	900 °C sıcaklıkta 30 dakika normalizasyon

Bu çalışmada kullanılan numuneler standart metalografik işlemlerden sonra mikro yapısal incelemeye tabi tutulmuştur. Diğer yandan aşınma sonuçlarının yorumlanmasında kullanılmak amacıyla bütün numunelerin HRc cinsinden sertlikleri standart test şartlarında ısıl işlem görmüş yüzeylerden alınarak ölçülmüştür. Aşınma testleri, disk üzerinde pim aşınma test cihazında, 20 ve 40 N yükler altında 1 ve 1.5 m sn⁻¹ kayma hızlarında her bir test sırasında toplam 3600 metre yol yapılarak gerçekleştirilmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (Experimental Results and Conclusion)

3.1. Mikro Yapısal Özellikler (Micro structural Properties)

Isıl işlemsiz ve farklı ısıl işlemler uygulanmış numunelerin mikro yapıları aşağıda Şekil 2'de verilmiştir.



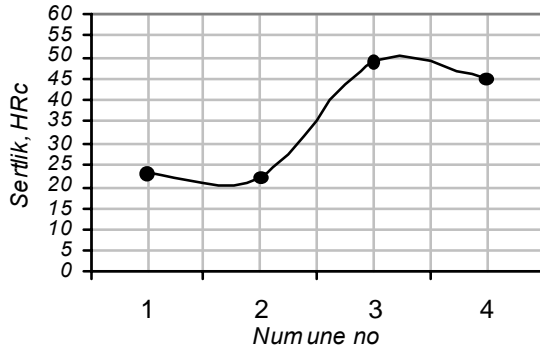
Şekil 2. Deneysel şartlara bağlı olarak AISI D6 malzemesinin mikro yapısında meydana gelen değişimler; a) 1 nolu numune, b) 2 nolu numune, c) 3 nolu numune, d) 4 nolu numune, (Dağlama %2'lik nital) (Variations in the microstructure of AISI D6 steel with experimental conditions; (a) specimen 1, (b) specimen 2, (c) specimen 3 and (d) specimen 4, Etchant is 2% nital solution)

Mikro yapı görüntülerine bakıldığında; ısıl işlemsiz 1 nolu numunenin AISI D6 çeliğinin bileşimi nedeniyle perlit+ledeburitten (Şekil 2.a), ısıl işlem uygulanmış numunelerin ise dönüşüme uğrayarak şartlara bağlı farklı oranlarda perlit+ledeburitten meydana geldiği görülmektedir. Tavlama uygulanması sonucunda ve normalizasyon ısıl işlem sıcaklığının artmasıyla (950°C) birlikte genel olarak perlit miktarının arttığı tespit edilmiştir.

Farklı ısıl işlemlerin uygulanmasına karşın, satın alınmış, tavllanmış ve normalize edilmiş (Şekil 2) numunelerde benzer mikro yapılar elde edilmiştir. Çünkü uygulanan ısıl işlemlerle AISI D6 çelik malzemenin yapısı faz dönüşümü açısından fazla bir değişikliğe uğramamaktadır. Diğer yandan 900°C'den daha yüksek sıcaklıkta (950°C) normalize edilen numunede yapıda bir miktar kabalaşmanın meydana geldiği görülmüştür.

3.2. Sertlik ve Aşınma Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of Hardness and Wear Tests)

Normalizasyon işlemleri genellikle çelik malzemelerde soğuk deformasyon etkilerinin kısmen azaltılması ve malzemenin sertliğinin bir miktar artırılması amacıyla uygulandığı bilinmektedir [1-5,12]. Bu çalışmadaki sonuçlar incelendiğinde; elde edilen sonuçların normalizasyon ve tavlama ısıl işlemlerinin amaçlarına uygun olduğu Şekil 3'teki sonuçlardan görülmektedir. Bu sonuçlar; normalizasyon işlemi ile malzeme sertliğinde büyük miktarda artışın (\cong %100)



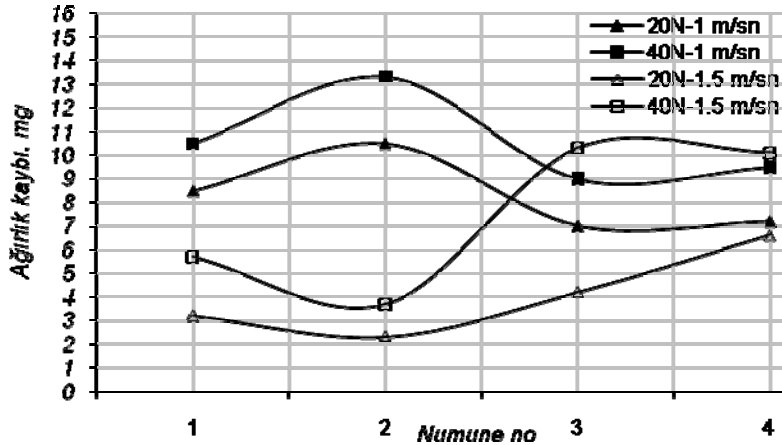
Şekil 3. Farklı işlemler sonucunda numunelerin sertlik değerlerinin değişimi (Variation of hardness values of specimens after different treatments)

meydana geldiğini göstermiştir. Tavllanmış numune incelendiğinde ise; uygulama sıcaklığı ve süresi açısından malzeme sertliği bu ısıl işlemin doğal sonucu olarak orijinal halinden daha da düşük elde edilmiştir. Öte yandan normalizasyonlu numuneler kendi aralarında değerlendirildiklerinde, normalizasyon işleminin, uygulama sıcaklığının 50°C artmasıyla birlikte numunelerin sertliklerinde bir azalmanın meydana geldiği görülmektedir. Normalize edilen numunede sertlikteki bu azalmanın daha yüksek (950°C) sıcaklıkta uygulanan ısıl işlem sonucunda daha önce mikroyapı kısmında bahsedilen bir miktar yapısal kabalaşmaya bağlı olduğu görülmektedir.

Üretilen numuneler aşınma şartlarındaki davranışlarının belirlenmesi amacıyla aşınma testlerine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3 ve Şekil 4 verilmiştir. Diğer yandan aşınma işlem şartlarından kayma hızındaki değişime bağlı olarak her bir yük için değişimler % olarak Şekil 5 ve ısıl işlemsiz malzeme referans alınarak ağırlık kaybındaki değişim mg türünden meydana gelen değişimler ise Şekil 6'da gösterilmiştir. Sonuçlar uygulanan yükler bakımından değerlendirildiğinde; uygulanan yük miktarındaki artışla birlikte tüm numunelerde aşınma miktarında da artışın meydana geldiği görülmüştür. Numunelerdeki aşınma miktarlarının aynı zamanda üretilen malzemelerdeki sertliklerle doğru orantılı olduğu da elde edilen sonuçlardan açıkça görülmektedir. Aşınma çalışmalarında elde edilen sonuçlar sadece sertlikle ilişkilendirilerek değerlendirilmemektedir. Metal ve alaşımlarının aşınma özellikleri genellikle mikro yapısal ve mekanik özellikleri ile yapılan işlemlere bağlı olarak değişmektedir [12-18]. Diğer yandan bazen de sonuçlar açısından bir terslik yoksa, sertlik tek başına bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar sertlikle ilişkili olarak değişmektedir. Numune sertliğinin artmasıyla aşınma miktarı azalmaktadır. 1 m/sn kayma hızındaki testler sırasında uygulanan her iki yükte de en fazla aşınma en yumuşak 2 nolu tavllanmış numunede meydana gelirken, en düşük aşınma ise en yüksek sertliğe sahip 3 nolu numunede (900°C'de normalizasyon) meydana gelmektedir. Normalize edilen numuneler (3 ve 4 nolu numuneler) kendi aralarında değerlendirildiğinde ise; yine ısıl işlemlerle elde edilen sertlikteki artışla aşınma miktarının

Tablo 3. Deneysel şartlarla AISI D6 çelik numunelerin ağırlık kaybının değişimi (TVariations in weight loss of specimens of AISI D6 steel with experimental conditions)

Numune No	Ağırlık Kaybı (mg), (Yük: 20 N)		Ağırlık Kaybı (mg), (Yük: 40 N)		Kayma hızındaki artışa bağlı olarak ağırlık kaybının değişimi (%)		Sertlik (HRC)
	Kayma Hızı 1 m/sn	Kayma Hızı 1.5 m/sn	Kayma Hızı 1 m/sn	Kayma Hızı 1.5 m/sn	Yük: 20 N	Yük: 40 N	
1	8.5	3.2	10.5	5.7	- 62.4 ↓	- 45.7 ↓	23
2	10.5 ↑	2.3 ↓	13.3 ↑	3.7 ↓	- 78 ↓	- 72.2 ↓	22
3	7 ↓	4.2 ↑	9 ↓	10.3 ↑	- 40 ↓	+ 14.4 ↑	49
4	7.2 ↓	6.6 ↑	9.5 ↓	10.1 ↑	- 8.3 ↓	+ 6.3 ↑	45

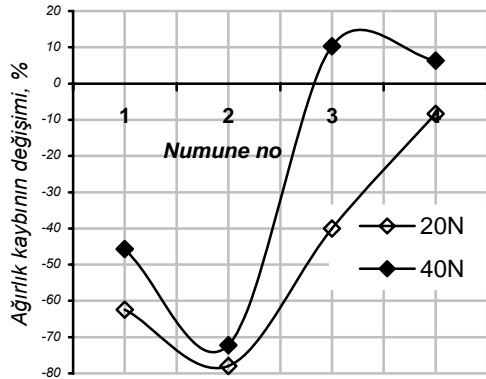


Şekil 4. Deneysel şartlarla AISI D6 çelik numunelerinin ağırlık kaybının değişimi (Variations in weight loss of specimens of AISI D6 steel with experimental conditions)

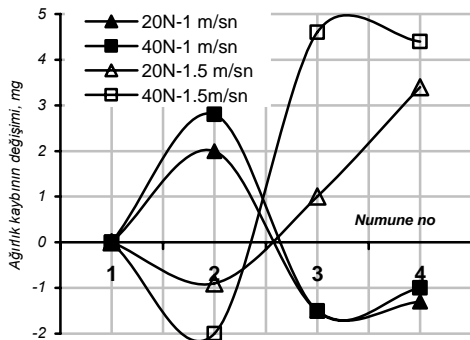
azaldığı görülmektedir. Normalizasyonla sertliğin artması aşınmayı azaltmakta (3 nolu numune), ancak 4 nolu numunede ise sıcaklığın 900°C'den 950°C'ye artmasıyla birlikte yapısal kabalaşma nedeniyle sertlik azalmakta ve aşınma miktarı da doğal olarak artmaktadır. Başka bir ifadeyle 1 m/sn kayma hızındaki aşınma miktarları sertlikle ters bir ilişkiye sahiptir. Diğer yandan 1.5 m/sn kayma hızında ise durum tersine dönerek aşınma miktarları 4 nolu

numune hariç genel olarak sertlikle paralellik göstermektedir. Sertlik arttıkça aşınma da artmaktadır.

Bu çalışmanın diğer bir yönü olan kayma hızındaki değişime bağlı olarak aşınma miktarının değişiminin tespit edilmesi farklı hızlarda birbirleri üzerinde çalışacak olan AISI D6 çeliğinin bu özelliğinin karakterize edilmesinde yararlı olacaktır. Bu amaçla 1 ve 1.5 m/sn hızlarında yapılan testlerde yükün 20'den 40N'a artışı sonucunda aşınmanın % değişimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Kayma hızındaki artışa bağlı olarak AISI D6 çeliğinin ağırlık kaybının değişimi (Variations in weight loss of specimens of AISI D6 steel depend on increasing sliding speed)



Şekil 6. 1 nolu ısıl işlemsiz numune baz alınarak aşınma sonuçlarının değişimi (Variation of the wear results based on specimen 1 without heat treatment)

Sonuçlar bütün numunelerde yük artışına bağlı olarak aşınmanın arttığını, ancak kayma hızının artmasıyla genelde azaldığını açıkça ortaya koymaktadır. Yükün artmasına bağlı olarak malzeme daha kolay deformasyona uğrayarak yorulmakta ve numune yüzeyinde malzeme kaybında artmaya neden olmaktadır. Buna bağlı olarak aşınma miktarı artmaktadır. Kayma hızının artması sertliği ve yapısal gerilimi yüksek olan malzemelerde hızlı (kısa mesafede) pekleşme ve dinamik yorulmaya bağlı olarak aşınmanın arttığı görülmektedir.

Diğer yandan aşınma sonuçları ağırlık kaybı (mg) cinsinden 1 nolu işlem uygulanmamış numune temel değer alınarak ısıl işlemin etkilerinin gösterilebilmesi açısından da sonuçların değerlendirilmesi Şekil 6'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde tavlama yapılan ve bundan dolayı sertliği azalan 2 nolu numunede yükün artmasıyla referans malzemeye oranla ağırlık kaybının arttığı, hızın artmasıyla ise azaldığı görülmektedir. 3 ve 4 nolu numunelerde ise yüke bağlı olarak aşınma artarken, hızın artmasına bağlı olarak 4 nolu numunede ise azalmaktadır. Aynı yük şartlarında kayma hızındaki artış daha yumuşak yapıya sahip malzemenin hızlı bir şekilde deformasyona uğramasına ve bunun sonucunda pekleşme miktarının artmasına yol açarak aşınmanın azalmasına sebep olmuştur. 3 ve 4 nolu normalize edilmiş numunelerde ise durum bu nedenle tam aksi yönde gelişmiştir. Bu numunelerin yapılarındaki katı

eriyiklere bağlı olarak yüksek sertlikleri nedeniyle deformasyon miktarı azalmakta ve gevrek bir davranışa sebep olmaktadır. Bu gevrek ve düşük deformasyon kabiliyetli yapıya bağlı olarak kayma hızının artması sonucunda malzeme yapısı hızlı bir şekilde bozularak aşınmanın artmasına neden olmaktadır.

Aşınma testleri sırasında meydana gelen sürtünme kuvvetleri ve oluşan sıcaklıklar da eş zamanlı olarak ölçülmüştür (Şekil 7). 1 m/sn kayma hızındaki ölçüm değerlerinin ortalamalarına bakıldığında, 20N yükte en yüksek sıcaklık (49.6°C) ve kuvvet (7.6N) normalize edilmiş en sert 3 nolu numunede olurken, en düşük sıcaklık (37.6°C) ve kuvvet (3.96N) daha yumuşak 4 nolu normalize edilmiş numunede meydana gelmiştir.

Öte yandan 40N yükte ise en yüksek sıcaklık (76.8°C) ve kuvvet (16.65N) 4 nolu normalize edilmiş numunede olurken, en düşük sıcaklık (65.3°C) ve kuvvet (13.69N) 2 nolu tavllanmış numunede meydana gelmiştir. 1.5 m/sn kayma hızındaki aşınma test sonuçları da farklı eğilimde oluşmuştur. Sonuçlar yukarıdaki sırasıyla verildiğinde 20N yükte en yüksek sıcaklık (54.2°C) ve kuvvet (5.9N) 4 nolu normalize edilmiş numunede olurken, en düşük sıcaklık (42.4°C) ve kuvvet (5N) daha yumuşak 1 nolu ısıl işlemsiz numunede, 40N yükte ise en yüksek sıcaklık (86.8°C) ve kuvvet (14.9N) 4 nolu normalize edilmiş numunede olurken, en düşük sıcaklık (53.8°C) ve

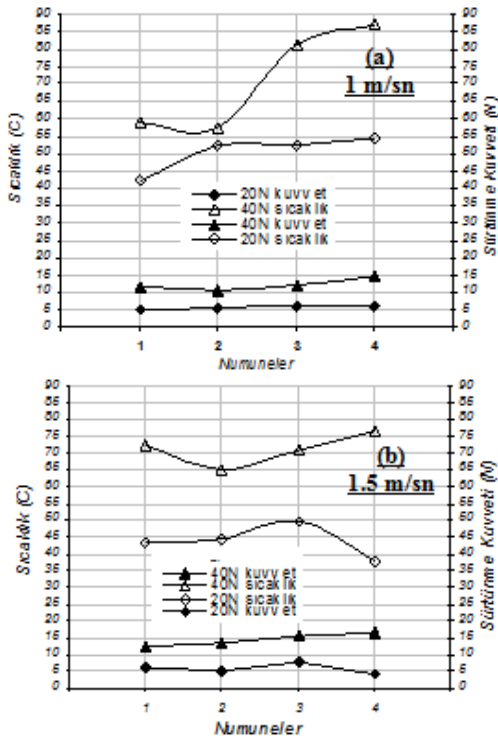
kuvvet (10.9N) 2 nolu tavllanmış numunede meydana gelmiştir.

Sonuçlar genel değerlendirmeye tabi tutulduğunda düşük kayma hızında yüksek sürtünme kuvveti ve sıcaklık daha sert numunelerde elde edilirken, daha yumuşak olan numunelerde kolay deformasyon nedeniyle düşük sıcaklık ve kuvvet meydana gelmiştir. Ancak hız arttığında ise en yüksek sıcaklık ve sürtünme kuvveti ısıl işlem sonucu yapısında kabalaşma ve sertliğinde azalma olan 4 nolu numunede meydana gelmiştir. Aynı şekilde daha çarpıcı bir sonuç olarak bu çalışmadaki en yüksek ve en düşük sıcaklık ve kuvvet nispeten sert ve kabalaşmış yapıya sahip olması nedeniyle daha fazla deformasyona müsait 4 nolu numunede meydana gelmiştir.

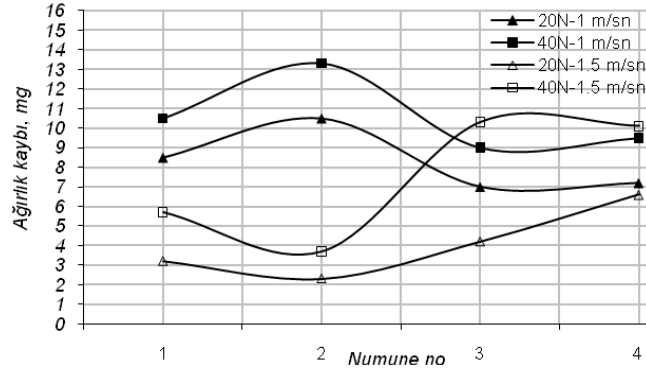
Aşınma sonuçlarının açıklanmasında kullanılan verilerden birisi de aşınma yüzeyi görüntüleridir. Bu amaçla aşınan yüzeylerden alınan görüntüler Şekil 8'de verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde; 1 m/sn hızdaki testler sonucunda genel olarak nispeten sertliğin düşük olduğu numunelerde aşınma yüzeylerinde deformasyon ve derin aşınma izlerine rastlanmaktadır. Sertliğin yüksek olduğu normalize edilmiş numunelerde ise çok ince aşınma izleri meydana gelmiştir. Normalizasyon sıcaklığının artmasıyla sertliğin azalıp aşınmanın arttığı 4 nolu numunede de aşınan yüzeydeki izlerin derinliği ve sürekliliği açıkça görülmektedir. Ancak kayma hızının 1.5 m/sn'ye artması sonucunda elde edilen yüzey görüntüleri incelendiğinde ise hızlı deformasyona bağlı özellikle sert ve kırılmalı yapıya sahip numunelerde aşınma yüzeylerinde daha derin ve geniş çiziklerin bulunduğu görülmektedir. Yumuşak malzemelerde ise yüksek hızla bağlı olarak meydana gelen nispeten sıvanmalar neticesinde katmanlı bir yüzey görüntüsü hakimdir. Bu görünüm aşırı deformasyona bağlı olarak pekleşme ve yüzeysel sertliğin artmasıyla aşınmanın azaldığını açıkça göstermektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- Isıl işlemsiz haldeki AISI D6 malzemesinin sementit+ledeburit olan yapısında ısıl işlem süresine bağlı olarak oluşan östenitin dönüşerek oluşturduğu sementit miktarı da artmaktadır. Normalizasyon sıcaklığının 900°C'den 950°C'ye artması sonucunda yapıda bir miktar da olsa kabalaşma görülmüştür.
- Orijinal malzemenin sertliği tavlama ile azalmış, normalizasyon ile artmıştır. Ancak normalizasyon sıcaklığının 950°C'ye artması sonucunda ise yapısal kabalaşma neticesinde azalmıştır.
- Sertliğin artmasına paralel olarak aşınma miktarları azalmıştır. En düşük sertliğin bulunduğu tavllanmış numunede en fazla aşınma olurken, sertliğin en fazla olduğu sıcaklığının 900°C'de 30 dakika normalize edilmiş numunede



Şekil 7. Yükteki artışa bağlı olarak AISI D6 çelik numunelerinin oluşan sıcaklık ve sürtünme kuvvetinin değişimi (Variations in temperature and frictional force of specimens of AISI D6 steel depend on increasing load)



Şekil 4. Deneysel şartlarla AISI D6 çelik numunelerinin ağırlık kaybının değişimi (Variations in weight loss of specimens of AISI D6 steel with experimental conditions)

ise en az aşınma meydana gelmiştir. Diğer yandan normalizasyon sıcaklığının artması sonucunda sertlik azalırken, aşınma miktarı ise artmıştır. Ancak bu sonuç 1.5 m/sn kayma hız ve 40N yük altında değişerek 4 nolu numune daha set olan 3 nolu numuneden daha az aşınmıştır.

- Uygulanan yük artarken aşınma miktarı, sürtünme kuvveti ve oluşan sıcaklık da bunlara paralel olarak artarken, kayma hızının artmasıyla aşınma miktarı büyük oranda, oluşan kuvvet ve sıcaklık ise nispeten azalmaktadır. Ancak bu sonuç da 1.5 m/sn kayma hız ve 40N yük altında değişerek 4 nolu numune daha az aşınma, sürtünme kuvveti ve sıcaklık meydana getirmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ozcatalbas Y, Ercan F, “The effects of heat treatment on the machinability of mild steels”, Journal of Materials Processing Technology, 136, 227–238, 2003.
2. Jokhio M. H, Memon S. A. and Sangi M. J, “Effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of low carbon SEA 1010 steel” Quaid-E-Awam Universty Research Journal of Engeenering, Science and Technology Volum 1, No 1, January-June 2000.
3. Heat Treatment Procedure Qualfication Final Technical Report The Pennsylvania State University, Park, PA, Work Performed Under Contract No. DE-FC07-99ID13841, Work Prepared for U.S. Department of Energy,”<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/836878-AegKF8/836878.PDF>”. (May 2009)
4. Part1Materials,http://media.wiley.com/product_data/excerpt/03/04714499/0471449903.pdf, May 2009.
5. http://www.boun.edu.tr/undergraduate/engineering/mechanical_engineering.html “heat treatment.doc”, May 2009.
6. Massachusetts Institute of Technology Department of Mechanical Engineering Cambridge, MA 02139.002 Mechanics and Materials II Spring 2004 Laboratory Module No. 5 Heat Treatment of Plain Carbon and Low Alloy Steels: Effects on Macroscopic Mechanical Properties, “Heat treatment of carbon steel and low alloy steel.pdf”, May 2009.
7. Tool Steel, <http://www.cogne.com/schedeprodotti/UK19.pdf>, July 2009.
8. Steels For Cold Work Tooling, <http://www.uddeholm.co.jp/pdf/coldwork-english.pdf>, July 2009.
9. Thyrodur 2436, http://www.gsmetal.cz/pdf/thyrodur_2436_cz.pdf, July 2009.
10. BöhlerK107 ColdWork Tooling, http://www.osmanlicelik.com.tr/images/pdf/K107_DE.pdf, July 2009.
11. Part-1, http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/dm_app/Part_1.pdf, July 2009.
12. M. Gojic’, L. Kosecb, P. Matkovic, “Embrittlement damage of low alloy Mn–V steel Engineering Failure Analysis”, 10, 93–102, 2003.
13. N. Saheb, T. Laoui, A.R. Daud, M. Harun, S. Radiman, R. Yahaya, “Influence of Ti addition on wear properties of Al–Si eutectic alloys”, Wear, 249 656–662, 2000.
14. Hasırcı, H. ve Gül, F. “Al-Cu Döküm Alaşımlarının Abrasif Aşınma Davranışına Magnezyum ve Nikel’in Etkileri”, 11. Uluslararası Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Cilt-II, 1306-1313, 19-20-21, Nisan 2006, Denizli.
15. Sawla, S. and Das, S. “Combinet effect of reinforcement and heat treatment on the two body abrasive wear of aluminum alloy and aluminum particle composites”, Wear, 257, 555-561, 2004.
16. Lasa, L. and Rodriguez-Ibabe, J.M.. Effect of composition and processing route on the wear behaviour of Al-Si alloys. Scripta Materialia, 46, 477-481, 2002.
17. Sun, Y., Baydoğan, M. and Çimenoglu, H., “The effect of deformation before ageing on the wear resistance of an aluminum alloy” Materials Letters, 38, 221-226, 1999.
18. Jiang, Q.C., Xu, C.L., Lu M. and Wang, H.Y., “Effect of new Al-P-Ti-TiC-Y modifier on primary silicon in hypereutectic Al-Si alloys”, Materials Letters, 59, 624-628, 2005.