



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLAZMA NİTRÜLENMİŞ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN SÜRTÜNME
AŞINMA DAVRANIŞLARI**

Ahmet Yılmaz

0000-0002-9062-2756

Doç. Dr. Hakan AYDIN

0000-0001-7364-6281

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Ahmet YILMAZ tarafından hazırlanan ‘‘Plazma Nitrürlenmiş Soğuk İŐ Takım  eliklerinin Sürtünme AŞınma Davranışları’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Hakan AYDIN

BaŐkan : Doç. Dr. Hakan AYDIN

Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ORCID: 0000 – 0001 – 7364 – 6281

 ye : Doç. Dr. Ali DURMUŐ

Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ORCID: 0000 – 0003 – 2487 - 7344

 ye : Dr. ÖĐr. Üyesi Mümin TUTAR

Milli Savunma Üniversitesi Hava Astsubay Meslek Yüksek Okulu

Teknoloji Bilimleri Bölümü

ORCID: 0000 – 0002 – 7286 – 3433

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hüseyin AKSEL EREN

Enstitü M d r 

.../.../2019

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

27/09/2019

Ahmet YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PLAZMA NİTRÜRLENMİŞ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN SÜRTÜNME AŞINMA DAVRANIŞLARI

Ahmet YILMAZ

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan AYDIN

Bu tez çalışmasında endüstride sıkça kullanılan D2, D6, Calmax, Hws Rovalma ve Vanadis4 gibi soğuk iş takım çeliklerinin plazma nitrüleme işleme öncesi ve sonrası sürtünme-aşınma davranışları incelenmiştir. Çalışma kapsamında çeliklere vakum fırınında ısıtma işlemi, yüzey taşlama ve plazma nitrüleme (%75 N₂ + %25 H₂ ortamında, 450 °C ve 2 mbar basınçta 12 saat süre ile) uygulanmış ve akabinde yüzey pürüzlülük ölçümü, kesit mikroyapısı, mikro sertlik ve sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Numunelerin sürtünme aşınma karakteristikleri kuru sürtünme ortamında ball on-disc testiyle elde edilmiştir. Plazma nitrülemenin numunelerin yüzey pürüzlülüğünü artırdığı belirlenmiştir. Ancak bu etkinin nitrülenmemiş numunenin yüzey pürüzlülüğünün artması ile azaldığı görülmüştür. X-Işını Difraksiyonu (XRD) testi sonucunda numunelerin yüzeyinde Fe₄N (γ'), Fe₃N (ϵ) and CrN gibi nitrür fazları olduğu tespit edilmiştir. D2 ve D6 çeliklerinde plazma nitrüleme sonrası yüksek yüzey sertliği elde edilmiştir. Ball-on disc aşınma düzeneğinde kayda değer bir kütle kaybı elde edilmemiş ve Hws Rovalma- Vanadis4 çeliklerinde pin-on disc düzeneğinde çalışılmıştır. Ball-on disc düzeneğinde aşınmış bölgeler Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Plazma nitrüleme aşınma dayanımını artırarak sürtünme katsayısını düşürmüştür. Plazma nitrülenmiş D2 çeliği en yüksek aşınma dayanımına sahipken, Calmax çeliği en düşük aşınma dayanımına sahiptir. Ancak plazma nitrülenmiş Calmax çeliği diğerlerine göre daha düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Genel olarak gevrek tabaka/faz kırılmaları sürtünme katsayısını belirlemiştir. Pin-on disc düzeneğinde anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Pin-on disc test sonuçlarına göre Vanadis4 çeliği aşınma dayanımı Hws Rovalma çeliğine göre yüksek çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğuk iş takım çeliği, plazma nitrüleme, mikrosertlik, sürtünme katsayısı, aşınma yüzeyi karakterizasyonu

2019, x + 26 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

FRICITION-WEAR CHARACTERISTICS OF PLASMA NITRIDED COLD WORK TOOL STEELS

Ahmet YILMAZ

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan AYDIN

In this thesis, different types of cold work tool steels (D2, D6, Calmax, Hws Rovalma and Vanadis4 tool steels) were used. These cold work tool steels were heat treated in vacuum hardening, grinded and plasma nitrided in 75% N₂ + 25% H₂ atmosphere at 450 °C for 12 h at a pressure of 2 mbar. Characterization of all plasma nitrided samples has been carried out by means of surface roughness measurement, cross-sectional microstructure, microhardness and friction coefficient. Wear and friction characteristics of the samples have been investigated using a ball-on-disc friction and wear tester with a WC-Co ball as the counterface under dry sliding conditions. Plasma nitriding increased the surface roughness of the samples. However, this effect decreased with increasing the surface roughness of the base metal. Fe₄N (γ'), Fe₃N (ϵ) and CrN phases were generally obtained on the surfaces of the samples via X-Ray Diffraction (XRD) method. Higher surface hardness was obtained in the plasma nitrided D2 and D6 steels. No significant mass loss was observed in the ball on-disc tribosystem and pin-on disc tests were conducted for Hws Rovalma and Vanadis4. The wear of the ball-on disc samples was characterized with the worn surfaces using a scanning electron microscope (SEM). Plasma nitriding improved the wear resistance and decreased the friction coefficient of the tool steels. Plasma nitrided D2 steel showed the highest wear resistance, whereas plasma nitrided Calmax steel exhibited the lowest wear resistance. However, plasma nitrided Calmax tool steel had relatively lower friction coefficient than the other plasma nitrided tool steels. In general, brittle nitride layer fractures have determined the friction coefficient. Pin-on disc tribosystem gave meaningful results which give possibility to evaluate wear resistance. According to pin-on disc test results, wear resistance of Vanadis4 is higher than Hws Rovalma.

Key Words: Cold work tool steel, plasma nitriding, microhardness, friction coefficient, wear surface characterization

2019, x + 26 pages

TEŐEKKÖR

Tez çalıőmam boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli danıőmanım Doç. Dr. Hakan AYDIN'a çok teőekkÖr ederim.

Çalıőmamın baőlamasında ve gerçekleőmesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Beyçelik Gestamp Teknoloji ve Kalıp A.Ő. ye Ar-ge MÖdÖrÖ Zikri MUTLU Őzelinde teőekkÖr ederim.

Çalıőmanın fonlanmasındaki katkılarından dolayı TUBİTAK'a (TÖrkiye Bilimsel ve Teknolojik Araőtırma Kurumu) teőekkÖr ederim. Çalışma 3180859 nolu TEYDEB1501 projesi kapsamında desteklenmiőtir.

Sabır ve desteklerinden dolayı eőim Meryem YILMAZ, kızım Zehra YILMAZ ve aileme teőekkÖr ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	6
3.1. Mikroyapı İncelemeleri.....	6
3.2. Sertlik Ölçümleri.....	7
3.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü.....	7
3.4. Ball-on Disc Aşınma Testi.....	8
3.5. Pin-on Disc Aşınma Testi	8
3.6. SEM İle Aşınma İzi Görüntüleme	8
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	9
5. SONUÇ	21
KAYNAKLAR	23
ÖZGEÇMİŞ	25

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simge	Açıklama
N	Azot
H	Hidrojen
ϵ	Epsilon fazı
γ'	Gama Fazı
D2	D2 çeliği
D6	D6 çeliği

Kısaltma	Açıklama
XRD	X-Işını Difraksiyonu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.2. Numune kesit Vickers mikro sertlik ölçümleri.....	5
Şekil 4.1. 200 büyütme oranına sahip optik fotoğraflar.....	7
Şekil 4.2. 2° geliş açışı ile alınmış XRD sonuçları	8
Şekil 4.3. Kesitten derine mikrosertlik dağılımı	9
Şekil 4.4. Plazma nitrülenmemiş D6 takım çeliğinin sürtünme katsayısı değişimi.....	10
Şekil 4.5. Plazma nitrülenmiş D6 takım çeliğinin sürtünme katsayısı değişimi.....	11
Şekil 4.6. Plazma nitrülenmemiş D6 takım çeliğinin SEM fotoğrafı (a) plazma nitrülenmiş D6 takım çeliğinin SEM fotoğrafı (b)	11
Şekil 4.7. Plazma nitrülenmemiş D2 takım çeliğinin sürtünme katsayısı değişimi.....	12
Şekil 4.8. Plazma nitrülenmiş D2 takım çeliğinin sürtünme katsayısı değişimi.....	12
Şekil 4.9. Plazma nitrülenmemiş D2 takım çeliğinin SEM fotoğrafı (a) plazma nitrülenmiş D2 takım çeliğinin SEM fotoğrafı (b)	13
Şekil 4.10. Plazma nitrülenmemiş Calmax takım çeliğinin sürtünme katsayısı değişimi	14
Şekil 4.11. Plazma nitrülenmemiş Calmax takım çeliğinin sürtünme katsayısı değişimi	14
Şekil 4.12. Plazma nitrülenmemiş Calmax takım çeliğinin SEM fotoğrafı (a) plazma nitrülenmiş Calmax takım çeliğinin SEM fotoğrafı (b).....	15
Şekil 4.13. Plazma nitrülenmemiş Hws Rovalma çeliği birim ölçüm kütle kaybı	16
Şekil 4.14. Plazma nitrülenmiş Hws Rovalma çeliği birim ölçüm kütle kaybı	16
Şekil 4.15. Plazma nitrülenmemiş Vanadis4 çeliği birim ölçüm kütle kaybı	17
Şekil 4.16. Plazma nitrülenmiş Vanadis4 çeliği birim ölçüm kütle kaybı	17

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları	4
Çizelge 4.1. Deney numunelerinin yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları (PN: Plazma Nitrüleme).....	7
Çizelge 4.2. Pin-on disc aşınma numunelerinin kütle kayıp değerleri	17

1. GİRİŞ

Endüstride kullanılan takım çelikleri ömürleri boyunca baskı kuvvetleri, sürtünme kaynaklı kayma gerilmeleri, termal gerilmeler (sürtünme enerjisi kaynaklı) ve kimyasal yükler (çevresel etkiler kaynaklı) gibi kuvvetlere maruz kalmaktadır (Okonkwo ve ark. 2016, Groche ve ark. 2013, Gresik 2017, Tobola ve ark. 20017, Lind ve ark. 2010). Takım çeliği yeterince mukavim değil ise bu kuvvetler aşınma, yapışma, kenar dökülmesi, çatlama-kırılma ve plastik şekil değişimi şeklinde hasarlara sebep olabilir. Özellikle takım çeliği ve çalışma parçası arasındaki temas yüzeyinde en yüksek zorlanma meydana gelmektedir. Bu sebeple takım çelik yüzeyinin sertleştirilmesi kritik öneme sahiptir. Plazma nitrürleme işlemi vakum ortamı ve 400-560 °C sıcaklık aralığında azot atomlarının malzeme yüzeyine difüze olarak malzeme yüzey sertliği artıran ve takım çeliklerinin yüzey sertleştirilmesinde birçok avantaj sunan bir yüzey modifikasyon uygulamasıdır. Plazma nitrürleme işlemi takım çeliği yüzey mikroyapısını değiştirip, yüzey sertliğini artırıp tokluğunu düşürmektedir (Conci ve ark. 2014, Alves ve ark. 2007, Aydın ve ark. 2013, Zeghni ve ark. 2004).

Plazma nitrürleme azot gazının metal yüzeyine difüze olarak malzemenin yorulma, aşınma, korozyon dayanımlarını ve yüzey sertliklerini artırmak amacıyla uygulanan bir termomekanik uygulamadır (Yeşilçubuk 2010).

İşlem sıcaklığı 350-580 °C aralığıdadır.

Epsilon (ϵ - Fe₂-3N), Gama (γ - Fe₄N) ya da karma (ϵ + γ) demir nitrür fazlarından nitrür tabakası (beyaz tabaka) oluşur.

Difüzyon tabakasında azot atomları ferritik kafes içine yerleşerek nitrür oluşumunu artırır.

Ani soğutma, su verme yoktur.

Genellikle orta karbonlu, krom, alüminyum, vanadyum, tungsten ve molibden gibi takım çeliklerinde sıkça kullanılan nitrür yapıcı elementler bulunan çeliklere uygulanır.

Faz dönüşümü yoktur.

İşlem süresi 15 dakika – 120 saat arasında değişebilir.

Tüm demir esaslı malzemeler, Alüminyum ve Titanyum Cr(krom), Mo(Molibden), Al(Alüminyum), V(Vanadyum) metallerine uygulanabilir (Yeşilçubuk 2010, Anonim 2019).

Nitrüleme işlemi olarak temelde 3 tip işlem vardır (Yeşilçubuk 2010). Bunlar sırasıyla,

Gaz Nitasyonu: Temelde azot gazı içeren ortamda malzemenin yüzeyine azot yaydırma işlemidir. Bu iş genellikle amonyak kullanılarak yapılır. Metod ile yüzeyde oldukça yoğun bir beyaz tabaka oluştuğundan oluşumu kontrol altına almak adına 2 kademeli olarak uygulanır(Karcan 2005).

500 °C - %70-85 amonyak

560 °C - %15-55 amonyak

Sıvı Nitasyonu: Sıvı tuz banyosunda malzeme yüzeyine azot geçişi sağlanması işlemidir. İşleme ilgili bilgiler aşağıdaki gibidir (Karcan 2005).

500 - 570 °C işlem sıcaklıkları

Sodyum-potasyum siyanat, sodyum karbonat, potasyum karbonat ve potasyum klorürden oluşan tuz banyosu

İyon Nitasyonu: Azot-hidrojen gaz karışımında ve vakum ortamında, yüksek gerilim ile iyonize olan gaz iletken hale gelir ve pozitif yüklü iş parçası yüzeyine bombardıman edilmesiyle işlem gerçekleşir (Karcan 2005).

Elektriksel Boşalma: Maddenin katı, sıvı, gaz ve plazma olmak üzere hali vardır ve bu haller arasındaki temel fark sahip oldukları enerjidir. Plazma halinde iyon, elektron, uyarılmış atom ve nötral atom veya moleküller bulunur. Plazma elde etmenin birkaç yolundan biri ve en çok kullanılanı elektriksel boşalmadır. Gaz ortamı içinde bulunan iki iletken plaka arasına elektrik gerilim kaynağı bağlanıp ve tatbik edilen gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerine çıkarsa bu iki plaka arasında elektriksel boşalma olur. Elde edilen elektriksel boşalmayla azot parça yüzeyine yedirilir (Karcan 2005).

Plazma nitrürleme işlemi takım çeliğinin temperleme sıcaklığı altında kalmaktadır. Bu sayede plazma nitrürleme işleminde mekanik veya boyutsal bir değişikliğe sebep vermediğinden yüksek tekrarlanabilirlik sayesinde seri üretime uygundur (Jurci ve ark. 2006).

Plazma nitrürleme demir esaslı tüm malzemelere uygulanabilmektedir. Nitrür tabakasının tokluğu takım çeliklerinde kullanılacak düzeydedir. Plazma nitrürleme malzemenin parlatılma, kaynak yapılabilme kabiliyeti ve korozyon direncini artırmaktadır. Plazma nitrürleme işleminde diğer nitrürleme metotlarına göre daha yüksek yüzey pürüzlülüğü elde edilebilir.

Plazma nitrürleme D2 soğuk iş takım çeliğindeki adeziv aşınmayı azaltmak için uygun bir metottur (Devi ve ark. 1999). Plazma nitrürleme işlemi takım çeliklerinin yüzey pürüzlülüğünü artırıcı etki yapmaktadır (Akbari ve ark. 2010, Tillmann ve ark. 2019). Plazma nitrürlemenin 42CrMo4 çeliğinin yüzey sertliğini, aşınma dayanımını ve sürtünme katsayısını artırdığı belirlenmiştir (Doan ve ark. 2016). Plazma nitrürleme tabakası 2 tabaka olarak tanımlanır ve bunlar beyaz tabaka ve difüzyon tabakası olarak isimlendirilir (Manfridini ve ark. 2017).

Bu çalışmada plazma nitrürlenmiş soğuk iş takım çeliklerinin (D2, D6, Calmax, Hws Rovalma ve Vanadis4) sürtünme- aşınma karakteristikleri araştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde aşınma ve plazma nitrürleme işlemi tanıtılmış, plazma nitrürleme işleminin soğuk iş takım çelikleri üzerindeki etkileri ile alakalı çalışmalar özetlenmiştir.

Takım çeliklerinde plazma nitrürleme işlemi üzerine yapılan çeşitli çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Novak ve ark. (2006), toz metalurjik takım çeliğinin artırılmış niobyum elementi içeren yapısında plazma nitrürlemenin aşınma dayanımını ve korozyon direncini artırdığını, ayrıca aynı şartlarda uygulanmış gaz nitrülemeye göre aşınma direnci üzerinde daha olumlu etki yaptığını tespit etmiştir. Plazma nitrürleme ile maksimum aşınma direncini 50 C ve 180 dakikalık işlem süresi ile elde etmiştir.

Tobola ve ark. (2017), Sverker 21 (AISI D2) ve Vanadis 6 soğuk iş takım çeliklerinden üretilmiş numuneler üzerinde mekanik ve kimyasal işlemlerin kıyaslaması yapılmıştır. Bu amaçla numunelerden tornalanmış + indüksiyon yapılmış, tornalanmış + nitrürlenmiş ve tornalanmış + indüksiyon yapılmış + nitrürlenmiş numuneler hazırlanarak kıyaslama yapılmıştır. Her iki çelikte de nitrürlemenin indüksiyon işlemine göre daha olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Akbari ve ark. (2010), AISI M2 çeliğinin nitrürleme davranışları üzerine çalışma yapmış ve iki farklı şekilde ısıl işleme tabi tutulmuş çeliklerin nitrürleme performansları karşılaştırılmıştır. Plazma nitrürleme numunelerden biri tamamen tavlansız olarak ısıl işlem yapılırken diğer çeliğe su verip temperleme işlemi uygulanmıştır. Tamamen tavlansız çelikte %330 gibi bir yüzey sertlik artışı olurken, su verilip temperlenmiş çelikte %50 bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca işlem sonrası yüzey pürüzlülüğü arttığı tespit edilmiştir.

Conci ve ark. (2014), D2 soğuk iş takım çeliğinde nitrürlemenin mikro abraziv aşınma üzerindeki etkilerini incelemiş ve en iyi aşınma dayanımının plazma nitrürleme işleminde kısa nitrürleme süresi ve yüksek nitrojen potansiyeli ile gerçekleştiğini

belirlemiştir. Ayrıca kısa nitrüleme süresi ile elde edilen nitrür tabakalarının sertliği uzun süreli nitrüleme işleminde elde edilen tabakaların sertliğinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Uzun nitrüleme süreleri daha kalın nitrür tabaka kalınlıklarının oluşmasını sağlamıştır.

Rad ve ark. (2011), H11 sıcak iş takım çeliğinin farklı gaz karışımlarında farklı süre ve sıcaklıklarda plazma nitrüleme sonrası mekanik davranışları incelenmiştir. Sonuçlar plazma nitrüleme işleminin H11 çeliğinin aşınma dayanımını artırdığını göstermiştir. Artan işlem süre ve sıcaklığı ile yüzey sertliğinin düştüğü ve numunelerdeki aşınan kütle miktarını artırdığı tespit edilmiştir.

Mashreghi ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada plazma nitrüleme işlem süre ve sıcaklığının DIN 1.2210 çeliğinin mikroyapısında yüzey sertliği, aşınma ve korozyon direnci ile alakalı olarak ne gibi değişikliklere yol açtığını tespit etmeye çalışmıştır. Artan nitrüleme zamanı ile ϵ : Fe₃N ve γ' : Fe₄N fazlarında artma görülürken, artan nitrüleme sıcaklığı ile ϵ : Fe₃N fazları azalırken γ' : Fe₄N fazlarında artma tespit edilmiştir. Ayrıca plazma nitrüleme işlemi yüzey sertliği, aşınma ve korozyon dayanımında önemli bir artış sağlamıştır.

Nouveau ve ark. (2011), plazma nitrüleme işlemi ile 90CrMoV8 çeliğinin sertlik ve korozyon dayanımını artırmaya yönelik çalışma yapmış ve işlem sonunda plazma nitrülemenin sertlik ve aşınma dayanımını artıran bir metot olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca daha kalın bir nitrür tabakası elde etmek istendiğinde işlem süresinin artırılması gerektiğini ve ağaç işleme endüstrisinde kullanılan bu çeliğin korozyon dayanımını düşürdüğünü tespit etmiştir.

Paschke ve ark. (2012), sıcak dövme kalıplarında kullanılan DIN-X38CrMoV5-1 (1.2343) çeliklerinin plazma nitrüleme prosesinde optimizasyon çalışması yapmış ve 520 °C, %10 N₂ içerikli hava ve D=0,17 plazma yoğunluğunda çeliğin çatlama riskini ciddi miktarda azalttığı tespit edilmiştir.

Podgonik ve ark. (2006), form çeliklerinde sarma – mikrokaynak oluşumunu engellemeye yönelik kaplama seçimi hakkında yaptıkları çalışmada titanyum alaşımı sacların Şekillendirmesi için işlem uygulanmamış form çeliklerine göre yüzey sarma problemini sadece plazma nitrürleme işlemi ve VN kaplama işlemi uygulanmış çeliklerde iyileştirebilmişlerdir.

Podgonik ve ark. (2011), toz metalurjik takım çeliklerinin tribolojik özelliklerini kriyojenik ısıtma işlemi ve plazma nitrürleme işlemi sırasını uygulayarak artırmaya yönelik yaptığı çalışmada, kriyojenik ısıtma işleminin abrazyon aşınma dayanımını artırdığı ve yüzey sarma problemlerini azalttığını tespit etmiştir. Plazma nitrürleme işleminin toz metalurjik takım çeliklerinin tribolojik özelliklerini iyileştirdiği ancak kriyojenik ısıtma işlemiyle birleştirdiğinde kriyojenik ısıtma işleminin katkıları azaltıcı yönde etki ettiği tespit edilmiştir.

Soleimani ve ark. (2011), plazma nitrürleme işleminin DIN 1.2210 soğuk iş takım çeliğinin yorulma dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmış ve plazma nitrürleme işleminin ilgili malzeme yorulma dayanımını dikkate değer bir şekilde artırdığını tespit etmiştir. En iyi sonuçlar 550 °C sıcaklık ve 6 saat süreyle yapılan işlemde %67 oranında yorulma dayanımı artışı ile elde edilmiştir. Bu işlem parametreleri ile aynı zamanda en yüksek yüzey sertlik derinliği elde edilmiştir.

Wen (2009), NAK55 plastik kalıp çeliğinin aşınma ve korozyon direncini artırmak için plazma nitrürleme işlemi uygulamış ve plazma nitrürleme işleminin yüzey sertliğinin yanında aşınma dayanımını da artırdığını tespit etmiştir. Ayrıca plazma nitrürlemenin önemsenmeyecek düzeyde korozyon direncini artırdığını ve bu artışın korozyon potansiyeli ve korozyon oranındaki azalışla ifade edilebileceğini belirtmiştir. Korozyon direncindeki artışın çelik yüzeyinde nitrür fazlarının hacimsel dağılımıyla doğrudan ilişkili olduğunu tespit etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında sürtünme-aşınma karakteristikleri araştırılan D2, D6, Calmax, Hws Rovalma ve Vanadis4 takım çelikleri için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir. İlgili takım çeliklerinin kimyasal bileşimleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları

Çelik malzeme cinsi	AISI /W.-Nr.	Kimyasal içerik (% ağırlık)						
		%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%W	%V
Sverker 21	D2/1.2379	1,55	0,30	0,40	11,80	0,80	-	0,80
Sverker3	D6/1.2436	2,05	0,30	0,80	12,70	-	1,10	-
Calmax	- /1.2358	0,60	0,35	0,80	5,30	-	-	0,20
Hws	-	1,08	1,38	0,34	7,80	1,86	1,73	2,66
Rovalma	-	1,40	0,40	0,40	4,70	3,5	-	3,70

Numuneler dolu milden 29 mm çapına ve 10,5 mm kalınlığa torna ile dilimlenmiştir. Numunelerde plazma nitrüleme aşamasında meydana gelebilecek herhangi bir çarpılmanın önüne geçmek adına numunelere 3 kez meneviş uygulanarak ısıl işlem yapılmış ve ortalama 58-60 HRC sertlik elde edilmiştir. Isıl işlem sonrası numunelerin alt ve üst yüzeyleri taşlanarak kalınlığı 10 mm ye düşürülmüştür.

Numuneler taşlama sonrası vakum ortamında, %75 N₂ + %25 H₂ gaz karışımında, 2 mbar basınç altında, 450 °C sıcaklıkta 12 saat bekletilerek plazma nitrüleme işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sonrası numuneler plazma nitrüleme vakum fırınında oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılarak işlem tamamlanmıştır.

3.1. Mikroyapı İncelemeleri

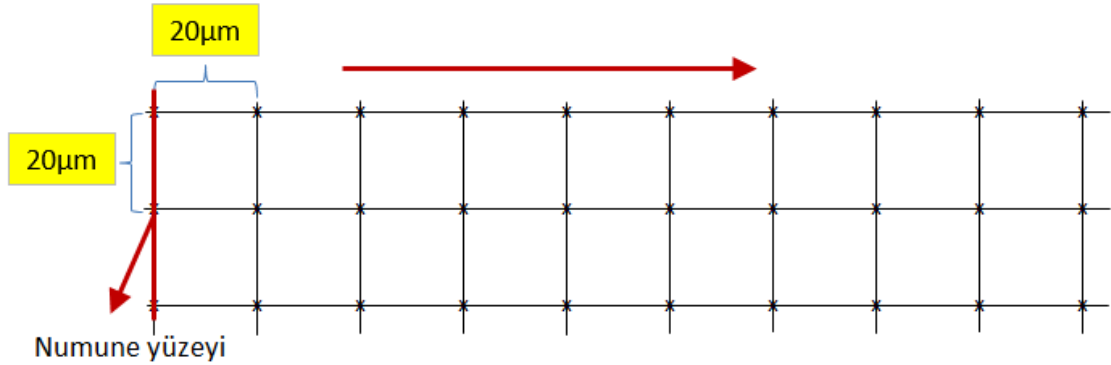
Hazırlanmış numunelerden bir adedi mikroyapı incelemeleri için kullanılmıştır. Numune kesilerek 180-320-600-1000 kum zımparalar ile parlatılmış ve daha sonra 6 µm ve 1 µm lik çuhalar ile parlatma işlemi tamamlanmıştır. Parlatma sonrası %3 Nital ile 10 – 60 saniye süre ile dağlama neticesinde numunelerin içyapılarını belirleyebilmek

adına farklı büyütme oranlarında optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. Numunelerin faz içeriğini belirlemek amacıyla X-Işını Difraksiyonu metoduyla analizler yürütülmüştür.

3.2. Sertlik Ölçümleri

Numunelerin yüzeyinden 5 farklı bölgeden 1 kg yük altında sertlik değerleri alınarak tespit edilmiş ve yüzey sertlik değeri alınan 5 ölçümün ortalaması olarak belirlenmiştir.

Sertlik ölçümlerinde Vickers sertlik değeri kullanılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri 50 gram yük ve 10 saniye yükleme süresi uygulanarak ölçülmüştür. Numunelerin kesitinden 3 sıra halinde her iki yönde 20 μm ölçüsünde mesafe bırakarak her sıradan malzeme yüzeyinden derine 10 ar ölçüm alınmıştır. Mikro sertlik haritası Şekil 3.2.1 de görülmektedir.



Şekil 3.2. Numune kesit Vickers mikro sertlik ölçümleri

3.3. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri çap numune üzerinde farklı bölgelerden 6 ölçüm olarak yapılmıştır. Alınan ölçümlerin ortalaması alınarak yorumlama yapılacaktır. Yüzey pürüzlülüğünde Ra değerleri göz önüne alınmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümü aşınma testlerinden alınan sonuçlar aşınma karakteristiğini belirlemede yeterli olan Hws Rovalma ve Vanadis4 çeliklerinde yapılmamıştır.

3.4. Ball-on Disc Aşınma Testi

Plazma nitrürlenmiş numunelerin aşınma ve sürtünme karakteristiklerini belirlemek adına ball on-disc test düzeneğinden kuru sürtünme ortamında dinamik olarak veri toplanmıştır. Toplam 4 saat süren testte her 4 saniyede bir sürtünme katsayısı ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Numuneler disc olarak kullanılmış ve üzerinde 5 mm çapında Tungsten karbür WC/Co (%94 WC - % 6 Co) bilye gezdirilmiştir. Tungsten karbür bilye 22,5 mm çapında bir yolu takip edecek şekilde numune üzerine yerleştirilmiştir. Test plazma nitrürlenmiş ve plazma nitrülenmemiş malzemelere 4 saat süre ve 1,5 kg yükü uygulanmıştır. Test sırasında her 1 saatte numunelerin 10^{-4} gram hassasiyete sahip hassas terazide kütle kayıpları ölçülmüştür.

3.5 Pin-on Disk Aşınma Testi

Pin-on disk aşınma testi ball-on disk testinde yeterli sonuç alınamaması sonrası Hws Rovalma ve Vanadis4 çeliklerine uygulanmıştır. Düzenekte kuru sürtünme ortamında üretilen takım çelik numuneleri pin olarak, 175x5x20 ölçülerinde SCG 100L kodundaki 100 kum taş disk olarak kullanılmıştır. 1 kg yük altında ve 20 mm/s çevresel hızda parça 3 saat boyunca aşınma testine tabi tutulmuş ve her 10 dakikada bir 10^{-4} gram hassasiyetli terazide kütle kaybı ölçülmüştür.

3.6. SEM İle Aşınma İzi Görüntüleme

Aşınma izleri Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Ayrıca nitrürlenmiş tabaka yüzeyindeki fazları belirleyebilmek adına X-Işını Difrikasyonu (XRD) metoduyla numunelerin yüzeyindeki fazlar belirlenmiştir.

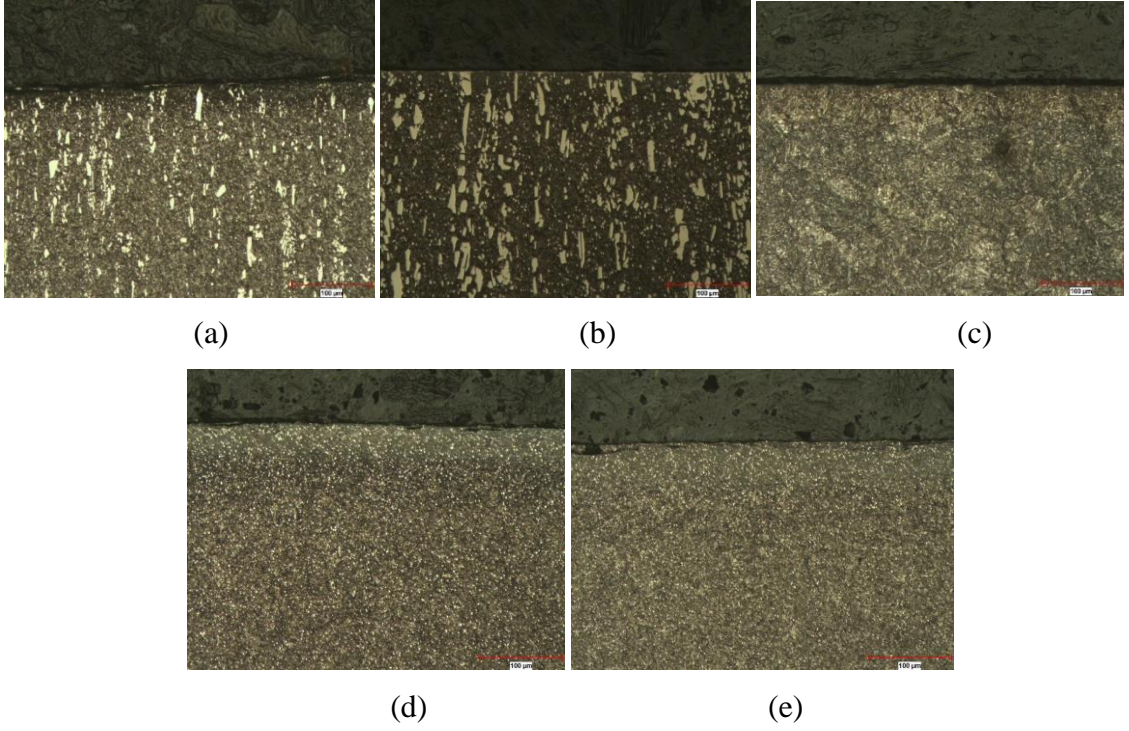
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları Çizelge 4.1. de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün genel olarak plazma nitrüleme işleminden sonra arttığı gözlemlenmiştir. Ancak işlem öncesi en yüksek yüzey pürüzlülük değerine sahip olan D2 takım çeliğinin yüzey pürüzlülük değeri neredeyse aynı kalmıştır. Yüzey pürüzlülük değerindeki plazma nitrüleme işlemi sonrası artış, işlem öncesi yüzey pürüzlülük değeri düşük olduğunda çok daha fazla dikkate değerdir.

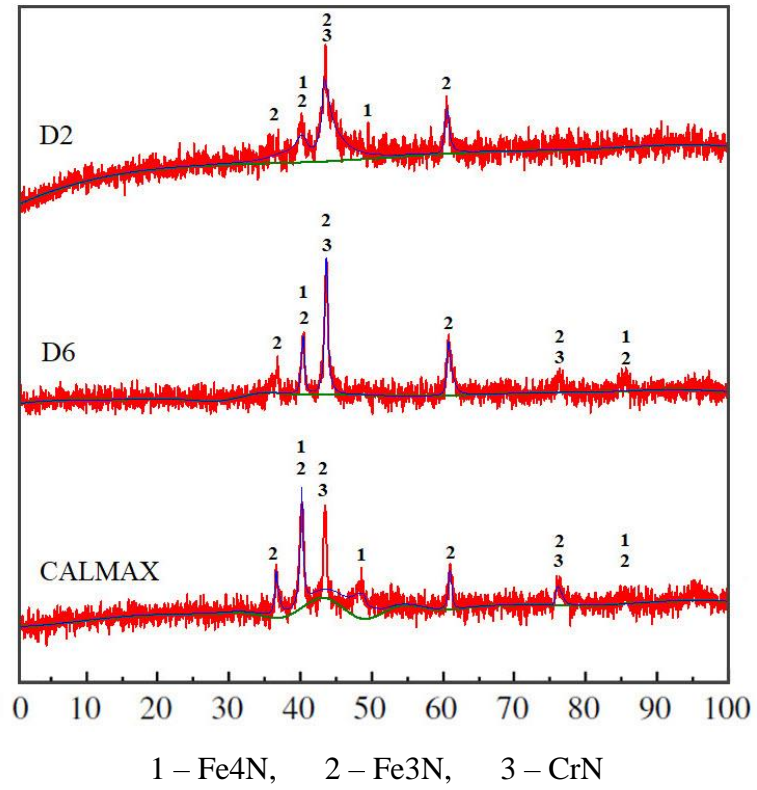
Çizelge 4.1. Deney numunelerinin yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları (PN: Plazma Nitrüleme)

D6 (Ra) [μm]			D2 (Ra) [μm]			Calmax (Ra) [μm]		
Ölçüm No	PN Yok	PN Var	Ölçüm No	PN Yok	PN Var	Ölçüm No	PN Yok	PN Var
1	0,46	0,64	1	1,14	1,26	1	0,60	0,62
2	0,46	0,62	2	2,18	1,90	2	0,58	0,68
3	0,46	0,58	3	2,28	2,32	3	0,60	0,70
4	0,44	0,62	4	2,62	2,20	4	0,62	0,68
5	0,40	0,56	5	1,92	2,48	5	0,58	0,66
6	0,40	0,54	6	2,06	2,14	6	0,56	0,64
Ortalama	0,44	0,59	Ortalama	2,03	2,05	Ortalama	0,59	0,66

Numunelerin kesit mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.1 de görülmektedir. Daha yüksek karbon ve alaşım elementine sahip D2 ve D6 takım çeliklerinde iri taneli karbür parçacıkları görülürken, düşük oranda karbon ve alaşım elementine sahip Calmax çeliğinde daha küçük taneli karbür parçacıkları görülmektedir. Mikroyapı fotoğraflarında D2 ve Calmax takım çeliklerinin difüzyon tabakası belirlenebilirken, D6 takım çeliğinde net olarak belirlenememiştir. D6 takım çeliğinin görece yüksek karbon ve alaşım elementi içermesi sebebiyle, mevcut dağlama işlemi ile difüzyon tabakası belirlenememiştir. Ancak mikrosertlik ölçümleri difüzyon tabakasının derinliği anlamında fikir verebilir. Nitrülenmiş demir esaslı malzemelerin nitrür tabakası ve difüzyon bölgesi γ' : Fe_4N , ϵ : Fe_3N ve yüksek oranda nitrür çökeltileri içermektedir (Mashreghi ve ark. 2013, Ahangarania ve ark. 2009). XRD test sonuçlarına göre numunelerde Fe_4N (γ'), Fe_3N (ϵ) ve CrN fazları tespit edilmiştir (Şekil 4.2).

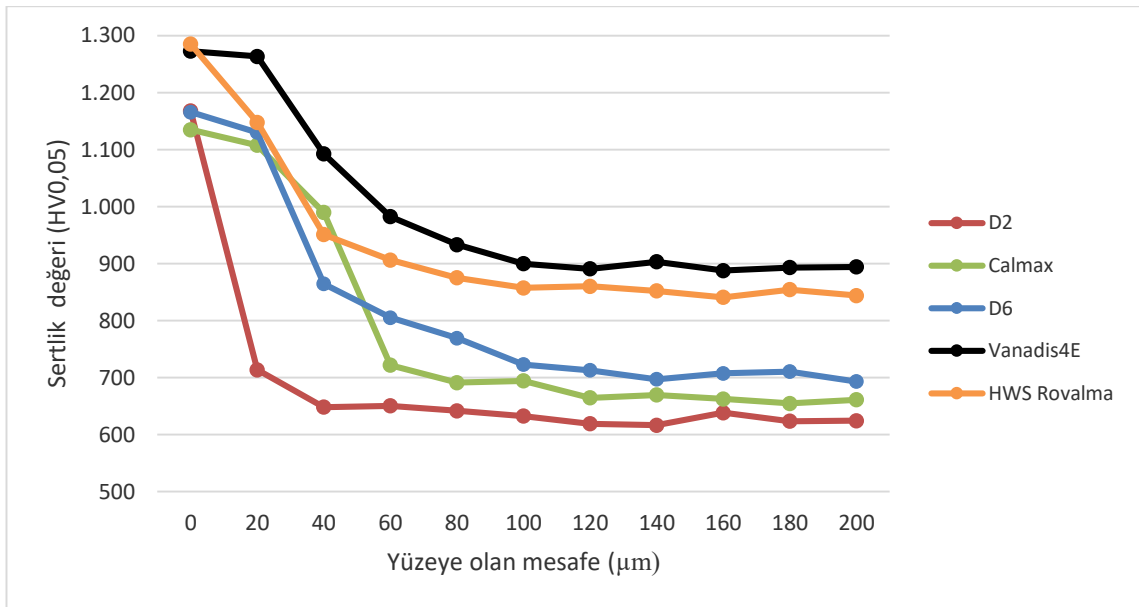


Şekil 4.1. 200 büyütme oranına sahip optik fotoğraflar
 (a) Nitrürlenmiş D2, (b) Nitrürlenmiş D6, (c) Nitrürlenmiş Calmax
 (d) Hws Rovalma (e) Vanadis4E



Şekil 4.2. 2° geliş açışı ile alınmış XRD sonuçları

Kesitten derine ölçülen mikrosertlik ölçüm sonuçları Şekil 4.3 te verilmiştir. Daha yüksek oranda karbon ve alaşım elementi içeren D2 ve D6 soğuk iş takım çeliklerinde daha yüksek yüzey sertliği elde edilmiştir. Düşük karbon ve alaşım elementi içeriğine sahip Calmax takım çeliğinin yüzey sertliğinin görece daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak mikrosertlik ölçüm sonuçlarına göre nitrür tabakasının sertliğinin Calmax takım çeliğinde diğerlerine göre daha iyi olduğu söylenebilir. Calmax takım çeliği diğer takım çeliklerine göre daha yüksek miktarda derine sertlik almıştır. Bu durum Calmax soğuk iş takım çeliğinin daha düşük karbon ve alaşım elementi içeriği ile ilişkilendirilebilir. Bu çelikte azot atomları plazma nitrüleme işlemi sırasında mikroyapıya daha kolay nüfuz ederek daha derine sertlik alımına olanak sağlamıştır.

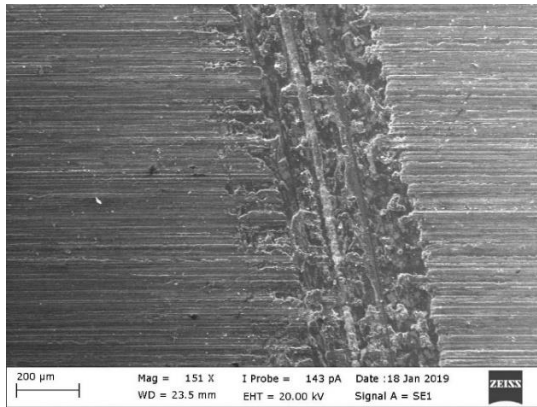
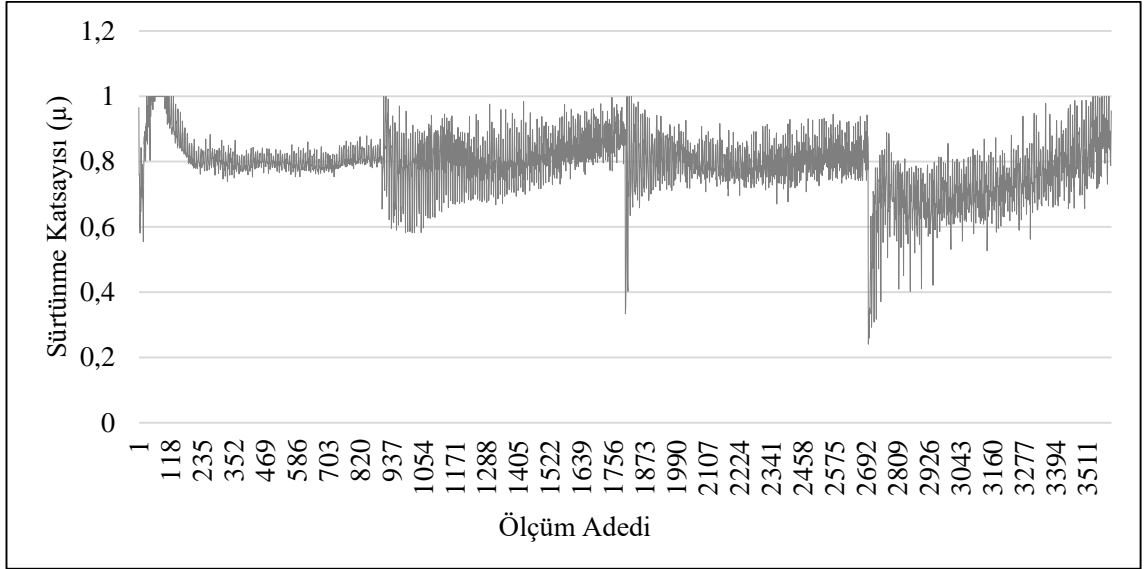
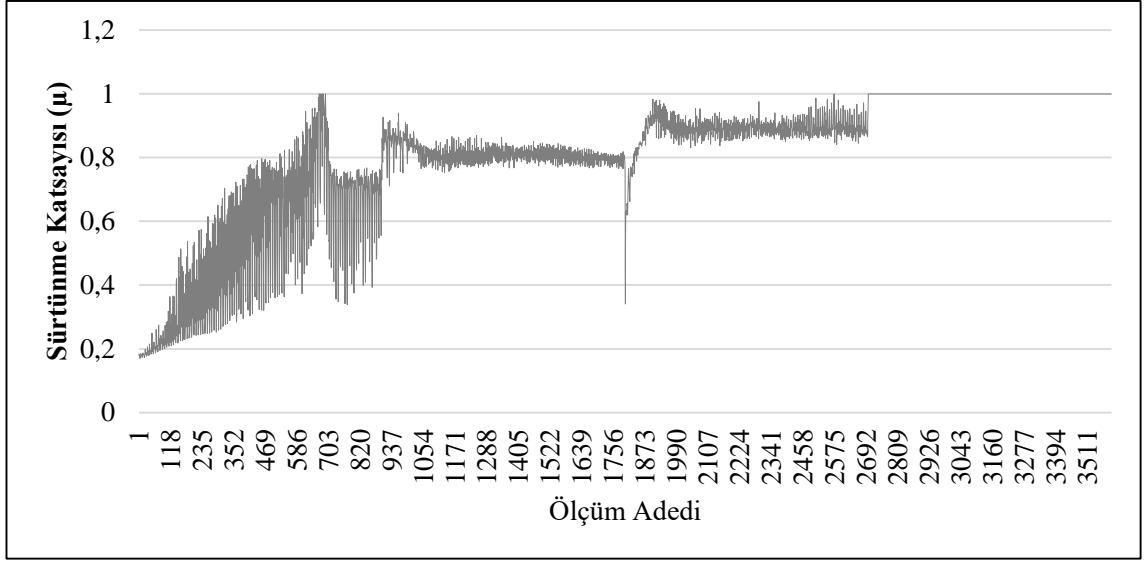


Şekil 4.3. Kesitten derine mikrosertlik dağılımı

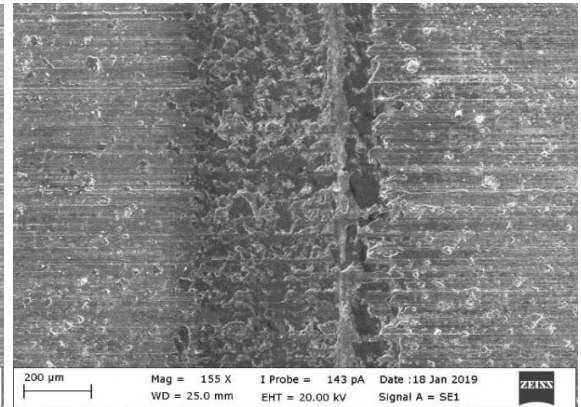
Aşınma testleri ball on-disc deney düzeneğinde 4 saat süre ve 1,5 kg yük ile uygulanmıştır. Aşınma testleri eşliğinde aşınma miktarını tespit etmek amacıyla kütle ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Fakat testler sonucunda aşınma durumunu yorumlayabilecek seviyede anlamlı bir kütle kaybı gözlemlenmemiştir. Bu durum ball on-disc düzeneğinde bilyanın çok küçük noktasal bir temas alanından meydana gelen aşınmanın toplam kütleyle oranının çok az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sebeple numune çeliklerin aşınma karakteristikleri, sürtünme katsayısı ve aşınmış yüzey fotoğraflarının incelenmesi neticesinde tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısı

değişim grafikleri ball on-disc test düzeneğinden her 4 saniyede elde edilen verilerden çıkarılmıştır. Grafiklerdeki sapmalar titreşimlerden ve her saat başı kütle kaybı tespiti için numunelerin sökölüp takılmasından kaynaklanmaktadır. Her sökme takma işleminden sonra aşındırıcı bilyenin temas noktası aşınma izi üzerinde aynı noktaya temas ettirilememiştir. Anlamalı aşınma sonuçları alınamayan D2, D6 ve Calmax takım çeliklerinden sonra Hws Rovalma ve Vanadis4 takım çeliklerine Pin-on disk testi yapılmıştır.

Plazma nitrülenmemiş D6 takım çeliğinin sürtünme katsayısı test başlangıcında son derece düşük olduğu Şekil 4.4 de görölmektedir. Başlangıç sürtünme katsayısının düşük olması bilyenin ilk yüklemde noktasal temasında plastik deformasyonun meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Aşınmanın artması ile plazma nitrülenmemiş D6 takım çeliğinin sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 1 değerine yükselmiştir (Şekil 4.4). Sürtünme katsayısındaki bu artış yüzey pürüzlülüğünün aşınma ve aşınma ortamından aşınmış parçacıkların kuru sürtünme ortamına sahip sistemden uzaklaştırılmaması ile ilişkilendirilebilir. Plazma nitrülenmiş D6 takım çeliğinde ise, başlangıç sürtünme katsayısı son derece yüksektir. Bunun sebebi, bilyenin ilk yüklemdeki noktasal temasında nitrülenmiş tabakadaki mevcut gevrek fazları kırarak daha başlangıç safhasında aşınma partiküllerinin oluşmasıdır (Şekil 4.5). Bu numunedeki sürtünme katsayısı genel olarak 0,8 değerinde gezmektedir. Şekil 4.6. da net olarak görülebileceği gibi plazma nitrüleme işlemi D6 takım çeliğinin aşınma dayanımını artırmıştır. Aşınmış bölge derinliği plazma nitrülenmemiş numunede daha fazla iken, plazma nitrülenmiş numunede daha az kalmıştır. Ayrıca, plazma nitrülenmiş numunede sert tabaka dökülmesi şeklinde bir aşınma karakteristiği gözlenirken plazma nitrülenmemiş numune ise kazınma şeklinde bir aşınma karakteristiği sergilemiştir. Plazma nitrülenmemiş numunede meydana gelen bu aşınma karakteristiği mevcut mikroyapıda yer alan iri karbürlerin yerinden çıkması ve aşınmayı domine etmesi ile ilişkilidir.



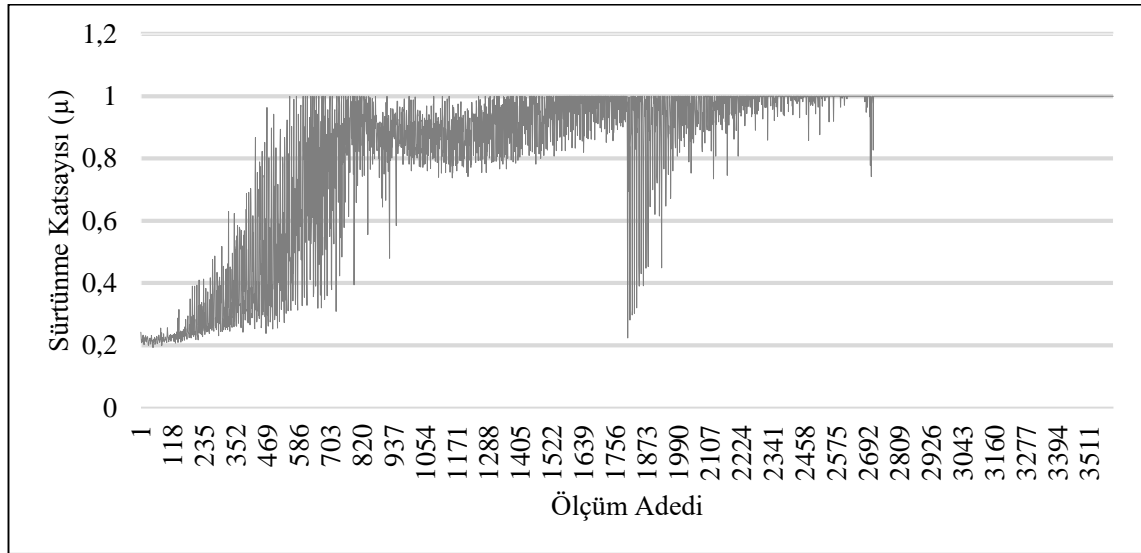
(a)



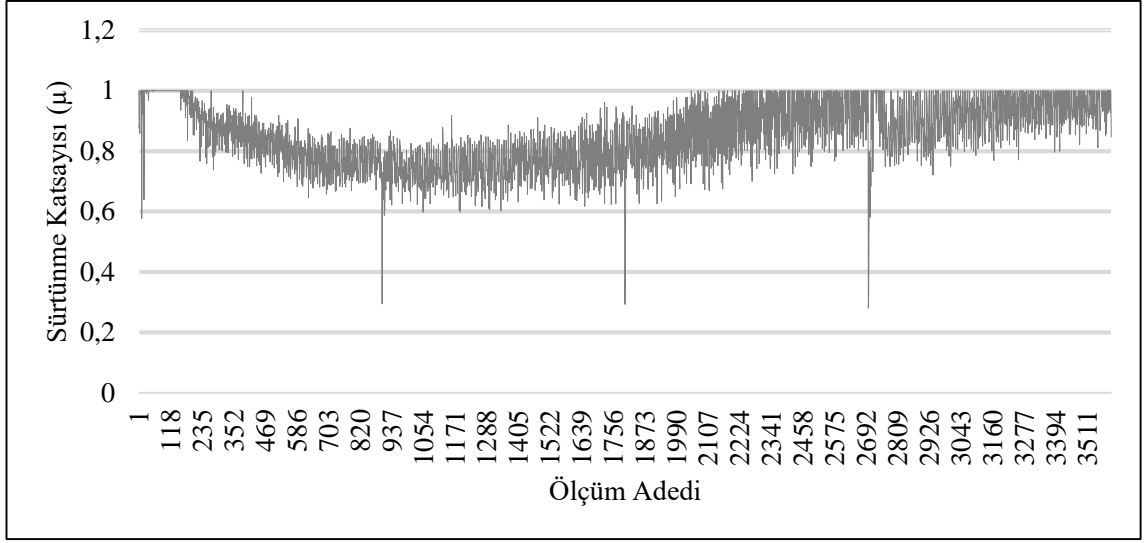
(b)

Şekil 4.6. Plazma nitrülenmemiş D6 takım çeliğinin SEM fotoğrafı (a) plazma nitrülenmiş D6 takım çeliğinin SEM fotoğrafı (b)

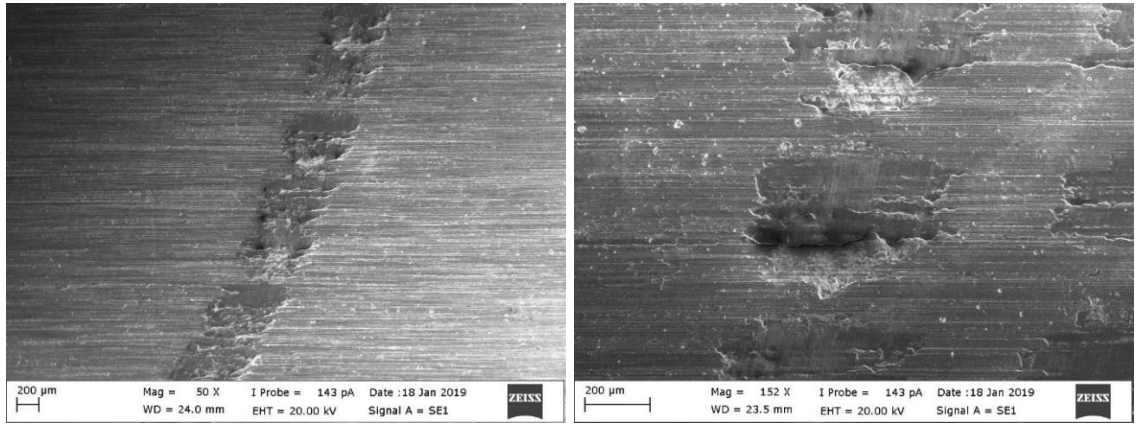
Plazma nitrülenmemiş D2 takım çeliğinin sürtünme katsayı grafiği Şekil 4.7. de görülebilir. Başlangıçta düşük olan sürtünme katsayısı artan aşınma ile yaklaşık olarak 1 değerine yükselmektedir. Genel olarak nitrülenmemiş D6 numunesi ile karşılaştırıldığında bu numunede daha yüksek bir sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Bu numunenin aşınma izleri incelendiğinde, lokal bölgelerde aşınmanın daha şiddetli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.9.-a). Şekil 4.9.-a da ayrıca karbürler tarafından oluşturulmuş izler görülebilir. Bu aşınma izleri yüksek sürtünme katsayısının sebebinin açıklamaktadır. Ancak (Şekil 4.6.-a ve Şekil 4.9.-a) daki verilere göre bu numunenin aşınma dayanımının mevcut tribo sistemde D6 takım çeliğinden daha yüksek olduğu söylenebilir. Mikro yapıda yer alan ikincil molibden ve vanadyum karbür çökeltileri D2 takım çeliğinin aşınma dayanımını artırmaktadır. Diğer taraftan plazma nitrüleme işlemi D2 takım çeliğinin sürtünme katsayısını görece düşürmüştü ve aşınma dayanımını artırmıştır (Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.-b).



Şekil 4.7. Plazma nitrülenmemiş D2 takım çeliğinin sürtünme katsayısı değişimi



Şekil 4.8. Plazma nitrülenmiş D2 takım çeliğinin sürtünme katsayısı değişimi



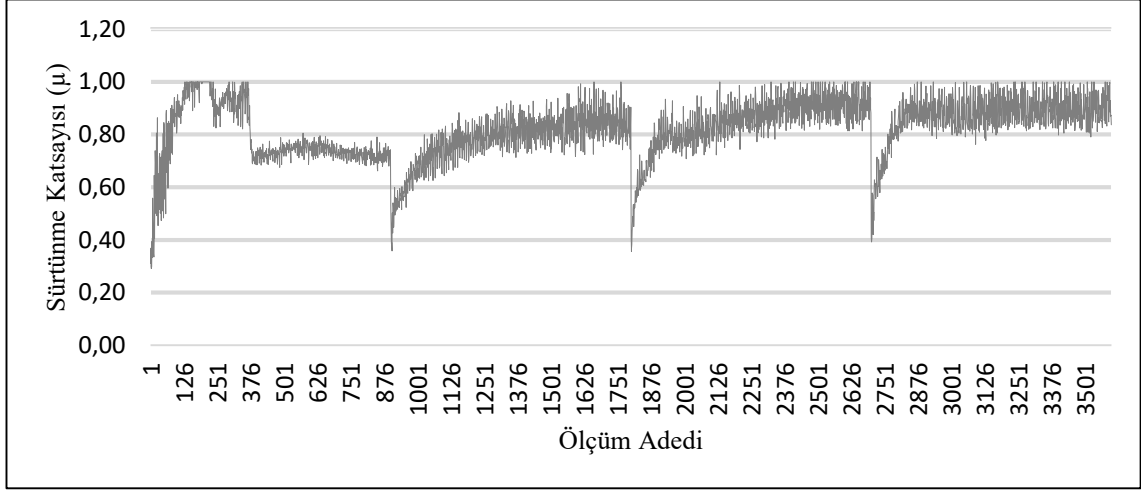
(a)

(b)

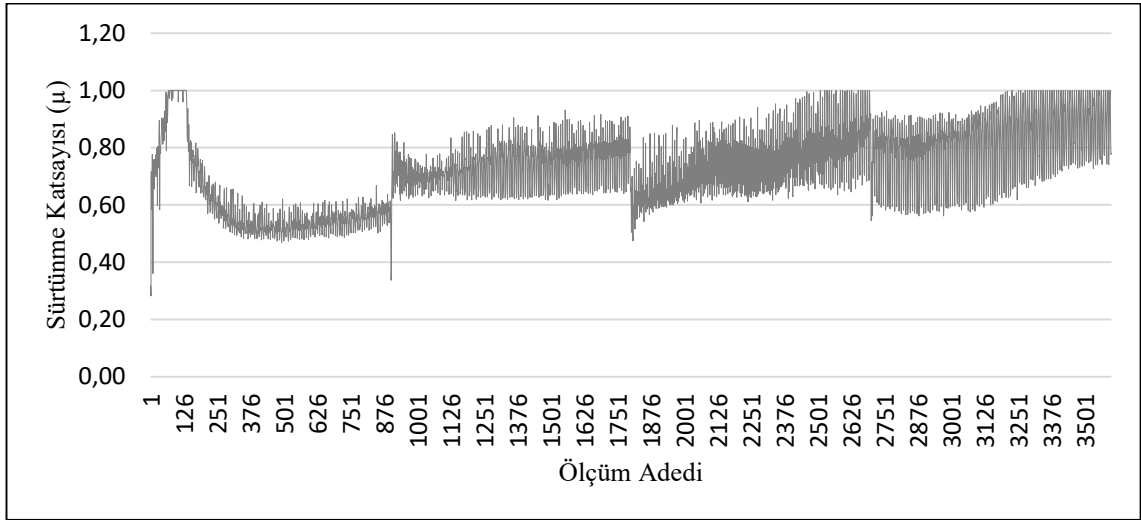
Şekil 4.9. Plazma nitrülenmemiş D2 takım çeliğinin SEM fotoğrafı (a) plazma nitrülenmiş D2 takım çeliğinin SEM fotoğrafı (b)

Plazma nitrülenmemiş Calmax çeliğinde de aşınma rejime ulaştığında sürtünme katsayısı değeri 0,8'in üzerinde olduğu Şekil 4.10. da görülmektedir. Sürtünme katsayısı Calmax çeliğinde çok dah kısa sürede rejime ulaşmıştır. Bu durum diğer çeliklerden farklı olarak Calmax çeliğinde daha ufak taneli karbürlerin olmasıyla ilişkilidir. Şekil 4.11. de görüldüğü gibi plazma nitrüleme sonrası sürtünme katsayısı genel olarak diğer çeliklere kıyasla daha düşüktür. Ancak, aşınma izlerinden (Şekil 4.12.) mevcut tribosistem içerisinde bu çeliğe uygulanan plazma nitrüleme işleminin aşınma dayanımını arttırdığı net olarak söylenemez. SEM de alınan aşınma izleri incelendiğinde

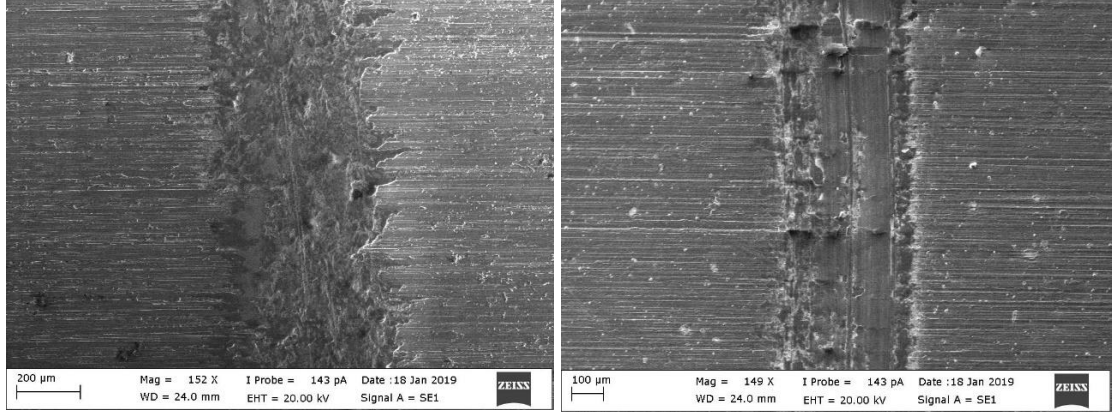
gevrek kırılma işaretleri içermemektedir. Nitekim bu çelikte plazma nitrürleme sonrası yüzey sertliği diğer numunelere nazaran nispeten düşük kalmıştır.



Şekil 4.10. Plazma nitrülenmemiş Calmax takım çeliğinin sürtünme katsayısı değişimi



Şekil 4.11. Plazma nitrülenmemiş Calmax takım çeliğinin sürtünme katsayısı değişimi



(a)

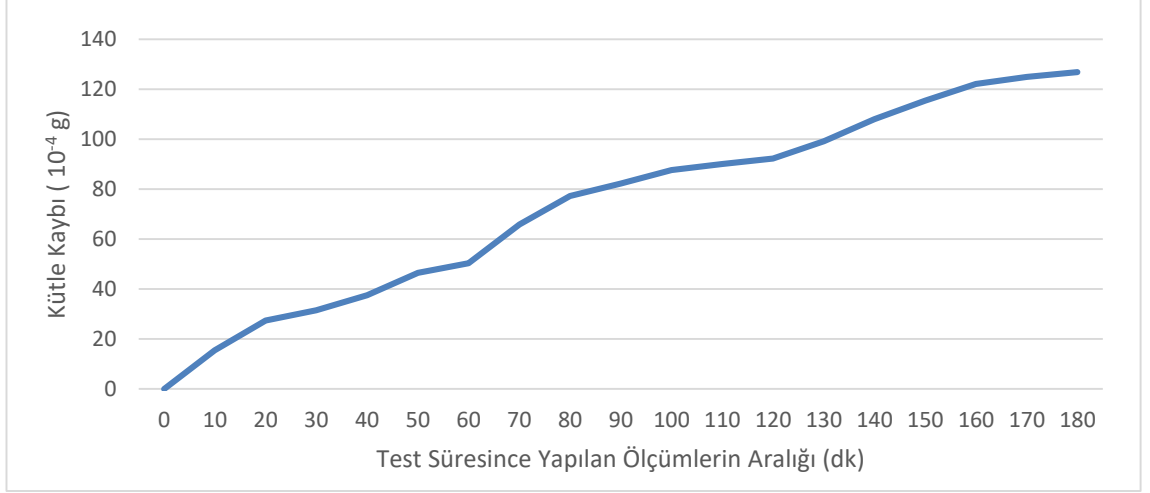
(b)

Şekil 4.12. Plazma nitrülenmemiş Calmax takım çeliğinin SEM fotoğrafı (a) plazma nitrülenmiş Calmax takım çeliğinin SEM fotoğrafı (b)

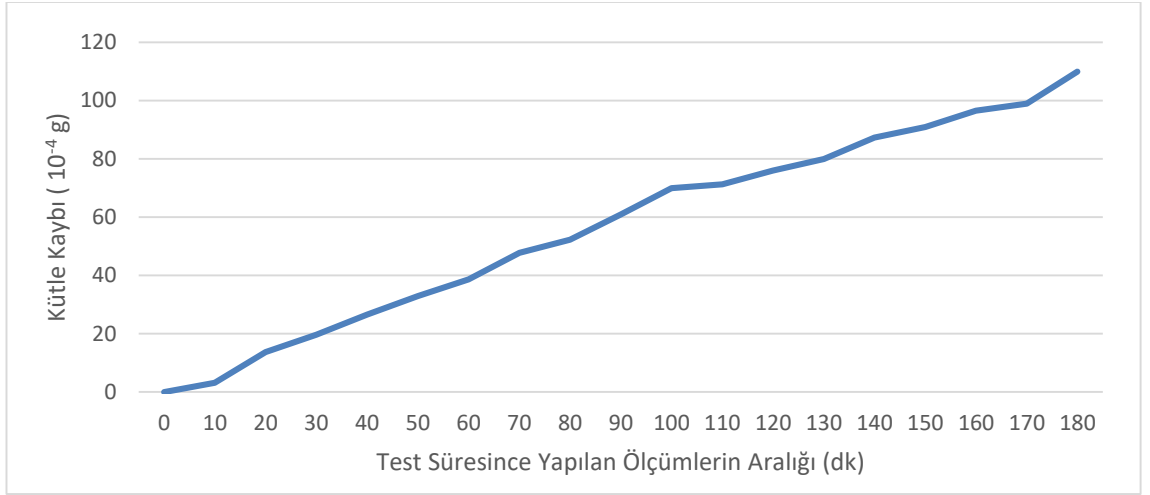
Bu çalışma kapsamındaki plazma nitrülenmiş soğuk iş takım çeliklerinde aşınma dayanımı açısından en iyi sonucu D2 çeliği vermiştir. Bu durum bu çeliğin orta derecede karbon içermesi ve Mo, V gibi nitrür yapıcı alaşım elementlerine sahip olması ile ilişkilidir. Diğer yandan plazma nitrülenmiş Calmax takım çeliği diğer takım çelikleri göre nispeten düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Sürtünme katsayısının değişimini veren grafikler birlikte değerlendirildiğinde başlangıç yüzey pürüzlülük değerinin mevcut tribosistem içerisinde etkisinin hemen hemen hiç etkisinin olmadığı sonucuna varılabilir. Gevrek tabaka kırılmaları plazma nitrülenmiş takım çeliklerinin sürtünme katsayısının artmasına sebep olmuştur.

Hws Rovalma ve Vanadis4 takım çeliklerinin aşınma karakteristiklerini belirlemek için yapılan pin-on disc testinde ise aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

Hws Rovalma takım çeliğinde her 10 dakikada bir yapılan ölçümlerde tespit edilen kütle kayıpları Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 te belirtilmiştir.

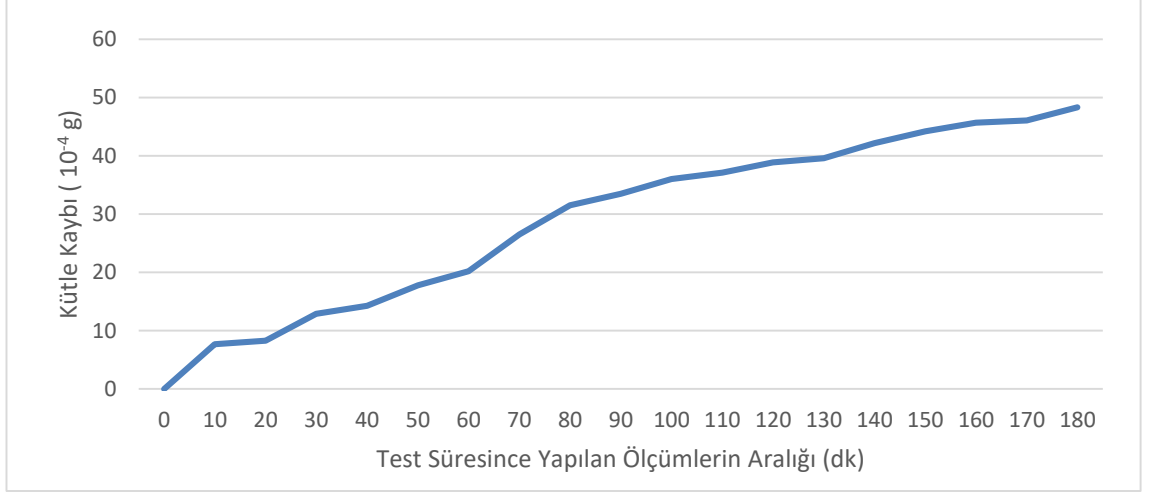


Şekil 4.13. Plazma nitrülenmemiş Hws Rovalma çeliği birim ölçüm kütle kaybı

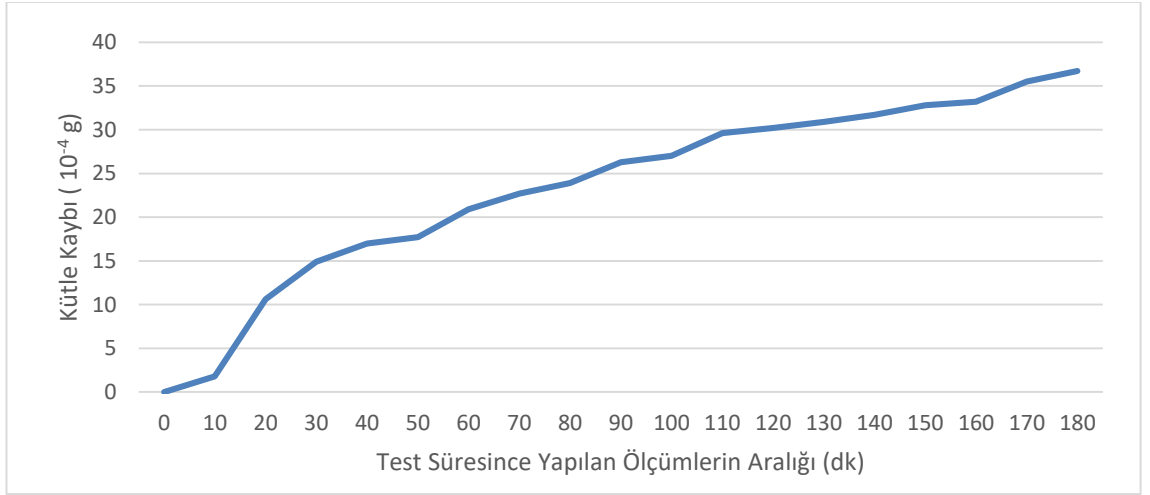


Şekil 4.14. Plazma nitrülenmiş Hws Rovalma çeliği birim ölçüm kütle kaybı

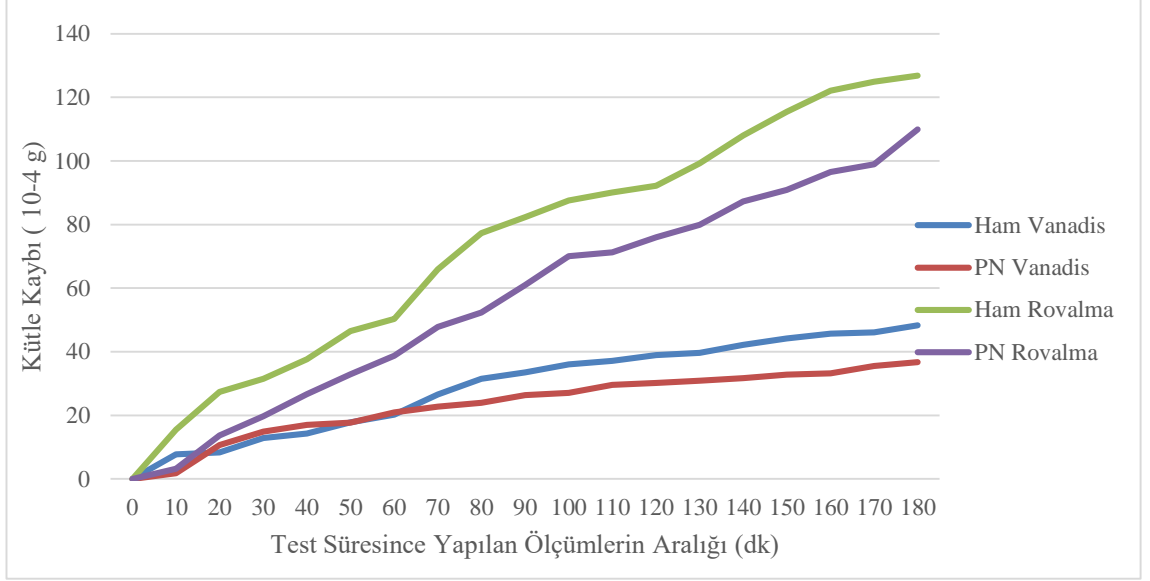
Vanadis4 takım çeliğinde her 10 dakikada 1 yapılan ölçümlerde tespit edilen kütle kayıpları Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 da belirtilmiştir.



Şekil 4.15. Plazma nitrülenmemiş Vanadis4 çeliği birim ölçüm kütle kaybı



Şekil 4.16. Plazma nitrülenmiş Vanadis4 çeliği birim ölçüm kütle kaybı



Şekil 4.17. Plazma nitrülenmiş ve nitrülenmemiş Rovalma ve Vanadis4 çelikleri kıyaslamalı birim ölçüm kütle kaybı

Testlerde elde edilen bilgiler ayrıca çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Pin-on disc aşınma numunelerinin kütle kayıp değerleri

Takım Çeliği	Plazma Nitrüleme Uygulanmamış			Plazma Nitrüleme Uygulanmış		
	Başlangıç Kütle (g)	Bitiş Kütle (g)	Kütle Kaybı (g)	Başlangıç Kütle (g)	Bitiş Kütle (g)	Kütle Kaybı (g)
Hws Rovalma	50,8570	50,7302	0,1268	50,7808	50,6709	0,1099
Vanadis4	50,7288	50,6805	0,0483	50,7286	50,6919	0,0367

Elde edilen verilere göre plazma nitrüleme işleminin aşınma direncini net olarak artırdığı her iki numunede de belirlenmiştir. Ayrıca mevcut tribo-sistemde Vanadis4 takım çeliğinin aşınma direnci Hws Rovalma takım çeliğine göre daha yüksek çıkmıştır. Farklı aşınma testlerine tabi tutulduğundan bu takım çeliklerinin aşınma dirençleri diğer takım çelikleri ile mukayese edilmemiştir.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında endüstride sıkça kullanılan D2, D6, Calmax, Hws Rovalma ve Vanadis4 gibi soğuk iş takım çeliklerinin plazma nitrürleme işleme öncesi ve sonrası sürtünme-aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki somut çıktılar elde edilmiştir.

- Plazma nitrürleme işlemi takım çeliklerinin yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır. Bununla birlikte, plazma nitrürleme işleminde yüzey pürüzlülüğü üzerindeki bu etkinin, baz metalin (plazma nitrürleme öncesi) yüzey pürüzlülüğü arttıkça azaldığı bulunmuştur.
- Plazma nitrürlenmiş D2,D6 ve Calmax takım çeliklerinin içyapısında Fe_4N (γ'), Fe_3N (ϵ) ve CrN fazları tespit edilmiştir.
- Daha çok karbon ve alaşım elementi içeren D2 ve D6 çeliklerinde plazma nitrürleme işlemi sonrası daha yüksek yüzey sertliği elde edilmiştir. Ancak nispeten daha düşük karbon ve alaşım elementi içeren Calmax çeliğinde ise daha yüksek sertleşme derinliği elde edilmiştir. Toz metalürjik çeliklerin yüzey sertlikleri daha yüksek çıkmıştır.
- Ball on-disc aşınma düzeneğinde plazma nitrürlenmiş ve plazma nitrürlenmemiş takım çeliklerinde aşınma durumunu yorumlayacak anlamlı bir kütle kaybı elde edilememiştir.
- Plazma nitrürleme işlemi takım çeliklerinin aşınma dayanımını artırmış ve sürtünme katsayısını düşürmüştür. Molibden ve vanadyum gibi alaşım elementleri içeren D2 takım çeliği plazma nitrürleme sonrası ball on-disc düzeneğinde en yüksek aşınma dayanımı gösteren takım çeliği olurken, Calmax takım çeliği en düşük aşınma dayanımı gösteren takım çeliği olmuştur. Ancak Calmax takım çeliğinin diğer takım çeliklerine göre daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Plazma nitrürlenmiş takım çeliklerinin başlangıç yüzey pürüzlülük değerlerinin ball on-disc tribosistemde sürtünme katsayısı üzerinden neredeyse hiç etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısı üzerindeki ana etken gevrek tabaka kırılmaları olmuştur.

- Plazma nitrürleme işleminin tüm takım çeliklerinin aşınma dayanımını artırdığı gözlemlenmiştir.
- Pin-on disc aşınma düzeneğinde mevcut kurguda Vanadis4 takım çeliğinin aşınma dayanımının Hws Rovalma takım çeliğine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Ahangarania Sh., Sabourb A.R., Mahboubic F., Shahrabib T. 2009.** The influence of active screen plasma nitriding parameters on corrosion behavior of a low-alloy steel. *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 484(1-2): 222-229.
- Akbari A., Mohammadzadeh R., Templier C., Riviere J.P. 2010.** Effect of the initial microstructure on the plasma nitriding behavior of AISI M2 high speed steel. *Surface & Coatings Technology*, vol. 204(24): 4114-4120.
- Alves C., Lima J.A., Hajek V., Cunha J.B. M., Santos C.A. 2007.** Effect of cooling rate on properties of plasma nitrided AISI 1010 steel. *Surface & Coatings Technology*, vol. 201(16-17): 7566-7573.
- Anonim, 2019.** Nitrürleme (Nitrasyon) Nedir?. <http://www.istanbulisil.com/bilgi-sayfalari/nitrurleme-nitrasyon-nedir> (Erişim tarihi:13.10.2019).
- Aydın H., Bayram A., Topcu Ş. 2013.** Friction Characteristics of Nitrided Layers on AISI 430 Ferritic Stainless Steel Obtained by Various Nitriding Processes. *Material Science*, vol. 19(1): 19-24.
- Conci M.D., Bozzi A.C., Franco A.R. 2014.** Effect of plasma nitriding potential on tribological behaviour of AISI D2 cold-worked tool steel. *Wear*, vol. 317(1-2): 188-193.
- Devi M.U., Chakraborty T.K., Mohanty O.N. 1999.** Wear behaviour of plasma nitrided tool steels. *Surface and Coating Technology*, vol. 116-119: 212-221.
- Doan T.V., Dobrocky D., Pokorny Z., Kusmic D., Nguyen V.T. 2016.** Effect Of Plasma Nitriding On Mechanical And Tribological Properties Of 42CrMo4 Steel, *The Electrochemical Society*, vol. 74(1): 231-238.
- Groche P., Christiany M. 2013.** Evaluation of the potential of tool materials for the cold forming of advanced high strength steels. *Wear*, vol. 302(1-2): 1279-1285.
- Grzesik W. 2017.** Tool Wear and Damage. *Advanced Machining Processes of Metallic Materials (Second Edition) Theory, Modelling, and Applications*, 215-239.
- Jurci P., Panjan P. 2006.** PVD protection enhanced by plasma nitriding. *Metal Powder Report (MPR)*, vol. 6
- Karcan, F. 2005.** Sıcak iş sübap kalıplarının ömürlerinin etüdü. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.1(6): 28-31.
- Lind L., Peetsalu P., Podra P., Adoberg E. Veinthal R., Kulu P. 2010.** Description of punch wear mechanism in Turing fine banking process. Proceedings of 7th International DAAAM Baltic Conference “Industrial Engineering”, 2010, Tallinn.
- Manfridini A.P.A., Godoy G.C.D., Santos L.A. 2017.** Structural characterization of plasma nitrided interstitial-free steel at different temperatures by SEM, XRD and Rietveld method. *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 6(1): 65-70.
- Mashreghi A.R., Soleimani S.M.Y., Saberifar S. 2013.** The investigation of wear and corrosion behavior of plasma nitrided DIN 1.2210 cold work tool steel. *Materials and Design*, vol.46: 532-538.
- Nouveau C., Steyer P., Rao K.R.M., Lagadrillere D. 2011.** Plasma nitriding of 90CrMoV8 tool steel for the enhancement of hardness and corrosion resistance. *Surface & Coatings Technology*, vol.205: 4514 - 4520.
- Novak P., Vojtech D., Serak J. 2005.** Wear and corrosion resistance of a plasma-nitrided PM tool steel alloyed with niobium. *Surface and Coating Technology*, vol. 200: 5229-5236.

Okonkwo P.C., Georgina K., Bernard F.R., Michael P.P. 2016. The effect of sliding speed on the wear of steel–tool steel pairs. *Tribology International*, vol. 97: 218-227.

Paschke H., Weber M., Braeuer G., Yilkiran T., Behrens B.A., Brand H. 2012. Optimized plasma nitriding processes for efficient wear reduction of forging dies. *Archives of çivil and mechanical engineering*, vol.12: 407 - 412.

Podgornik B., Hogmark S., Sandberg O. 2006. Proper coating selection for improved galling performance of forming tool steel. *Wear*, vol.261: 15 - 21.

Podgornik B., Majdic F., Leskovsek V., Vizintin J. 2011. Improving tribological properties of tool steels through combination of deep-cryogenic treatment and plasma nitriding. *Wear*, vol.288: 88 - 93.

Rad H.F., Amadeh A., Moradi H. 2011. Wear assessment of plasma nitrided AISI H11 steel. *Materials and Design*, vol. 32: 2635-2643.

Soleimani S.M.Y., Mashreghi A.R., Ghasemi S.S., Moshrefifar M. 2011. The effect of plasma nitriding on the fatigue behavior of DIN 1.2210 cold work tool steel. *Materials and Design*, vol.35: 87 - 92.

Tillmann W., Dias N.F.L., Stangier D. 2019. Influence of plasma nitriding pretreatments on the tribomechanical properties of DLC coatings sputtered on AISI H11. *Surface & Coatings Technology*, vol. 357: 1027-1036.

Tobola D., Brostowb W., Czechowski K. Rusek P. 2017. Improvement of wear resistance of some cold working tool steels. *Wear*, vol. (382-383): 29-39.

Wen D. C. 2009. Plasma nitriding of plastic mold steel to increase wear- and corrosion properties. *Surface & Coatings Technology*, vol.204: 511 - 519.

Yeşilçubuk, S.A. 2010. Enjeksiyon kalıplarında kullanılan sıcak iş takım çeliklerinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metularji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Zeghni A.E., Hashmi M.S.J. 2004. The effect of coating and nitriding on the wear behaviour of tool steels. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 155-156: 1918-1922.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Yılmaz
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi / 02.06.1990
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

Lise : Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi / 2004-2008
Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi
Makine Mühendisliği / 2008-2013
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği / 2015 -
Devam

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Karbonsan Basınçlı Kaplar San. Ve Tic. A.Ş. / 2014
Beyçelik Gestamp Teknoloji ve Kalıp Sanayi A.Ş. /
2014-Devam

İletişim (e-posta) : ylmzahmet16@gmail.com
Yayınları :

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Ahmet Yılmaz
Tez Adı	Plazma Nitrülenmiş Soğuk İş Takım Çeliklerinin Sürtünme Aşınma Davranışları
Enstitü	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Makine Mühendisliği
Tez Türü	Yüksek Lisans
Tez Danışman(lar)ı	Doç. Dr. Hakan AYDIN
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin Veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih : 16.10.2019

İmza :

