

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

D2 ÇELİĞİNDEN ÜRETİLMİŞ ve DEĞİŞİK ŞARTARDA PLAZMA NİTRÜLENMİŞ
ZİMBALARIN AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

MURAT HAYRİ SARAÇOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2007

ÖZET

Plazma ile yüzey işlemleriyle malzemenin yüzey ve yüzeğe yakın bölgelerinin yapısal özellikleri değiştirilerek aşınma, korozyon direnci ve yorulma mukavemeti artırılır. Plazma nitrürasyonu ile yüzeyi sertleştirilen D2 çeliğinin kuru sürtünmeli şartlarda aşınma deneyi yapılmıştır. Plazma nitrürasyon işleminde, süre ve basınç işlem değişkenleri olarak kullanılmıştır. Plazma nitrürasyonu ile aşınma dayanımında önemli artışlar elde edilmiştir. Aşınma dayanımı ile sertlik arasında bir ilişki belirlenememiştir.

Anahtar Kelimeler: Plazma Nitrürleme, Triboloji, Takım Çeliği

ABSTRACT

The surface treatments with plasma improve the wear, corrosion resistance and fatigue strength by change properties of surface and near-surface region of material. Dry sliding wear tests were carried out on a plasma nitrided steel. Plasma nitriding process variables included time and pressure. It was found that the wear resistance improved considerably after the plasma nitriding process. No correlation could be detected between the wear resistance and hardness.

Keywords: Plasma Nitriding, Tribologie; Tool Steels

İÇİNDEKİLER	sayfa
Özet	i
Abstract	ii
İçindekiler	iii
Şekiller Dizini	vii
Çizelgeler Dizini	x
1- GİRİŞ	1
1.1. Derin Çekme Kalıpları	3
1.1.1. Çekme İşlemi	3
1.1.2. Bir Çekme Kalıbının Konstrüksiyonuna Etki Eden Faktörler	5
1.1.3. Çekme Radyüsü	5
1.1.4. Çekme Boşluğu	5
1.1.5. Çekme Kuvveti	5
1.1.6. Pot Baskı Kuvveti	6
1.1.7. Çekme Kalıplarında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	7
1.1.8. Çekme Kalıbının Yapısı ve Kullanılan Elemanlar	8
1.1.8.1. Süzme Kanalları	13
1.2. Kesme ve Delme Kalıpları	14
1.2.1. Kesme ve Delme İşlemi ile İlgili Genel Bilgiler	14
1.2.2. Kesme Kuvveti	14
1.2.3. Kesme Boşluğu	15
1.2.3.1. Kesme Boşluğunun Dişiye Verilmesi	15
1.2.3.2. Kesme Boşluğunun Erkeğe Verilmesi	16
1.2.3.3. Kesme Boşluğu Düzeninin Bozulmasının Nedenleri	17
1.2.3.4. Kesme Boşluğunun Bağlı Olduğu Parametreler	17
1.2.3.5. Kesme Boşluğunun Hesaplanması	17
1.2.4. Kesme ve Delme İşleminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	18
1.2.5. Delme Elemanları	28
1.2.5.1. Zımbalar	28
1.2.5.2. Zimba Tutucular	29
1.2.5.3. Kovanlar	32

1.3. Sac Şekillendirme Kalıpları Hesap Metodları	35
1.3.1. Çekme ve Sıvama Kalıpları Hesap Metotları	35
1.3.1.1. Formu Geometrik Olmayan Parçalarda Çekme Kuvveti	35
1.3.1.2. Silindirik Parçalarda Çekme Kuvveti	38
1.3.1.3. Silindirik Parçaların 2. Çekme Kuvveti	39
1.3.1.4. Silindirik Parçaların Sac Tutma Kuvveti	40
1.3.1.5. Konik Parçaların Çekme Kuvveti	43
1.3.1.6. Konik Parçaların Sac Tutma Kuvveti	45
1.3.1.7. Dikdörtgen Parçaların Çekme Kuvveti	46
1.3.1.8. Köşeli Parçaların Sac Tutma Kuvveti	48
1.3.1.9. Karesel Parçaların Çekme Kuvveti	50
1.3.2. Kesme Kalıpları Hesaplama Metotları	55
1.3.2.1. Yatay Kam Kesme Kuvveti	57
1.3.2.2. Eğik Kam Kesme Kuvveti	59
1.3.2.3. Asılı Eğik Kam Kesme Kuvveti	62
1.3.3. Etek Bükme Kalıpları	65
1.3.3.1. C Katsayısının Hesabı	65
1.3.3.2. Bükme Kuvveti Hesabı	65
1.3.3.3. Son Bükme Kuvvetinin Hesabı	66
1.3.4. V Bükme Kalıpları	66
1.3.4.1. Bükme Derinliği Hesabı	66
1.3.4.2. V Bükme Kalıp Açıklığı	67
1.3.5. U Bükme Kalıpları	68
1.3.5.1. U Bükme Kuvveti	68
1.3.5.2. Son Bükme Kuvvetinin Hesabı	68
1.3.5.3. Bükme Kuvveti Geri Esneme Açısı	69
1.3.6. Kenarlama Kalıpları	71
1.3.6.1. Kenarlama Dış Çapı Hesabı	71
1.3.6.2. Kenarlama Ortalama Çapı Hesabı	72
1.3.6.3. Radyüs Merkezleri Çapı Hesabı	72
1.3.6.4. Silindirik Kısım Yüksekliği Hesabı	72
1.3.6.5. Delme Çapı Hesabı	73

1.3.6.6. Kenarlama Oranının Hesabı	73
1.3.6.7. İncelen Sac Kalınlığı Hesabı	73
1.3.6.8. Kenarlama Boyut	74
1.3.6.9. Yatay Kam Kenarlama Kuvveti	75
1.3.6.10. Yatay Kam V - Bükme Kuvveti	77
1.3.6.11. Yatay Kam U - Bükme Kuvveti	80
1.3.6.12. Eğik Kam Kenarlama Kuvveti	83
1.3.6.13. Eğik Kam V - Bükme Kuvveti	86
1.3.6.14. Eğik Kam U - Bükme Kuvveti	89
1.3.6.15. Asılı Eğik Kam Kenarlama Kuvveti	91
1.3.6.16. Asılı Eğik Kam V - Bükme Kuvveti	94
1.3.6.17. Asılı Eğik Kam U - Bükme Kuvveti	97
2- KAYNAK ARAŞTIRMASI	101
2.1. Sac Şekillendirme Kalıplarındaki Tribolojik Problemler	103
2.1.1. Aşınma	104
2.1.1.1. Abraziv Aşınma	104
2.1.1.2. Difüzyon Aşınması	105
2.1.1.3. Oksidasyon Aşınması	105
2.1.1.4. Yorulma Aşınması	105
2.1.1.5. Adeziv Aşınma	105
2.1.2. Ağız Dökülmesi	106
2.1.3. Sıvanma	106
2.1.4. Plastik Deformasyon	106
2.1.5. Ondülasyon	107
2.1.6. Form Yırılması	107
2.1.7. Sac incelmesi	107
2.2. Tribolojik Performans Artırıcı Yüzey Bölgesi İşlemleri	108
2.2.1. Alev ile Yüzey Bölgesinin Sertleştirilmesi	108
2.2.2. İndüksiyon ile Yüzey Bölgesinin Sertleştirilmesi	108
2.2.3. Lazer ile Yüzey Bölgesinin Sertleştirilmesi	109
2.2.4. Çeliklerin Karbürlenmesi	109
2.2.5. Çeliklerin Karbonitrülenmesi	109

2.2.6. Çeliklerin Nitrürleşmesi	110
2.2.7. Plazma Difüzyonu ile Yüzey Kaplama	110
2.2.8. Plazma Püskürtülmesi ile Yüzey Kaplama	111
2.2.9. İyon İmplantasyonu ile Yüzey Kaplama	111
2.2.10. Kimyasal Buhar Yığılma (CVD) ile Yüzey Kaplama	111
2.2.11. Fiziksel Buhar Yığılma (PVD) ile Yüzey Kaplama	112
3- MATERYAL ve YÖNTEM	113
3.1. Soğuk İş Takım Çelikleri (D Tipi)	113
3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzeme Özellikleri	114
3.3. Deney Numunelerinin Isıl İşlem Prosesi	115
3.4. Deney Numunelerinin Plazma Nitrürleme İşlemi	117
3.5. Isıl İşlem Görmüş ve Plazma Nitrürleme İşlemi Uygulanmış Malzemenin Ömür Testleri	120
4- ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	133
5- KAYNAKLAR	145
6- TEŞEKKÜR	148
7- ÖZGEÇMİŞ	149

ŞEKİLLER DİZİNİ	sayfa
Şekil 1.1 Çekme kalıbında form verme işleminin gösterilmesi	3
Şekil 1.2 Çekme kalıbı kesit görüntüsü	8
Şekil 1.3 Çekme kalıbı kesit görüntüsü	9
Şekil 1.4 Şekil 1.2 detay görünüşü	9
Şekil 1.5 Çekme kalıbı alt grup üst görünüş	10
Şekil 1.6 Çekme kalıbı alt tabla kesit görünüş	11
Şekil 1.7 Çekme kalıbı pot grubu üst görünüş	11
Şekil 1.8 Çekme kalıbı üst grup alt görünüş	12
Şekil 1.9 Süzme kanalı (metot-1)	13
Şekil 1.10 Süzme kanalı (metot-2)	13
Şekil 1.11 Süzme kanalı (metot-3)	13
Şekil 1.12 Süzme kanalı (metot-4)	13
Şekil 1.13 Kesme boşluğunun dişiye verilmesi	16
Şekil 1.14 Kesme boşluğunun erkeğe verilmesi	16
Şekil 1.15 Kesme delme kalıbı alt kalıp üst görünüş	19
Şekil 1.16 Kesme delme kalıbı alt kalıp ön görünüş	20
Şekil 1.17 Kesme delme kalıbı alt kalıp kesit görünüş	20
Şekil 1.18 Kesme delme kalıbı üst kalıp alt görünüş	21
Şekil 1.19 Kesme delme kalıbı üst kalıp ön görünüş	21
Şekil 1.20 Kesme delme kalıbı kesit görünüş	22
Şekil 1.21 Delme grubu montajı detay görünüş	23
Şekil 1.22 Askı civatası montajı detay görünüş	24
Şekil 1.23 Hurda ayırıcı detay görünüş	25
Şekil 1.24 Kesme delme kalıbı kesit görünüş	26
Şekil 1.25 Kesme çeliği detay görünüş	27
Şekil 1.26 Kesme çeliği detay görünüş	27
Şekil 1.27 Zimba sol görünüş	28
Şekil 1.28 Zimba detay görünüş	29
Şekil 1.29 Zimba tutucu(tip-1) üst görünüş	29
Şekil 1.30 Zimba tutucu(tip-1) kesit görünüş	30

Şekil 1.31 Zimba tutucu(tip-2) üst görünüş	31
Şekil 1.32 Kovan üst görünüş	32
Şekil 1.33 Kovan kesit görünüş	32
Şekil 1.34 Kovan sol görünüş	32
Şekil 4.1 Bir tribosistemin performansını etkileyen faktörler	103
Şekil 3.1 D Tipi Soğuk İş Takım Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonları	113
Şekil 3.2 D2 Çeliğinin Sertliğine Östemperleme ve Temperleme Sıcaklıklarının Etkisi	114
Şekil 3.3 D2 çeliği 1030°C zaman-sıcaklık dönüşüm diagramı	116
Şekil 3.4 D2 çeliği 1080°C zaman-sıcaklık dönüşüm diagramı	116
Şekil 3.5 Plazma Nitürleme Öncesi Gerçekleştirilen Isıl İşlem	117
Şekil 3.6 Deney tezgah parametreleri	120
Şekil 3.7 Zimba boyutları	121
Şekil 3.8 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıbın Proses şeması	121
Şekil 3.9 Deneysel Çalışmada Kullanılan Sac Parça Referans Aşınmış Zimba ile İşlem Görmüş Delik Detay Resmi	122
Şekil 3.10 Deneysel Çalışmada Kullanılan Sac Parça Referans Delik Detay Resmi	122
Şekil 3.11 Deneysel Çalışmada Kullanılan Sac Parça Referans Delik Detay Resmi	123
Şekil3.12 Deneysel Çalışmada Kullanılan Sac Parçalar	123
Şekil 3.13 Deneysel Çalışmada Kullanılan Sac Parçalar	124
Şekil3.14 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	124
Şekil3.15 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	125
Şekil3.16 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	125
Şekil3.17 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	126
Şekil3.18 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	126
Şekil3.19 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	127
Şekil3.20 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	127
Şekil3.21 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	128
Şekil3.22 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	128
Şekil3.23 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	129
Şekil3.24 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	129
Şekil3.25 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	130

Şekil3.26 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	130
Şekil 3.27 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	131
Şekil 3.28 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	131
Şekil3.29 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	132
Şekil3.30 Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi	133
Şekil 4.1. Basınç ve Süreye Bağlı Ortalama Aşınma Miktarı	135
Şekil 4.2. Plazma Nitrürleme Basıncına Bağlı Ortalama Aşınma Miktarı	136
Şekil 4.3. Plazma Nitrürleme Süresine Bağlı Ortalama Aşınma Miktarı	137
Şekil 4.4. Basınca Bağlı Aşınma Miktarları ve Eğilim Çizgisi	139
Şekil 4.5. Süreye Bağlı Aşınma Miktarları ve Eğilim Çizgisi	140
Şekil 4.6. İşlem Süresine Göre Aşınma Performandaki İyileşme	141
Şekil 4.7. İşlem Süresine Göre Aşınma Performandaki İyileşme	142
Şekil 4.8.Aşınma Performansındaki İyileşme Miktarları	144

ÇİZELGELER DİZİNİ	sayfa
Çizelge 1.1 Zimba-Zimba Tutucu İşleme Toleransları	31
Çizelge 1.2 Kovan Delik İşleme Toleransları	33
Çizelge 1.3 Sac Tutma Kuvveti	52
Çizelge 1.4 Çekme Oranı $M' E$ Bağlı Olarak (K) Değerleri	53
Çizelge 1.5 Spesifik Yüzey Basıncı Dan / Mm^2	53
Çizelge 1.6 Kalıp Mukavemet Analiz Yöntemi	54
Çizelge 3.1 Plazma Nitrürleme Deney Şartları	119
Çizelge 4.1. Deney Parametreleri Ve Numune Aşınma Miktarları	134
Çizelge 4.2 Deneysel Çalışma İyileştirme Oranları	143

1- GİRİŞ

Teknolojide mühendisliğin her geçen gün daha da önem kazandığı günümüzde, firmaların rekabetçi bir büyüme gösterebilmeleri için organizasyonlarının sürekli gelişen bir temelde yapılandırılması gereklidir. Tasarım-Doğrulama-İmalat-Kontrol adımlarındaki başarının süreç içerisinde kullanılan teknoloji ile doğru orantılı olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Birbirleri ile sürekli etkileşim içerisinde bulunan bu adımlar gelişimlerini teknolojilerindeki mühendislik uygulamaları ile sağlarlar.

Bilimsel bilgi envanterinin teknolojiye transferini tetikleyen sektör savunma sanayi olmuştur. İnsanların korunma içgüdüğü aldığı tedbirlerde sürekli gelişmeye neden olmuş böylece savunma sanayisi teknoloji üretir hale gelmiştir. Sivil hayatta ise büyüyen dünya ekonomisi ve yoğunlaşan rekabet otomotiv sanayisini teknoloji yarışında bayrağı taşıyan atlet olmaya zorlamıştır.

Otomotiv endüstrisinde seri imalat öncesi emek sanat bağımlı imalat tamamen el işçiliği ile üretilen parçaların kalitesini ve imalat süresini iş gücü yeteneği ve tecrübesi belirlemekte idi. Yeniden üretebilirlik, maliyet ve kapasite yönünden değerlendirildiğinde emek sanat bağımlı imalat artan müşteri talebini karşılayamaz duruma gelmiştir. Otomotiv endüstrisi için presle sac şekillendirme prosesi seri imalata geçilmesinde bir kilometre taşı olmuştur. (Womack 1990). Dolayısıyla sac metal kalıplarında yapılacak geliştirmeler daha hassas ve daha ucuz parça imalatını mümkün kılarak otomotiv endüstrisinin ihtiyaç duyduğu rekabeti desteklemiş olacaktır.

Presle sac şekillendirme prosesi, sac malzemeye belli formlara sahip takımlarla (kalıplar) akma gerilimini aşacak şekilde kuvvetler uygulayarak, kalıcı şekil verilmesidir. Otomotiv sanayisinde en çok uygulanan sac şekillendirme prosesi derin çekmedir. Temelde dişi erkek ve pottan oluşan kalıplarda, sacın plastik şekil alma esnasında ondülasyonunu engellemek ve sac akışını kontrol etmek için form verme adımı öncesi pot ile belli bir baskı kuvveti uygulanır. Pot ile dişi arasında baskı altında tutulan sac, erkek ile dişiye doğru çekilerek, strok sonunda istenilen formu almış olur. Bu gerilmelerle sac istenilen formu alırken, aynı zamanda malzeme özelliklerinin değişimi ve kalınlık değişimleri oluşur. Pot çemberi üzerinde süzme kanalları ve erkek kalıp üzerindeki geliştirme yüzeyleri sac akışının ve uzamanın kontrolünde büyük öneme sahiptir.

Derin çekme prosesinde, yırtılma, ondülasyon, formda bozulma ve tolerans dışı incelme istenmeyen durumlardır. Form verme esnasında sacın üzerinde aktığı kalıp yüzeylerinin sac parça üzerinde bıraktığı izlerde parçanın kalitesini etkileyen bir faktördür.

Sac metal kalıpcılığı endüstrisinin ihtiyaç duyduğu temel maddelerin önemli bir bölümünü dökme demirler ve özel alaşımli çelikler oluşturmaktadır. Metal malzemelerin kullanımında genel özellikleri kadar yüzey bölgesi özellikleri de çok önemli bir yer tutmaktadır. Genel özellikleri belirleyen fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerin yanında yüzey bölgesi özellikleri, malzemelerin aşınma, sürtünme, korozyon ve yorulma dayanımını büyük oranda etkiler. Bu davranışlar malzemenin iç yapısından farklı bir yapı gösteren yüzey bölgesi özelliklerinin fonksiyonudur.

Otomotiv sanayisi artan rekabet nedeni ile güvenilirlik ve ekonomiklik odaklı müşteri taleplerini karşılayabilme yeteneğini geliştirmek zorunda kalmıştır. Üretimin daralan parça toleranslarına rağmen ilk seferde doğru ve hızlı gerçekleşmesi güvenilirlik ve ekonomiklik için vazgeçilmez olmuştur. Otomobil teknolojisinde süregelen ivmeli yükseliş beraberinde yeni malzemeler ve yeni tasarım geometrilerini getirmiştir. Otomotiv sanayisindeki bu gelişmeler sac şekillendirme prosesini kriticleştirmiştir.

Konvensiyonel sac şekillendirme proseslerinde ki yetersizlik sac şekillendirme kalıpcılığında yeni arayışları gerektirmiştir. Sac metal şekillendirme kalıplarında gözlenen tribolojik problemler kalıp tasarımında ve kalıp malzemesinde teknolojik iyileştirmeler yaparak daha hassas, aşınma direnci ve yorulma dayanımı yüksek kalıp yüzey bölgelerinin imalini gerekli kılmıştır. Malzemelerin yüzey bölgesi özelliklerinin anlaşılması ve bu özellikleri değiştirmeye yönelik çalışmalar yüzey bilimi ve teknolojisi başlığı altında hızla gelişmektedir.(Burakowski T. 1999)

Kalıp yüzey bölgelerinin istenilen özelliklere sahip olabilmesi kalıp yüzeylerinde yapılan modifikasyonlarla gerçekleştirilebilmektedir. Malzeme yüzey bölgesinin sert ve aşınmaya dayanıklı, alt tabakanın ise sünek ve yeterli mukavemette olması istenildiğinde karbürleme, nitrürleme, alev veya indüksiyonla yüzey sertleştirme, lazerle yüzey sertleştirme, plazma nitrürleme, plazma esaslı fiziksel buhar depolama (PVD), ve kimyasal buhar depolama (CVD), iyon implantasyonu, yöntemleri kullanılarak yüzey sertleştirme ve aşınmaya dayanıklı malzemeler üretilmesi gerçekleştirilebilir. (Buytoz S. 2003)

Bu alışmada D2 çeliğinden imal edilmiş zımbaların bir grubuna su verme ve temperleme işlemi uygulandı. Diğer grup zımbalar su verme ve temperleme işlemine mütakiben değişik şartlarda plazma nitrüleme işlemi uygulandı. Yukarıda belirtilen şartlarda üretilen zımbaların aşınma ömürleri araştırıldı.

2- KAYNAK ARAŞTIRMASI

Modern bir yüzey sertleştirme yöntemi olan plazma nitrürasyonu, günümüzde çelik, dökme demir, titanyum ve sinterlenmiş ürünlerde geniş ölçüde kullanılmaktadır.(Karaoğlu ve ark 2001)

Plazma nitrüleme işlemi görmüş numunelerin (aşınma numunesi AISI 5140 çeliği / yorulma numunesi AISI 4140 çeliği) yüzey sertlikleri ve yorulma dayanımları yüksektir ve bu değerler işlem süresi, işlem sıcaklığına ve gaz karışımına göre değişim göstermektedirler. En yüksek değerler 500°C işlem sıcaklığında elde edilmekte ve gaz karışımındaki H₂ yüzdesi arttıkça saçılmanın artması ile beyaz (birleşik) tabaka kalınlığının azalması sonucu daha yüksek mukavemet değerleri elde edilmektedir. (Epik ve ark 1994)

Plazma nitrürasyon işlemi uygulanan AISI 5140 çeliğinin en yüksek aşınma direnci yüzey sertliği en yüksek numunelerde görülmüş ve yüksek sıcaklıkta işlem gören numunelerde oluşan oldukça gevrek kalın bileşik tabakanın aşınmanın ilk safhasında kırılmasıyla ortaya çıkan parçacıklar aşınma mekanizmasını adezif aşınmadan abrazif aşınmaya çevirerek malzemenin aşınma hızını yükseltmiştir. Böylece, aşınma dayanımı, artan bileşik tabaka kalınlığı ile azalır ve aşırı kalın bileşik tabaka plazma nitrürasyonda bir hata olarak kabul edilebilir.(Karaoğlu ve ark 2001)

Plazma nitrürasyon işleminde gaz karışımlarında hidrojen miktarındaki artış ile birlikte malzemenin yüzey sertliği ve difüzyon derinliği artarken, beyaz tabaka kalınlığında azalma olmaktadır. Azot-argon gaz karışım oranları incelendiğinde, argonun sertlik artışına sınırlı bir katkısı olduğu ve bu karışımda beyaz tabaka kalınlığında da hidrojen gazının etkisinden daha az bir düşüş olduğu görülmüştür. Difüzyon tabakası, nitrüleme zamanının artışıyla birlikte kalınlaşmakta argon gazı azot gazı ile karışım olarak kullanıldığında malzemenin yüzey sertliğine neden olmaktadır.(Çelik ve ark 2000)

Nitrüleme sıcaklığı arttıkça beyaz tabaka kalınlığı artmaktadır. En yüksek beyaz tabaka kalınlığı, 550°C sıcaklık, 4 s işlem süresi ve 0,33 N₂/H₂ gaz karışım oranında elde edilmiştir. İyon nitrüleme sonucu en yüksek yüzey sertliği 450°C sıcaklık, 4 s işlem süresi ve 0,33 N₂/H₂ gaz karışım oranında elde edilmiştir. (Gavgalı ve ark 2002)

İyon-nitrürasyon süresi nitrülenmiş tabakanın aşınma davranışına etki etmektedir. Kompond tabakanın aşırı kalın olması başlangıç aşınmasını artırırken, difüzyon tabakasının sertliği arttıkça aşınma hızı düşmektedir. Özellikle uzun aşınma periyotlarında işlemin yararı daha açık olarak görülmektedir. (Karaoğlu ve ark 1997)

Sarı ve Tülbentçi (1997) tarafından bildirildiğine göre Kim ve arkadaşlarının in yalın karbonlu çeliklerin üç cisimli abrazif aşınmasını inceledikleri çalışmalarında gaz karbonitrasyonu ve iyon nitrokarbürizasyonu işlemlerinin aşınma direncini en çok artıran işlemler olduğunu aktarmışlardır.

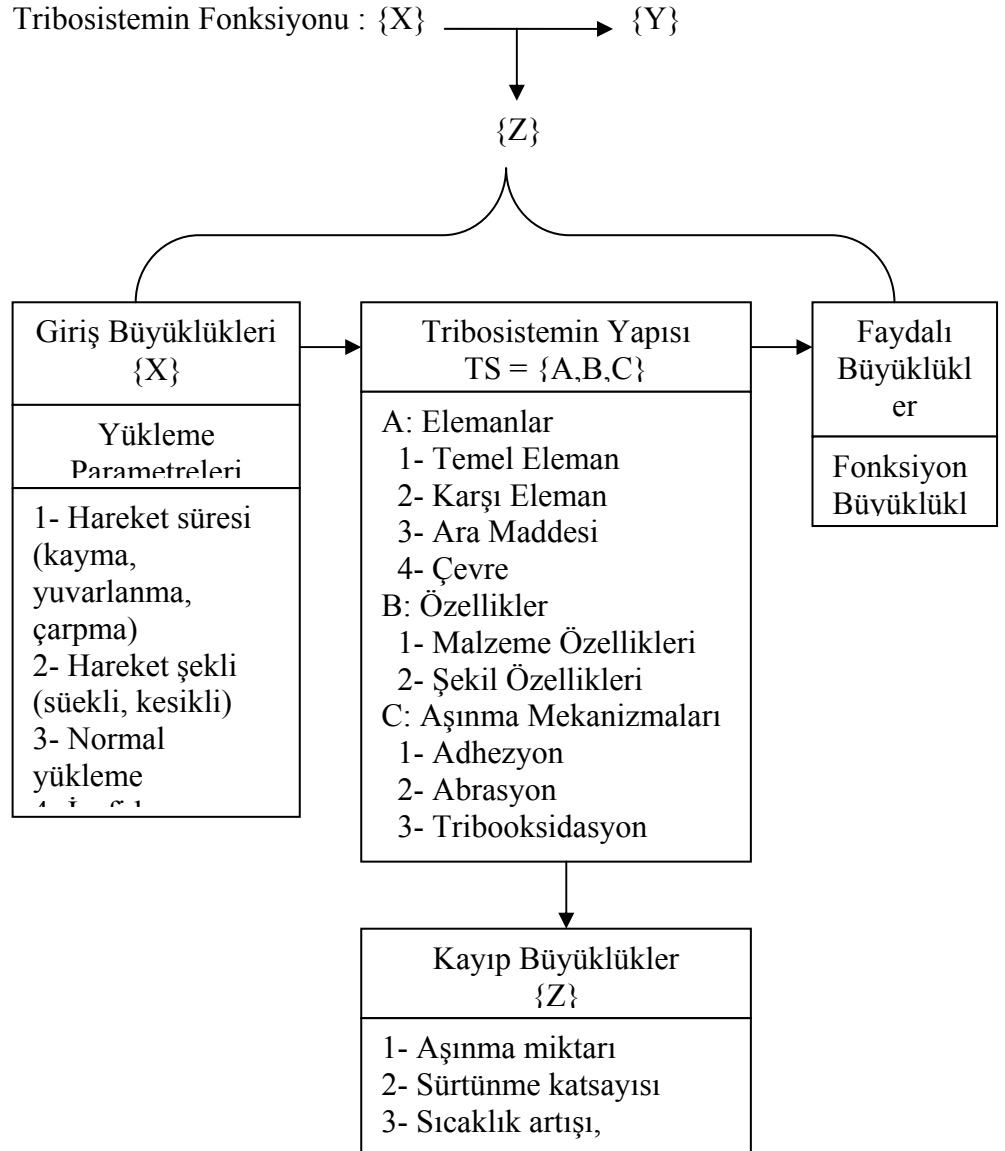
Sarı ve Tülbentçi (1997) tarafından bildirildiğine göre Ahmed ve arkadaşları orta karbonlu bir çeliği plazma püskürtme 0.05-1.5 mm arasındaki kalınlıklarda Ni-%5Al malzeme ile kaplamışlardır. Araştırmacılar, artan kaplama tabakası kalınlığı ile kaplama tabakasındaki gözeneklerin azaldığını ve tabaka kalınlığındaki artış ile aşınma direncinin de arttığını belirtmişlerdir.

Artan sıcaklık ve zamanla beyaz tabaka ve difüzyon tabakası kalınlıkları artmaktadır. Genel olarak en büyük sertliklerin elde edildiği sıcaklık ve zamanlar; 450-500°C ve 2-8 saat'tir. Azot difüzyonunun ve nitrür oluşumunun sınırlandırıldığı düşük sıcaklık ve kısa süreli işlemler sonunda yeterli sertlik artışı sağlanamamıştır. Zaman sıcaklık parametrelerinin üst değerlerine çıkıldığında, difüzyon şartları uygun olmasına rağmen sertlik değerinde düşme olmaktadır. Bunun sebebi malzemede oluşan temperleme etkisi ve nitrürlerin aşırı büyümesidir. (Karaoğlu ve Karadeniz 1997)

Devi ve arkadaşlarının (1999) H13, D2, ve L7 takım çelik numunelerinin plazma nitrülmesi inceledikleri çalışmalarında plazma nitrüleme ile kullanım ömrünün artırılmasının malzeme karakteristiklerine, mikro yapıya ve ısıl işleme bağlı olduğunu; D2 çelik numunelerinin H13 çelik numunelerinden daha iyi ömürlü oldukları; Adeziv aşınması azaltılmış D2 çeliği plazma nitrüleme için H13 çeliğinden daha kullanışlı olduğu; Adeziv aşınmanın nitrülenmemiş çeliğin içinde baskın rol oynadığı; Plazma nitrülemeden sonra adeziv aşınmanın minimize edildiği; Katmanlaşma ve mikro kesme mekanizmaları nitrülenmemiş D2 çeliğinin zararına iştirak ettiği belirtilmiştir. (Devi ve ark 1999)

2.1. Sac Şekillendirme Kalıplarındaki Tribolojik Problemler

Triboloji, sürtünme, aşınma ve yağlama kavramlarını kapsayan bir terim olarak ilk defa 1966 yılında Jost, H.P: tarafından kullanılmaya başlanmış ve kısa zamanda yerleşmiştir. Şekil 4.1 de bir tribosistemin performansını etkileyen faktörler şematize edilmiştir. Tribolojik zorlamalar (yüklemeler) sonucu sürtünme çiftlerinin yüzey bölgelerinde çok yönlü reaksiyonlar, değişiklikler ve parçacık kopmaları meydana gelebilir. Aşınma, böylece, bu sistemi oluşturan eleman ve faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin ortak ürünü olarak kendini gösterir. (Demirci A.H. 1982)



Şekil 2.1 Bir tribosistemin performansını etkileyen faktörler (Demirci 2003)

Aşınma, genel ifadesi ile mekanik etkileşimlerin sonucunda katı bir yüzeyden malzeme kaldırılması şeklinde tanımlanmaktadır. (Sarı ve Tülbentçi 1997)

Otomotiv endüstrisi üretim miktarlarındaki artış araç imalinde kullanılan ekipmanların da aynı üretim rakamlarını gerçekleştirmesini ihtiyacını doğurmuştur. Yıllık 10.000 li rakamlarla üretim yapan avadanlıklardan aynı rakamlar haftalık istenir olmuştur. Başta sac şekillendirme kalıpları olmak üzere kullanılan tüm ekipmanlarda birçok tribolojik problem ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerden biri baskın olmak üzere birkaçına aynı anda rastlanabilmektedir.

2.1.1. Aşınma

Aşınma mekanizmalarını Abraziv aşınma, Difüzyon aşınması, Oksidasyon aşınması, Yorulma aşınması (statik veya dinamik), Adeziv aşınma olarak beş temel tipte inceleyebiliriz. (Çakır 1999)

Misra'ya (1982) göre Aşınma olayına etki eden bir yada aynı anda birkaç faktör değişik aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarır. Bu aşınma mekanizmalarına endüstride %50 abrazif aşınma, %15 adeziv aşınma, %8 eroziv aşınma %8 yenme aşınması, %5 kimyasal aşınma ve %14 diğerleri şeklinde değişen oranlarda karşılaşılır. (Sarı ve Tülbentçi1997)

2.1.1.1. Abraziv Aşınma

Sistemin çalışması esnasında sürtünme çiftlerinden sert olanın diğer elemanın içine yüzey pürüzlülüğü mertebesinde girerek derin izler bırakması veya daha önceki çalışma koşulları esnasında kopan parçacıkların neden olduğu bir aşınma mekanizmasıdır. Malzeme (veya kalıp) yüzey bölgesinin sertleştirilmesi ile aşınmanın etlisi azaltılabilir.

2.1.1.2. Difüzyon Aşınması

Sürtünme çiftleri arasındaki afiniteye (kimyasal ilgi) bağlı olarak gelişen bir aşınma mekanizmasıdır. Tribosistemin sıcaklığı aşınmayı artırıcı bir faktördür. Sistemde soğutucu yağ veya soğutma tertibatı kullanılarak aşınma etkisi azaltılabilir.

2.1.1.3. Oksidasyon Aşınması

Yüksek sıcaklıklara ulaşan malzeme (veya kalıp) yüzey bölgesinin oksijenle olan reaksiyonu olarak özetlenebilir. Bu reaksiyonun hızı tribolojik zorlamaların etkisi ile artar. Demirci (1982) tarafından bildirildiğine göre Krause bu hızlandırma mertebesi çelik malzeme çifti için (St60/St60) kuru sürtünmeli bir kaymalı yuvarlanma sisteminde normal sıcaklık oksidasyonu hızına göre 5000 katı kadar olabildiğini belirtmiştir.

2.1.1.4. Yorulma Aşınması

Tribosistemin yüzey bölgesinde tekrarlı ve değişken yüklemelerin ve değişken sistem sıcaklığının etkisi ile meydana gelen mikro çatlakların oluşması, büyümesi ve mikro veya makro boyutta parçaların kopması şeklinde gerçekleşen bir aşınma mekanizmasıdır.

2.1.1.5. Adeziv Aşınma

Sürtünme çiftlerinin yüzey bölgelerinde yükleme ve izafi hareketin bir fonksiyonu olarak yüksek mekanik gerilmeler meydana gelir. Yüzey bölgesindeki yüksek basıncın ve gerilmelerin etkisi ile atomsal bağlantılar ve mikrokaynaklar oluşur. Tribo sistemin çalışması esnasında koparılan bu mikro kaynaklar sürtünme çiftleri arasında malzeme transferine vedahi mikrokaynağın her iki elemandan da koparak partükül şeklinde sistem içerisinde kalması abraziv aşınmayı oluşturarak aşınmanın boyutunu artırır.

Sarı ve Tülbentçi (1997) nin bildirdiğine göre, Bayer aşınmanın aşınma izinin görünüşüne göre ukurlanma, pullanma, çizilme, parlama, oyulma, kemirilme ve kazılma şeklinde guruplandırılabilceğini. Aşınma ortamına göre ise yağlı aşınma, yağsız aşınma, metal-metal kayma aşınması, yüksek gerilim kayma aşınması ve yüksek sıcaklık metalik aşınma şeklinde guruplandırılabilceğini bildirmiştir.

2.1.2. Ağız Dökülmesi

Kısa süreli yorulma aşınması olarak tanımlayabileceğimiz ağız dökülmesi; özellikle kesme kalıplarında, kalıbın çalışan kenarında oluşan mikro çatlakların kısa sürede büyümesi ile oluşur. Kalıp kenarlarından parça kopmalarının oluşması ile sonuçlanır. Sac parça kesme konturunda apak oluşması, ölçüsel tolerans dışına çıkılması, görünüm ve dış panel parçalarında çizilmeye neden olur. Sac parça kalınlığı, işlem tonajı ve darbeli çalışma problemin oluşmasında katalizörlük yapar.

2.1.3. Sıvanma

Kalıp malzemesine göre daha yumuşak olan sac malzemenin form verme veya kesme işlemleri esnasında kalıp yüzeylerine yapışması olarak yetleyebileceğimiz bir problemdir. Yapıan malzemenin işlem parametrelerinin etkisi ile yüzey veya köşede sertleşmesi ve bir sonraki ilemdede kopması ile gelişir. Koparken kalıp kenar ve yüzeylerinden de parça koparması nedeni ile kalıp boyutsal toleransının bozulmasına ve kalıp yüzeylerinin çizilmesine neden olur. Müşteri spesifikasyonlarını karılayamayan üretim ek işçilik maliyetlerini ve kalıp bakım veya yeniden imalatını gerektirir.

2.1.4. Plastik Deformasyon

Kalıp yüzey ve kenarlarının çökmesi şeklinde oluşan problem kullanılan kalıp malzemesinin yeterli akma dayanımına sahip olmaması veya kalıbın çalışma koşulları dışında çalıştırılması ile gelişmektedir. Kalıp malzemesinin sertliğinin de yetersiz olması işlemin oluşma sürecini hızlandırmaktadır. Özellikle fikstür montajı yapılan

parçaların form kalıplarında parçanın istenilen formu tam olarak almaması nedeni ile hat duruşlarına neden olan bir problemdir.

2.1.5. Ondülasyon

Kalıp yüzeylerinde oluşan lokal aşınmalar kalıp form yüzeylerine iş parçasının sıvanması esnasında malzeme akışını engelleyip parçanın bölgesel olarak toplanmasına neden olmaktadır. Problemin çözümü için pratik uygulamada sıvama yağı ve naylon kullanımı ile problem aşınmaya çalışılmakta fakat hem işlemin tatbiki hem de işlem sonrası malzemenin temizliği için gereken ek işçilik maliyetleri endüstride yaygın olarak kullanılan bu iki yöntemi verimsiz hale getirmektedir.

2.1.6. Form Yırılması

Form ve sıvama kalıplarında sac parça malzemesinin kalıp yüzeyindeki sürtünmenin etkisi ile gereğinden fazla boyutsal değişime maruz kalması veya lokal sürtünmeler nedeni ile kalıp yüzeyinden kurtulamayıp uzamaya devam etmesi ile oluşur. Malzeme kesme konturunda oluşan ve gözle görülemeyen yırtık başlangıcı veya mikro çatlaklar sac parçanın ısıl gerilmelere maruz kaldığı kaynak, boya, katoferez gibi işlemler sonrasında yırtığa dönüşebilmektedir.

2.1.7. Sac incilmesi

Form ve sıvama kalıplarında sac parça malzemesinin kalıp yüzeyindeki sürtünmenin etkisi ile gereğinden fazla boyutsal değişime maruz kalması veya lokal sürtünmeler nedeni ile kalıp yüzeyinden kurtulamayıp uzamaya devam etmesi ile oluşur. İncelme sac parçanın ısıl gerilmelere maruz kaldığı kaynak, boya, katoferez gibi işlemler sonrasında yırtığa dönüşebilmektedir.

2.2. Tribolojik Performans Artırıcı Yüzey Bölgesi İşlemleri

Malzemelerin yüzey bölge lerinin modifiye edilmesinin nedenlerini, yüksek bir yüzey sertliği sağlamak; aşınma direncini ve sürtünerek ısınma özelliklerini iyileştirmek; yorulma ömrünü uzatmak; Yüzey işlemi uygulama sıcaklığına kadar yüzey bölgesine ısı direnci sağlamak şeklinde özetleyebiliriz.

2.2.1. Alev ile Yüzey Bölgesinin Sertleştirilmesi

Proses Genellikle fırında ısıtılması pratik olmayan veya parça üzerindeki lokal yüzey bölgesi sertleştirmelerinde kullanılan bir yöntemdir. İşlem parçanın yüzey bölgesinin oksitlenmiş veya oksit-hidrojen vb. hımcı kullanılarak direk olarak yüksek sıcaklık alevinin yüzey bölgesine tatbik edilmesi ile yüzey bölgesi sıcaklığının östenitik bölgeye çıkarılması ve akabinde yüzey bölgesinde martenzitik sert yapı teşekkülü için hızla soğutulması (su verme) şeklinde gerçekleştirilir. İşlem kontrolü tamamen manuel olarak tatbik eden operatörce yapıldığı için ustalık gerektiren ve homojenlik açısından güvenilirliği düşük bir yöntemdir.

2.2.2. İndüksiyon ile Yüzey Bölgesinin Sertleştirilmesi

İndüksiyonla yüzey bölgesi sertleştirme işlemi malzeme yüzey bölgesinin indüksiyon akımı ile östenitik yapıya getirilmesi ve yüzey bölgesinde martenzitik yapı oluşturmak için su verilmesi prensiplerine dayanır.

Yüzey bölgesinin ısıtılması için parça, yüksek frekanslı alternatif akımın geçtiği bobinler içerisine konulur.Bobinde oluşan hızlı alternatif manyetik alan parçanın yüzeyinde devamlı akıma neden olur.Bu akımda malzeme elektrik direnci ile birlikte ısının oluşumunu sağlar.Alternatif akım frekansı ısıtma derinliğini etkiler. Frekansın yükselmesi ısınan yüzey bölgesi derinliğini düşürür.

2.2.3. Lazer ile Yüzey Bölgesinin Sertleştirilmesi

Lazerle yüzey bölgesi sertleştirmede malzeme yüzey bölgesinde ince bir tabakanın lazer kaynaklı ısı ile östenitik bölge sıcaklığına getirilip yüzeyde martenzitik yapının oluşumu için soğutulması (su verme) işlem adımları mevcuttur. Soğutma için malzemenin kendisi, işlem gören yüzey bölgesi derinliğinin düşük olması nedeni ile çoğunlukla yeterli olmaktadır. Kompleks geometrili parça yüzey bölgelerinin homojen bir biçimde sertleştirilmesinde başarı ile uygulanabilen bir yöntemdir. Lazer maliyetinin yüksekliği yöntemin seri imalatta kullanımının yaygın olmayışının nedenidir.

2.2.4. Çeliklerin Karbürlenmesi

Karbürizasyon işlemi çeliğin YMK östenitik yapıda olduğu üst dönüşüm sıcaklığı olan A3 üzerindeki sıcaklıklarda çeliğe karbon ilave edilmesidir. Fe-C diyagramından da anlaşılacağı üzere alaşımın karbon eritebilirliği 723 °C'de yaklaşık %0,8 iken 1148 °C'de yaklaşık %2 'ye ulaşır. Gerek maliyet gerek ekipman yetersizlikleri nedeni ile uygulamada işlem 850-950 °C'de gerçekleştirilir. Karbürleme işleminden sonra malzeme yüzey bölgesinde martenzitik yapı oluşturabilmek için malzemeye östenitik şartlardan su verilir. Böylece yüzey bölgesi sertleştirilmiş ve iç kısmı tok malzeme elde edilmiş olur.

2.2.5. Çeliklerin Karbonitrülenmesi

Karbonitrüleme karbürlemenin azot ile modifiye edilmiş halidir. Karbürleme gazına azot vericilerin (örneğin NH₃) ilavesi ile azotun karbonla birlikte çelik sertleştirme yüzeyine difüzyonu sağlanır. Karbonitrüleme süreç içerisine giren azotun etkisi ile karbürlemeye göre daha kısa süre ve daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir. Bu nedenle modifiye olmuş yüzey bölgesi kalınlığı karbürlemedeki kalınlığa nazaran daha düşüktür. Karbürlemeye göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi nedeniyle daha düşük soğuma hızlarının varlığı işlem sonrası çarpılma yönüyle yöntemin karbürlemeye göre avantajlı olmasını sağlar.

2.2.6. Çeliklerin Nitrürlenmesi

Nitrürleme, çelikler ferritik (HMK) yapıda iken çelik yüzey bölgesine atomik yapıda atom (N) ilave edilmesi olarak özetlenebilir. İşlem sıcaklığı ve işlem süresi yöntemin uygulanacağı çelik alaşımına ve istenilen yüzey bölgesi derinliğine göre değişmek kaydı ile 495-595 °C arasında değişir. İşlem ile malzeme yüzey bölgesinde nitrürler oluşur. Bu nitrürlerin oluşumu yüzey bölgesinde sertlik artışına neden olur.

Nitrürleme işlemi, çeliği östenitik yapıya getirip ardından yüzey bölgesinde martenzitik sert yapının oluşması için su vermeyi gerektirmediği ve işlem esnasında YMK-HMK dönüşümü bulunmadığı için karbürleme ve karbonitrürlemeye nisbeten çarpılma ve hacim değişimleri yönünden daha kararlı bir işlemdir.

Yüzey bölgesinde amonyak gazının $\text{NH}_3 \leftrightarrow \text{N} + 3\text{H}$ şeklinde ayrışması ile oluşan atomik azot sıcaklık va azot konsantrasyonuna bağlı olarak çelik yüzey bölgesine emilir. Yüzey bölgesinde demirnitürler oluşur. Yüzey bölgesine uygulama prosesindeki hatalar ile aşırı azot transferi gerçekleşebilir. Aşırı azot transferi neticesinde beyaz tabaka olarak bilinen istenmeyen kalın demirnitür tabakası oluşabilir. Bu nedenle azot sağlama prosesinin beyaz tabaka oluşumunun istenilen seviyede olması adına kontrollü yapılması gerekir.

2.2.7. Plazma Difüzyonu ile Yüzey Kaplama

Plazma maddenin dört halinden biridir. Maddeler enerji farklarından dolayı hal değiştirirler. Kısaca gaz halindeki bir maddenin enerjisi artırılarak plazma elde edilebilir. Plazma ile yüzey modifikasyonu işlemi plazma haline getirilecek gaz karışımında (plazma nitürasyondaki azot-hidrojen gaz karışımı gibi) vakum ortamında gerçekleştirilir. Gaz yüksek gerilim altında iyonize olması ile iletken hal alır. Pozitif yüklü gaz iyonları katodik iş parçası tarafından çekilirler. İş parçasının sıcaklığı iyon bombardımanı ile yükseltilir. Çelik ve azotun kimyasal reaksiyonu ile yüzey bölgesinde nitrürler oluşturulur. Hidrojen çelik yüzeyini oksijenden serbest hale getirir ve hızlı bir şekilde azot difüzyonunu sağlar.

2.2.8. Plazma Püskürtülmesi ile Yüzey Kaplama

Plazma hamlacı olarak adlandırabileceğimiz düzenek bünyesinde oluşturduğu inert gaz ile yönlendirilmiş plazmaya eklenen kaplama spreyini (tozu) iş parçası yüzeyine yönlendirir ve bu yüzeyler üzerinde parçacıklar deforme edilir ve darbe üzerine yapışır. Plazma püskürtülmüş kaplamanın önemli uygulama alanları türbin kanatlarının korozyon ve oksidasyona karşı korunması için yapılan kaplamalardır. (Edem ve Akmandor 2004)

2.2.9. İyon İmplantasyonu ile Yüzey Kaplama

İyon implantasyonu bir iyonun malzeme yüzey bölgesine az bir derinlikte aşılması olarak özetlenebilir. İmplantasyon yöntemleri içerisinde pratik değeri olan ve uygulama alanı bulan tek yöntem ışıklı boşalma bölgesinin anormal (instabil) boşalma bölümü içinde oluşan plazma ortamında yapılan iyon implantasyonudur. (Epik ve ark 1994)

İyon implantasyonu soğuk bir işlemdir. İşlem gören malzeme çökelek oluşumu, tane büyümesi, boyutsal değişiklikler gibi metalürjik değişikliklere neden olabilen yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmaz..

2.2.10. Kimyasal Buhar Yığma (CVD) ile Yüzey Kaplama

Danışman ve Kılık'ın bildirdiğine göre Kimyasal buhar yığmayı Squeda yüzeyde filim tabakası elde etmek için gaz veya buhar faz bileşenlerinin kimyasal olarak reaksiyona girdiği ve reaksiyon sonucu oluşan katı ürünlerin malzeme üzerine çöktürüldüğü bir yöntemi olarak belirtmiştir. (Danışman ve Kılık 1997)

CVD metodu 1000°C mertebelerinde yüksek işlem sıcaklıkları gerektirmektedir. Yüksek işlem sıcaklıklarının doğuracağı problemleri gidermek için plazma ortamında kimyasal buhar yığma (PACVD) yöntemi uygulanmaktadır. Yöntemle 500°C mertebelerinde işlem gerçekleştirilebilmektedir. PACVD yönteminde reaksiyona girecek parçacıklar reaksiyon kabına girmeden önce buhar halindedir. (Metal Handbok, 1994)

2.2.11. Fiziksel Buhar Yıgma (PVD) ile Yüzey Kaplama

Fiziksel buhar yıgma yöntemi, yüksek vakum ortamında fiziksel olarak üretilen atomların, iyonların veya moleküllerin kaplanacak malzeme üzerine biriktirilmesi olarak özetlenebilir. PVD metodunda reaksiyona giren parçacıklar vakum odasında katı halden buhar haline geçer. (Metal Handbok, 1994)

PVD uygulamaları kaplama malzemesinin kaplanacak malzemeye transfer metodlarına göre alt metodlara ayrılabilir. Bu metotları, buharlaştırma kaynaklı PVD, Püskürtme kaynaklı PVD şeklinde özetleyebiliriz. Bu yöntemlerin alt kısımlarında mevcut olup bu hususlarda yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bu detayları, Reaktif gaz ortamında buharlaştırma kaynaklı PVD, DC diyod saçılma (Sputtering), RF (Radyo Frekans) kaynaklı saçılma, Triyod saçılma, Bias saçılma, Magnetron kaynaklı saçılma, Reaktif gaz ortamında saçılma başlıkları altında kapsayan çalışmalar yapılmıştır. (Danışman ve Kılık 1997)

3- MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deney Malzemesi

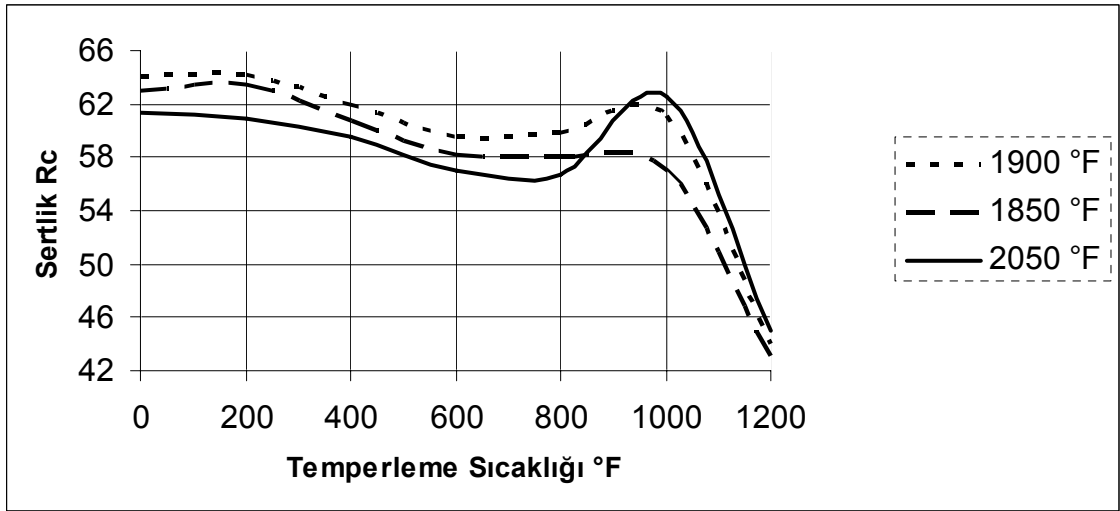
Sac şekillendirme kalıplarında gerek malzeme performansı olarak gerekse ekonomikliği nedeni ile D tipi soğuk iş takım çelikleri yoğun olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, yükdek aşınma direnci ve yüksek tokluk, kesme ve ezme işlemleri için uygun olan D2 çeliği seçilmiştir. Bu malzemenin aşınma direnci yüksek karbon ve krom içeriğinden kaynaklanmaktadır. Çizelge 3.1. de D tipi soğuk iş çeliklerinin kimyasal kompozisyonları görülmektedir.

Çizelge 3.1 D Tipi Soğuk İş Takım Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonları

AISI tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	% Diğer
D2	1.50	-	1.00	12.00	1.00	-
D3	2.25	-	-	12.00	-	-
D4	2.25	-	1.00	12.00	-	-
D5	1.50	-	1.00	12.00	-	3.00 Co
D7	2.35	-	1.00	12.00	4.00	-

D tipi takım çeliklerinin yüksek krom içeriği, yüksek sıcaklıklarda oksidasyona, sertleştirildiğinde ve parlatıldığında da lekelenmeye karşı iyi direnç sağlar. D2 takım çeliği, 1020-1040°C östenitleme sıcaklıklarından havada soğutularak sertleştirilir. Daha yüksek östenitleme sıcaklıkları daha çok karbon ve kromun östenite çözünmesini ve daha çok kalıntı östenit oluşmasına ve dolayısı ile sertliğin düşmesine yol açar. Temperleme sıcaklığının yüksek tutulması ile ($\cong 500^\circ\text{C}$) bu kalıntı östenitlerin martenzite dönüşümü sağlanabilir. Şekil 3.1 de östemperleme ve temperleme sıcaklıklarının sertlik üzerindeki etkileri görülmektedir.



Şekil 3.1 D2 Çeliğinin Sertliğine Östemperleme ve Temperleme Sıcaklıklarının Etkisi (Smith W.F.1993'Smith Structure and Properties of Engineering Alloys' p282)

3.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan D2 Çeliğinin Malzeme Özellikleri

Markası : Böhler
 Türü : Soğuk İş Çeliği
 Kullanım Yerleri : Süneklik ve basınca dayanımı yüksektir.
 Her türlü kesme ve bükme kalıplarında, vida ve civata ovalama tarakları, ağaç frezeleri, perçin ve civata başlarının şişirme işleri vs.

Alaşım Elemanları % :

% C	% Si	% Mn	% Cr	% Mo	% Ni	% V	% W
1.55	0.30	0.30	11.5	0.7	-	1.00	-

DIN Normu : 1.2379 X 155 CrVMo 12 1

BS Normu : \cong BD2

AFNOR Normu : \cong Z 160 CDV 12

UNI Normu : X 155 CrVMo 12 1 KU

SIS Normu : 2310

UNE Normu : X 160 CrMoV 12 F5211

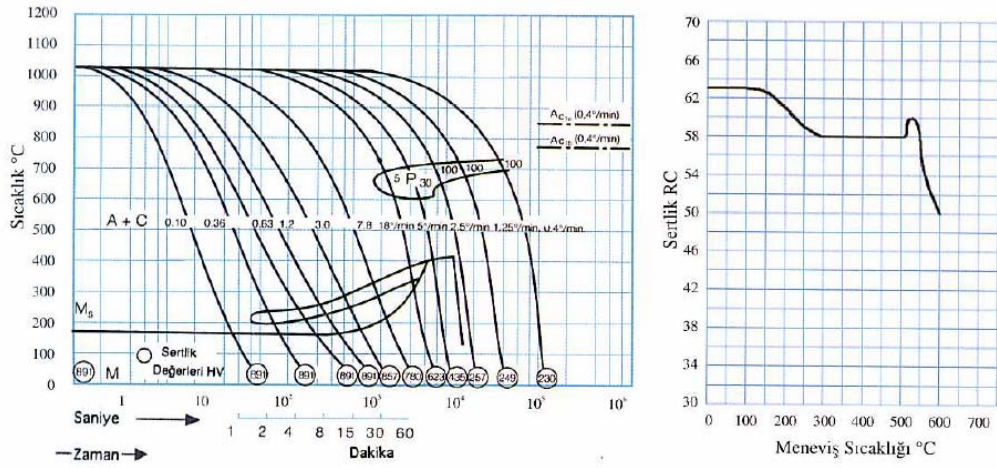
AISI Normu : D2
 JIS Normu : ~SKD11
 GOST Normu : ~ Ch 12 F1
 Yumuşatma tava
 derecesi (°C) : 800-850
 Yumuşatma tavidan
 sonraki sertlik (HB) : Maksimum 250
 Gerilim alma
 derecesi (°C) : 650-700
 Sertleştirme
 derecesi (°C) : 1020-1040
 Sertleştirmeden
 sonraki sertlik (HRC) : 63-65
 Menevişlemeden
 sonra elde edilen
 takribi sertlik (HRC) :

100 °C	200 °C	300 °C	400 °C
64	61	59	58

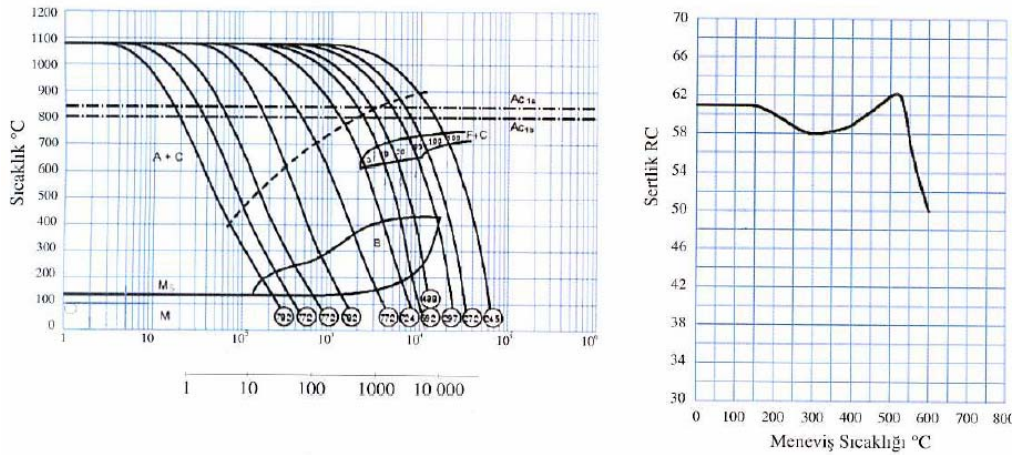
Oda sıcaklığında
 takribi yoğunluk : 7,70 g/cm³

3.3. D2 Çeliğine Uygulanan Sertleştirme ve Temperleme İşlemleri

Plazma nitrürleme işlemi öncesi ısıl işlem nihayi sonuç üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Plazma nitrürleme sıcaklığının altında bir sıcaklıkta gerçekleştirilen menevişleme plazma nitrürleme işlemi esnasında etkisini kaybedecektir. Plazma nitrürleme sonrasında tok bir iç yapının oluşması için ısıl işlem parametreleri önem arzeder. D2 çeliğinin 1030°C ve 1080°C olmak üzere iki su verme sıcaklığı mevcuttur. Yüzey kaplama (Nitrasyon vb.) veya erezyon işlemi uygulanacak takımlar için 1080°C de su verilir (THYRODUR 2002 Soğuk iş takım çelikleri kataloğu Thyssen Asal Çelik Tic. A.Ş. ThyssenKrupp AG sf 19) şekil 3.2 ve 3.3 D2 çeliği zaman-sıcaklık dönüşüm diagramlarını ve meneviş sıcaklıklarının sertlik üzerindeki etkilerini göstermektedir.



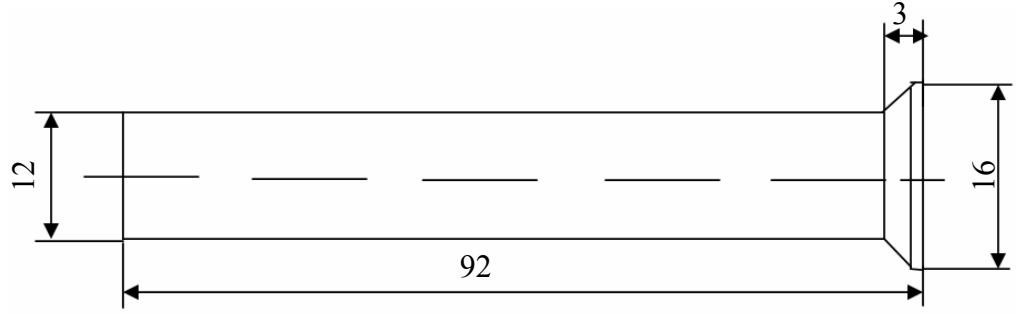
Şekil 3.2 D2 çeliği 1030°C zaman-sıcaklık dönüşüm diagramı (THYRODUR 2002 Soğuk iş takım çelikleri kataloğu Thyssen Asal Çelik Tic.A.Ş. ThyssenKrupp AG sf 20)



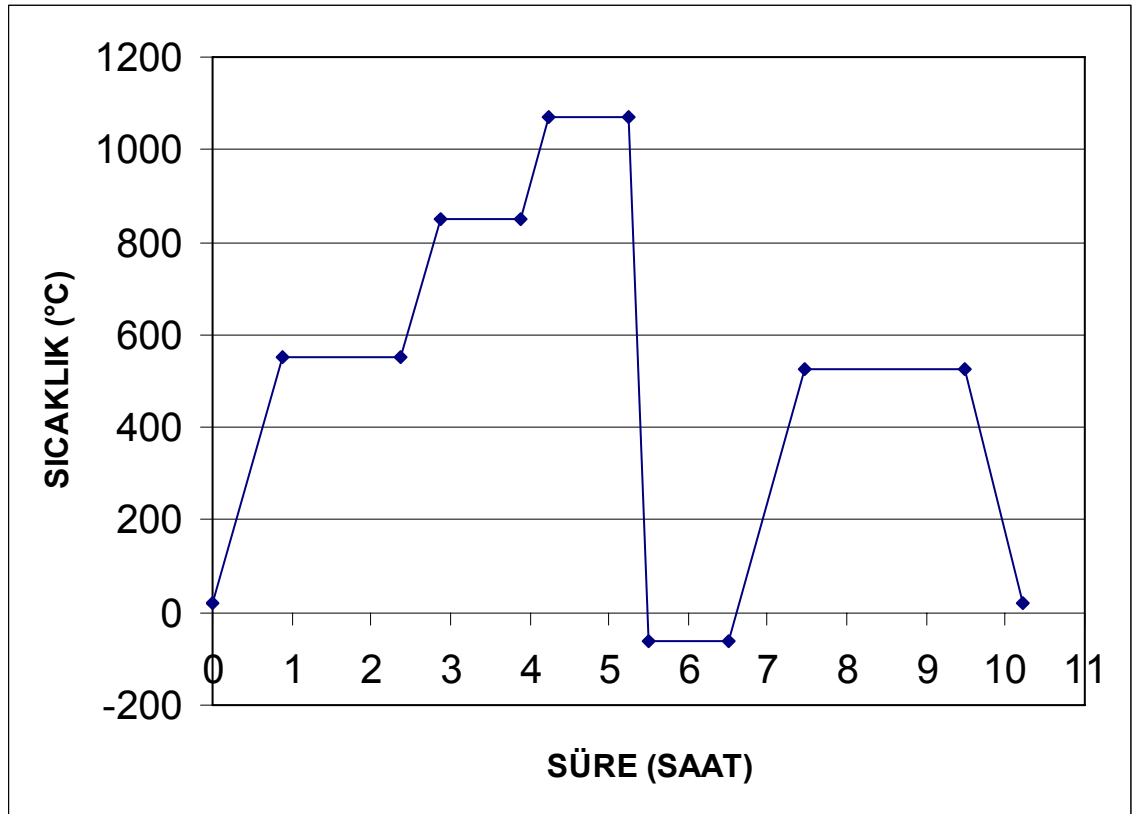
Şekil 3.3 D2 çeliği 1080°C zaman-sıcaklık dönüşüm diagramı (THYRODUR 2002 Soğuk iş takım çelikleri kataloğu Thyssen Asal Çelik Tic.A.Ş. ThyssenKrupp AG sf 20)

D2 çeliğinden üretilen zımbalar Şekil 3.4 1070°C da ostenitlenmesi ve -60°C da sıvı azota atılarak soğutulmuştur. Bu işlemler vakum altında gerçekleştirilmiştir. Ostenit bölgesine zımbaların ısıtılması esnasında ısılgerilmelerin parça üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkilerden kaçınmak için aşağıdaki yol izlenmiştir. Parçalar oda sıcaklığından 10°C/dak lık bir hızla 550°C sıcaklığa getirilmiş ve 90 dak bu sıcaklıkta bekletilmiştir. 10°C/dak lık bir hızla 850°C sıcaklığa getirilmiş ve 60 dak bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Vakum ortamında 1070°C ye getirilmiş ve 60 dak bu sıcaklıkta

bekletilmiştir. Ostenitlenmiş zımbalar -60°C da sıvı azot içerisinde atılarak soğutulmuştur. Su verilmiş ve martenzitik yapıdaki numuneler müteakiben 525°C da 120 dakika tutularak temperlenmiştir. Daha sonra kontrollü olarak 45 dakikada oda sıcaklığına soğutulularak ısıl işlem tamamlanmıştır. Şekil 3.5 da D2 çeliğinden üretilmiş zımbalara uygulanan ısıl işlemler (sertleştirme + temperleme) görülmektedir.*



Şekil 3.4 Zimba boyutları



Şekil 3.5 D2 çeliğine uygulanan sertleştirme ve temperleme (ıslah etme) çevrimi

*Sertleştirme ve temperleme işlemi önerler ısıl işlem firmasında gerçekleştirilmiştir.

3.4. Deney Numunelerinin Plazma Nitrürlemesi

Teknik vakum üretilmiş bir ortama N_2 veya NH_3 doldurulduktan sonra iş parçası ve anot arasına yüksek gerilim uygulanarak gaz atmosferinin iyonlaştırılması ve oluşan azot iyonlarının iş parçası üzerine hızlandırılarak çarptırılması ile malzeme yüzey bölgesinin azotça zenginleştirilmesi işlemidir. Sıcaklık etkisi ile azot atomları yüzeyden içeri doğru yayılır. Böylece matris malzemesine tutunmuş karmaşık yapıda nitrür tabakaları oluşur. Çok yüksek yüzey sertliği elde edilir. Plazma nitrülenmiş yüzey bölgesi dış tarafta Fe_4N ve/veya $Fe_{2-3}N$ fazlarından oluşan sıkı ve çok ince bir bileşen tabakası, bu bölgenin altında ise azot atomlarının kısmen eridiği daha kalın yayınım tabakası şeklinde iki katmandan oluşur. $Fe_{2-3}N$ abakası aşınma ve yorulma problemleri için en iyi yapıdır. Fe_4N tabakası daha sünektir ve aşınma dayanımı yüksektir. Kırılgan olmayıp dinamik yüklemelere toleransı fazladır. Yüksek basma gerilmesi altındaki yapıdır. Bileşen tabakası, Yağlama özelliğini artırır. İnert olduğu için Korozyon dayanımı sağlar. Basma gerilmeleri nedeniyle parçanın yorulma mukavemeti artar. Plazma nitrülenmiş yüzey; Yüksek sertlik, aşınma dayanımı ve düşük sürtünme katsayısına sahiptir. (ER&MİR Plazma Nitrüleme kataloğu 2006)

Bu çalışmada, D2 çeliğinden üretilmiş zımbaların su verme ve temperleme işlemi uygulandıktan sonra, zımbalara $500^{\circ}C$ da değişik süre ve gaz basınçlarında plazma nitrüleme uygulanmıştır. Plazma nitrüleme şartları Çizelge 3.2. de gösterilmiştir.*

Çizelge 3.2. Plazma Nitrüleme Şartları

I.Grup	1a	4saat, 1.5mbar gaz basıncı
	1b	4saat, 4.5mbar gaz basıncı
	1c	4saat, 8mbar gaz basıncı
II.Grup	2a	7saat, 1.5mbar gaz basıncı
	2b	7saat, 4.5mbar gaz basıncı
	2c	7saat, 8mbar gaz basıncı
III.Grup	3a	10saat, 1.5mbar gaz basıncı
	3b	10saat, 4.5mbar gaz basıncı
	3c	10saat, 8mbar gaz basıncı

*Plazma nitrüleme işlemi ER&MİR Plazma Nitrüleme tesislerinde yapılmıştır.

3.5. Sertlik Ölçümleri

Islah edilmiş ve ıslah edilmiş vede mütakiben değişik şartlarda plazma nitrülenmiş zımbaların sertlik ölçümleri Rockwell sertlik ölçüm metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

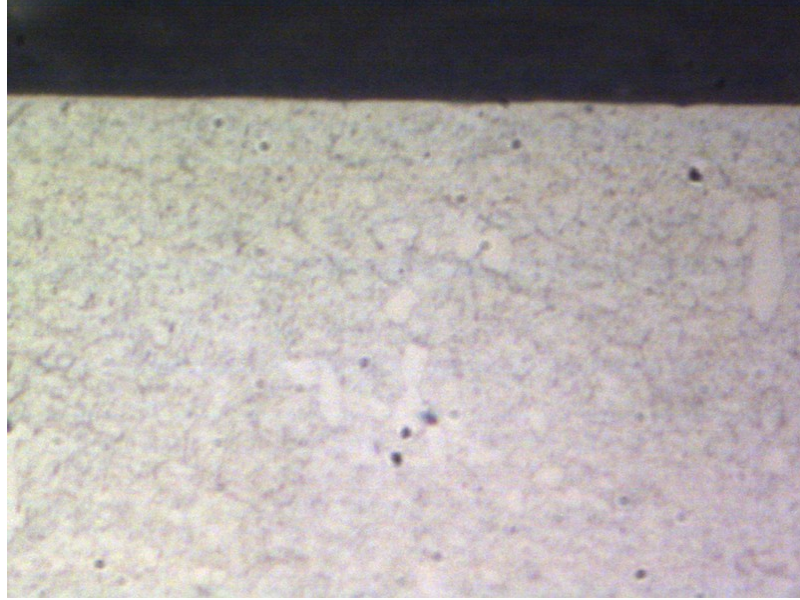
3.6. Mikroyapı

Nitrürasyon uygulanmış ve uygulanmamış zimbaldardan alınan parçalar bakalite alınarak metalografik muayeneler için parlatıldı. Parlatılan deney numuneleri %3 nital ile dağlandı. Optik mikroskop ile 400 büyütmede fotoğrafları çekildi.

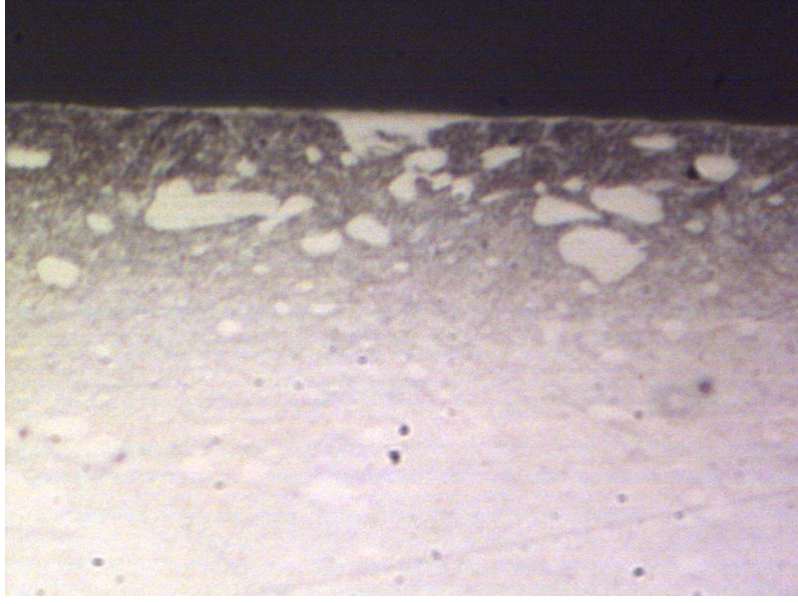
Artan işlem süresi ve basınç ile difüzyon tabakasının derinleştigi, beyaz tabaka kalınlığının arttığı fotoğraflarda gözlemlenmektedir.

Beyaz tabaka oluşumu aşınma için olumlu etki oluştururken, kalınlaşan beyaz tabaka ile aşınma performansı düşmektedir. Beyaz tabaka oluşumuna basıncın etkisi süreye göre daha fazla olmaktadır.

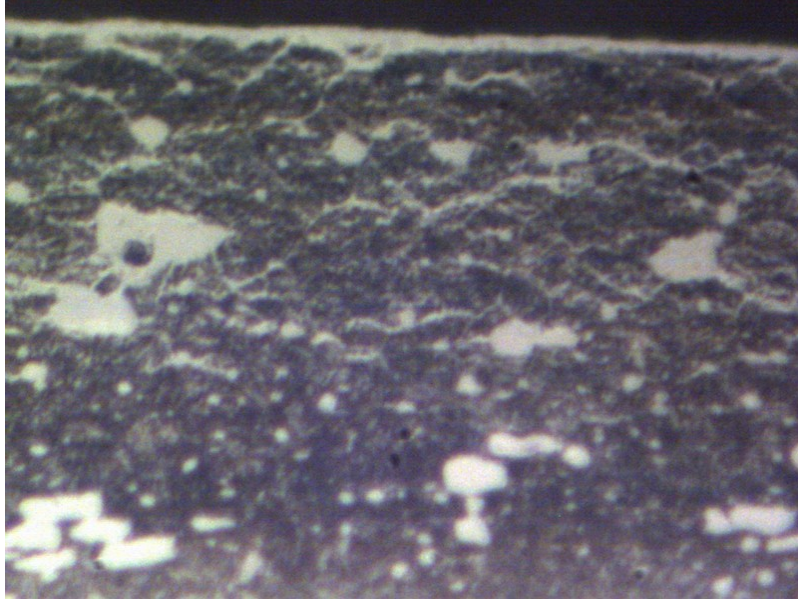
Difüzyon tabakasının kalınlaşması aşınma için olumlu olmaktadır. Sürenin difüzyon tabakası kalınlığı üzerine etkisi basınca göre daha fazladır.



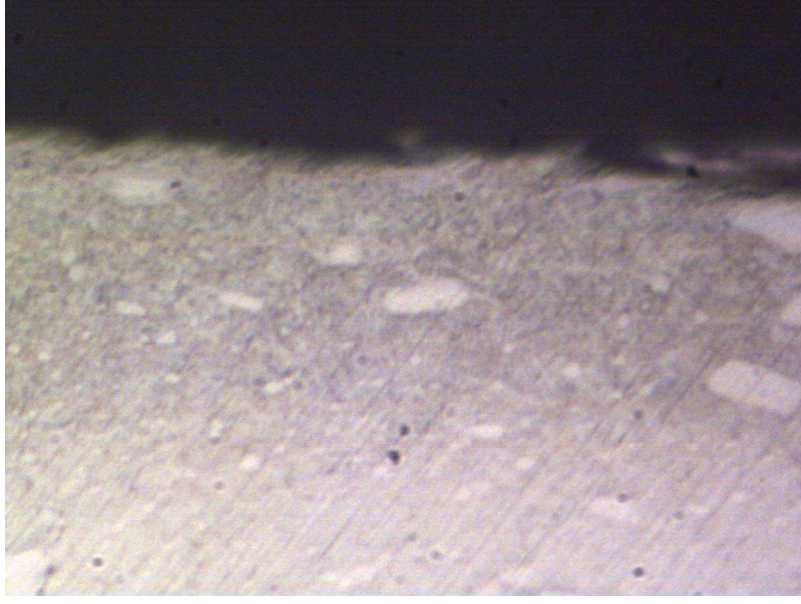
Şekil 3.6. Suverme ve Temterleme (ıslah etme) İşlemi Ugulanmınemiş Numune



Şekil 3.7. 4saat 1.5mbar gaz basıncı ile plazma nitrülenmiş numune mikroyapısı (1-A)



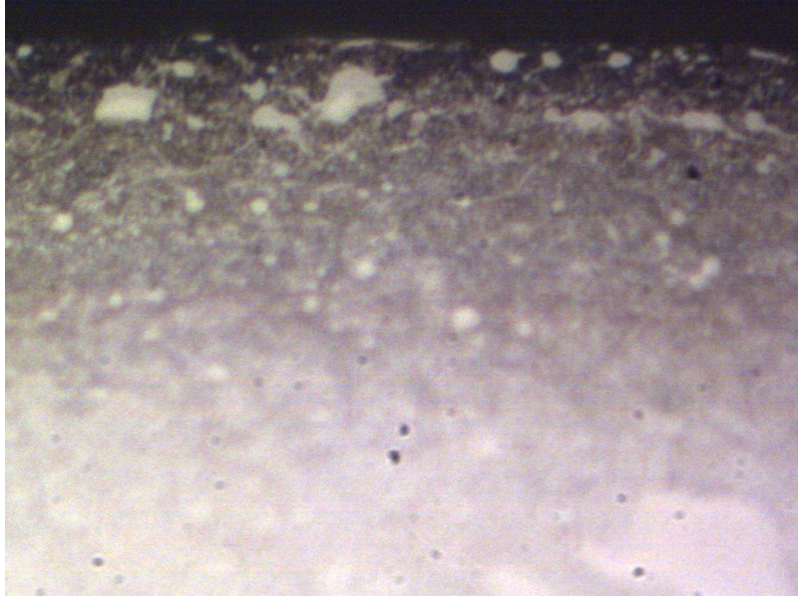
Şekil 3.8. 4saat, 4.5mbar gaz basıncı ile plazma nitrülenmiş numune mikroyapısı (1-B)



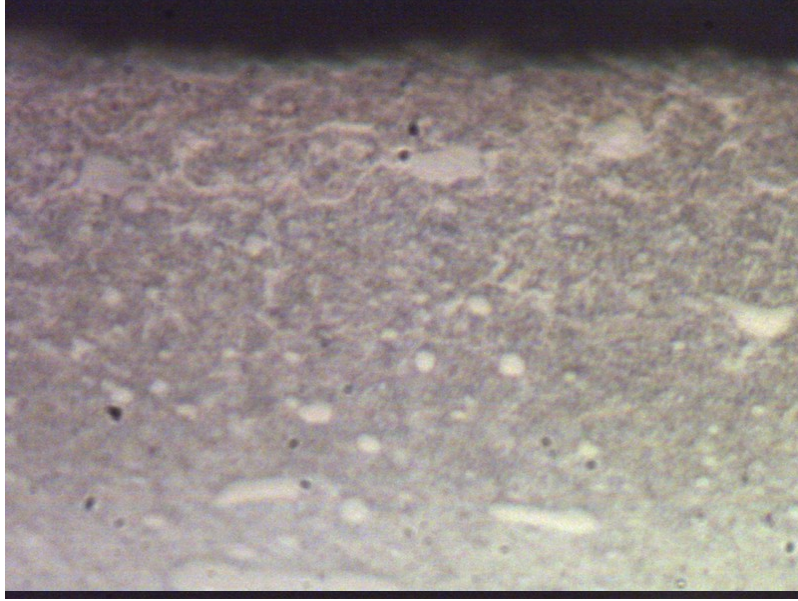
Şekil 3.9. 4saat, 8mbar gaz basıncı ile plazma nitrülenmiş numune mikroyapısı (1-C)



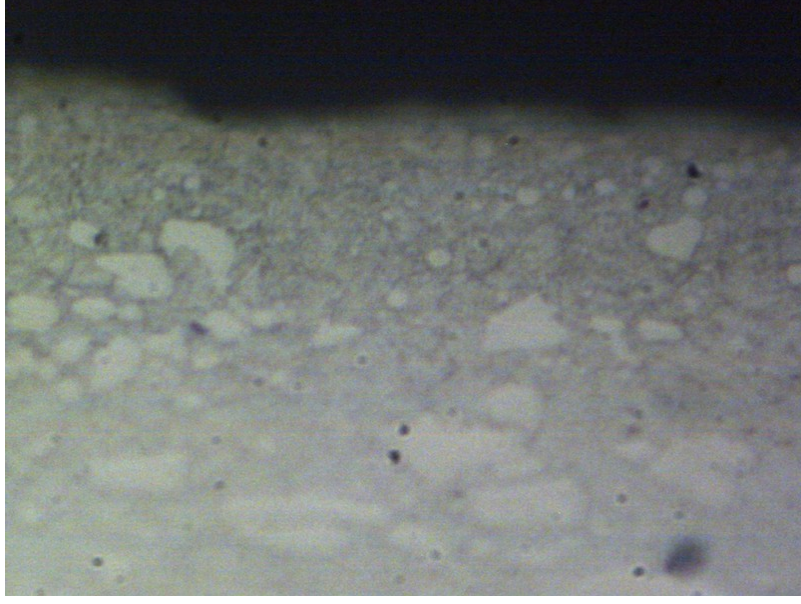
Şekil3.10. 7saat, 1.5mbar gaz basıncı ile plazma nitrülenmiş numune mikroyapısı (2-A)



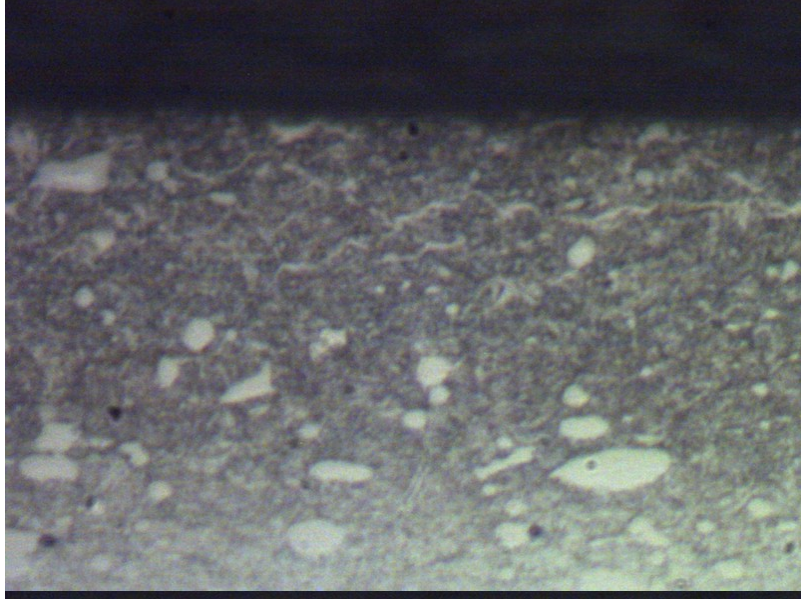
Şekil 3.11.7saat, 4.5mbar gaz basıncı ile plazma nitrürlenmiş numune mikroyapısı (2-B)



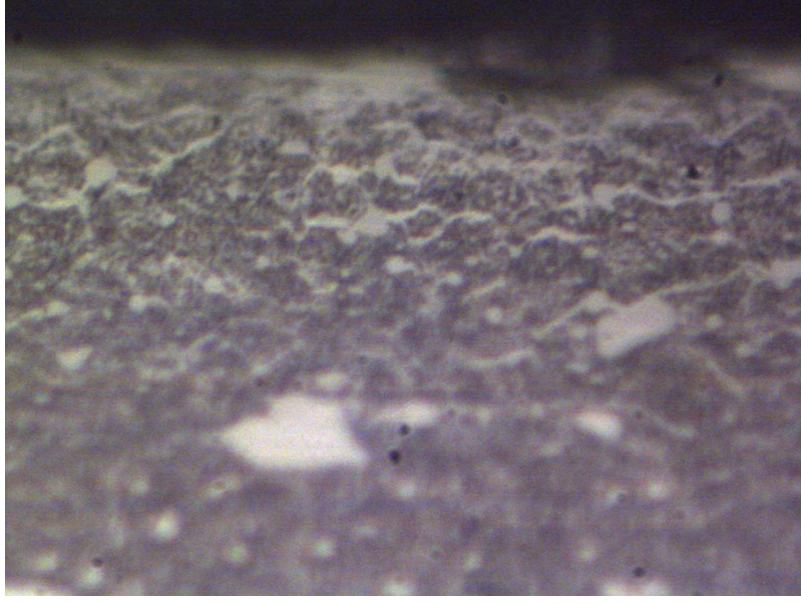
Şekil 3.12. 7saat, 8mbar gaz basıncı ile plazma nitrürlenmiş numune mikroyapısı (2-C)



Şekil3.13.10saat,1.5mbar gaz basıncı ile plazma nitrülenmiş numune mikroyapısı (3-A)



Şekil3.14.10saat,4.5mbar gaz basıncı ile plazma nitrülenmiş numune mikroyapısı (3-B)



Şekil3.15. 10saat, 8mbar gaz basıncı ile plazma nitrülenmiş numune mikroyapısı (3-C)

3.7. Isıl İşlem Görmüş ve Plazma Nitrüleme İşlemi Uygulanmış Malzemenin Ömür Testleri

Deneysel çalışma BEYÇELİK A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilmiştir. 1000 ton kapasiteli ERFURT pres kullanılmıştır. Prese ait teknik detaylar şekil 3.6 da görülmektedir.

The screenshot shows the 'Teknik Bilgiler' (Technical Information) tab in the Axapta software. The interface is divided into several sections:

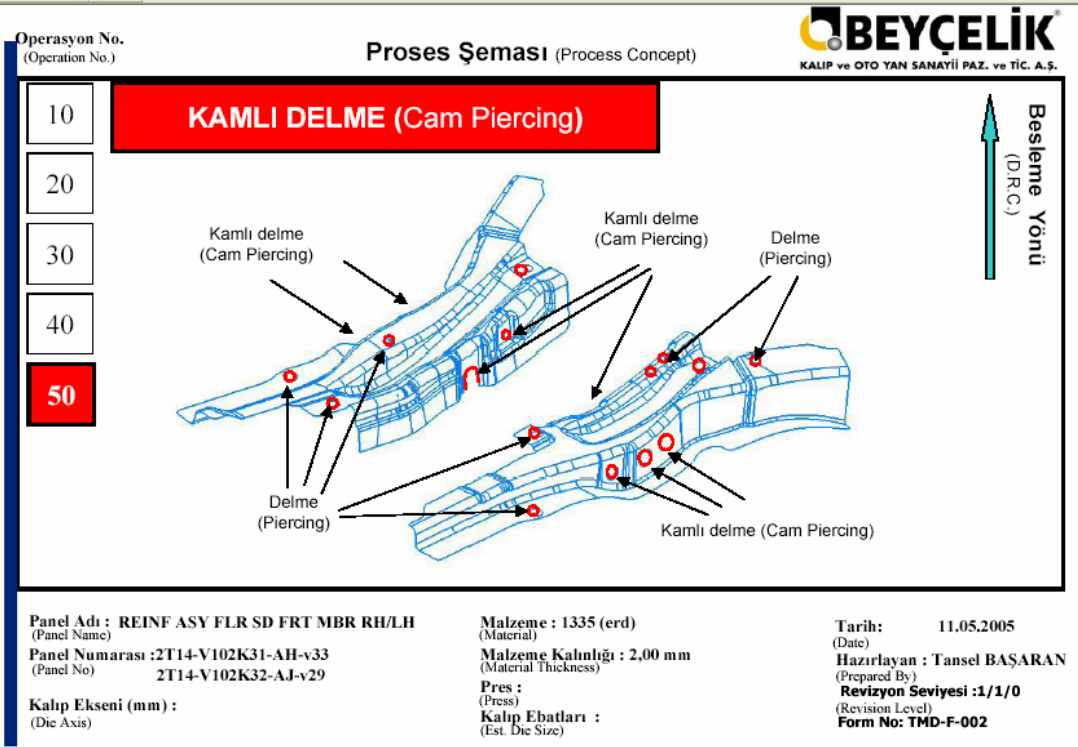
- Genel bilgiler (General Information):** Includes fields for 'Envanter No', 'Modeli', 'Açıklama', 'Envanter Bedeli', 'Amortisman Surasi (Yıl)', 'Beyçelik Giriş Tarihi', 'Sicil No', and 'Güç (Kw)'. There is also a 'Not' field.
- PRES MAKINALARI (Press Machines):**
 - Koç Tabla (Roller Table):** Max Açıklık (700,00), Minimum Açıklık (500,00), Reglaj (250,00), Koç En (1.250,00), Koç Boy (1.250,00), Koç Kurs (400,00), Kapasite (Ton) (1.000,00).
 - Alt Tabla Boyutları (Sub-table Dimensions):** En (1.250,00), Boy (1.250,00), Kalınlık (260,00).
 - Yastık Tabla Boyutları (Cushion Table Dimensions):** Kapasite (Ton) (200,00), Yastık Kurs (160,00).
- KAYNAK MAKINALARI (Welding Machines):**
 - Güç / Elektrik (Power / Electrical):** Anma Gücü, Primer Gerilimi, Secondary Gerilimi, Kaynak Akımı, Kumanada Tipi.
 - Güç/Meknik (Power/Mechanical):** Kol Boyu (mm), Kol Açıklığı, Min, Max.
- KALIP İMALAT TEZGAHLARI (Die Manufacturing Machines):**
 - Kapasite (Capacity):** Devir(d/dk), Eksen Sayısı, Tabla En (mm), Tabla Boy (mm).
 - İşleme Kapasitesi (Processing Capacity):** X (mm), Y (mm), Z (mm).
 - Kalıp Bilgileri (Die Information):** En (0,00), Boy (0,00), Yükseklik (0,00).

On the right side of the interface, there are several buttons: 'Yükleme', 'Çalışma zamanları', 'Sapmalar', 'Sorgulamalar', 'Kullan', 'Garit', 'Eleman Bilgileri', 'Kritik Yedek', and 'Bakım Kontrol Listesi'.

Şekil 3.16. Deney tezgah parametreleri

Deneysel çalışma 2mm sac kalınlığına sahip BEYÇALİK A.Ş. ürün gamında yer alan parçaya ait zımba referans alınarak gerçekleştirilmiştir

Deneyde kullanılan kalıba ait proses şeması şekil 3.8 de görülmektedir.



Şekil 3.17. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıbın Proses şeması

Şekil3.18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39 da deneyin gerçekleştirildiği kalıp seti görülmektedir.



Şekil 3.18. Deneysel Çalışmada Kullanılan Sac Parça Referans Aşınmış Zimba ile İşlem Görmüş Delik Detay Resmi



Şekil 3.19. Deneysel Çalışmada Kullanılan Sac Parça Referans Delik Detay Resmi



Şekil 3.20. Deneysel Çalışmada Kullanılan Sac Parça Referans Delik Detay Resmi



Şekil3.21. Deneysel Çalışmada Kullanılan Sac Parçalar



Şekil 3.22. Deneysel Çalışmada Kullanılan Sac Parçalar



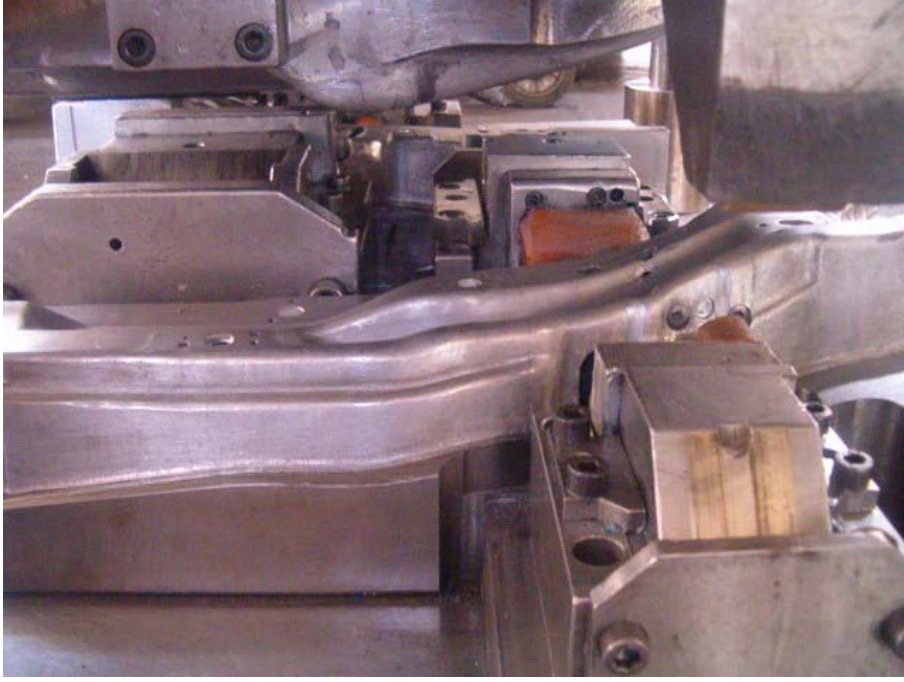
Şekil3.23. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



Şekil3.24. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



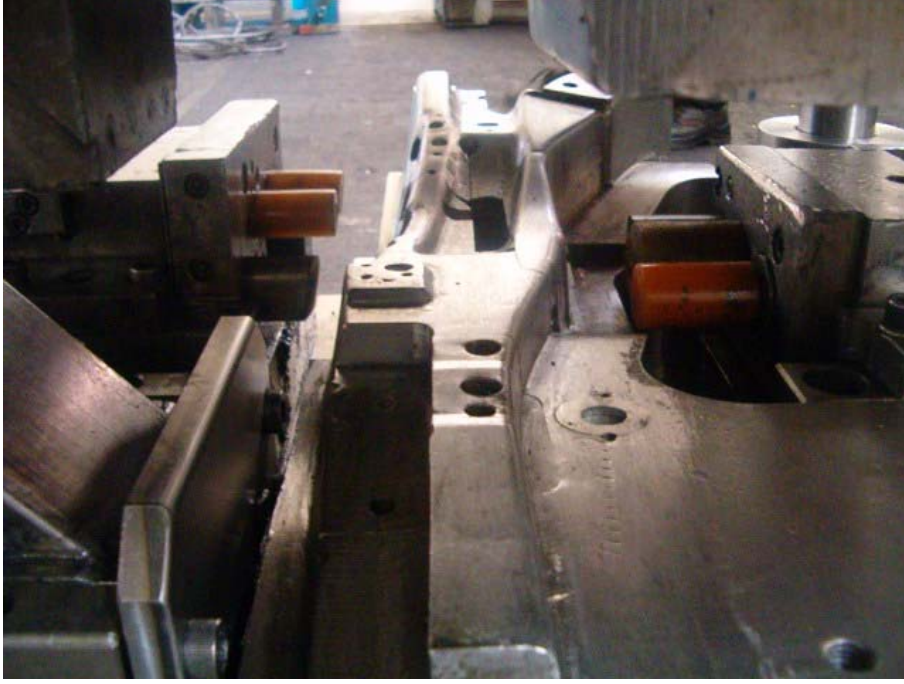
Şekil3.25. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



Şekil3.26. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



Şekil3.27. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



Şekil3.28. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



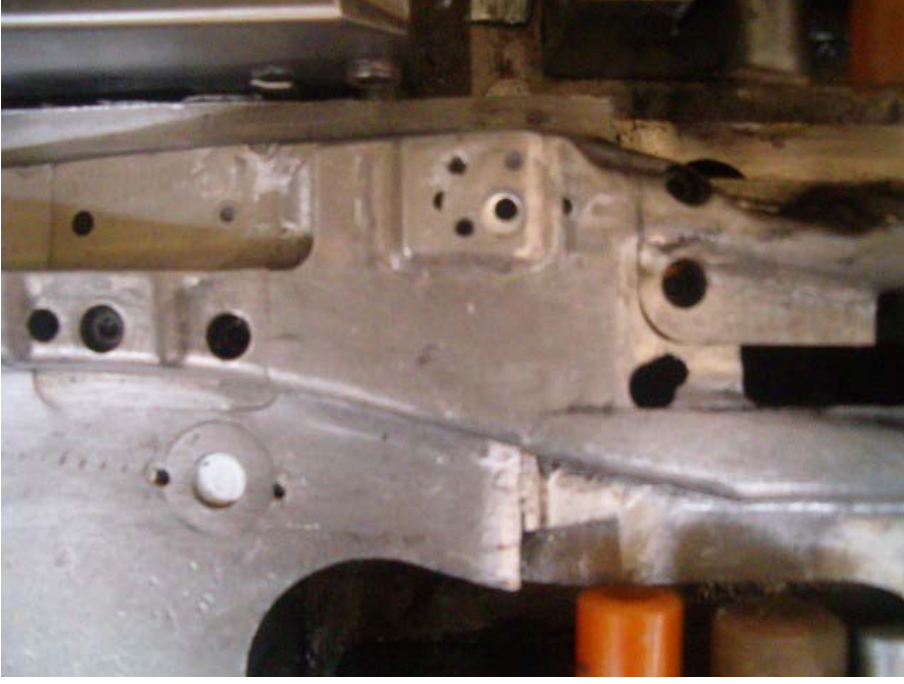
Şekil3.29. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



Şekil3.30. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



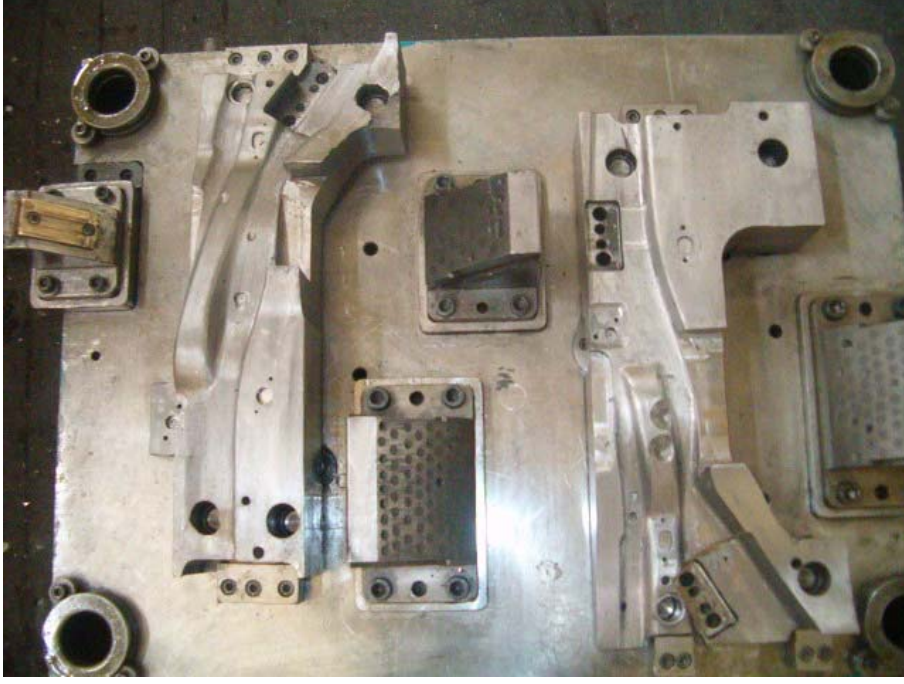
Şekil3.31. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



Şekil3.32. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



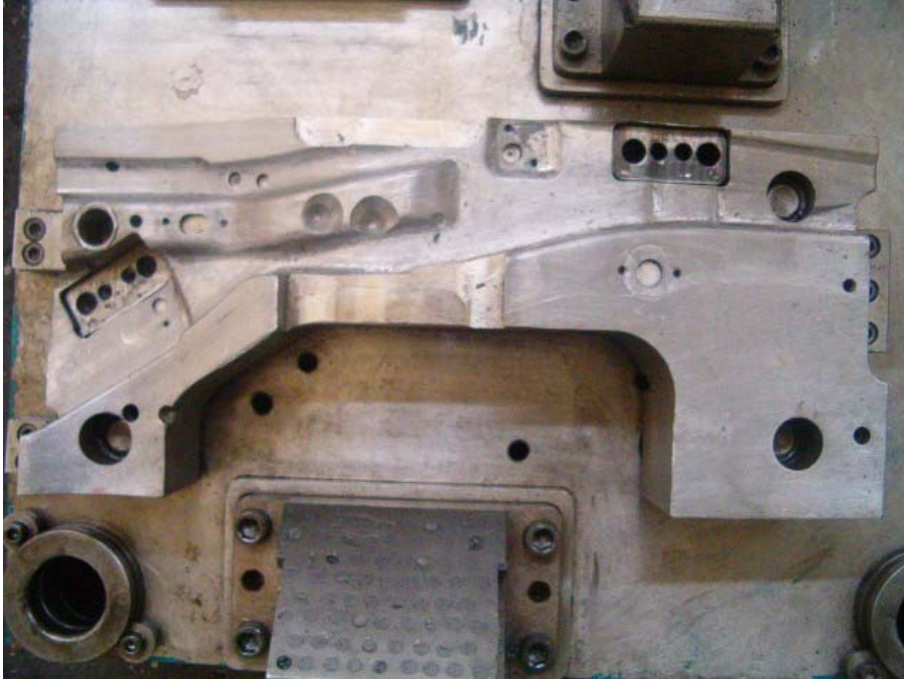
Şekil3.33. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



Şekil3.34. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



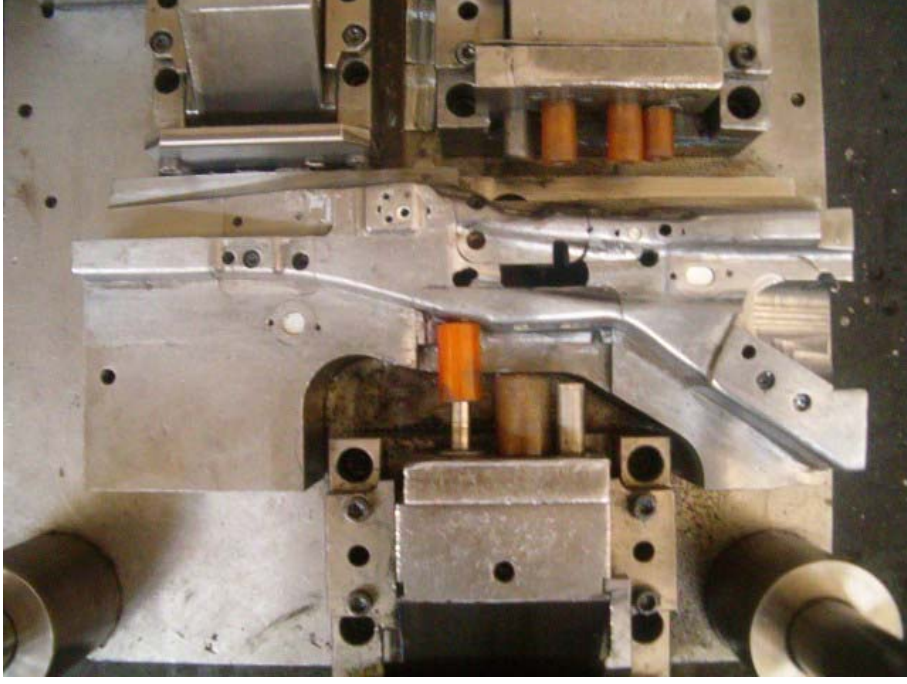
Şekil3.35. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



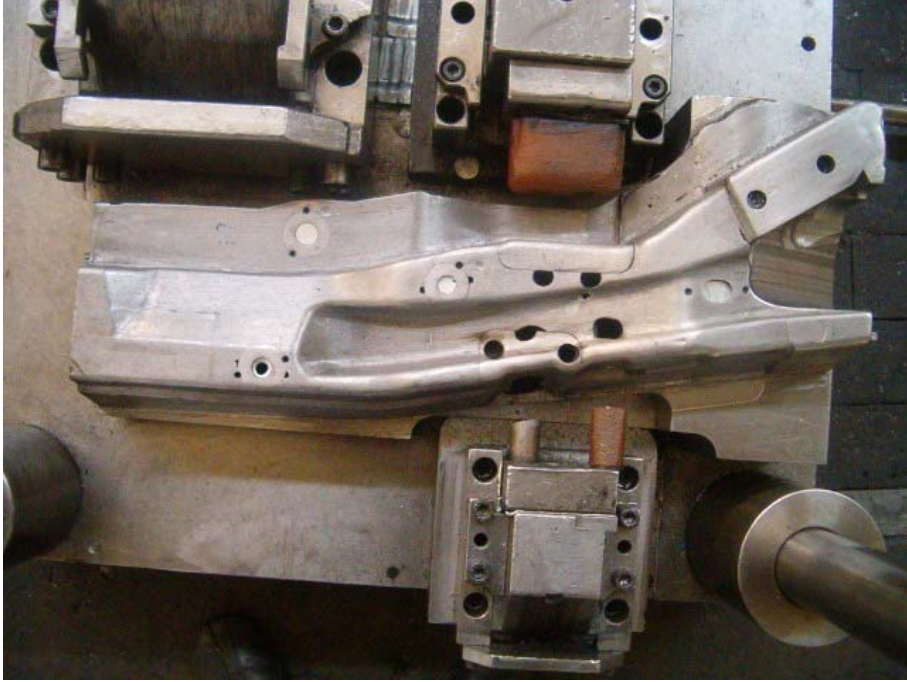
Şekil 3.36. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



Şekil 3.37. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



Şekil3.38. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi



Şekil3.39. Deneysel Çalışmada Kullanılan Kalıp Detay Resmi

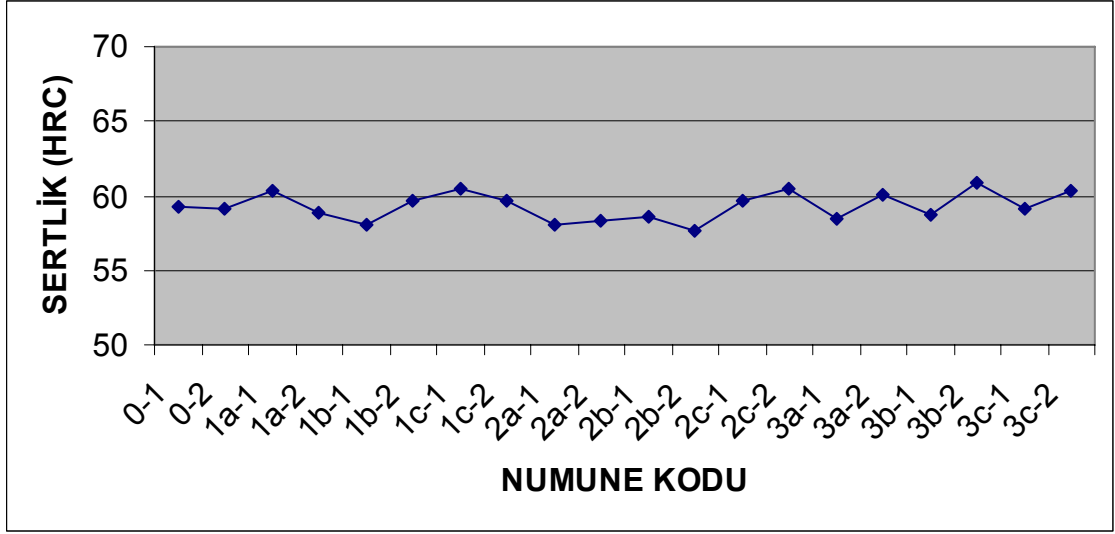
4- ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1.Sertlik

Islah edilmiş ve ıslah edilmiş vede müteakiben değişik şartlarda plazma nitrülenmiş D2 çeliğinden üretilmiş zımbalar üzerinden alınan sertlik değerleri çizelge 4.1. de görülmektedir. Şekil 4.1. den görüldüğü gibi sertlik değerlerinde değişimin birbirine yakın olması , diğer bir ifade ile farklılıklar arz etmemesi Rockwell sertlik ölçüm yöntemiyle ilgilidir. Plazma nitrülenmiş bölgenin sertliğini bu yöntem ile ölçmek mümkün değildir.

Çizelge 4.1. Deney Numunelerinin Sertlik Ölçümleri

DENEY PARAMETRELERİ					
GRUP	KODU	SICAKLIK	SÜRE	GAZ BASINCI	HRC
0.Grup	0-1	SU VERME + TEMPERLEME			59,2
	0-2	SU VERME + TEMPERLEME			59,1
I.Grup	1a-1	500°C	4 saat	1,5mbar	60,4
	1a-2	500°C	4 saat	1,5mbar	58,9
	1b-1	500°C	4 saat	4,5mbar	58,1
	1b-2	500°C	4 saat	4,5mbar	59,7
	1c-1	500°C	4 saat	8mbar	60,5
	1c-2	500°C	4 saat	8mbar	59,7
II.Grup	2a-1	500°C	7 saat	1,5mbar	58,1
	2a-2	500°C	7 saat	1,5mbar	58,3
	2b-1	500°C	7 saat	4,5mbar	58,6
	2b-2	500°C	7 saat	4,5mbar	57,6
	2c-1	500°C	7 saat	8mbar	59,6
	2c-2	500°C	7 saat	8mbar	60,5
III.Grup	3a-1	500°C	10 saat	1,5mbar	58,5
	3a-2	500°C	10 saat	1,5mbar	60,1
	3b-1	500°C	10 saat	4,5mbar	58,7
	3b-2	500°C	10 saat	4,5mbar	60,9
	3c-1	500°C	10 saat	8mbar	59,1
	3c-2	500°C	10 saat	8mbar	60,4



Şekil 4.1. Deney Numunelerinin Sertlik Ölçümleri

4.2.Aşınma Dayanımı

Sac şekillendirme kalıplarındaki tribolojik problemlerin giderilmesi için uyguladığımız plazma nitrüleme işleminin üretim prosesi içerisindeki etkinliğini tesbit etmek amacı ile gerçekleştirmiş olduğumuz çalışmada; üretim prosesi bünyesinde yer alan eleman, tezgah parametreleri, kalıp; kalıp bağlama ekipmanları ve hammadde değişkenliği üretim takip sistemi bünyesinde kontrol altında tutulmuş ve prosesdeki tek değişkenin zımba olması sağlanmıştır.

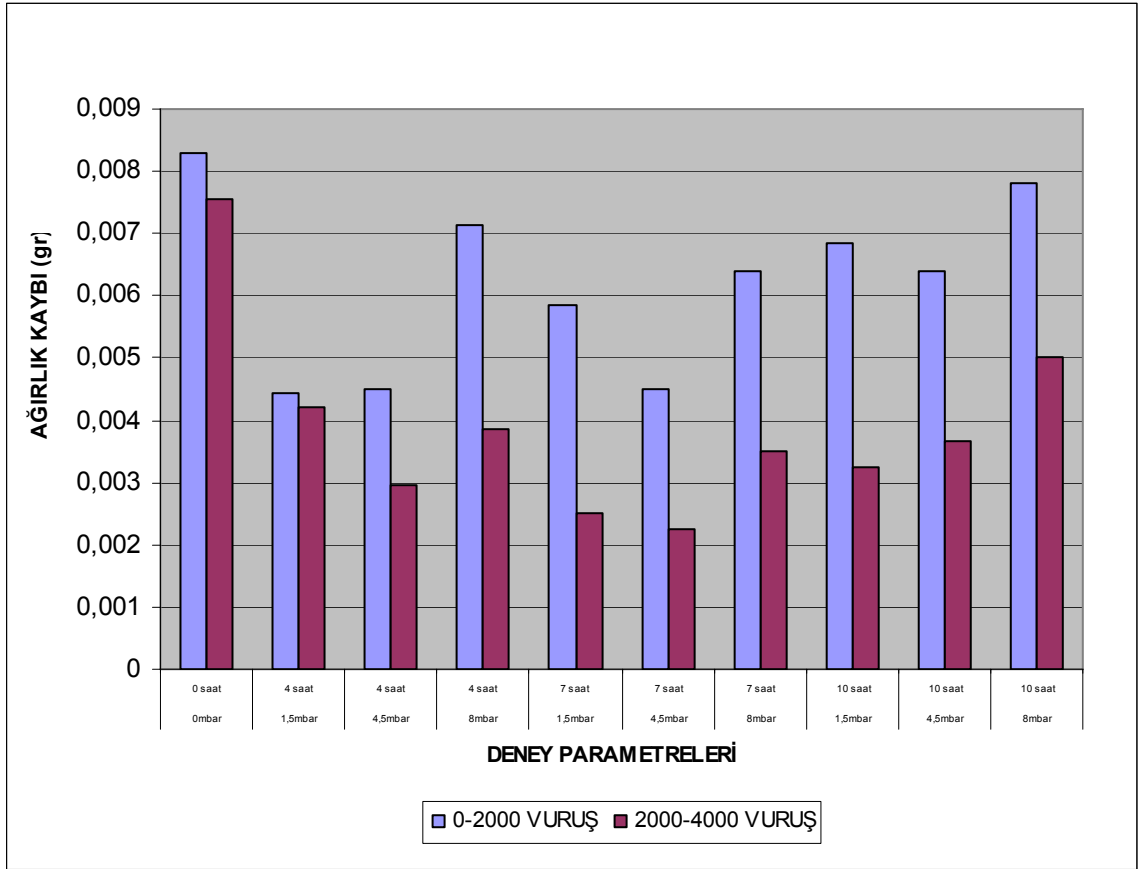
Proses bünyesindeki aşınma mekanizmalarının tahmini için geçmiş kalıp bakım bilgileri irdelendiğinde; zımba keskin uç geometrisinin, zımba yaşam çevriminin başlangıcında uç dökülmesine neden olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Zımba yaşam çevriminin başlangıcı ile devam eden süreçte prosesin farklı aşınma karakteri gösterdiği ise karşılaşılan bir diğer gerçektir. Bu farklılığı kontrol altında tutabilmek adına deneysel çalışmanın her bir deney numunesi için 2000-4000 vuruş aşınma değerlerinin kayıt altına alınarak gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür.

Sac şekillendirme kalıplarında yaşanan tribolojik problemlerin incelenmesi için yapmış olduğumuz deneysel çalışmada plazma nitrülenmemiş numuneler hariç 3 farklı işlem süresi ve 3 farklı işlem basıncı olmak üzere toplam 9 çeşit parametre kullanılmak sureti ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma ile ilgili parametreler ve tespit edilen sertlik ve ağırlık kayıpları çizelge 4.2 de sunulmuştur. Plazma nitrülenmemiş numuneler 0 ile kodlanmış, işlem süreleri 4saat için 1, 7saat için 2, 10saat için 3 ile numune kodunda belirtilmiş, işlem basınçları 1,5mbar için a, 4,5mbar için b, 8mbar için c ile numune kodlamasına eklenmiş, her numuneden ikişer adet hazırlanarak işlem kodlarının sonunda 1 ve 2 olarak belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Deneysel Parametreleri ve Numune Aşınma Miktarları

DENEY PARAMETRELERİ				AĞIRLIK				AĞIRLIK KAYBI	
KODU	SICAKLIK	SÜRE	GAZ BASINCI	İLK AĞIRLIK	2000 VURUŞ	4000 VURUŞ	HRC	0-2000 VURUŞ	2000-4000 VURUŞ
0-1	PLAZMA NİTRÜLENMEMİŞ			84,1840	84,1758	84,1679	59,2	0,0082	0,0079
0-2	PLAZMA NİTRÜLENMEMİŞ			84,3973	84,3889	84,3817	59,1	0,0084	0,0072
1a-1	500°C	4 saat	1,5mbar	84,8289	84,8243	84,8199	60,4	0,0046	0,0044
1a-2	500°C	4 saat	1,5mbar	84,1169	84,1126	84,1086	58,9	0,0043	0,004
1b-1	500°C	4 saat	4,5mbar	84,6737	84,6690	84,6657	58,1	0,0047	0,0033
1b-2	500°C	4 saat	4,5mbar	84,7467	84,7424	84,7398	59,7	0,0043	0,0026
1c-1	500°C	4 saat	8mbar	84,6051	84,5977	84,5936	60,5	0,0074	0,0041
1c-2	500°C	4 saat	8mbar	84,6841	84,6772	84,6736	59,7	0,0069	0,0036
2a-1	500°C	7 saat	1,5mbar	84,6025	84,5967	84,5944	58,1	0,0058	0,0023
2a-2	500°C	7 saat	1,5mbar	84,3494	84,3435	84,3408	58,3	0,0059	0,0027
2b-1	500°C	7 saat	4,5mbar	84,4207	84,4163	84,4139	58,6	0,0044	0,0024
2b-2	500°C	7 saat	4,5mbar	84,7319	84,7273	84,7252	57,6	0,0046	0,0021
2c-1	500°C	7 saat	8mbar	84,1149	84,1087	84,1055	59,6	0,0062	0,0032
2c-2	500°C	7 saat	8mbar	84,5814	84,5748	84,5710	60,5	0,0066	0,0038
3a-1	500°C	10 saat	1,5mbar	84,5364	84,5295	84,5260	58,5	0,0069	0,0035
3a-2	500°C	10 saat	1,5mbar	84,3374	84,3306	84,3276	60,1	0,0068	0,003
3b-1	500°C	10 saat	4,5mbar	84,1694	84,1632	84,1597	58,7	0,0062	0,0035
3b-2	500°C	10 saat	4,5mbar	84,3521	84,3455	84,3417	60,9	0,0066	0,0038
3c-1	500°C	10 saat	8mbar	84,3582	84,3507	84,3458	59,1	0,0075	0,0049
3c-2	500°C	10 saat	8mbar	84,7383	84,7302	84,7251	60,4	0,0081	0,0051

Aynı işlem basıncı ve işlem süresine sahip olarak hazırlanan numune çiftlerinin ağırlık kayıplarının aritmetik ortalamaları alınarak bulunan değerler şekil 4.1 de gösterilmektedir.



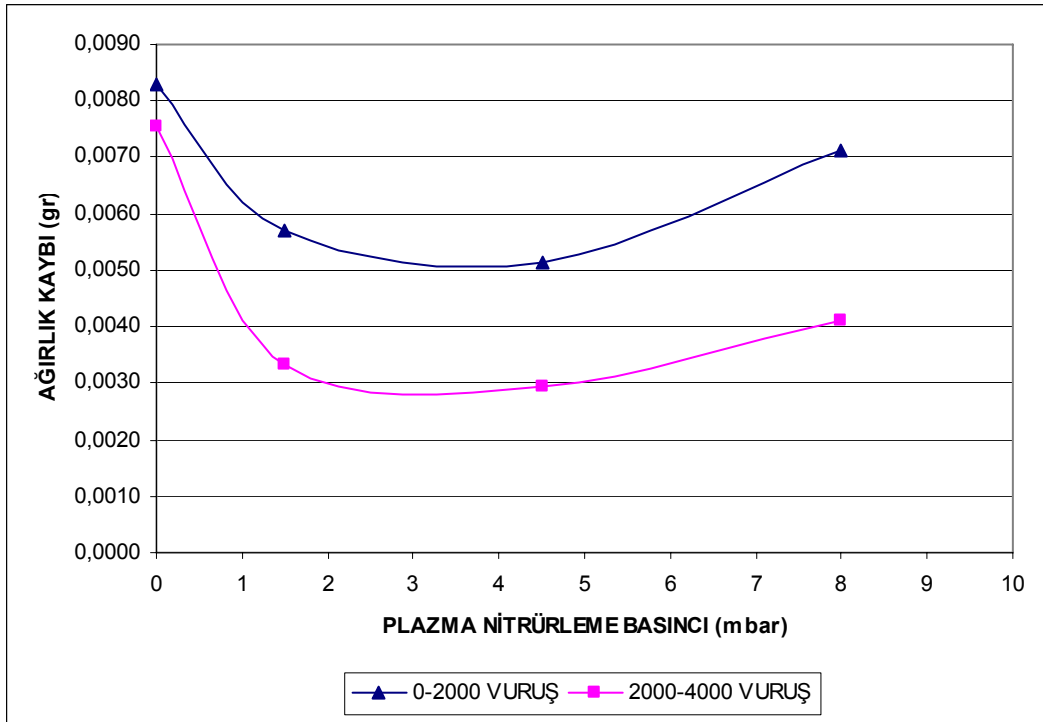
Şekil 4.2. Basınç ve Süreye Bağlı Ortalama Aşınma Miktarı

Şekil 4.2 de görüldüğü üzere plazma nitrürlemenin aşınma üzerindeki etkisi ilk periyot (0-2000) için ve son periyot (2000-4000) için olumlu yönde olmuştur. Zımba geometrisi nedeni ile oluşan keskin kenarın aşınma performansı üzerinde oluşturduğu olumsuz etki plazma nitrürleme ile azaltılmış olsa da ikinci periyot aşınma performansındaki iyileşme daha fazla olmuştur.

Ağız dökülmesi üzerindeki en iyi performans sırası ile 4saat 1,5mbar ve 4saat 4,5mbar kombinasyonlarında sağlanmıştır. Plazma nitrürlemenin ağız dökülmesi performansının artan basınç ve ilerleyen işlem süresi ile azaldığı görülmektedir. 10saat 8mbar kombinasyonunda gözlenen aşınma performansı yorumu doğrulamaktadır.

İkinci periyot aşınma değerleri rejime girmiş zımba aşınmasını göstermektedir. 7saat 4,5mbar kombinasyonu irdelendiğinde plazma nitrüleme ile ulaşılan aşınma performansında artış gözlemlenmektedir.

Basıncın plazma nitrüleme işlemine etkisinin belirlenmesi için deney numuneleri işlem basınçlarına göre gruplandırılmakla beraber ağırlık kayıplarının aritmetik ortalamaları alınarak elde edilen değerler şekil 4.3 de gösterilmektedir. Değerler 0-2000 vuruş ve 2000-4000 vuruş için ayrı ayrı hesaplanarak ağız dökülmesinin aşınma üzerindeki etkisi, plazma nitrüleme işleminin aşınma performansından bağımsız hale getirilmektedir.

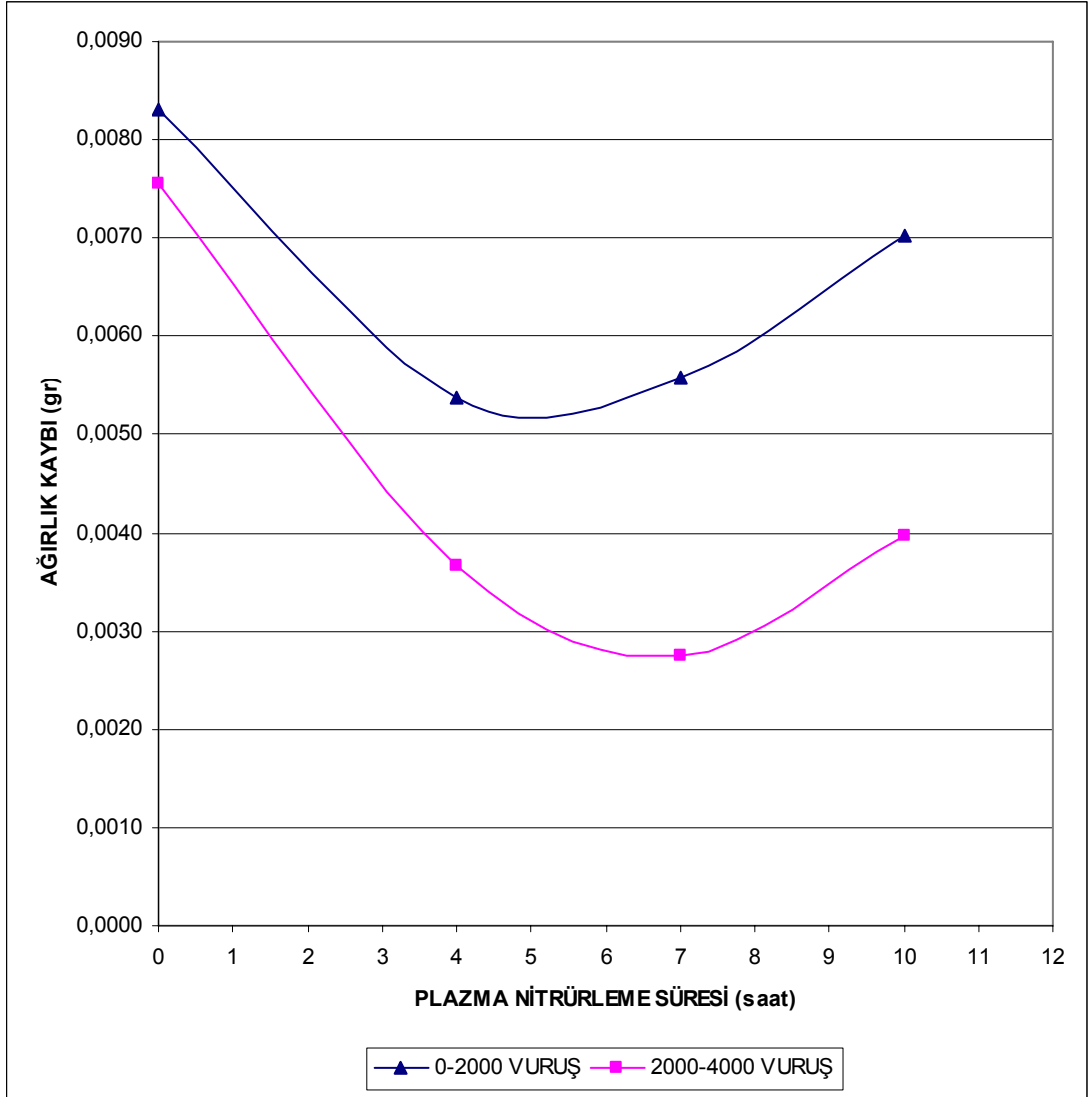


Şekil 4.3. Plazma Nitritleme Basıncına Bağlı Ortalama Aşınma Miktarı

Şekil 4.3 de görüldüğü gibi ilk periyot ile ikinci periyot arasındaki performans farkının basıncın artması ile arttığı gözlemlenmektedir. En iyi aşınma performansı 4,5mbar işlem basıncına sahip numunelerde gözlemlenmiştir.

Sürenin plazma nitrüleme işlemine etkisinin belirlenmesi için deney numuneleri işlem basınçlarına göre gruplanmış ve ağırlık kayıplarının aritmetik ortalamaları alınarak elde edilen değerler şekil 4.4 de gösterilmektedir. Değerler 0-2000

vuruş ve 2000-4000 vuruş için ayrı hesaplanarak ağız dökülmesinin aşınma üzerindeki etkisi, plazma nitrüleme işlemin aşınma performansından bağımsız hale getirilmektedir.

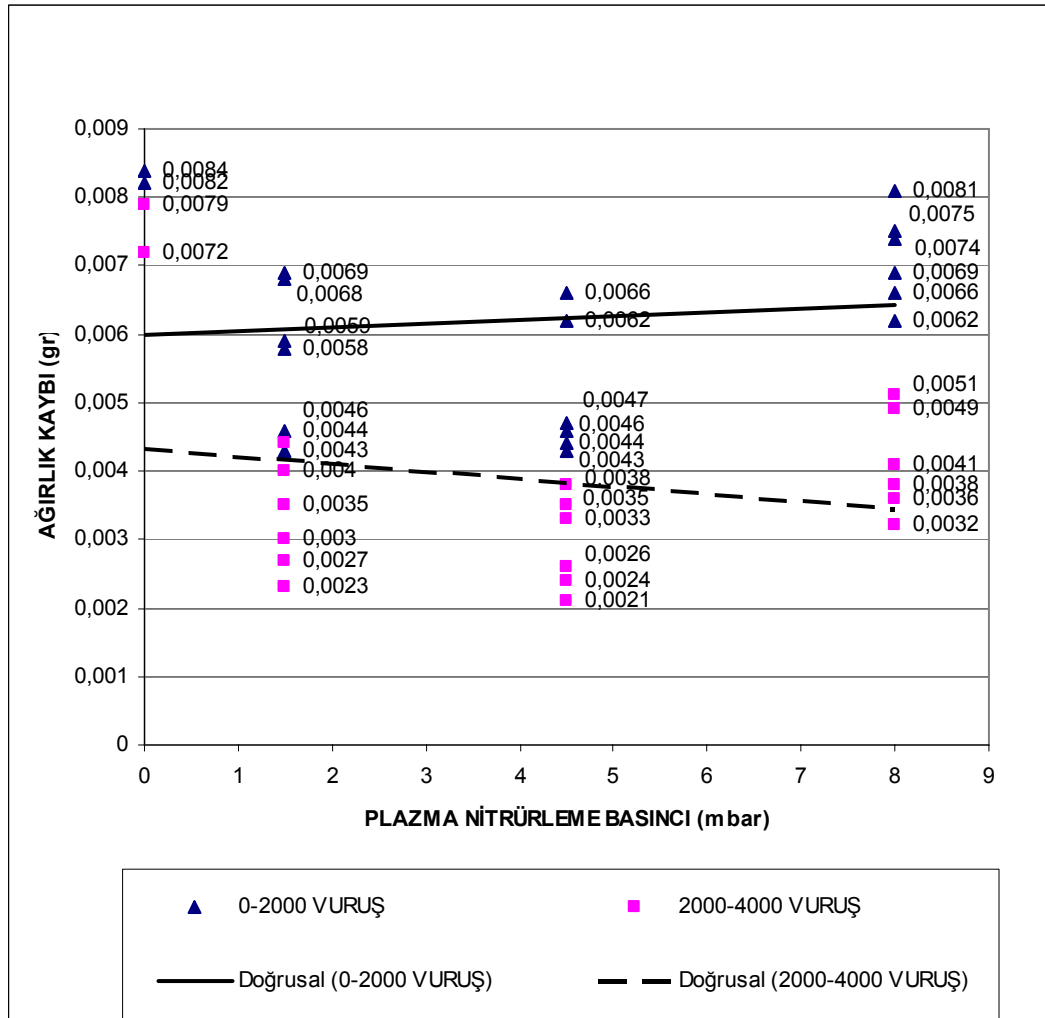


Şekil 4.4. Plazma Nitrüleme Süresine Bağlı Ortalama Aşınma Miktarı

Şekil 4.4 de görüldüğü gibi zamandaki artış ile periyotlar arasındaki performans farkının arttığı gözlemlenmektedir. En iyi aşınma performansı 7saat işlem görmüş numunelerde gözlenmiştir.

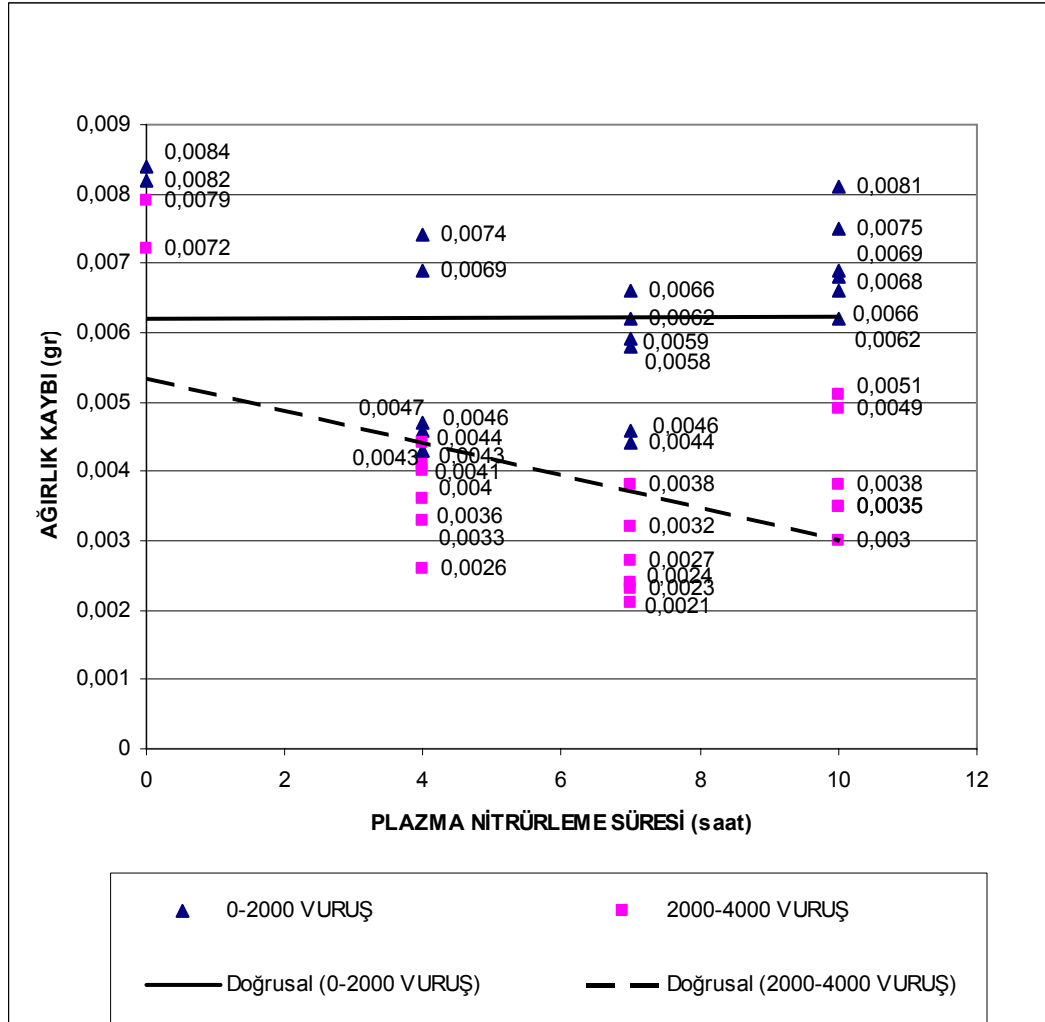
Şekil 4.4 ve 4.3 birlikte incelendiğinde 0-2000 ve 2000-4000 periyotları arasındaki grafiksel farklılığın süre artışı ile daha çok değiştiği gözlemlenmektedir. Buda sürenin aşınma performansı üzerindeki etkisinin daha büyük olduğunu gösterir.

Basıncın plazma nitrüleme işlemine etkisinin belirlenmesi için deney numuneleri işlem basınçlarına göre gruplanmış ve ağırlık kayıplarının grafik üzerindeki doğrusal eğilim çizgileri alınarak elde edilen değerler şekil 4.5 de gösterilmektedir. Değerler 0-2000 vuruş ve 2000-4000 vuruş için ayrı hesaplanarak ağız dökülmesinin aşınma üzerindeki etkisi, plazma nitrüleme işleminin aşınma performansından bağımsız hale getirilmektedir. Grafik üzerindeki doğrusal (0-2000) ve (2000-4000) ifadeleri basınç-ağırlık kaybı değerlerinin eğilim çizgilerini ifade etmektedir.



Şekil 4.5. Basınca Bağlı Aşınma Miktarları ve Eğilim Çizgisi

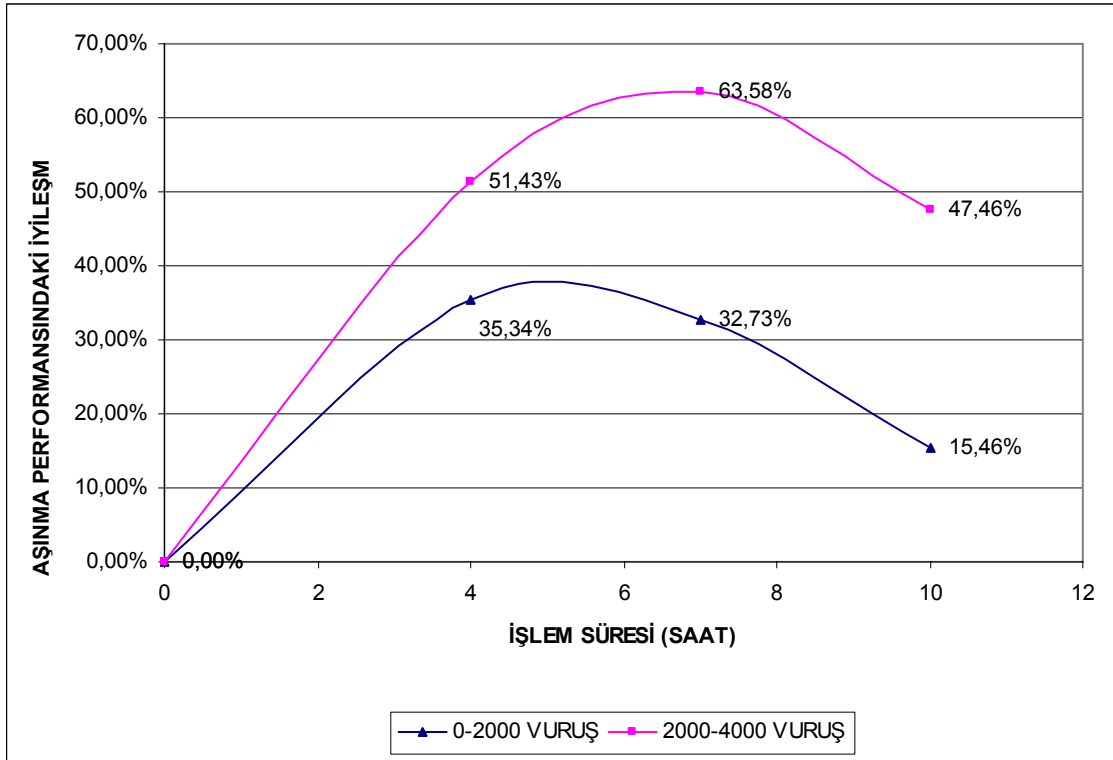
Şekil 4.5 de görüldüğü gibi 4,5mbar basınçtaki aşınma performansının daha iyi olduğu gözlemlenmektedir.0-2000 periyodunun eğilim çizgisi incelendiğinde basınç artışının aşınma performansını düşürdüğü gözlenmektedir.2000-4000 periyodunun eğilim çizgisi incelendiğinde ise artan basıncın aşınma performansını iyileştirdiği gözlenmektedir. Eğilim çizgilerinin eğimleri göz önünde bulundurulduğunda ikinci periyodun mutlak eğiminin daha büyük olması basıncın ilk periyottaki olumsuz etkisine nazaran ikinci periyottaki olumlu etkisinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Zimba çalışma ömrünün büyük bölümünde ikinci periyottaki aşınma davranışını göstereceği düşünüldüğünde genel anlamı ile basıncın aşınma performansı üzerindeki etkisini olumlu olarak özetleyebiliriz.



Şekil 4.6. Süreye Bağlı Aşınma Miktarları ve Eğilim Çizgisi

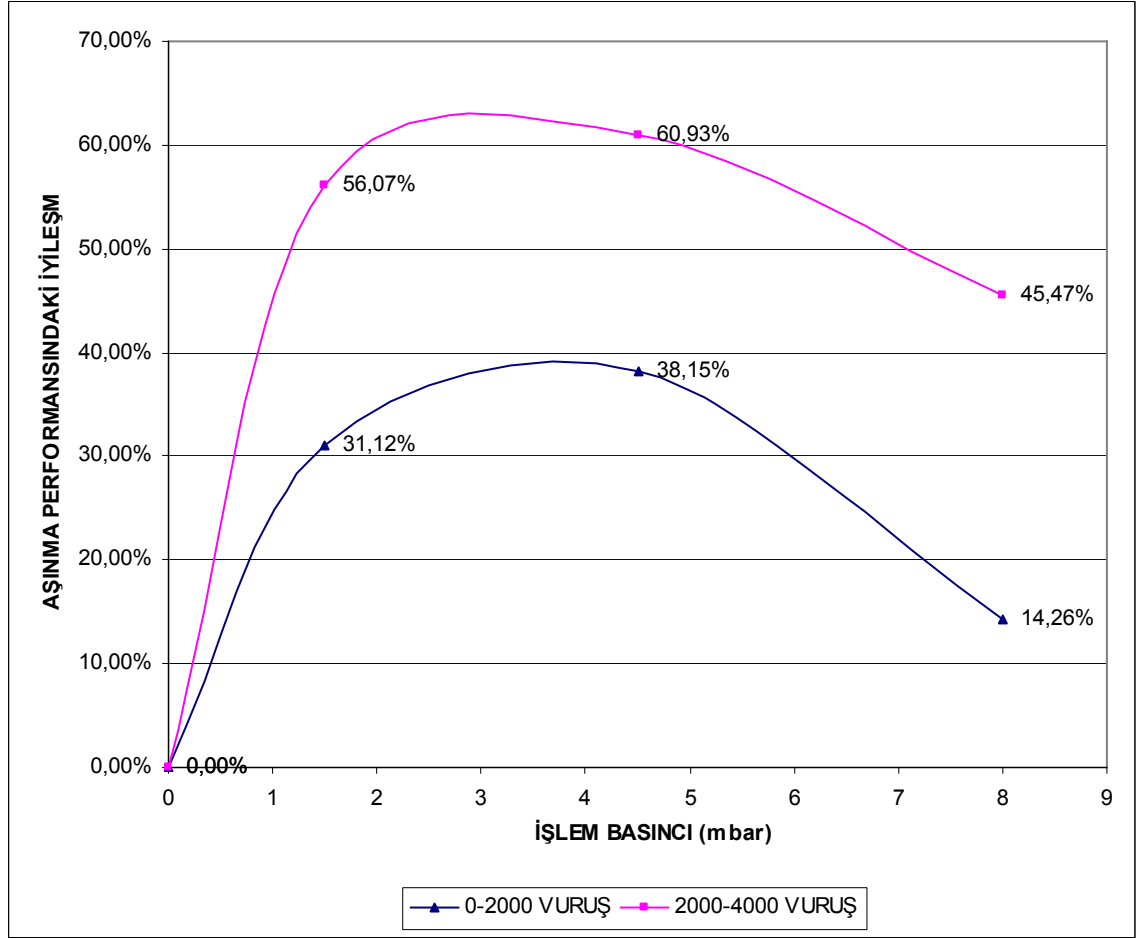
Şekil 4.6 de görüldüğü gibi 7saat işlem süresinde aşınma performansının daha iyi olduğu gözlemlenmektedir.0-2000 periyodunun eğilim çizgisi incelendiğinde süre artışının aşınma performansını çok azda olsa artırdığı gözlenmektedir.2000-4000 periyodunun eğilim çizgisi incelendiğinde ise artan sürenin aşınma performansını iyileştirdiği gözlenmektedir. Eğilim çizgilerinin eğimleri göz önünde bulundurulduğunda ikinci periyodun mutlak eğiminin daha büyük olması basıncın ilk periyottaki olumsuz etkisine nazaran ikinci periyottaki olumlu etkisinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Zimba çalışma ömrünün büyük bölümünde ikinci periyottaki aşınma davranışını göstereceği düşünüldüğünde genel anlamı ile basıncın aşınma performansı üzerindeki etkisini olumlu olarak özetleyebiliriz.

Şekil 4.5 ve 4.6 deki eğilim çizgileri birlikte değerlendirildiğinde sürenin ikinci periyottaki eğilim çizgisinin mutlak eğiminin daha büyük olması plazma nitrürleme parametreleri arasında aşınma performansına en büyük artışı sağlayan parametrenin süre olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.7. İşlem Süresine Göre Aşınma Performandaki İyileşme

Şekil 4.7 de görüldüğü gibi, süre parametresi için 7 saatlik işlem süresinin 2000-4000 periyodunda %63,58 'lik bir iyileşme sağladığını görmekteyiz.



Şekil 4.8. İşlem Süresine Göre Aşınma Performandaki İyileşme

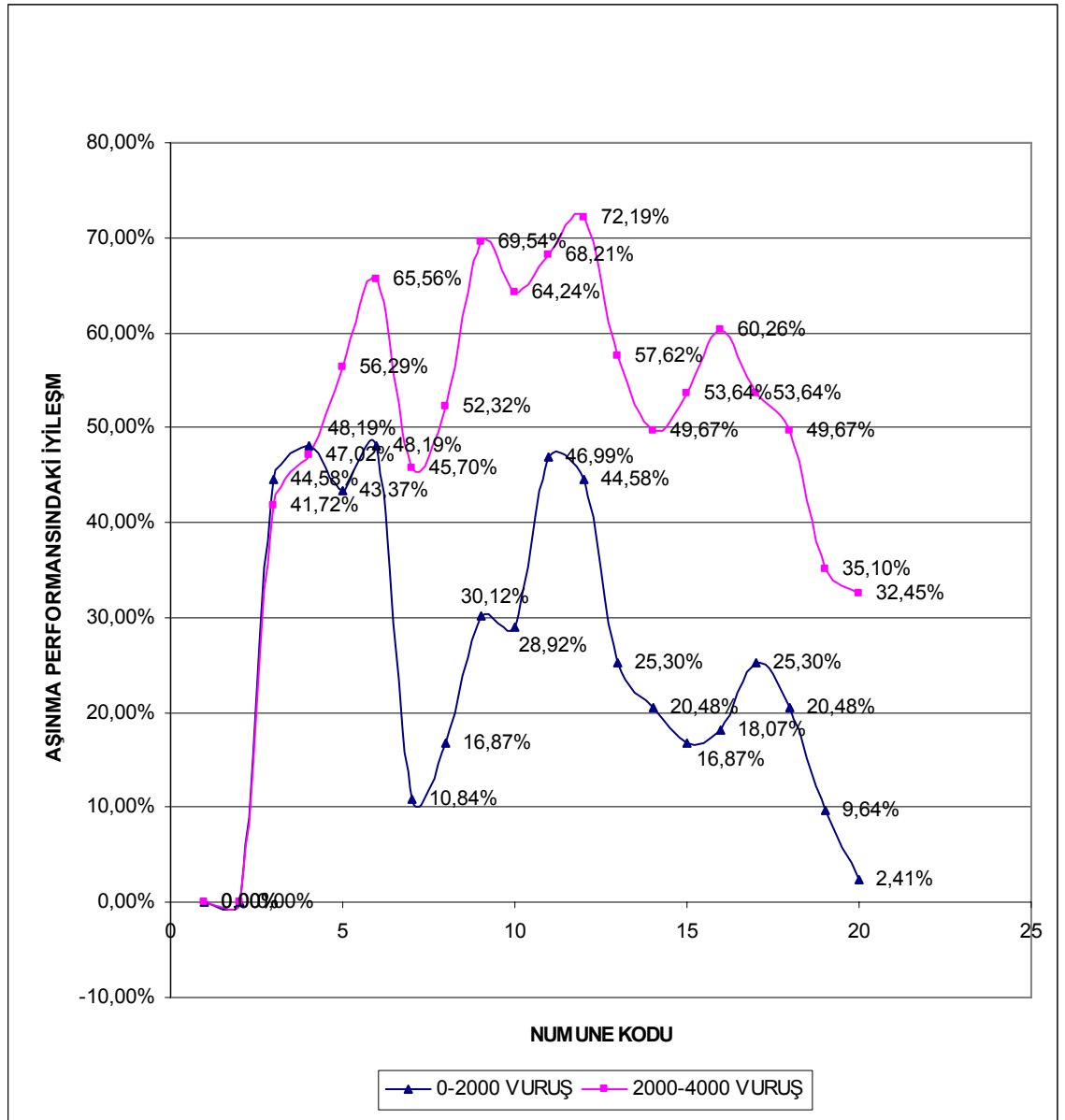
Şekil 4.8. de görüldüğü gibi 4,5mbar basınçta %60,93 'lük bir iyileşmenin sağlandığı gözlemlenmektedir. 1,5mbar basınçtaki iyileşmenin 8mbar basınçtaki iyileşmeye oranla daha iyi olduğunu görmekteyiz.

Çizelge 4.3 de ısı işlem görmüş ve plazma nitrülenmiş numuneler 1 den 20 ye kadar kodlanmıştır. İyileştirme ölçütü olarak plazma nitrüleme işlemine tabi tutulmamış numunelerin ağırlık kaybına oranlanmış numune ağırlık kayıpları kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 Deneysel Çalışma İyileştirme Oranları

NUMUNE	KOD	0-2000 VURUŞ İYİLEŞME	2000-4000 VURUŞ İYİLEŞME
NUMUNE 0-1 PLAZMA NİTRÜRLENMEMİŞ	1	0,00%	0,00%
NUMUNE 0-2 PLAZMA NİTRÜRLENMEMİŞ	2	0,00%	0,00%
NUMUNE 1a-1 500°C 4 saat 1,5mbar	3	44,58%	41,72%
NUMUNE 1a-2 500°C 4 saat 1,5mbar	4	48,19%	47,02%
NUMUNE 1b-1 500°C 4 saat 4,5mbar	5	43,37%	56,29%
NUMUNE 1b-2 500°C 4 saat 4,5mbar	6	48,19%	65,56%
NUMUNE 1c-1 500°C 4 saat 8mbar	7	10,84%	45,70%
NUMUNE 1c-2 500°C 4 saat 8mbar	8	16,87%	52,32%
NUMUNE 2a-1 500°C 7 saat 1,5mbar	9	30,12%	69,54%
NUMUNE 2a-2 500°C 7 saat 1,5mbar	10	28,92%	64,24%
NUMUNE 2b-1 500°C 7 saat 4,5mbar	11	46,99%	68,21%
NUMUNE 2b-2 500°C 7 saat 4,5mbar	12	44,58%	72,19%
NUMUNE 2c-1 500°C 7 saat 8mbar	13	25,30%	57,62%
NUMUNE 2c-2 500°C 7 saat 8mbar	14	20,48%	49,67%
NUMUNE 3a-1 500°C 10 saat 1,5mbar	15	16,87%	53,64%
NUMUNE 3a-2 500°C 10 saat 1,5mbar	16	18,07%	60,26%
NUMUNE 3b-1 500°C 10 saat 4,5mbar	17	25,30%	53,64%
NUMUNE 3b-2 500°C 10 saat 4,5mbar	18	20,48%	49,67%
NUMUNE 3c-1 500°C 10 saat 8mbar	19	9,64%	35,10%
NUMUNE 3c-2 500°C 10 saat 8mbar	20	2,41%	32,45%

Çizelge 4.3'nin grafiksel ifadesi şekil 4.9 de görülmektedir. Numune kodlarına göre ağırlık kaybındaki iyileşmeyi ifade eden grafikte zımba uç dökülmesinin numunelerin aşınması üzerindeki etkisini plazma nitrülenmiş malzemenin aşınma karakterinden ayırabilmek için; 0-2000 vuruş aşınma değerlerine ait iyileştirme ile 2000-4000 vuruş aşınma değerlerine ait iyileştirme ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Aşınma Performansındaki İyileşme Miktarları

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.9 de görüldüğü gibi en yüksek aşınma direncinin %72,19 'luk iyileşme ile 2b-2 500°C 7 saat 4,5mbar numunesinde olduğunu görmekteyiz.

5-SONUÇLAR

- Sertlik değerlerinde değişimin birbirine yakın olması , diğer bir ifade ile farklılıklar arz etmemesi Rockwell sertlik ölçüm yöntemiyle ilgilidir. Plazma Nitrülenmiş bölgenin sertliğini bu yöntem ile ölçmek mümkün değildir.
- Plazma nitrülenmenin aşınma üzerindeki etkisi ilk periyot (0-2000) için ve son periyot (2000-4000) için olumlu yönde olmuştur. Zımba geometrisi nedeni ile oluşan keskin kenarın aşınma performansı üzerinde oluşturduğu olumsuz etki plazma nitrüleme ile azaltılmış olsa da ikinci periyot aşınma performansındaki iyileşme daha fazla olmuştur.
- Ağız dökülmesi üzerindeki en iyi performans sırası ile 4saat 1,5mbar ve 4saat 4,5mbar kombinasyonlarında sağlanmıştır. Plazma nitrülenmenin ağız dökülmesi performansının artan basınç ve ilerleyen işlem süresi ile azaldığı görülmektedir.
- Plazma nitrüleme parametreleri arasında aşınma performansına en büyük artışı sağlayan parametrenin süre olduğu saptanmıştır.
- En yüksek aşınma direncinin %72,19 'luk iyileşme ile 2b-2 500°C 7 saat 4,5mbar numunesinde olduğu tesbit edilmiştir.
- Optimum nitrüleme parametresinin belirlenmesi için ara değerleri kapsayan bir çalışma yapılabilir.
- Plazma nitrüleme işleminin aşınma performansını doğrulamak için ömür testlerinin zımba ömrü tamamlanıncaya kadar devam ettirilmesi uygun olacaktır..

6- KAYNAKLAR

Bayraktar, E., Altıntaş S. 1998 ‘Some Problems in Steel Sheet Forming Processes’ Elsevier Journal of Materials Processing Technology 80-81 p83-89

Burakowski, T., Wierzchoń T. 1999 Surface Engineering of Metals CRC Pres Poland

Buytoz S., Yılmaz O. 2003 “GTA Yöntemi Kullanılarak FeCrC ve WC Kaplanmış Sade Karbonlu SAE 1020 Malzemesinin Aşınma Davranışının Araştırılması” Mühendis ve Makina sayı:519

Çakır, M.C. 1999 Modern Talaşlı İmalatın Esasları Vipaş Bursa s82

Çelik, A., Karakan, M., Alsaran, A. 2000 ‘Gaz Karışımlarının İyon Nitrüleme Üzerine Etkisinin Araştırılması’ Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi İzmir Cilt:2 Sayı:2 s87-94

Danışman, Ş., Kılık, R.1997 ‘Yüksek Vakum Teknolojisi ile Modern Kaplama Teknikleri’ 7. Denizli Malzeme Sempozyumu Denizli 2-3-4 Nisan s361-368

Demirci, A.H. 2003 Yüksek Lisans Ders Notları

Demirci, A.H. 1982 ‘Ötektoidaltı Alaşımsız Çeliklerin, Yeni İmal Edilen Bir Sürtünme-Aşınma Deney Standında, Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ve Optimizasyonu’ Doçentlik Tezi 11s. Ege Üniversitesi Makina Fakültesi İzmir

Devi, M.U., Chakraborty T.K., Mohanty O.N. 1999 ‘Wear Behaviour of Plasma Nitrided Tool Steels’ Elsevier Surface and Coatings Technology 116-119 p212-221

Devi, M.U., Mohanty O.N. 1998 ‘Plasma-Nitriding of Tool Steels for Combined Percussive Impact and Rolling Fatigue Wear Applications’ Elsevier Surface and Coatings Technology 107 p55-64

Edem, M.S., Akmandor, İ.S. 2004 ‘Uçak Motoru ve Elektrojen Gruplarındaki Gaz Türbini Teknolojisindeki İlerlemeler, Malzeme, Yüzey Teknolojileri ve İmalat Süreçlerindeki Gelişmeler’ Mühendis ve Makine Sayı:529 s38-46

Epik, Ö., Epik, H., Sever, K., Karadeniz, S. 1994 ‘İyon implantasyonu ile Metal Yüzeyi Islahı’ Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir)

Gao, Y., Guo X., Wei R., 2005 ‘Rapid Nitriding of Pure Iron by Thermal Plasma Jet Irradiation’ Elsevier Surface & Coatings Technology xx pxxx-xxx

Gavgalı M., Çelik A., Alsaran A., Totik Y.2002 ‘İyon Nitrüleme İşleminin AISI 5140 Çeliğinin Burulma Özelliklerine Etkisi’ Mühendis ve Makina Sayı:507

Karaoğlu, S., Belevi, M., Karaoğlu, Ç., Karadeniz, S. 1997 ‘İyon Nitrürleşmiş 41Cr4 Çeliğinin Aşınma Davranışının İncelenmesi’ 7. Denizli Malzeme Sempozyumu Denizli 2-4 Nisan s308-312

Karaoğlu, S., Karadeniz, S. 1997 ‘16MnCr5 Çeliğinin İyon-Nitrürleşme Davranışının İncelenmesi’ 7. Denizli Malzeme Sempozyumu Denizli 2-4 Nisan s384-387

Karaoğlu, S., Karadeniz, S., Karaoğlu, Ç. 2001 ‘Plazma Nitrürleşmiş Az Alaşımli Bir Çeliğin Aşınma Davranışının İncelenmesi’ DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi İzmir Cilt:3 Sayı:3 s85-92

Matuszak, A. 2000 ‘Factors Influencing Friction in Steel Sheet Forming’ Elsevier Journal of Materials Processing Technology 106 p250-253

Metal Handbok, 1994 Vol. 2 USA p96-114

Mitterer C., Holler F., Reitberger D., Badisch E., Stoiber M., Lugmair C., Nöbauer R., Müller T., Kullmer R. 2003 ‘Industrial Applications of PACVD Hard Coatings’ Elsevier Surface and Coatings Teechnology 163-164 p716-722

Oliveria, S.D, Tschiptschin A.P., Pinedo C.E. 2006 ‘Simultaneous Plasma Nitriding and Ageing Treatments of Precipitation Hardenable Plastic Mould Steel’ Elsevier Materials and Design xxx xxx-xxx

Oliveria, S.D., Tschiptschin A.P., Pinedo E. 2006 ‘Simultaneous Plasma Nitriding and Ageing Treatments of Precipitation Hardenable Plastic Mould Steel’ Material and Design

Pesch, P., Sattel S., Woestmann S., Ulrich S. 2005 ‘New Multifunctional PVD-Coating in the Material System Cr-BCN-Si for Steel Sheet Forming’ Elsevier Surface & Coatings Technology 200 p1065-1070

Podgornik, B., Hogmark S. 2006 ‘Surface Modification to İmprove Friction and Galling Properties of Forming Tools’ Elsevier Journal of Materials Processing Technology 174 p334-341

Sarı, N.Y., Tülbentçi K. 1997 ‘Modern Yüzey İşlemleri İle Aşınma Direncinin İyileştirilmesi’ 7. Denizli Malzeme Sempozyumu Denizli 2-3-4 Nisan s 370-377

Sato, T., Sugai K., Ueda S., Matsunami K. Yasuoka M. 2003 ‘Development of a Hybrid Coating Process as an Advanced Surface Modification for Cutting Tools and Moulds’ Elsevier Surface and Coatings Technology 169-170 p45-48

Shah, S.V., Dahotre N.B. 2002 ‘Laser Suface-Engineered Vanadium Carbide Coating for Extended Die Life’ Elsevier Journal of Materials Processing Technology 124 p105-112

Suchy, I. 2006 Handbook of Die Design Mc Graw-Hill Handbooks Second Edition

Tercelj, M., Panjan P., Urankar I., Fajfar P., Turk R. 2006 'A Newly Designed Laboratory Hot Forging Test for Evaluation of Coated Tool Wear Resistance' Elsevier Surface and Coatings Teechnology 200 p3594-3604

Wei, C., Chen F. 2005 'Characterization on Multi-layer Fabricated by TRD and Plasma Nitriding' Elsevier Materials Chemistry and Phiyics 90 p178-184

Womack, J.P., Jones D.T., Roos D. Dünyayı Değiştiren Makine Maxwell Mamıllan International&Otomotiv Sanayi Derneği yayını sf.36

7- TEŞEKKÜR

Sac şekillendirme kalıpları üzerine gerçekleştirmiş olduğumuz bu çalışmanın her aşamasında ve iş hayatımda üzerimden desteğini eksik etmeyen Sn. Prof. Dr. Ali BAYRAM'a; Tez çalışmalarımı devam ettirebilmem için maddi ve manevi desteğini üzerimden eksik etmeyen Beyçelik A.Ş. Genel Müdürü Sn.Engin MEYDAN'a ve tüm ÇELİK HOLDİNG ailesine teşekkür ederim.

8- ÖZGEÇMİŞ

1979 Kayseri doğumlu olan Murat Hayri SARAÇOĞLU, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesinden 2002 yılında mezun olarak Makine Mühendisi unvanı almıştır. Mezuniyetinin ardından Uludağ Üniversitesi İnegöl MYO'da sözleşmeli öğretim görevliliği, TÜBİTAK ve TTGV vizyon2023 projesinde uzmanlık, BEYÇELİK kalıp ve oto yan sanayi AR-GE departmanında metod mühendisliği ve proje yönetim mühendisliği; BEYÇELİK kalıp ve oto yan sanayi Üretim departmanında planlama şefliği; ÇELİKPAN panel radyatör fabrikasında proje koordinatörlüğü görevlerinde bulunmuştur. Halen ÇELİKPAN panel radyatör fabrikasında üretim yöneticisi olarak görev yapmaktadır.