

**ENJEKSİYON DÖKÜM KALIPLARINDA CrN
UYGULAMASININ KALIP VE PARÇA ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Borge DURUK
506971256**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mustafa ÜRGEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Yılmaz TAPTİK (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Mehmet KOZ (M.Ü.)**

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca hem ders aşamasında hem de tez aşamasında eleştiri, öneri, yardımlarını ve uzun süren tez çalışmaları esnasında sabrını benden esirgemedi katkıda bulunan değerli hocam Prof. Dr. Mustafa Ürgen 'e en içten teşekkürü bir borç bilirim.

Deneyler aşamasında ADÖKSAN bünyesinde yapılabilirliği konusunda destek olan Sn. Ajda Şener 'e ve üretim anlamında teknik bilgilerini aktaran Sn. Turgut Köse 'ye ve akabinde kaplamalar esnasında yardımlarını esirgemeyen Sn Erdoğan Özer 'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca gerek manevi gerekse maddi olarak yardımlarını esirgemeyen aileme ve tez hazırlama sürecinde manevi desteğini hiç benden eksik etmeyen hayat ortağım, nişanlım Alev Erdurmaz 'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2006

Borga DURUK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
TABLO LİSTESİ.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ENJEKSİYON (BASINÇLI DÖKÜM) DÖKÜM.....	2
2.1. Enjeksiyon Döküm Makinesi.....	2
2.2. Başarılı Enjeksiyon Döküm Şartları.....	5
2.3. Enjeksiyon Döküm Kalıpları.....	5
2.4. Hatalı Döküm Tekniklerinin Parça Üzerindeki Etkileri.....	7
2.4.1. Çekme Boşlukları.....	7
2.4.2. Gaz Boşlukları.....	7
2.4.3. Tabakalaşma.....	7
2.4.4. Çekme Çatlamaları.....	8
2.4.5. Gözeneklik.....	8
2.4.6. Akış Çizgileri.....	8
2.4.7. Pullanma.....	8
2.5. Kalıbın Isıl İletkenliği.....	9
2.6. Kalıbın Yağlanması.....	9
2.6.1. İdeal Yağlayıcı.....	9
2.6.2. Kalıp Yağlama Kuralları.....	11
2.7. Basınçlı Döküm Alaşımları.....	12
2.7.1. Alüminyum Esaslı Alaşımlar.....	12
2.8. Kalıp Aşınma Mekanizmaları.....	13
2.8.1. Sıvı Metal Erozyonu.....	13
2.8.2. Katı Partikül Erozyonu.....	14
2.8.3. Oyuklanma Erozyonu.....	14

2.8.4. Termal Yorulma.....	15
2.8.5. Sıcak Yorulma Çatlakları (Isıl Çatlaklar).....	15
2.8.6. Büyük Çatlaklar.....	17
2.9. Kalıp Ömrünü Arttırmanın Yolları.....	18
2.10. Kalıp Malzemeleri Sıcak İş Takım Çelikleri.....	19
3. FİZİKSEL BUHAR BİRİKTİRME (PVD).....	21
3.1. PVD Teknikleri.....	23
3.1.1. Elektron Demeti ile Ergitmeye Dayalı Teknikler.....	23
3.1.2. Sıçratmaya Dayalı Teknikler.....	23
3.1.3. Ark Fiziksel Buhar Biriktirme Tekniği.....	24
3.2. PVD Tekniği ile Yapılan Seramik Kaplamalar ve Gelişmeler.....	24
3.3. CrN (Krom Nitrür) Kaplama.....	26
4. ENJEKSİYON DÖKÜM KALIPLARINDA PVD UYGULAMALARI.....	27
5. CrN KAPLAMANIN TEKNİK İNCELENMESİ.....	29
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
6.1. Numune Üretimi.....	37
6.1.1. Delik Maçalarının Üretimi.....	37
6.1.2. Kaplamaların Üretimi.....	38
6.2. Döküm Deneylerinin Yapılması.....	39
6.2.1 Denemesi Yapılacak Kalıp ve Maçalarının Seçimi.....	39
6.2.2. Prosese Dair Bilgiler.....	40
6.2.3. Kaplama Performansının İncelenme Metotlarının Seçimi.....	41
7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	42
8. SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	56

TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1	Yaygın Kullanılan Bazı Sert Seramik Katmanların Özellikleri.....	25
Tablo 5.1	Farklı azot oranlarına göre (N ₂ +Ar) oluşan fazlar.....	30
Tablo 6.1	Denemesi yapılacak kalıp ve parçaların görünümü.....	39
Tablo 6.2	Kalıp ve dökülen malzeme kimyasal analizleri.....	41
Tablo 7.1	ABS Alt Gövde parçasının 14.000 baskı sonrası kaplamalı ve..... kaplamasız delik maça bölgelerinin görünüşü	44
Tablo 7.2	Kaplamalı ve kaplamasız delik maçaları kullanımı sonrası..... birim baskı adetlerinde parça yüzey pürüzlülük değerleri tablosu	49
Tablo 7.3	Kaplamalı ve kaplamasız delik maçaları kullanımı sonrası..... birim baskı adetlerinde parça yüzey pürüzlülük değerleri tablosu	51

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Enjeksiyon (basınçlı döküm) makinesi şeması..... 2
Şekil 2.2	Sıvı metalin tezgah haznesine dökülmesi..... 4
Şekil 2.3	Sıvı metalin piston vasıtasıyla kalıp içerisine enjekte edilmesi..... 4
Şekil 2.4	Döküm parçasının açılan kalıptan alınması..... 4
Şekil 2.5	Enjeksiyon döküm kalıbı görünüşü..... 6
Şekil 2.6	Sıvı damlasının yüzeye çarpması sonrası gelişim..... 14
Şekil 2.7	Kalıp yüzeyinde oluşan termal çatlaklar..... 18
Şekil 2.8	Sıcak iş takım çeliği sertleştirme ve meneviş diyagramı..... 20
Şekil 2.9	Malzeme cinsine göre Sıcaklık – Erozyon oluşum diyagramı..... 20
Şekil 2.10	Oksitlenmiş - Oksitlenmemiş kalıpta malzeme kaybı..... 21
	karşılaştırması
Şekil 3.1	Ark PVD sistemi..... 22
Şekil 5.1	Farklı frekans uygulamalarında zaman sıcaklık değişimi..... 30
Şekil 5.2	Bias voltajı ve kısmi basınca bağlı Cr-N faz diyagramı..... 30
Şekil 5.3	Azot akışına göre TiN ve CrN sertlikleri..... 32
Şekil 5.4	Adhezyon ve yüzey enerjisi arasındaki ilişki..... 32
Şekil 5.5	Adhezyon ve yüzey enerjisi arasındaki ilişki..... 33
Şekil 5.6	Damlacıkların kaplamalar üzerindeki davranışları..... 33
Şekil 5.7	PVD kaplamada yüzey serbest enerjisi..... 33
Şekil 5.8	a) Ark PVD b) sputtering yöntemi ile üretilen kaplamada..... 34
	oluşan kalıcı iç gerilmeler
Şekil 5.9	Bias voltajına göre tane boyutu değişimi..... 35
Şekil 5.10	Argon atmosferinde iyon – plating işlemi yapılan CrN yüzeyi..... 35
Şekil 5.11	Sıcaklık gerilme eğrisi..... 36
Şekil 6.1	Üretilen delik maçaları..... 37
Şekil 6.2	Isıl işlemin yapıldığı vakum fırını..... 38

Şekil 6.3	Karakterizasyon numuneleri.....	38
Şekil 6.4	Deneme üretiminde kullanılan 300 tonluk enjeksiyon presi.....	40
Şekil 6.5	300 tonluk tezgâhın kalıp kapama bölgesi.....	41
Şekil 7.1	Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı.....	42
Şekil 7.2	ABS Alt Gövde parçası yüzey pürüzlülük analizi kesiti.....	43
Şekil 7.3	14.000 baskı sonrası delik maçası görünüşü.....	45
Şekil 7.4	1 numaralı gözde oluşan yapışmaların X1500 VE X3500 SEM..... görüntüleri	45
Şekil 7.5	2 numaralı gözde oluşan yapışmaların X1500 VE X3500 SEM..... görüntüleri	46
Şekil 7.6	EDS analizi ekran görüntüsü.....	46
Şekil 7.7	EDS analizi 1.....	47
Şekil 7.8	EDS analizi 2 (oksit durumu).....	47
Şekil 7.9	4 numaralı gözde oluşan yapışma ve CrN kaplamanın X1500 ve... X3500 SEM görüntüleri	48
Şekil 7.10	Kaplamada oluşan harabiyet.....	48
Şekil7.11	Birim baskı adetleri sonrası kaplamalı ve kaplamasız..... delik maçalarına ait parçaların yüzey pürüzlülük eğrileri	50
Şekil 7.12	Kaplamasız maçalara ait parçaların yapışma kontrastları.....	50
Şekil 7.13	Kaplamalı maçalara ait parçaların yapışma kontrastları.....	50
Şekil 7.14	Birim baskı adetleri sonrası kaplamalı ve kaplamasız..... delik maçalarına ait parçaların yüzey pürüzlülük eğrileri	51

ENJEKSİYON DÖKÜM KALIPLARINDA CrN UYGULAMASININ KALIP VE PARÇA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, öncelikli olarak literatür taraması yapılmış ve akabinde CrN kaplamanın PVD tekniği ile kalıp delik maçaları üzerine tatbik edilmesi ve akabinde performanlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Otomotiv sektöründe kullanılan iki farklı parçanın iki ile dört gözlü kalıplarında delik maçaları kaplamalı ve kaplamasız olarak ikiş farklı deneme yapılmıştır. Birim baskı adetlerinde kaplamalı ve kaplamasız olarak kalıp delik maçalarının SEM görüntüleri fotoğraf ve EDS analizleri alınmış devamında çıkan döküm parçalarının hem fotoğraf görüntüleri hemde yüzey pürüzlülük değerleri kullanılarak performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Hem literatür araştırması hemde yapılan deneysel çalışmaların karşılaştırılması neticesinde CrN kaplı delik maçalarının hem maça ömrünü hemde çıkan döküm parçasının yüzey kalitesini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

A STUDY ON THE EFFECTS OF CrN APPLICATION ON THE DIE CASTING TOOLS ON THE TOOL AND THE DIE CAST PART

ABSTRACT

In this study following the literature search, the application of CrN coating with PVD technique on the mould hole cores has been executed. The performance evaluation of the attained results has followed. Two different experiments, one being coated and the other uncoated have been made on the hole cores of the cavities of a tool. The SEM pictures and EDS analyses of the parts as coated and uncoated have been carried out. As a next step, the surface roughness values and the pictures of cast parts hole have been taken and performance evaluation has been carried out by comparing the two results. As a result of the comparison of the literature data and the experimental data it has been seen that the CrN coated cores have increased both life of the cores and cast piece surface quality.

1. GİRİŞ

Metal parçaların yüksek hacimli ekonomik üretimine en çok katkıda bulunan metod Basınçlı Döküm metodudur. Özellikle otomotiv sektöründe hafif olmasından dolayı alüminyum kullanımının gereksinimleri karmaşık ama yüksek dayanımlı üretilmesinin ana metodu enjeksiyon döküm yöntemidir.

Günlük yaşantımızda birçok malzeme vardır bu yöntemle üretilmiş fakat otomotiv sektörü gerek üretim adetlerinin yüksekliği gerekse müşteri odaklı fiyat belirleme politikası nedeniyle oldukça düşük kar marjları söz konusudur. Bunun neticesinde maliyetleri düşürmek ana hedef olmuştur. Maliyetlerin düşmesi de ancak mevcut kalıpla yüksek adetlerin üretilmesi, duruş sürelerinin azaltılması ve ürün kalitesinin artırılması ile mümkün olmaktadır.

Kalıp çelikleri, bütün döküm metalleriyle optimum ömür sağlayacak kadar geliştirilmektedir ve daha uygun kalıp alaşımlarının bulunmasına çalışılmaktadır. Fakat kalıp malzemesinin geliştirilmesi çalışmalarının yanında kalıba ait hassas maça ve aparatlarında yüzey işlem yöntemleriyle iyileştirilmesi çalışmaları son zamanlarda hız kazanmıştır.

Kalıpların özellikle hassa bölgeleri maçalar olup parçanın yüzey kalitesinin ve duruş sürelerinin ana parametrelerini oluşturmaktadırlar. Yüksek kullanım sıcaklıkları ve yüksek adetli durmadan yapılan üretimlerde maça pimleri yüzeylerinde sıvı malzeme yapışması, oksidasyon oluşumu, termal çatlakların oluşumu ürün kalitesini birebir etkiler. Bu hataların oluşumu son ürün üzerinde genellikle sıyırma kaynaklı derin çiziklere neden olur. Otomotiv sektöründeki parçaların hassasiyeti göz önüne alınacak olursa bu istenmeyen bir durumdur. Döküm parçasının gerek yüzey kalitesini gerekse ölçü hassasiyetini olumsuz yönde etkiler.

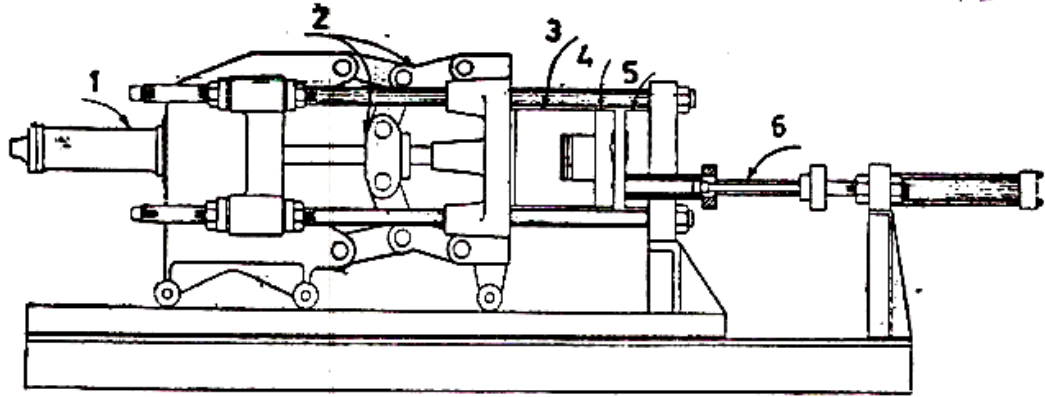
Kaplama kullanımı özellikle enjeksiyon döküm uygulamalarında CrN yönünde olmaktadır. Bu tip bir kaplama uygulaması kalıbın delik maçalarında yapışmaya bağlı tüm olumsuz etkileri minimize eder.

2. ENJEKSİYON (BASINÇLI DÖKÜM) DÖKÜM

2.1. Enjeksiyon Döküm Makinesi

Makinenin fonksiyonu iki kalıp yarımını birbirine karşı sıkı tutmak, ergimiş metali basınç altında kalıp boşluğuna basmak ve dökülmüş parçayı çıkarmak için kalıbı açmaktır [1].

Dökülecek parçanın kalıbı iki blok ile bazı parçalardan meydana gelir ve döküm makinesine monte edilir. Makine kapatıldığında iki kalıp yarımı sıkıca birbirine kilitlenir, ergimiş metal alaşımı yüksek basınç ve hız altında kalıp kanalları yolu ile kalıp boşluğuna basılır. Kalıp yarımaları makine üzerinde karşılıklı plakalara bağlanmışlar ve hareketli parçaları ile birlikte, makine açılıp kapandıkça belirli bir sıra izleyerek çalışacak şekilde yapılmışlardır [1].



Şekil 2.1 Enjeksiyon (basınçlı döküm) makinesi şeması (1 – Kapama silindiri, 2 – Kapama düzeneği, 3 – İtme düzeneği, 4 – İtici kalıp, 5 – Kapak kalıbı, 6 – Baskı düzeneği) [1]

Bir basınçlı döküm makinesinin başlıca parçaları şunlardır;

1. Kalıpların ve çalıştırma düzeneğinin monte edildiği bir şasi
2. Modern makinelerin çoğunda bir piston – silindir sisteminden meydana gelen ve kalıbı açıp kapayan çalıştırma düzeni

3. Ergimiş metal alaşımını basınç altında kalıp boşluğuna basan enjeksiyon kısmı

Tip ne olursa olsun bütün makinelerde şasi ve arka kısımlar az çok birbirine benzerler. Ön kısımlar farklıdır ve buna dayanarak basınçlı döküm makineleri başlıca iki sınıfa ayrılır. Kalay, kurşun, çinko dökümlerinde kullanılan dalgıç piston tipi ile daha çok alüminyum, magnezyum, bakır dökümlerinde kullanılan soğuk kamara tipi makinelerdir. Ergimiş metali döküm sıcaklığında tutan fırın genellikle ikinci tipin entegral bir parçası değildir. Bu tipte metal elle veya otomatik olarak makinenin baskı silindrine dökülür ve buradan hidrolik basınç altında çalışan pistonla kalıp içine basılır. Dalgıç piston tipi makinede fırın makinenin ön tarafına bağlıdır ve piston – silindir sistemi ergimiş metalin içindedir. Her baskı sonunda metal silindirin içine akar ve ikinci çevrimin başında pistonla kalıbın içine basılır [2].

Bakır, alüminyum ve magnezyum gibi yüksekçe ergime noktalı alaşımların dalgıç piston tipi makinelerde dökülememelerinin bir nedeni ergimiş metale gömülü olan pik veya çelik piston ve silindirin alaşımı kirleterek döküm kalitesinin düşmesine sebep olmalarıdır. Soğuk kamara tipi makinede piston ve silindir döküm alaşımı ile çok kısa bir süre temas geldikleri ve kendileri oldukça soğuk kaldıkları için alaşımın kirlenme problemi yoktur [2].

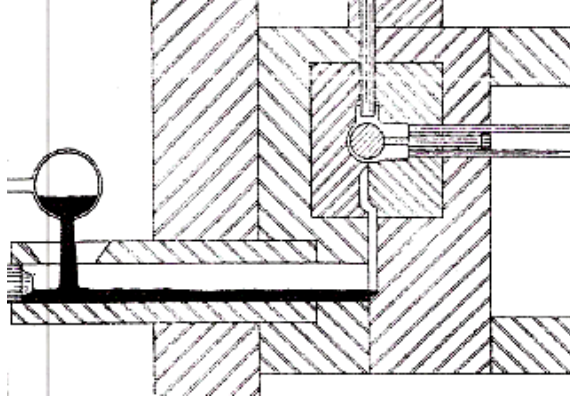
Enjeksiyon basınçları çok yüksek olduğundan makinelerde mekanik yerine hidrolik basınç düzeni kullanılır. Toplam basınç makinenin büyüklük, tip ve kalıp kilitleme basıncına bağlı olarak 700 kg/cm^2 dolaylarındadır. Bu yüksek basınç, ergimiş metalin donmaksın kalıbın en uzak köşelerine kadar dolmasını ve yüksek yoğunluklu gözeneksiz dökümler elde edilmesini sağlar [1].

Basınçlı döküm makineleri genellikle enjeksiyon hız ve çevrimi mümkün mertebe kısa olmak üzere yapılırlar. Operatör bir düğmeye basarak çevrimi başlatır ve makine açılınca döküm parça elle veya otomatik dışarı alınır. Bu işlem basit görünmekle beraber mekanizma oldukça karmaşıktır [2].

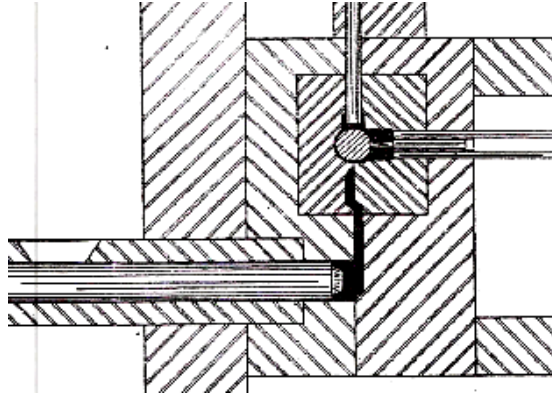
Soğuk kamara tipi makinenin tipik çalışma çevrimi şöyledir;

Soğuk kamara tipi makinede ergimiş metal kalıp içine hidrolik çalışan bir pistonla basılır. Ergimiş metal kalıbı birkaç defa doldurabilecek hacimde bir potadan soğuk kamaraya doldurulur. Dolma işleminden hemen sonra piston çalışarak doldurma deliğini kapatır ve ergimiş metali 2000 kg/cm basınç altında kalıba basar. Normal çalışmada kamaraya bir döküme yetecek miktardan fazla metal konur. Dökümden

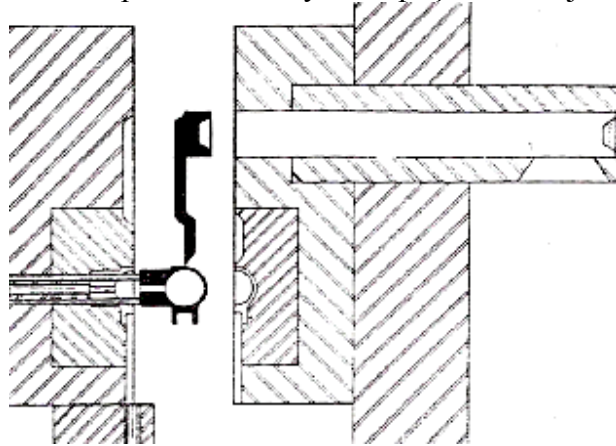
artan soğumuş metal dökümle birlikte makineden çıkarılır. Soğuk kamara tipi makinenin normal çalışma sırası Şekil 2.2 , 2.3 , 2.4 te görülmektedir [1].



Şekil 2.2 Sıvı metalin tezgah haznesine dökülmesi [1]



Şekil 2.3 Sıvı metalin piston vasıtasıyla kalıp içerisine enjekte edilmesi [1]



Şekil 2.4 Döküm parçasının açılan kalıptan alınması [1]

Buna göre günümüzde başlıca iki tip basınçlı döküm makinesi kullanılmaktadır. Bu iki tip makinede arka veya kapama tarafları benzerdir. Başlıca fark enjeksiyon sistemindedir. Arka taraflar standartlaştırıldığı takdirde aynı makine iki tipte de

çalışabilir. Böylece aynı makinede hem düşük ve hem de yüksek ergime noktalı alaşımların dökümleri yapılabilir [1].

2.2. Başarılı Enjeksiyon Döküm Şartları

Başarılı, sağlam ve ekonomik basınçlı döküm parçaların yapılabilmesi için bazı şartların yerine getirilmesi gerektiği açıktır. Bu faktörlerin en önemlileri şunlardır;

1. Kalıbı taşımak ve basınç altında çalıştırmak için uygun projelendirilmiş, pürüzsüz çalışan bir döküm mekanizması
2. İyi projelendirilmiş ve yapılmış bir kalıp
3. Uygun bir döküm alaşımı

Bu faktörler birlikte dikkate alınmalıdırlar, aksi halde iyi döküm yapılamaz. Örneğin kalıp ve makine mükemmel oldukları halde alaşım uygun değilse iyi bir döküm elde edilemez [1].

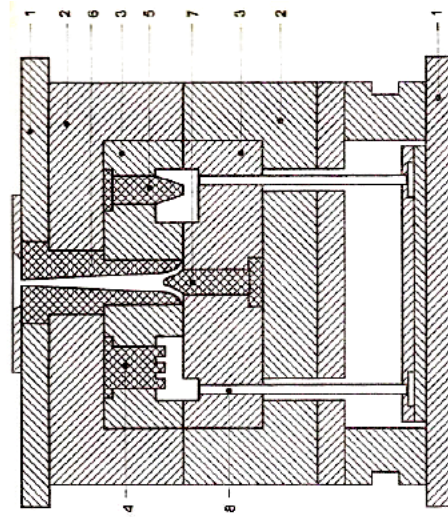
Bazı hallerde başarılı basınçlı döküm üretimi için yüksek üretimli makineler, mekanik, kimyasal, organik veya metalik bitirme tesisleri, döküm, atölye ve bitirme işlemleri boyunca itinalı ve hassas kalite kontrol ve nihayet iyi bir teknik personel grubu gerekir. Dökülecek parçalar her şeyden önce çok iyi projelendirilmeli, kalıplar iyi ve uygun yapılmalı, parçadan beklenen hizmeti sağlayabilecek alaşımlar belirtilmeli ve standart şartnamelere göre titiz bir kontrolden geçirilmelidir [1].

2.3. Enjeksiyon Döküm Kalıpları

Basit bir döküm kalıbı, her biri dökülecek parçanın geometrisine göre işlenmiş iki bloktan meydana gelir (Şekil 2.5). Bu bloklar makineye monte edilirler ve biri sabit (kapak), diğeri hareketli (ejektör) olacak şekilde düzenlenirler. Kalıpların karşılaşma yüzeyleri tam bir uygunluk sağlamak üzere hazırlanmışlardır. Enjeksiyondan önce bloklar birbirlerine kilitlenir ve dökümden sonra parçanın alınması için açılırlar. Parça, kapak kalıbından tamamıyla çıkıncaya kadar iki kalıp yarımın tam hizalanmış kalmaları gerektiğinden kalıplarda bu amacı sağlayan saplamalar bulunur [2].

Birim zamanda yüksek üretim için dökümün kalıptan çabuk çıkarılması gerekir. Bu iş genellikle bir ejektör plakasına monte edilmiş pimlerle sağlanır. Ejektör plakası da kalıp tabanına monte edilir. Kalıp proje mühendisinin görevlerinden biri de bu

pimleri, parçayı distorsiyonsuz çıkaracak ve döküm üzerinde sakıncalı izler bırakmayacak şekilde yerleştirmektedir. Parçanın kolay çıkarılması için parça kalıbın ejektör yarımı içinde kalmalıdır. Buna göre hareketli ejektör bloğunda parça kalıbının bir kısmı ile ejektör mekanizmasının bazı parçaları bulunur [2].



Basınçlı döküm kalıbı

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 1- Bağlama plakaları | 6- Sevk kovanı veya hunisi |
| 2- Kalıp taşıyıcı | 7- Dağıtma parçası |
| 3- Kalıp | 8- Çıkartma pimi |
| 4- Desen ve profil maçası | 9- Piston |
| 5- Marka veya numara maçası | 10- Silindir, gömlek veya kovan |

Şekil 2.5 Enjeksiyon döküm kalıbı görünüşü [10]

Ergimiş metalin kalıp boşluğunu doldurmak üzere geçtiği geçide yolluk adı verilir. Bir kalıp içinde birden çok döküm gözü varsa ana yolluktan her göze besleme kanalları bulunmalıdır. Ana yolluk yeri ve doldurulacak boşluğa göre boyutları çok önemlidir [2].

Kalıba metal basıldığında gözlerde havanın çıkabilmesi için derinlikleri kalıp ve parça tasarımına göre değişen hava cepleri bırakılır. Hava çıkışı parça dışına taşınmadığı takdirde dökümler boşluklu çıkar [2].

Kalıbın yapıldığı malzeme basınçlı döküm tekniğinin ticari başarısını büyük çapta etkiler. Sıvı metal alaşımı kalıp içine basınç altında beslendiğine göre kalıp malzemesi yüksek darbe ve mekanik şoklara dayanabilmelidir. Bu iki karakteristiğin erozyon direnci, düşük ısıl genleşme katsayısı, ısıl işlem esnasında boyutsal kararlılık gibi özelliklerle bir araya gelmesi kalıbın en yüksek kaliteli alaşım çelikten yapılması gerektirir. Kalay, kurşun ve çinko gibi düşük ergime noktalı alaşımlarda ekonomik bir maliyetle uzun kalıp ömrü sağlamak pek büyük bir problem değildir. Fakat

yüksek ergime noktalı alaşımlarda kalıp çeliği en yüksek kalitede olmalı ve rijit şartnamelere göre hazırlanmalıdır [1].

2.4. Hatalı Döküm Tekniklerinin Parça Üzerindeki Etkileri

Dökümün çabuk donması yüksek dayanımlı ve ince daneli bir yapı verir. Kalın kesitlerde bu etki kesitin ortalarına doğru azalır. Şüphesiz soğutma ne kadar çabuk olursa, ön akış oluşumu da o kadar azalacaktır [3].

Öte yandan metalin çabuk soğutulması ince kesitlerin vaktinden önce donmalarına sebep olur. Parçada ani yön değişimleri varsa donma olayı yüksek iç gerilmelere yol açar. İç gerilmeler normal olarak dökümün güçlü kabuğun tarafından kontrol altında tutulurlar. Fakat çok yüksek oldukları takdirde çekme çatlamlarına, parça atölye işlemlerine verildiğinde veya yüksek sıcaklıklarda çalıştırıldığında şekil bozulmasına yol açabilirler. Kısacası iç gerilmeler parça için bir tehlike kaynağıdır. Normalleştirme işlemi iç gerilmeleri azaltmakla beraber mekanik özelliklerde düşmelere de sebep olabilir. İç gerilmelerin şiddeti metalin esneklik modülüne ve çekmedeki hacim değişikliğine de bağlıdır. Bu nedenle eşdeğer şartlar altında alüminyum alaşım dökümlerindeki iç gerilmeler magnezyumdan daha yüksektir [3].

2.4.1. Çekme Boşlukları

Basınçlı dökümlerde yalnız hava boşluklarına değil, yetersiz beslemeden doğan çekme boşluklarına da rastlanır. Örneğin kalıp içindeki metal kütle katılaşmadan kanaldaki metal donarsa çekme dolayısıyla meydana gelen hacim değişimi kanaldan gelecek fazla metalle dengelenemez ve kütlede boşluklar yer alır [2].

2.4.2. Gaz Boşlukları

Basınçlı dökümlerde rastlanan olumsuz olaylardan biri de gaz boşluklarıdır. Çekme boşlukları düzensiz ve pürüzlü oldukları halde gaz boşlukları yuvarlak ve düzgündür. Bunların sebebi sıvı metal içindeki gaz ve buharların döküm esnasında açığa çıkmalarıdır [2].

2.4.3. Tabakalaşma

Basınçlı dökümlerde tabakalaşma bilişimleri farklı iç ve dış metal tabakalarının oluşumudur. Dış tabaka düşük sıcaklıklarda, iç tabaka da yüksek sıcaklıklarda donan bileşenler bakımından zengindir. Tabakalaşmanın şiddeti kesit kalınlığına ve

soğumanın nüfuz derinliğine bağlıdır. Bazı hallerde, özellikle düşük sıcaklık ve düşük enjeksiyon hızlı dökümlerde, primer kristaller katı eriyikten ayrılarak kalıp ağzındaki besleme havuzunda birikirler; böylece kalıp içine akan metalin bileşimi çok farklı olabilir. Bileşim değişiklikleri katılaşma esnasında difüzyonla az veya çok dengelenirler. Fakat difüzyon zaman aldığından hızlı bir katılaşmada dalma yoğunlaşma gradyanları yer alır [2].

2.4.4. Çekme Çatlamaları

Dökümün katılaşması esnasında meydana gelen iç gerilmeler soğumada çekme çatlamalarına sebep olabilirler. Metal maçalarla uzun süre temasta kaldığı takdirde de çatlamalar meydana gelebilir. Maçalar zamanında çekilmezse yavaş yavaş artan çekme gerilmeleri maça çevresindeki metalin o sıcaklıktaki dayanımından yüksek bir değere çıkarlar ve metalde çatlamalar başlar [2].

2.4.5. Gözeneklik

Sıvı metal yüzeyinde oluşan oksit tabakası ve gazlar döküm esnasında metal bünyesine girdikleri takdirde dökümde süngerimsi bir yapı meydana gelir. Metal bünyesindeki gazların açığa çıkmaları, metalin kalıp içinde ve maçalar çevresinde yağ ve greslerle temasa gelmesi de gözenekliğe sebep olur. Gözenekli bir parçanın kullanılması tehlikeli olabileceğinden genellikle hurdaya atılır [2].

2.4.6. Akış Çizgileri

Bazen tam bir ergime ve kaynama için bütün şartlar sağlandığı halde, kalıpta ayrılan akışlar karşılaştıklarında kaynamayacak kadar soğumuş olabilirler. Bu takdirde döküm yüzeyinde ince eğriler görülür. Kalıp sıcaklığı çok düşükse bu çizgiler derindir. Kalıp sıcaklığının artırılmasıyla bu arızanın önüne geçilebilir. Donma çizgileri en çok kurşun esaslı alaşımlarda, en az kalay esaslı alaşımlarda görülürler; genellikle infinitezimal derinliktedirler ve dökümün sürekliliği etkilemezler [2].

Özellikle alüminyum ve bakır gibi yüksek ergime noktalı alaşımlarda kalıp içinde ısıtılıktan meydana gelen kılcal çatlaklar görülebilir [2].

2.4.7. Pullanma

Kalıp dolmadan önce, gelen sıcak metal içinde kısmen soğumuş veya donmuş olan bir metal tabakası ile karşılaştığında dökümün yüzeyine gevşek bağlanan ve kolayca soyulabilen pul pul parçalar meydana gelir. Sıcak metal kalıp duvarı ile soğuk metal

arasına girerek tam kaynamamış ince bir tabaka meydana getirir. Bu olaya pullanma adı verilir [2].

2.5. Kalıbın Isıl İletkenliği

Enjeksiyon hızını etkileyen faktörlerden biride kalıbın ısı iletkenliğidir. Bu faktör ve dökümün büyüklüğü ile ilgili faktörlerin değerlendirilmeleri çok güçtür. Dökülen alaşım ne olursa olsun kalıbın ısı iletkenliği sabittir. Fakat kalıbı yağlamak için kullanılan yağ veya gres ısı iletimini etkileyerek iletkenliği azaldığı veya arttığı için kalıp performansını olumlu yada olumsuz etkileyen bir parametredir [4].

2.6. Kalıbın Yağlanması

Basınçlı döküm tekniğinde en önemli işlerden biri de kalıbın yağlanmasıdır. Yağlama maddesinin en önemli fonksiyonu döküm yüzeyi ile kalıp boşluğunun iç yüzeyi arasında ince bir yağ filmi meydana getirerek ergimiş alaşımın kalıp boşluğu yüzeyini ertitip demir bileşikleri meydana getirmesini önlemektir.. Aksi halde metal alaşımlarının (demir-çinko, demir-alüminyum ve diğerleri) etkisi altında kalıp kısa zamanda bozularak kullanılmaz hale gelebilir. Böyle bir alaşımlama meydana geldiği takdirde döküm parça kalıp içine yapışır, ejektör donanımı serbest çalışamaz ve dökümler bükülebilir. Ayrıca kalıp iç yüzeylerinde yapışma denen birikintiler yer alabilir ve dökümün temizlik işleminden geçirilmesi gerekebilir. Böylece maliyet yükselir [2].

Yağlayıcılar sıkışma ve aşınma olaylarını önlemek için kalıbın hareketli parçalarına da uygulanırlar. Bu parçaların yetersiz yağlanması ile kalıp iç yüzeylerinin yetersiz yağlanması aynı sonuçları verir. Kalıp vaktinden önce bozulur ve kalitesiz döküm verir [2].

2.6.1. İdeal Yağlayıcı

Her döküm alaşımına göre çeşitli yağlayıcılar varsa da bütün alaşımlar için kullanılabilecek evrensel bir yağlayıcı yoktur. Böyle ideal bir yağlayıcıdan beklenen faydalar şunlardır [1];

1. Kalıp boşluğu yüzeyleri ve kalıp hareketli parçaları için aynı etkinlikle kullanabilmelidir,

2. Kalıp yüzeylerinde kolay bozulmayan yapışkan bir tabaka meydana getirmelidir. Bu tabaka yüksek basınçlı sıcak metal alaşımı ile kolay bozulmamalıdır,
3. Belirli bir sürede yağlama ihtiyacı minimum olmalıdır. Yağlamalar arası süreler kısaltıkça üretiminde azalacağı açıktır,
4. Yüzey kaplama özelliği iyi olmalı, çabuk sürülebilmesi ve yüzeyin tüm girinti çıkıntılarını üniform bir kalınlıkla kaplamalıdır,
5. Dökümleri lekelememelidir. Bazı yağlayıcılar yüzey kalitesini bozmakla kalmaz (Bu yüzden mekanik özellikler de bozulabilir.) dökümleri de lekeler. Bu lekenin pahalı temizleme işlemleri ile çıkarılması gerekir. Bazı hallerde lekeler çıkarılmadığı takdirde dökümün hurdaya atılması gerekebilir,
6. Kalıp çeliği ile kimyasal reaksiyona girmemelidir. Yağlı asitler ve gliserinler ihtiva eden sabunlaşabilir bazı yağların yüksek sıcaklıklarda ayrışarak çelik yüzeyleri etkileyen daha aktif asitler (formik ve asetik asit gibi) meydana getirdikleri görülmüştür,
7. Duman, zehirli veya rahatsız edici buharlar vermemeli, cilde zararlı ve operatörün sağlığına tehlikeli olmamalıdır,
8. Katılaşmamalı veya kalıbın girift köşelerinde birikinti meydana getirmemelidir,
9. Ucuz olmalıdır. Kalıp yağlayıcılar bol miktarda kullanıldıklarından bu faktör önemlidir.

Piyasada birçok patentli kalıp yağlayıcı maddeler bulunmakla beraber çoğu genel amaçlı uygulamalara uygun değildir. Silisyumlar, bazı floroorganik bileşikler ve bunları karışımları bulunmaktadır [2].

Molibden disülfidin (MoS) yağlayıcı kaliteleri koloidal grafitte eşit veya daha yüksektir ve döküm lekeleme özelliği daha azdır. Genel bir kalıp yağlayıcısı olarak yüksek özellikleri vardır. Fakat uygun bir taşıyıcı ortam geliştirilmelidir. Bu maddenin en büyük sakıncası sıcak metal alaşımı karşısında bozulma ve yüzeyden ayrılma direncinin çok düşük olmasıdır [2].

Doğal veya sentetik katı mumlar (balmumu, ispermeçet yağı) köşelerde birikinti yaptıklarından kalıp yüzeylerinde doğrudan doğruya kullanılmazlar, fakat

emisyonları oldukça yararlı bulunmuştur. Kaymak kıvamında balmumu emisyonu çinko dökümlerde iyi sonuçlar, özellikle yüksek yüzey kalitesi vermektedir. Bu emisyon dökümü lekelemez ve yüzey parlaklığını bozmaz. Fakat bu emülsiyonlar alüminyum ve diğer yüksek ergime noktalı alaşımlar için uygun değildirler ve hareketli kalıp parçalarında kullanılmazlar [2].

En çok kullanılan kalıp yağlayıcıları çeşitli kalitelerde mineral yağlarıdır. Bu yağlar kalıp çeliğini etkilemezler ve kolay oksitlenmezler. Yüksek ergime noktalı alaşımların dökümleri ve hareketli parçaların yağlanmalarında mineral yağ-grafit veya mineral yağ – koloidal grafit karışımları çok kullanılmıştır. Alüminyum düşük basınçlarda döküldüğü yıllarda kalıp yüzeyine uygulanan mineral yağ- grafit süspansiyonu iyi, yapışkan ve parlak siyah bir yüzey filmi verirdi. Fakat yüksek enjeksiyon basınç ve hızlarına geçildiğinde bu filmin sağlanması ve korunması çok güç olmuştur. Grafit yağ karışımlarının başlıca sakıncaları, bol kullanıldıkları takdirde dökümü lekelemeleridir [2].

2.6.2. Kalıp Yağlama Kuralları

Kalıpların yağlanmasında dikkat edilecek bazı kurallar vardır;

1. Yağlayıcılar genellikle bol kullanılmamalıdır. Kalıba gereğinden fazla yağ sürülmesi yüzey kalitelerini bozar ve dökümde gözeneklik yapabilir. Fakat aşınma ve sıkışmaları önlemek için kalıp yüzeylerine ve hareketli parçalara yeteri kadar yağ sürülmelidir. Kalıba giren ergimiş metal alaşımının yağları ve diğer organik maddeleri ayrıştırdığı unutulmamalıdır. Bu ayrışma ürünü rutubet ve gazlı havalandırma deliklerinden yeteri kadar kaçamayabilir ve dökümle reaksiyona girerek istenmeyen sonuçlar doğurabilir,
2. Kalıplar gazyağı, benzin gibi düşük parlama noktalı maddeler sürülmemelidir,
3. Karbontetraklorür ve diğer klorlu hidrokarbonlar gibi ısı karşısında ayrışarak zehirli ve rahatsız edici gazlar veren maddeler kalıba uygulanmamalıdır,
4. Hayvansal ve bitkisel yağlar kullanılmamalı veya yüksek sıcaklıklardaki davranışları kontrol edildikten sonra sakıncalı bulunmadıkları takdirde kullanılmalıdır,
5. Kalıp yüzeylerinde ve dökümlerde korozyon yapabilecek klorür ve bromür gibi iyonlaşan tuzlar kullanılmamalıdır,

6. Her hangi bir yağlayıcı kullanılmadan önce mutlaka laboratuvar testlerinden geçirilerek yüksek sıcaklıklarda cilalı çelik yüzeylere etkileri araştırılmalı ve diğer şartlara karşı kararlılıkları incelenmelidir [1].

2.7. Basınçlı Döküm Alaşımları

Bazı uygulamalar için yeterli olan basınçlı döküm alaşımları diğer uygulamalar için tamamıyla yetersiz olabilir. Örneğin bir otomobil kapı kolu alaşımı daha çok düşük maliyet, hızlı, döküm, yüksek yüzey kalitesi ve kaplama gibi özellikleri yönünden seçildiği halde bir dişli kutusu dökümü sadece dayanım yönünden seçilebilir ve diğer bütün faktörler ikinci derecede kalır [5].

Basınçlı döküm prosesinin ilk problemi en yüksek kaliteli parçayı verecek en ekonomik döküm alaşımı bulmaktır. Bu amaçla aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır;

1. Dayanım, sertlik gibi mekanik özellikler,
2. Isıl işlemlerin özellikle etkileri ve boyutsal kararlılık,
3. Alaşımın basınçlı döküm metoduna uygunluğu, dökülebilirliği, akıcılığı,
4. Düşük ve yüksek sıcaklıklardaki dayanım,
5. İşlenebilme özellikleri,
6. Cilalama, parlatma, kaplanma, boyanma ve diğer yüzey bitirme işleme uygunluğu,
7. Korozyon direnci,
8. Ağırlığı ve maliyeti [5].

2.7.1. Alüminyum Esaslı Alaşımlar

Alüminyumun bir basınçlı döküm alaşımı olarak kullanılmasını sağlayan başlıca özellik hafifliğidir. Basınçlı dökümde önemli olan diğer özellikler şunlardır;

1. Yüzey parlaklığının uzun süre bozulmaması,
2. Mükemmel korozyon direnci,
3. Boyutsal kararlılık,

4. Normalaltı sıcaklıklarda özelliklerin bozulmaması,
5. Isı ve elektrik iletkenliklerinin yüksek olması,
6. Bir malzemenin parlatma kabul etmesi ve parlaklığını uzun süre koruması çok önemlidir. Ev araçlarında bu özellikten yararlanarak çok estetik ve çok ucuz parçalar yapılır. %4–10 magnezyumlu alüminyum alaşımları daha beyaz ve parlak olabildiklerinden diğer alüminyum alaşımlarına göre açık bir üstünlükleri vardır [5].

Alüminyum alaşımlarının dökülmüş haldeki korozyon dirençleri mükemmeldir. Koroziye ortamlara karşı direnci arttırmak için anotlaştırma tekniğine başvurulur ve böylece tuzlu atmosferlere karşı bile korozyon direnci sağlanabilir. Burada da alüminyum – magnezyum alaşımları estetik yönden diğer alaşımlardan üstündür [6].

Alüminyum havada ince, koruyucu bir oksit tabakası meydana getirir. Bir çok uygulamalarda bu film alüminyumun korunması için yeterlidir ve başka bir yüzey koruma işlemi gerekmez. Fakat bu filmi bozacak veya kaldıracak hizmet şartlarına karşı koruyucu bir yüzey sağlamak gerekir [6].

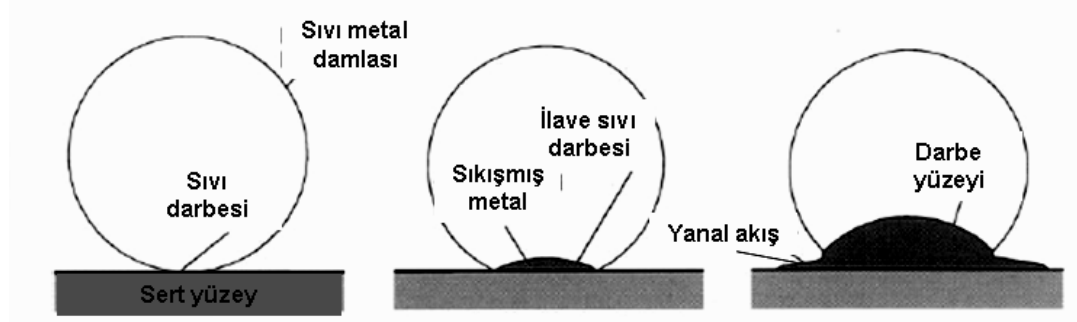
2.8. Kalıp Aşınma Mekanizmaları

Yüksek basınçlarda yapılan enjeksiyon dökümde yüksek metal akış hızlarından dolayı standart döküm yöntemlerinden farklı aşınma mekanizmaları mevcuttur. Aşağıda belirtilen şekillerde erozyon aşınmaları söz konusudur;

2.8.1. Sıvı Metal Erozyonu

Bu tip erozyon oluşumu yüksek akışkanlıktaki sıvı ile yapılan dökümden kaynaklanmaktadır. Sıvı metal kalıbı doldururken kalıp malzemesinde erozyona sebebiyet verir [7].

Yapılan araştırmalar sadece döküm esnasında değil katışlaşma esnasında da bu tip aşınmanın olduğunu göstermiş olup bu mekanizma iki aşamalı olarak gerçekleşmektedir (Şekil 2.6) [7].



Şekil 2.6 Sıvı damlasının yüzeye çarpması sonrası gelişim [7]

Öncelikle sıvı metal yüksek basınçlarla kalıp yüzeyine çarpar ve yağmur damlasının gösterdiği etki gibi yüzeyde plastik bir deformasyona sebebiyet verir. Daha sonrasında öncelikli olarak yüzeyde katılaştıran metal malzeme üzerinden mevcut sıvı malzeme kalıp yüzeyine paralel olarak yüksek hızlarla akar ve dolayısıyla kalıp yüzeyine yırtma yönünde bir etki yapar. Yani gerçekte akışkan metalin yüksek hızlarda olması yırtma etkisini hızlandırır fakat bu durum kalıp tasarımındaki metal akış şeklinin belirlenmesi ile de doğru orantılıdır. Fakat bu mekanizma bir yada birkaç baskı sonrası değil belli bir baskı süreci sonrasında yaşanır [7].

2.8.2. Katı Partikül Erozyonu

Bu tip erozyon oluşumu hızlı olarak ilerleyen sıvı metal içerisindeki katı malzemelerin kalıp yüzeyine çarpması ile oluşan bir mekanik aşınmadır. Sıvı metal içerisindeki çözünmemiş parçacıklar, erken katılaşmış döküm malzemesi partikülleri bu duruma sebebiyet verir. Özellikle alüminyum malzemenin enjeksiyonla dökümünde çözünmemiş silisyum partikülleri 200 HV ye varan sertliğinden dolayı bu tip aşınmaya neden olur. Çünkü %9,5 altında silisyum içeren alüminyum alaşımlarında ötektik altında katılaşma olduğundan düşük sıcaklıklarda yapılan dökümlerde çözünmemiş silisyum oluşum riski yüksektir [7].

Enjeksiyon dökümde sıvı metalin yüksek hızlarla kalıbın içerisine verilmesi döküm parçası kalitesi açısından iyi gibi gözükse de bu tip erozyon aşınmasının oluşumu açısından olumsuz etki yaratmaktadır. Bu nedenle döküm parametreleri ve kalıp yolluk dizaynının optimum değerlerinin yakalanması gerekmektedir [7].

2.8.3. Oyuklanma Erozyonu

Oyuklanma erozyonu kalıp içerisindeki hızlı basınç değişimleri ile meydana gelir. Hızlı farklılık gösteren basınç değişim bölgelerinde kalıp deforme olur. Özellikle bu

tip hatanın oluşum riskini taşıyan kalıplar çok gözlü kalıplar olup uygun göz yerleşimi ve yolluk dizaynı ile döküm parametrelerinin sağlanması gerekmektedir [7].

2.8.4. Termal Yorulma

Basınçlı döküm kalıpları sürekli olarak ısıtma ve soğuma ile karşılaşmaktadırlar. Bu ısı çevrim, ergimiş alüminyumun kalıp ile temas ettiği yüzeylerde, termal yorulma olarak adlandırılan, kalıbın yüzeyinde kılcal çatlaklarla başlayan ve zaman içinde kalıbın tamamen hasara uğramasına neden olabilecek bir hataya başlangıç oluşturur. Malzemenin genleşme ve daralmasına izin vermeden, sürekli ısıtılması ve soğutulmasından sonra oluşan çatlaklar ve bunun sonucunda kırılma termal yorulmaya bağlanır [8].

Basınçlı dökümde termal yorulma en önemli hasar mekanizmalarından biridir. Kalıp yüzeyindeki sıcaklık değişimi, ergimiş alüminyum ile temas (750°C) ve yağlayıcı sıvının püskürtülmesi (20°C) ile oluşmaktadır. Malzeme üzerinde oluşan bu gerilmeler, kalıp ömründe son derece belirleyici bir rol oynamaktadırlar. Bu gerilmeler sonucu oluşan ısı çatlaklar, genelde keskin kenarlarda veya geçiş bölgelerinde oluşurlar ve yüzey görünümünde belirgin olumsuzluklar sergileyen büyük çatlaklar oluşana kadar yayılırlar. Bazı durumlarda, bu çatlakların oluşması sonucunda, dökülen parçaların kalıptan çıkarılması imkânsızlaşabilir. Termal çatlaklar, görünüşlerine göre sıcak yorulma (ısı çatlaklar) ve gerilme çatlakları (büyük çatlaklar) diye sınıflandırılabilir. Isıl çatlaklar, üst yüzey tabakada görülen net şekilli çatlaklardır. Gerilme çatlakları ise, genelde, kalıp konfigürasyonuna bağlı olarak, gerilim dağılımının sonucu olarak görülürler. Genellikle termal yorulma çatlakları, birkaç bin çevrimden sonra veya düşük çevrimi yorulma rejimlerinde ortaya çıkmaktadırlar. Bunun dışında, büyük çatlaklar, termal sok veya mekanik yüklenmeye bağlı olarak, kalıp hasarlarında başı çekmektedirler [8].

2.8.5. Sıcak Yorulma Çatlakları (Isıl Çatlaklar)

Metal enjeksiyonda en belirgin hasar mekanizması termal yorulmadır ve kalıpların birçoğunun ömrünün esas belirleyeni olarak göze çarpmaktadır. Bu çatlaklar, kalıp girintilerinde yavaş yavaş oluşan ince çatlaklar topluluğu sonucunda oluşan ısı çatlamlarıdır. Kalıbın tekrar eden ısıtma ve soğutma rejimi, yüzey ile kalıp içerisindeki sıcaklık farklılıklarına bağlı, yüzey bozunmalarına sebep olan ısısal

döngülere neden olur. Sıcaklık değişimi kalıptan kalıba, kalıp döküm metaline, kalıp boyutlarına, kalıp geometrisine ve döküm parametrelerine bağlı olarak değişir. Isıl döngüler yüzeyde ısıl gerilimlerin oluşmasına neden olurlar. Çevrim ısısında kalıp çekirdeğinin etrafındaki kısım sıcaklıktan etkilendiği için genleşmez. Döküm alaşımlarının her enjeksiyonun da ise kalıp çekirdeği genleşmeye çalışır, fakat genleşmez ve bu durum basma gerilmeleri oluşturur [9].

Kalıp yüzeyinin sıcaklığı, kalıbın ön ısıtılması ve metalin taşıdığı ısının toplamından oluşmaktadır. Bu nedenle kalıbın ön ısıtılması ve enjeksiyon devam ettiği sürece de kontrollü olarak soğutulması çok önemlidir. Kalıp ısıtmanın uygun yöntemle ve homojen olarak yapılması, gerek kalıp ömrünün uzatılması, gerekse soğutma ile termal yorulma olayının kontrol altına alınması açısından gereklidir. Ön ısıtma sıcaklığı alüminyumun basınçlı dökümünde en az 180° C olmalıdır. Kalıbın yüzey sıcaklığı ısıl yorulma sırasında çok önemlidir. 600 °C'ye kadar ısıl genleşme ve gerilmeler normal sıcak is çelikleri için normal kabul edilirken, daha yüksek sıcaklıklarda ısıl yorulma riski artar. Kalıp yüzeyinin sıcaklığı genelde, ön ısıtma, döküm metal sıcaklığı, döküm ürün tasarımı, kalıp şekli ve kalıbın termal özelliklerine bağlıdır. Döküm sırasında kalıbı en yüksek sıcaklıkta uzun zaman tutma, yani "overtempering" de sünme riskini artırır. Bu da mekanik ve termal yüklenmelere daha az dayanım demektir. Hızlı soğutma ise daha büyük gerilmelere ve çatlakların beklenenden önce başlamasına yol açar. Dolayısıyla kalıp ömrünün düşmesi kaçınılmazdır [9].

Genel olarak yüksek termal yorulmaya dayanıklı malzemeler; düşük termal genleşme katsayısı, düşük poisson oranı ve yüksek elastik modüle sahip olmalıdırlar. Oksidasyon direnci ve basma dayanımı da termal yorulma direncinin artmasına yardımcı olurlar. Uzun kalıp ömrü elde edebilmek için. malzemenin mümkün olduğu kadar sünek olması, iyi bir tavlama direncine, iyi bir ısı iletkenliğe, yüksek sıcak akma mukavemetine ve düşük termal genleşmeye sahip olması gerekmektedir [8].

Bir kalıp malzemesinin sıcak yorulma çatlaklarını direnç potansiyelini arttırmanın yolları aşağıdaki gibi sıralanabilir [9];

- Plastik deformasyon direnci, yüksek akma mukavemeti ve yüksek temperleme direnci ile arttırılabilir,

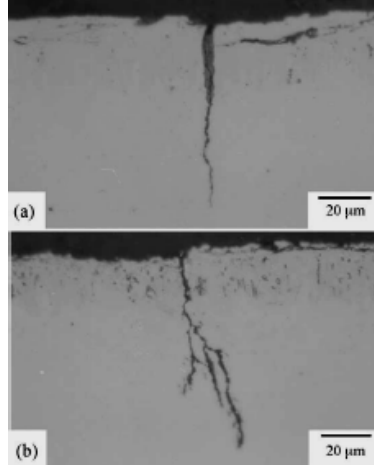
- Tipik baskı çevrimi sırasında genleşme ve çekmenin en aza indirilebilir (Bunun için yüksek ısı iletkenliğe ve düşük ısı genleşme katsayısına sahip malzeme kullanılmalıdır),
- Çatlamanın gerilmeyi emmesi için malzeme yüksek sünekliğe sahip olmalıdır.

Kalıp malzemesinin, sıcak akma mukavemeti, temperleme direnci, ısı iletkenlik, ısı genleşme, süneklik ve tokluğu gibi özellikleri büyük oranda bileşimine bağlıdır. Çeliğin Üretim prosesi de yüksek seviyede süneklik ve tokluk açısından önem taşımaktadır. Metal dışı inklüzyonlar, birinci] karbürler, iri ikincil karbürlerin ağ veya damar oluşturması ve segregasyonu azaltılmaya çalışılmalıdır [9].

2.8.6. Büyük Çatlaklar

Büyük çatlaklar sonucunda, kalıplar çalışma süresinden bağımsız olarak aniden kırılmaktadırlar. Büyük çatlaklar gerilme şartları altında, kalıp yüzeyinde gerilme konsantrasyonlarında, gevrek çatlamanın kararsız gelişmesini içerirler. Büyük çatlakların temel nedeni, döküm işlemleri sırasında aşırı termal ve mekanik yüklenmelerdir (Şekil 2.7) [9].

Bir kalıp malzemesinin büyük çatlaklara iyi direnç gösterebilmesi için yüksek seviyede tokluğa sahip olması gerekmektedir. Büyük çatlaklara direncin artırılmasının bir yolu da düşük çalışma sertliğidir. Bununla beraber, yüksek akma mukavemeti ısı çatlaklara, çökme ve aşınmaya direnç açısından faydalıdır. Belirgin yoğunlaşma, birincil kalıp çeliğinin geliştirilmesi, geliştirilmiş kalıp çeliği özellikleri ile mikro yapısal tokluğun artırılması üzerinedir. Yüksek seviyede mikro yapısal tokluğun elde edilmesi çok kritik bir işlemdir; bu da ısı işlem prosesi ile sağlanabilir. Büyük tane boyutu, tane sınırlarında karbür çökmesi, perlit oluşumu ve beynit oluşumu, tokluk ile ilgili en zararlı ısı işlem ürünleridir. Değindiği üzere, kalıp çeliğinin termal yorulma çatlakları ve büyük çatlaklara direncini arttırmada ısı işlem çok kritiktir. Kalıp performansını optimize etmek için, ısı işlemde sertleştirme sıcaklığı, tutma süresi ve en önemlisi su verme hızı dikkatli seçilmelidir [9].



Şekil 2.7 Kalıp yüzeyinde oluşan termal çatlaklar [8]

2.9. Kalıp Ömrünü Arttırmanın Yolları

Kalıpların bakımı; dökümün yüzey kalitesi veya ölçülerinin fazla önemli olmadığı durumlarda kaynak veya zımpara ile yapılabilir. Fakat bilindiği gibi kalıp maliyeti, basınçlı dökümün üretim maliyetleri içerisinde çok büyük bir bölümü kapsadığından, döküm ömrünü optimize etmek için pek çok yaklaşım önerilebilir. Genelde döküm ömrü; döküm tasarımındaki geometrik faktörlere (gerilmeler ve ısısal ölçü değişiklikleri), döküm malzemesi özelliklerine (islenebilirliği, ısıl işlemi, tokluğu, aşınma ve sıcak yorulma dirençleri), proses şartlarına (ön ısıtma, ısıtma – soğutma çevrimleri, pres kapama kuvveti, yağlayıcılar, servis süreleri, vs.) ve kalıp yüzeyi özelliklerine bağlıdır [9].

Uygun yüzey İşlemler ile kalıp ve takım ömrü ve performansı arttırılabilir. Termomekanik işlemler ve elektrokimyasal yöntemlerle biriktirilmiş kaplamaların yanında, sert seramik ince film kaplamalar da çelik yüzeyini döküm alaşımının kimyasal etkisine karşı koruyabilmekte ve termal çatlakların' oluşumunu ve yayılmasını önlemektedirler. Nitrürleme gibi yüzey işlemleri, basınçlı döküm kalıplarına aşınma direncini ve sıcak yorulma direncini arttırmak için uygulanmaktadırlar [9].

Son yıllarda ise, yeni bir gelişme olan sert seramik kaplamaların uygulanması yaygınlaşmaktadır. Nitrür ve karbür esaslı sert seramik kaplamalar, kalıp çeliğini döküm metalinin yapışması, erozyonu ve korozyonundan korumakta ve kalıbın ısısal çatlama karşı direncini arttırmaktadırlar. PVD yöntemi ile yapılan kaplamalar ile sağlanan yararlar şöyle sıralanabilir; kalıp ömrünün artması, kalıptan parça alınırken

kalıba daha az zarar verilmesi, kalıbın daha az sıklıkta temizlenmesi ve kalıp yağlayıcıların daha az kullanılması.

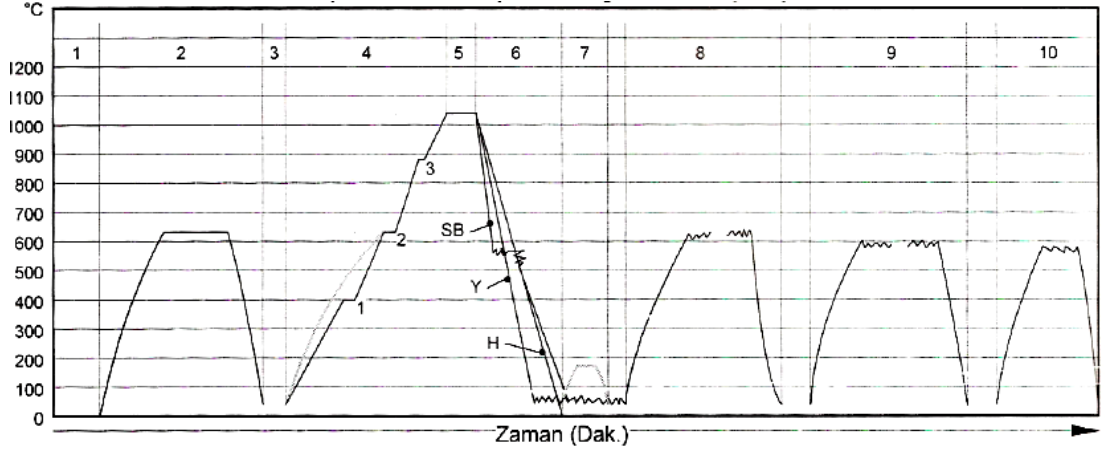
2.10. Kalıp Malzemeleri Sıcak İş Takım Çelikleri

Kalıp imalatı yapılması öngörülen ve uygun malzemeden seçilmiş sıcak iş takım çeliği aşağıda belirtilen aşamalardan geçer (Şekil 2.8) [10];

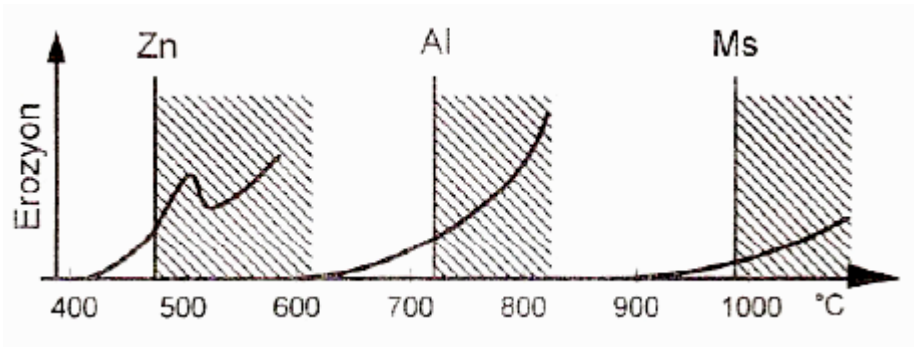
1. Kaba talaş işlemi yapılmış iş parçası,
2. Isıl işlem sonucu deformasyon ve çatlama riskini azaltmak için gerilim alma tavlı. 600 – 650 °C de iki saat tutulur, fırında soğutulur,
3. Son talaş işlemi yapılır (taşlama payına kadar),
4. Sertleştirme işlemi için ön ısıtma kademesi: 1.kademe 400 – 450 °C veya 600 – 650 °C olabilir. 2. kademe 600 – 650 °C veya 800 – 850 °C olabilir. Profilli ve çok farklı kesitli parçaları 3 kademe ön ısıtmak daha iyidir ilk kademede sıcaklık yükselmesinin çok yavaş olması önerilir. Her kademe, parça kesitinin, öngörülen sıcaklığa çıkmasına kadar bekletilir,
5. Sertleştirme sıcaklığı: Sertleştirilen çeliğin türüne göre verilen sıcaklığa yükseltilir. Ancak takımdan beklenen özelliklerin sağlanabilmesi için, sertleştirme sıcaklığının üst, orta veya alt sınırı seçilebilir. Tutma süresi, parça kesitinin homojen ısınmasından sonra, Katalogda belirtilen sürelerde tutulur. Kural olarak alt sınırdan sertleştirilecek parça verilen zamandan daha uzun, üst sınırdan ise daha kısa tutulur,
6. Soğutma: Sıcak tuz banyosu (SB) 180 – 220 veya 500 – 550 °C, yağ (Y), basınçlı hava (H) veya diğer soğutucu gazlar. Soğutma süratli olacak fakat hiç bir zaman 60 – 80 °C 'nin altına inmemelidir, soğutulan parça hemen menevişe konulmayacaksa, 120 – 150 °C lik bir ortamda bekletilmelidir. Bu işleme "dengeleme" denmektedir. iç gerilimlerin oluşmasını önler, çatlama riskini azaltır,
7. Birinci meneviş: Öngörülen çalışma sertliğine göre meneviş diyagramından seçilir. Süresi, tüm kesit ısındıktan sonra en az iki saattir. Menevişten sonra sakın ortamda soğutulur ve sertlik kontrolü yapılır. Bulunacak sertliğe göre 2. meneviş seçilir. Kural olarak 2. meneviş 1. den 10 – 20 °C düşük seçilir.

Meneviş süresi 2 – 10 saat olabilir Düşük derecede uzun meneviş, yüksek sıcaklıkta kısa süre yapılan menevişten daha iyi sonuç verir,

8. Meneviş işlemi sonunda sertlik kontrolü yapılır, gerekiyorsa nitrürleme veya oksitleme işlemi yapılır [10].



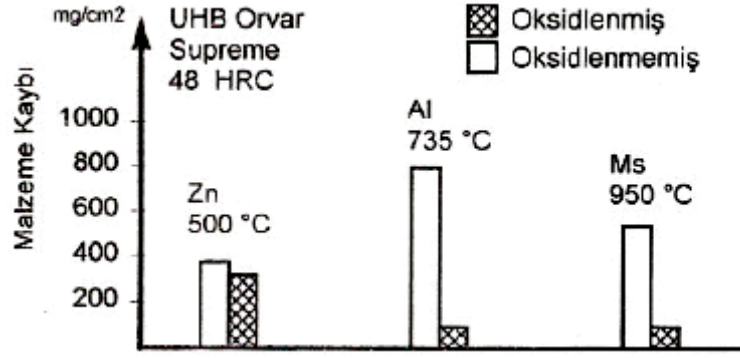
Şekil 2.8 Sıcak iş takım çeliği sertleştirme ve meneviş diyagramı [10]



Şekil 2.9 Malzeme cinsine göre Sıcaklık – Erozyon oluşum diyagramı [10]

Sıcak iş takım çeliğinin meneviş şartları Şekil 2.8 de belirtildiği gibi 550 °C lar seviyesinde olduğundan çinko, alüminyum ve pirinç gibi malzemelerin basınçlı veya basınçsız dökümlerinde sıcaklığın, Şekil 2.9 da görünen taranmış alanlara girilmemesine dikkat edilmelidir. Dökülecek malzemenin sıcaklığı arttıkça, kalıbın belli bölgelerinde de erozyon süratle artar, kalıbın ömrü azalır [10].

Basınçlı veya basınçsız dökümlerde ait kalıplar 500 – 550 °C de buharla oksitlenirse, yüzeyden birim karede malzeme kaybı Şekil 2.10 da görüldüğü gibi çok azalır. Önce kumla dövmek daha da iyi sonuç verir. Nitrasyon, TiN, TiCN ana kalıp için önerilmez. Son araştırmalar krom nitrürün (CrN) iyi sonuç verdiği deneyler sonucu kanıtlanmıştır. Her sıcak iş çeliğini buharla oksitleyerek kullanmak, hem ucuz hem de çok faydalıdır [10].



Şekil 2.10 Oksitlenmiş - Oksitlenmemiş kalıpta malzeme kaybı karşılaştırması [10]

3. FİZİKSEL BUHAR BİRİKTİRME (PVD)

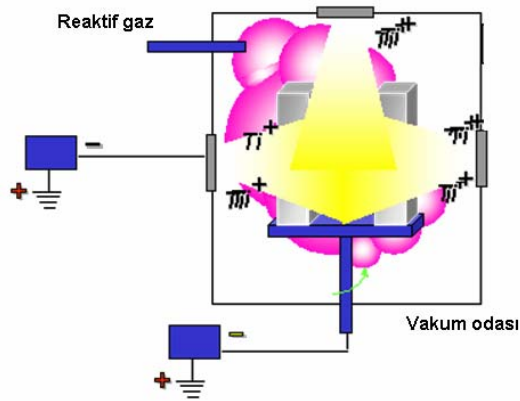
PVD teknikleri, katı bir kaynağın vakum altında buharlaştırılması veya atomal hale dönüştürülmesi ve taban malzemenin üzerine biriktirilmesi ile gerçekleştirilir. PVD'nin temelleri 100 yıl önceden bilinmesine, ilk PVD tekniği ile patent'in 50 yıl önce alınmasına karşın, tribolojik amaçlı seramik kaplamaların bu teknikler ile üretilmeye başlanması ancak son 5-10 yılda yaygınlaşmaya başlamıştır. PVD teknikleri, yüksek güç elektrik ve elektroniğinde, vakum teknolojilerinde PVD sistemlerinde kullanılabilecek yeterli ve ekonomik düzeyde gelişmesi ile paralel olarak gelişmiş ve yaygınlaşmıştır. Bu arada PVD tekniklerinin yaygınlaşmasını ivmelendiren en önemli teknolojik gelişme plazma destekli (iyon kaplama) ve reaktif PVD türlerinin geliştirilmesi olmuştur. Plazma destekli PVD tekniklerinin gelişimi ile

- o kaplanacak parçaların ısıtma sırasında sıçratma (sputtering) mekanizması ile temizlenmesi
- o kaplanacak malzemenin kaplanacak yüzeye difüzyonu
- o daha yoğun bir kaplama yapısı
- o düşük sıcaklıklarda bile iyi bir kaplama yapısı ve buna bağlı olarak gelişen özellikler
- o parçaların ilave bir ısıtıcı kaynak ile ısıtılmasına gerek duyulmaması
- o yüksek birikme hızları

sağlanabilmiş dolayısıyla aşınma ve sürtünme uygulamaları için çok uygun özellikte (yüzeye çok iyi yapışan yüksek sertlikte, yoğun) seramik kaplamalar üretilebilmiştir. PVD tekniklerini kullanarak CVD'den farklı olarak çok daha düşük sıcaklıklarda (hatta oda sıcaklığında) seramik kaplama yapabilme olanağı vardır. Bu nedenle yüksek hız çeliğinden mamul takımların kapanmasında PVD teknikleri kullanılmaktadır [11].

PVD teknikleri buharlaştırmaya ve sıçratmaya dayalı olmak üzere iki temel grup altında toplanabilir.

Bu teknikler aracılığı ile üretilen metal buharının iyonize edilerek taban malzemeye uygulanan negatif potansiyel aracılığı (Bias voltajı) hızlandırılması ile yöntemler plazma destekli (iyon kaplama) haline, bu arada ortama reaktif gaz (azot, oksijen, asetilen gibi) verilmesi ile de reaktif kaplama haline dönüştürülebilir. Metal buharının iyonizasyonu ya sisteme şerare etkisi yaratılarak veya yoğun elektron varlığında buharlaşma ve iyonizasyonunda bir arada gerçekleşmesi ile (Ark PVD ve Oyuk katot elektron demeti ile ergitmede olduğu gibi) sağlanabilir [12].



Şekil 3.1 Ark PVD sistemi

PVD teknikleri kullanılarak seramik nitelikli sert aşınmaya dayanıklı nitürler (TiN, Crn, ZrN, TiAlN), Karbonitrürler (TiCN gibi), oksitler (Al_2O_3 gibi), borürler (ZrB, TiB_2 gibi). KARBÜRLER (TiC gibi) elmas benzeri karbon kaplamalar, sürtünme özelliğini geliştirmeye yönelik MoS_2 , hidrojenli elmas benzeri karbon kaplamalar üretilebilmektedir [12].

Metalurjik amaçlı seramik kaplamaların teknolojik olarak üretilmesinde yaygın olarak kullanılan üç PVD tekniği vardır. Bunlar;

- o Elektron demeti ile ergitmeye dayalı teknikler
- o Sıçratmaya dayalı teknikler
- o Ark PVD teknikleridir.

Kaplanacak malzemenin vakum ortamında direnç aracılığı veya endüktif yöntemle ısıtılıp buharlaştırılmasına dayalı teknikler ise daha çok optik ve dekoratif amaçlı olarak kullanılmaktadır [12].

3.1. PVD Teknikleri

3.1.1. Elektron Demeti ile Ergitmeye Dayalı Teknikler

Elektron demeti kullanılarak kaplanacak malzemeyi vakum ortamında ergitip buharlaştırmaya dayanan tekniklerin, sıçratmaya dayalı ve Ark PVD tekniklerine oranla sert seramik katmanların üretiminde kullanımı daha azdır [13].

Elektron demeti ile ergitmenin en büyük avantajı kaplanacak malzemenin ergime sıcaklığı ne olursa olsun ergitip-buharlaştırabilme yeteneğine sahip olmasıdır. Ergitme işleminde, filamanlı ve oyuk katotlu olmak üzere iki tür elektron tabancası kullanılabilir. Filamanlı elektron tabancası kullanılması halinde metal buharın iyonizasyonu için ilave bir şerare etkisi oluşturabilecek kaynağa gerek vardır. Oyuk katotlu tabancada ise iyonizasyonu buharlaşma ile birlikte meydana gelir [13].

3.1.2. Sıçratmaya Dayalı Teknikler

Sıçratma (sputtering); katı maddenin yüzeyinin yüksek enerjili iyonlarla bombardımanı sonucu meydana gelen momentum transferi aracılığı ile atomların yüzeyden sıçratılması esasına dayanır. Sıçratma amacı ile genellikle asal gaz (Ar) iyonları kullanılır. Reaktif kaplama için ise sisteme asal gaz yanında reaktif gaz da (azot, asitelin gibi) beslenir. Sıçratmaya dayalı tekniklerde, sıçratma işlemi diod, triod düzeni ve manyetik alan sistemleri altında yapılabilir ve her türlü hedef malzeme simetrisi bozulmadan sıçratılabilir [13].

Sıçratma teknikleri içerisinde seramik kaplama için en yaygın olarak kullanılan teknik manyetik alanda sıçratmadır (magnetron sputtering). Bu yöntemle yüzeyden sıçratılan atomların iyonizasyonu olasılıkları ve enerjileri arttırılarak hem daha hızlı

kaplama yapmak hem de kaplamanın kalitesini geliştirmek mümkün olabilmektedir. Kullanılan güç kaynağının radyo frekansı (RF) veya darbeli (pulse) olması halinde yalıtkan kaplamaların(Al_2O_3 , AlN gibi) yapılabilmesi de mümkündür [13].

Manyetik alanda sıçratma tekniğindeki en son gelişmeler, kapalı döngü, dengesiz manyetik alanda sıçratma (unbalanced close loop magnetron sputtering) ve darbeli-çift yönlü (bi-polar pulse) frekansı ayarlanabilir güç kaynakları kullanımıdır. Bu gelişmelerin temel amaçları, iyonizasyon verimini ve kaplama hızını arttırabilmek ve yalıtkan özellikteki kaplamaları yeterli hızda kaplayabilmektedir [13].

3.1.3. Ark Fiziksel Buhar Biriktirme Tekniği

Ark PVD malzemenin vakum altında ark etkisi ile buharlaştırılması esasına dayanır. Bu teknik PVD teknikleri içerisinde geçmişi en kısa olan, ancak kullanımı hızla yaygınlaşmakta olan kaplama tekniğidir. Ark PVD ilk olarak 1970’li yıllarda Rusya’da geliştirilmiş, 70’li yılların sonunda patent haklarının ABD kaynaklı bir firmaya devredilmesi ile batı dünyasında tanınmaya başlamıştır. Tekniğin en önemli avantajı ark etkisi altında buharlaşan malzemenin oluşan elektriksel alan içerisinde hemen, yüksek oranda ve yüksek enerjili olarak iyonlaşmasıdır (şekil 3.1). Tekniğin bir diğer avantajı ise kaplanacak malzemenin yüksek enerjili metal iyonları ile bombardımanı sonucu yüzeyin çok iyi temizlenmesi, ara yüzeyde çok ince de olsa bir yayınma katmanının meydana gelmesidir. Bu da daha sonraları yapılan seramik kaplamanın yüzeye çok iyi yapışmasını sağlar. Tekniğin dezavantajı ise arkla buharlaştırma sırasında oluşan metal damlacıklarının kaplanacak yüzeye yapışarak yüzey pürüzlülüğünü arttırmalarıdır [12].

Ark PVD tekniğindeki en son gelişmeler, damlacık azaltılmasına yönelik szmeli katot ve manyeti odaklamalı katot kullanımı, lazer ark, bi-polar darbeli Bias güç kaynağı kullanarak yalıtkan kaplama yapabilme olanaklarının araştırılması şeklinde özetlenebilir [12].

3.2. PVD Tekniği ile Yapılan Seramik Kaplamalar ve Gelişmeler

PVD teknikleri ve enjeksiyon döküm kalıpların sert seramik filmlerle kaplanması son zamanlarda gelişen bir uygulamadır.

Kesici takımların sert seramik katmanlar ile kaplanmasında en yaygın kullanılan teknikler, Manyetik Alanda Sıçratma (Magnetron Sputtering) ve Ark Fiziksel Buhar Biriktirme (Arc PVD) teknikleridir. Bu tekniklerin her ikisi de uygulamada belirli avantaj ve dezavantajlara sahip ise de, her iki teknik kullanılarak da (doğru ve iyi uygulandıklarında) optimum özelliklere sahip sert seramik kaplama üretilebilmektedir [12].

İki yöntemin birbirinden temel farkları Ark PVD tekniğinde iyonizasyon oranını daha yüksek, kaplamanın taban malzemeye yapışmasının daha iyi olması, manyetik alanda sıçratma tekniği ile yapılan kaplamalarda ise yüzey kalitesinin daha iyi olmasıdır [12].

Bugün ticari olarak fiziksel buhar biriktirme yöntemi kullanılarak TiN, TiAlN, TiCN, CrN, WC-C, ZrN gibi sert seramik kaplamalar üretilebilmektedir. Sonbir iki yılda bu kaplamaların içerisine elmas benzeri karbon kaplamalarda girmeye başlamıştır. Yaygın kullanılan bazı sert seramik kaplamaların özellikleri Tablo 3.1’de özetlenmiştir [12].

Tablo 3.1 Yaygın Kullanılan Bazı Sert Seramik Katmanların Özellikleri [12]

	TiN	TiAlN	TiCN	CrN
Sertlik (Hv 0.05)	2200-3000	3000-3500	3000-3500	2000-2500
Sürtünme katsayısı (Çeliğe karşı)	0.4	0.3	0.1	0.5
Isıl iletkenliği (W/Mk)	30	22	43	-
Oksidasyon Sıcaklığı (°C)	600	800	-	700
Avantajları	En ucuz	Zor kesme Şartlarında başarılı	Darbe direnci çok iyi frezeleme işlemleri için uygun	Şekil verme kalıplarında başarılı

Sert seramik kaplamalar, üzerinde hem bilimsel hem de teknolojik olarak yoğun ilginin odaklandığı konulardan birisidir. Bu kaplamaların geliştirilmesine yönelik hedefler, daha sert ve tok, sürtünme ve aşınma özelliklerini daha iyi, işlenmesi ve şekillenmesi zor malzemeleri işleyebilecek ve şekillendirebilecek özellikte, kesme işlemi sırasında kesme sıvısı kullanımı gerektirmeyecek kaplamalar üretilmesi olarak özetlenebilir. Bu amaçlara yönelik olarak; yeni tür sert seramik kaplamaların geliştirilmesi (TiNBN, TiBN, ZrB, ZrBN, MoN, TiCrN, HfN, AlN, Al₂O₃, TiAlBN,

elmas benzeri karbon (DLC), elmas, varolan kaplama türlerini kullanarak çok katlı kaplama uygulamalarının yapılması (TiN-TiAlN, TiAlN-AlN, süper latis kaplamalar, vb) ve sert kaplamanın üzerine sürtünme özelliklerini geliştirici katman kaplanması (MoS₂ gibi) konularında çalışmalar sürdürülmektedir [13].

Seramik kaplamaların birçoğunun korozyon dirençleri oldukça iyidir. Bu özellikleri nedeni ile korozyondan koruma amacı ile de kullanılabileceği düşünülmektedir. Ancak bu kaplamaların gözenekli olmaları korozyondan korunma amaçlı olarak kullanımlarını sınırlamaktadır. Bu kaplamaların gözenekliliğini azaltmak amacı ile çok katlı kaplama uygulamalarına gitmek, amorf yapılı kaplamalar (elmas, benzeri karbon ve borürler gibi) üzerinde çalışmaların sürdürüldüğü konulardır [13].

Çok düşük sürtünme katsayısına sahip ve sert olmaları. Kimyasal ortamlara yüksek direnç göstermeleri nedeni ile elmas benzeri karbon (EBK) kaplı malzemelerin biyomedikal uygulamalar için potansiyel oldukça yüksektir. Halen kalça protezlerinin kaplanmasında yaygın olmasa da kullanım alanı bulunmuştur. Bunun dışında TiN takımların ortopedik ameliyat araçlarında kullanılması, diş implantlarının TiN kaplaması şeklinde uygulamalara da rastlanmaktadır [13].

Ultra sert kaplamaların (elmasa yakın sertlikte hidrojeniz EBK, CxKy c-BN gibi) PVD teknikleri ile üretimine ilişkin çalışmalar yoğun olarak sürdürülmektedir [13].

Seramik kaplamalar çekici renkleri, yüksek aşınma dirençleri nedeni ile dekoratif kaplama amaçlı uygulama alanı bulmaktadır. Örneğin, altın rengindeki TiN kaplama saatlerde, gözlük çerçeveleri vb.

3.3. CrN (Krom Nitrür) Kaplama

Özellikle aşınma etkileri altında çalışan, kağıt, tekstil, plastik ve metal enjeksiyon endüstrisinde olduğu gibi aşındırıcı etkiler mevcut ise kaplama kalınlığı önem kazanır. TiN kaplamaların kalınlığı 5 µm üstüne çıktığı zaman gerilimler artmaktadır. Bu nedenle kalınlıkları 5 – 7 µm kalınlığa kadar yapılabilmektedir. CrN iç gerilmelerin düşük olması nedeniyle 10 µm kalınlığa kadar çıkabilmektedir. Sertlikleri 2400 – 2800 Hv arasındadır. Yüzey pürüzlülüğü TiN tabakadan daha iyidir. 700 °C'a kadar olan çalışma sıcaklıklarında stabilitesini kaybetmez. Kimyasal stabilitesi TiN kaplamadan daha yüksektir, asidik ve bazik ortamlarda kesinlikle çözülme göstermezler. CrN tabakaların tutunma mukavemetleri düşük sıcaklıklarda

TİN'e oranla daha düşüktür. Bunun yanında aşınmaya karşı yüksek mukavemet gösterdiklerinden ve kalın kaplanabildiklerinden TİN'e göre daha iyi korozyon mukavemeti gösterirler [14].

CrN bilinen sert krom kaplama ile karşılaştırıldığında;

- o Sert kromdan iki kat daha sert olduğu,
- o CrN'ün homojen kaplandığı ve metal transferi yapmadığı gözlenmiştir. Özellikle; metal enjeksiyon kalıplarında, kağıt sanayiinde kullanılan bıçaklarda,
- o Sıcak dövme kalıplarında,
- o Bakır, demir ve pirinç boruların imalatında kullanılan çekme matrislerinde,
- o Sıvama kalıplarında kullanılmaktadır.
- o CrN tabakaları çevreye herhangi bir zarar vermez. CrN tabakaların sahip oldukları düşük gerilim nedeniyle 50 mikron kalınlığındaki tabakaların oluşturulması mümkündür [14].

4. ENJEKSİYON DÖKÜM KALIPLARINDA PVD UYGULAMALARI

Enjeksiyon dökümde sıvı metal yüksek basınç ve akışkanlıkla mili saniyelerde içten soğutmalı kalıbın içerisine dolduğunu düşünecek olursak, bunun yanında üretim ise oldukça büyük hacimlerde düşük duruşlarla gerçekleşmektedir. Kalıbın açılması sonrasında yüzeyden spreyci vasıtasıyla soğutma ve yağlama gerçekleştirilir. Özellikle alüminyum ve bakır dökümlerinde 200 °C seviyelerine kadar kalıplar ön ısıtmaya tabi tutulur ve alüminyumun kalıp içerisindeki akışkanlığı yaklaşık 20 – 60 m/sn seviyelerinde, sıvı alüminyum sıcaklığı ise 700 °C civarında olmaktadır. Alüminyum malzemelerin dökümünde sıcaklık değişimleri daha fazla olduğundan çatlama problemleri daha fazla görülmektedir [15].

Oksidasyon ve sürtünme çatlaklarının gelişmesine yardımcı olur. Termal yorulma hataları kalıp yüzeyindeki kılcal çatlakların ağ oluşturması şeklinde gözlenir ve çatlaklar yüzeyin içerisine penetre olur. Bu şekilde kalıbın yüzey kalitesi düşer ve

termal yorulma çatlakları neticede parça kalitesinin de düşmesiyle daha yüksek maliyetlerde üretime neden olur [15].

Alüminyum enjeksiyon üretiminde erozyon aşınması, korozyon ve sık sık yapışma problemi olmaktadır. Yüksek döküm sıcaklığından kaynaklanan oksidasyon ve termal genleşmelerin neden olduğu çatlaklar bu tür hata oluşumunu etkin kılmaktadır [16].

Enjeksiyon dökümde sıvı alüminyum malzeme ile kalıp malzemesi arasında reaksiyon oluşma eğilimi vardır ve enjeksiyon döküm yönteminde görünen yapışma problemi olarak tüm iticiler, maçalar, çekirdek malzemelerinde ortaya çıkar. Bu durumda üretimde temizleme amaçlı duruş süreleri artar, ölçü problemleri olur ve kalıp ömrü kısalmır [17].

PVD yöntemiyle kaplama yapılması durumunda bu tip üretim problemleri oluşan fiziksel bariyer ile ortadan kalkar yada minimize edilir [17].

Yüksek basınçlı döküm kalıpları ve çekirdekleri yüksek basınç, yüksek sıcaklık değişimleri ve yüksek hızla ilerleyen sıvı metalden kaynaklanan erozyon aşınması gibi çeşitli operasyonel durumlara karşı dayanımlı olmak zorundadır. Basınçlı döküm çevrimi içerisinde sırasıyla; kovana madenin yüklenmesi, erimiş madenin yüksek hızla kalıbın içerisine enjekte edilmesi, sonrasında yüksek basıncın tatbik edilmesi ve katılaşma şeklinde olmaktadır [17].

Sıvı alüminyum alaşımı enjeksiyon kalıbı olarak endüstride ekseriyetle tercih edilen H13 sıcak iş takım çeliği ile reaksiyona girme eğiliminde olup intermetalik bir tabaka oluşumu söz konusudur. Kalıp yüzeyine yapılan bir kaplama fiziksel bariyer etkisi yapmakta olup, böylelikle yapışma, sıvanmaya karşı korunur ve bunun neticesinde üretim çevrim zamanları ve kalıp yüzeyinin sık sık parlatılması gereksinimleri azalır [16].

PVD kaplama ile sağlanan faydalar aşağıda sıralandığı gibidir;

- Kalıp ömrü uzar
- Kalıp temizlemeleri esnasında kalıp daha az zarar görür
- Daha seyrek sıklıkta temizlik gerektirir
- Termal yorulma çatlakları minimize edilir

- Yağlayıcı daha etkin ve sarfiyat daha az olur
- Maliyetler düşer

5. CrN KAPLAMANIN TEKNİK İNCELENMESİ

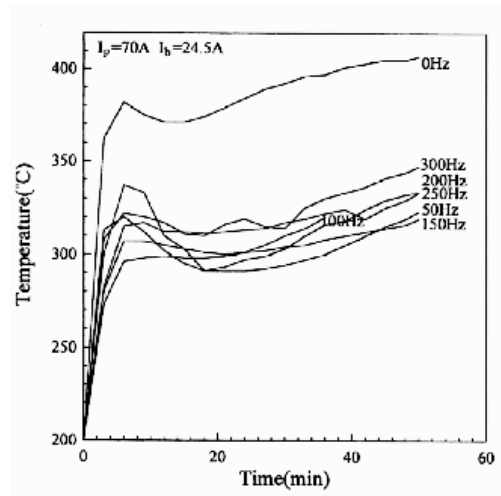
Kalıp performansını arttırmak için takım çeliklerinin üzerine plazma nitrasyon ve PVD kaplama yapılması endüstride son zamanlarda kullanılan bir yöntemdir.

CrN çeşitli PVD yöntemleri ile biriktirme işlemi yapılan bir kaplamadır. Magnetron Sputtering ve Katodik Ark yöntemleri bunlardan bazılarıdır. CrN kaplama aşınma ve korozyon direnci bakımından şekillendirme, demir dışı metallerin işlenmesinde, enjeksiyon döküm alanlarında umut verici bir gelişmeler göstermektedir. Hem iyon yayılma yoğunluğu hem de yüksek birikme kalitesinden dolayı tribolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kaplama metodu katodik ark yöntemidir. Kullanılan malzemenin bitmiş yüzeyinin durumu ve sıcaklıktan nasıl etkilendiğine bağlı olarak bu methoda yüksek sıcaklık uygulaması ile iri dropletler ortadan kaldırılır. Ayrıca çeşitli magnetik filtreleme ile de droplet oluşumu minimize edilir [18].

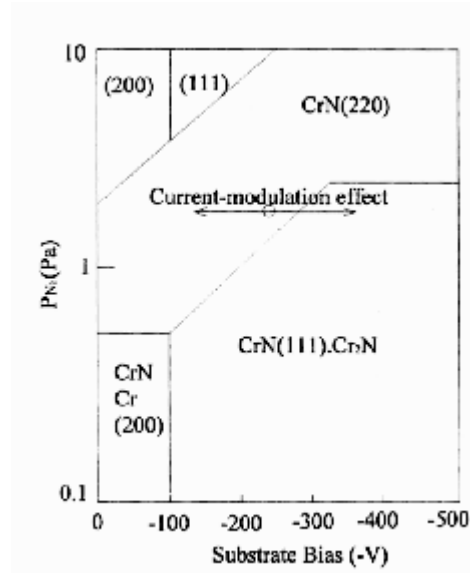
Katodik ark prosesinde 2 dakika sonra iyon bombardımanından CrN kaplama oluşumu başlar. Sıcaklığın etkisi şekilde de görüldüğü gibi nitrur oluşum reaksiyonu ($\text{Cr} - \text{N}$) ile azalma göstermektedir (Şekil 5.1). İlk sıcaklık tümseğinin oluşum nedeni, ana malzemenin ısı iletiminden dolayı stabil ısıya ulaşana kadar hızlı bir şekilde ısınma sürecinin devam etmesidir. Bunun yanında operasyondaki iyon akım yoğunluğu yüksek iyonizasyonu beraberinde getiri [19].

Vakum altında buhar biriktirme esnasında ana malzeme sıcaklığı tercihli yönlemeyi ve kristal yapısını önemli derecede etkiler. Şekil 5.2 'da görüldüğü gibi $\text{Cr} - \text{N}$ faz diyagramını etkileyen faktörler azot (P_N) kısmi basıncı ve bias voltajıdır [19].

Cr-N çiftinin hegzagonal ($\beta\text{-Cr}_2\text{N}$) ve kübik (CrN) olmak üzere iki bileşik şekli vardır. Aşınma, korozyon ve oksidasyon direnci ile ön plana çıkan bir kaplamadır. N_2 akış yüzdesi bileşindeki kaplamadaki Cr ve N yüzdelerine ve Cr-N bileşik formuna etki etmektedir [19].



Şekil 5.1 Farklı frekans uygulamalarında zaman sıcaklık değişimi [19]

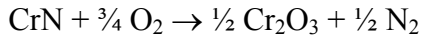


Şekil 5.2 Bias voltajı ve kısmi basınca bağlı Cr-N faz diyagramı [19]

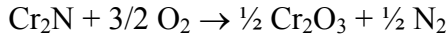
Sample designation	N ₂ flow percentage ^a (%)	Composition (at.%)		Phases
		Cr	N	
A	25	77.0	23.0	Cr + Cr ₂ N
B	33	62.1	38.9	Cr ₂ N
C	50	41.7	58.3	CrN
D	67	40.4	59.6	CrN
E	75	40.1	59.9	CrN

Tablo 5.1 Farklı azot oranlarına göre (N₂+Ar) oluşan fazlar [19]

Cr-N kaplamanın oksidasyon davranışlarına bakacak olursak;



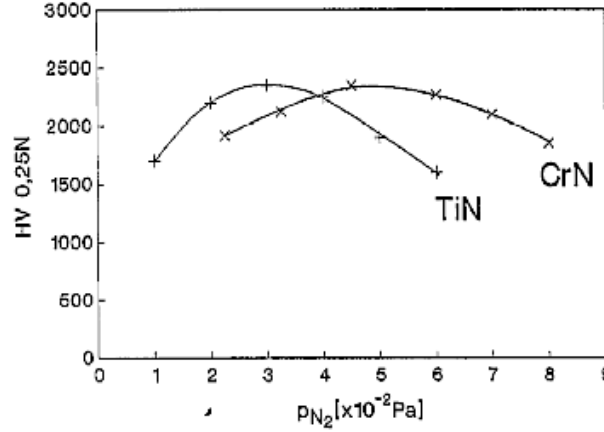
$$\Delta G^0 = -341 \text{ kJ/mol } T = 720^\circ\text{C} \quad \text{I}$$



$$\Delta G^0 = -931 \text{ kJ/mol } T = 720^\circ\text{C} \quad \text{II}$$

Gibbs serbest enerji formülleri oksijen içeren bir atmosfer için yukarıda belirtildiği gibidir (I, II) [20].

CrN kaplamalar ince taneli ve düşük gerilimli içyapı özelliklerinden dolayı geleneksel PVD kaplamalara nazaran daha kalın bir kaplamanın elde edilmesini sağlar. Hatta çeşitli uygulamalarda 15 - 25 μm 'lik kaplama kalınlıkları elde edilebilir. Çelik yüzeye CrN filminin iyi yapışması için 0,1 - 0,5 μm 'lik Cr arayüzey oluşturulur ve bu kaplama endüstriyel uygulamalarda Cr + CrN olarak adlandırılır. TiN 'e göre daha yumuşak, kalın ve daha az gevrek olan CrN paslanmaz çelik gibi yumuşak yüzeylerde, bakır-alüminyum ve alaşımlarında, sertleşmemiş çelikte ve hafif metal alaşımlarında da iyi neticeler vermektedir. CrN kaplama TiN 'e göre yüksek sıcak kullanımlarında, basınçlı hassas dökümde, talaşlı imalat ve bakır ile titanyumun soğuk şekillendirilmesinde daha iyi netice vermektedir. TiN ve CrN kaplamada azot kısmi basıncı (P_{N_2}) ile kaplama sertliği arasında da Şekil 5.3 'de görüldüğü gibi bir orantı vardır. TiN için 3×10^{-2} Pa CrN için ise 5×10^{-2} Pa basınç değerinde maksimum sertlik değerlerine ulaşılır [21].



Şekil 5.3 Azot akışına göre TiN ve CrN sertlikleri [21]

İnce seramik film kaplamanın ana malzemeye yapışma özelliği doğrudan bitişik iki fazın yüzey enerjileri ile orantılıdır ve yüzey enerjileri ile yapışma enerjisi arasında aşağıdaki gibi bir eşitlik vardır (Şekil 5.4) [22];

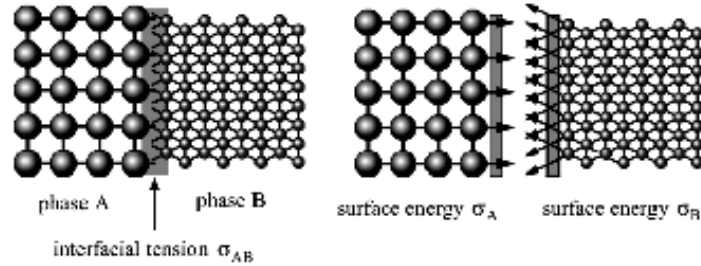
$$W_{Ad} = \sigma_A + \sigma_B - \sigma_{AB}$$

W_{Ad} = Yapışma (adhezyon) enerjisi

σ_A = A fazının yüzey enerjisi

σ_B = B fazının yüzey enerjisi

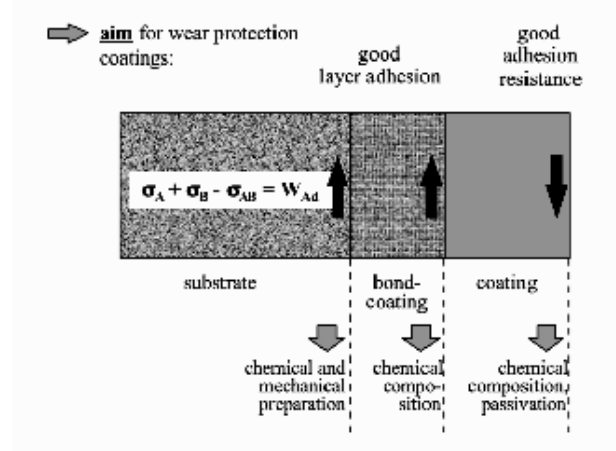
σ_{AB} = A-B fazları arası ara bölgenin yüzey enerjisi



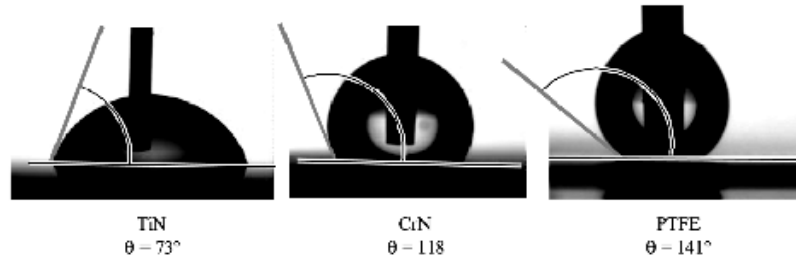
Şekil 5.4 Adhezyon ve yüzey enerjisi arasındaki ilişki [22]

Sınır bölgelerdeki çekme ve itme kuvvetleri Van der Waals etkileşimi ile açıklanır ve bu da saçılma ve yapışma kavramlarını ortaya çıkarır. Fakat Şekil 5.5 'de görüldüğü gibi yüzey enerjisinin farklı etkileri mevcuttur. Yani yüksek yüzey enerjisi daha iyi yapışma sağlarken, düşük yüzey enerjisi ise karşı aşındırıcıya karşı daha iyi yapışma direnci gösterir. CrN kaplamanın oldukça düşük zıt fazlar içermesinden ve düşük yüzey enerjisine sahip olmasından dolayı kaplamanın iyi bir yapışma direncine sahip olmasını sağlar. Şekil 5.6 've Şekil 5.7 'de görüldüğü gibi CrN kaplama TiN kaplamadan daha düşük yüzey enerjisine sahip ve ayrıca daha fazla sıçratma

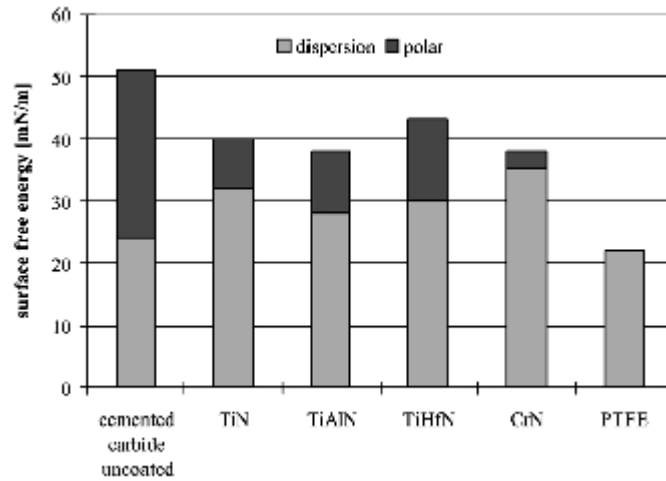
(dispersion) yani adhezyona karşı dirence sahiptir. Fakat tabi ki daha iyi yapışma için tam tersi bir özellik istenmektedir [22].



Şekil 5.5 Adhezyon ve yüzey enerjisi arasındaki ilişki [22]

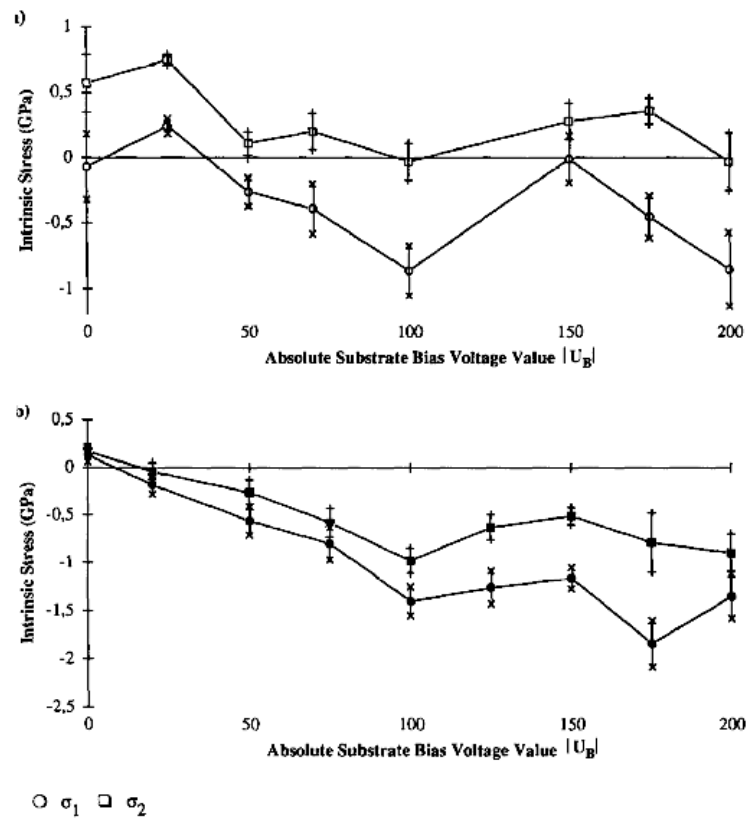


Şekil 5.6 Damlacıkların kaplamalar üzerindeki davranışları [22]



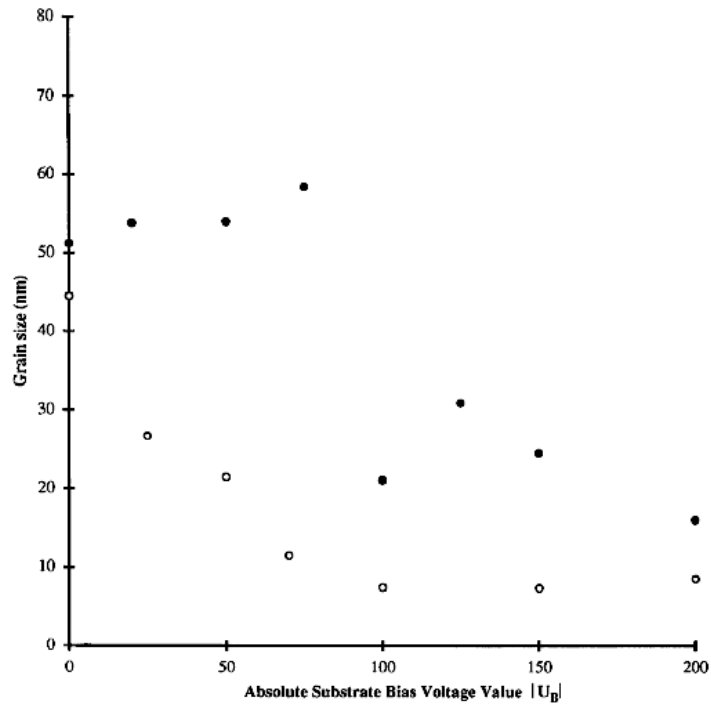
Şekil 5.7 PVD kaplamada yüzey serbest enerjisi [22]

Vakum ark yöntemi ile gerçekleştirilen kaplamada iki birbirine ters gerilme mekanizma işlediğinden dolayı gerçek gerilmeler sıfır çizgisine yakınlarda bulunur (Şekil 5.8a). Bunlardan biri gelişmekte olan kaplamanın üzerine bombardıman edilen ince taneli (Şekil 5.9) ve yüksek enerjili Cr partiküllerinin yanı sıra düzensiz olarak gelen Cr atomlarını gelişmekte olan yoğun yapıya gömülüp basma gerilmeleri meydana getirmeleridir. Bir diğeri ise yüksek enerji ile gelen Cr atomlarının çarpmasıyla, gömülen düzensiz yapıların rekristalizasyona uğrayarak çekme gerilmeleri meydana getirmeleridir. Bu çekme ve basma gerilmeleri birbirini dengeler ve gerçek gerilmeleri oldukça düşük bir kaplama yapısı ortaya çıkar [24].



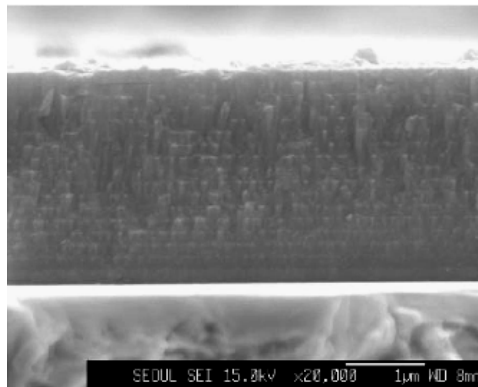
Şekil 5.8 a) Ark PVD b) sputtering yöntemi ile üretilen kaplamada oluşan kalıcı iç gerilmeler [24]

Sputtering yönteminde ise Cr pratikte iyonize olmaz ve Ar^+ 'un kinetik enerjisinden dolayı bias voltajı yüksek tutulur. Fakat bu iyonların etkisi Cr partiküllerinden daha azdır. Çünkü argon kütlesi kromunkinden daha azdır. Bu daha az kütleli argon iyonları gelişmekte olan kaplamanın iç yapısına arayer olarak girer ve daha sonra %1 'lık bir hatalı bölge ortaya çıkartarak basma gerilmesi ortaya çıkartır [24].



Şekil 5.9 Bias voltajına göre tane boyutu değişimi [24]

PVD kaplama yönteminde, yüzey üzerinde kaplamanın gelişmesi esnasında işin mekanizmasından kaynaklanan bir biçimde gözenek (pore) ve iğnebaşları (pinhole) oluşumları söz konusudur. Bu oluşumlar üst yüzeyden başlayarak ana malzeme / kaplama arayüzeyine doğru korozyon direncinin düşmesine neden olur ve kaplama yüzeyinin yoğunlaştırılması ile ortadan kaldırılabilir. Bu amaçla elektrokimyasal bir bariyer oluşturmak amacıyla ana malzemeyi azotlamak ve kimyasal yapıyı değiştirerek farklı bir kafes yapısında arayüzey oluşturmak da bir çözümdür [25].

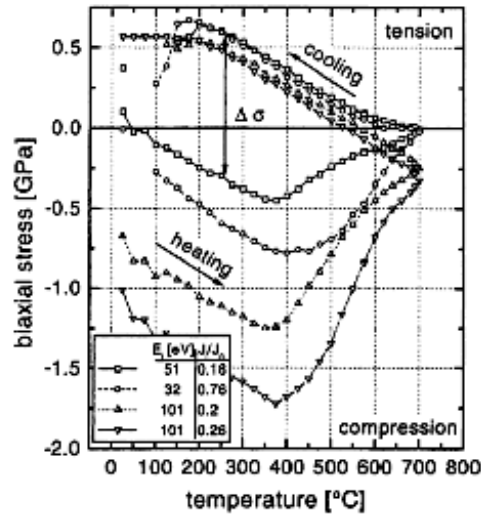


Şekil 5.10 Argon atmosferinde iyon – plating işlemi yapılan CrN yüzeyi [25]

Bu amaçla plazma püskürtülerek oluşturulan arayüzey oluşturulması argon iyonları tarafından sağlanan biçimi Şekil 5.10 'de görülmektedir. Yaklaşık 5-10 dakikalık

uygulama ile fark edilir biçimde çatılı bir yapı göze çarpmaktadır ve kolonsal yapı tüm kaplamada görülmektedir. Argon yanında daha az tercih edilen Ar/N₂ karışımı da temizleme amacıyla kullanılmakta olup Ar⁺ kullanımı daha gevrek bir kaplama arayüzeyi oluşumu sağlamaktadır. Fakat sadece Ar⁺ kullanıldığı zaman ana malzeme yüzeyindeki hatalar korunduğu için daha fazla CrN birikmesi olur ve daha gevrek, daha az yapışma özelliğine sahip bir arayüzey oluşur. Eğer azot ile birlikte argon karışım gazı kullanılır ise yüzeyde bulunan hatalar N atomları tarafından kapanır ve daha stabil, daha sünek bir arayüzey elde edilir [25].

Kaplamanın sertlik değeri tane boyutuna ve artık gerilmelere bağlıdır. Basma gerilmesi ve tane boyutunun sertlik üzerine olan etkisi Ar+N₂ karışımına ve çalışılan sıcaklıktaki termal davranışa bağlıdır. Mikroyapı, mekanik ve termal özellikler buhar biriktirme esnasındaki iyon bombardıman durumuna bağlıdır (N₂/Ar). Bu gaz oranına bağlı olarak oluşan kompleks kristal kafes yapılı Cr₂N ince taneli ve yüksek kalıcı gerilmelerin oluşmasına ve sertlik değerinin artmasına neden olmaktadır [22].



Şekil 5.11 Sıcaklık gerilme eğrisi [22]

İyon bombardımanı ile birlikte oluşan gerilmelerin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 5.11 'de görülmektedir. Farklı iyon enerjilerine bağlı olarak artan iyon penetrasyonundan dolayı basma gerilmelerindeki artışta görülmektedir. CrN kaplı malzeme ısıtılmaya başladığında termoelastik bir hat üzerinde ilerleme oluyor (basma gerilmelerinde artış) ve daha sonra tane büyümesi, tane sınırlarının kaymaya başlaması ile birlikte bahsedilen gerilme gevşemeye başlar (basma gerilmelerinde azalma) [22].

İyi bir yapışma 0.2 μm kalınlığındaki Cr arayüzeyi ile sağlanabilir. AISI D2 ve AISI D3 malzemelerde 4.4-5.5 μm ve hatta 10 μm CrN filmi ile verimde gelişme sağlanırken bu değer HSS malzemeler için maksimum 3 μm olup kalıp malzemeleri için 5 μm değerine kadar ulaşmaktadır [26].

TiN ve CrN kaplamalar yaklaşık 600-650 $^{\circ}\text{C}$ 'a ısıtıldığında sertliklerinde düşme olur, fakat boşluk hatalarının kaplama içerisinde yayılmasından ve boyutlarının küçülmesinden dolayı korozyon dayanımları artar. Her iki kaplamada ısıtıldığı zaman CrN kaplı malzeme TiN kaplamaya göre daha iyi korozyon dayancı gösterir [27].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Numune Üretimi

6.1.1. Delik Maçalarının Üretimi

$\varnothing 5,60$ ve $18,10 \times 24,10$ ebatlarında iki farklı tipte ve DIN 1.2344 (AISI H13) malzemedan delik maçaları üretildi (Şekil 6.1). Aynı malzemedan üretimdeki ısıtım işlem şartlarına göre kaplama karakterizasyon diskleri üretildi.



Şekil 6.1 Üretilen delik maçaları

Kalıp üretiminde ısıtım işlem uygulamaları vakum fırınlarında yapıldığından tüm numune üretimleri de aynı şekilde vakum fırında yapıldı (Şekil 6.2).

Numunelerin ısıtım işlemi Tam Çelik Isıtım İşlem firmasında yapılmış olup sertleştirme sıcaklığı olarak 1035 $^{\circ}\text{C}$ ve meneviş sıcaklıkları olarak ise 530 $^{\circ}\text{C}$ – 600 $^{\circ}\text{C}$

uygulanmıştır. Isıl işlem neticesinde yüzey sertliği olarak 50 HRC (510 HV) elde edilmiştir.

Sertleştirme ve meneviş işlemleri sonrasında kaplaması yapılacak numuneler İstanbul Isıl İşlem firması tarafından plazma nitrasyona tabi tutulmuştur. Nitrasyon sonrası yüzey sertliği yaklaşık 1.000 HV değerlerine ulaşmıştır.



Şekil 6.2 Isıl işlemin yapıldığı vakum fırını

6.1.2. Kaplamaların Üretimi

Döküm esnasında denemeleri yapılacak olan delik maçaları kaplamalı ve kaplamasız olarak iki tipte kullanılmış olup kaplamalar Ionbond - Tinkap firmasında yapılmıştır. Kaplama metodu olarak Vakum Arkı ile PVD kullanılmıştır. Kullanılan taban malzemesinin sıcak iş takım çeliği olması (DIN 1.2344) yani üretim esnasında maksimum meneviş sıcaklığının 600 °C olmasından dolayı kaplama sıcaklığını fazla yüksek seçme şansı bulunmamaktadır. Bu nedenle kaplama sıcaklığı olarak 450 °C seçilmiştir. Kaplama karakterizasyonları için 40 mm çapındaki numunelerde kalıp delik maçaları ile aynı şarjlarda kaplanmıştır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Karakterizasyon numuneleri

6.2. Döküm Deneylerinin Yapılması

6.2.1 Denemesi Yapılacak Kalıp ve Maçalarının Seçimi

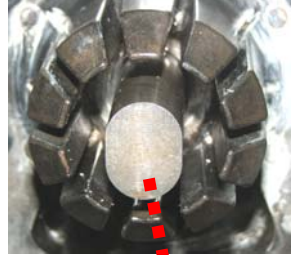
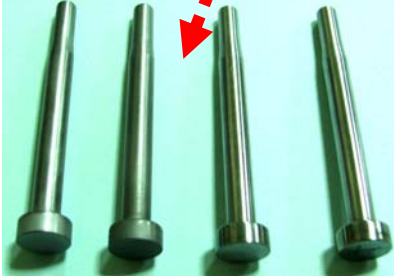
Döküm deneyleri ADÖKSAN Döküm firmasında ve 2 farklı otomotiv parçası baz alınarak yapılmıştır. Bunlar özellikle üretimde yapışma ve sıyırma konularında problem teşkil eden parçalar olup problemler deneye konu edilen delik maçaları bölgelerinde görülmektedir.

Parçalardan biri ABS fren sistemlerinde kullanılan Alt Gövde olup diğeri ise araçların aksamalarında kullanıla Ön Yatak Burcudur (Tablo 10.1).

Tablo 6.1 Denemesi yapılacak kalıp ve parçaların görünümü

Parça Adı	ABS Alt Gövde	Ön Yatak Burcu
Kalıp Göz Adedi	4	2
Parça Şekli		
Yolluklu Parça		
Kalıp Şekli		

Tablo 6.1 Devamı

Parça Adı	ABS Alt Gövde	Ön Yatak Burcu
Maça Bölgesi		
Maça Şekli		

Bu parçaların deneye konu olan delik maçalarının ölçü hassasiyeti bindelikli mertebelerde olup form açısından yeteri kalıp çıkış açlarına sahip değiller. Buna rağmen parçalar kullanım yerleri itibari ile yüzey kalitesi olarak beklentiler yüksektir. Bunun yanında üretim adetleri yüksek parçalar olması nedeniyle hep ürün kalitesinin yüksek olması hem de kalıp ömrü açısından yüksek verimliliğin sağlanması gerekmektedir.

6.2.2. Prosese Dair Bilgiler

Her iki parçanın da 300 ton kapasiteli tezgâhlarda dökümü yapılmakta olup ADÖKSAN bünyesinde 1,5 seneden beri üretildiklerinden optimize edilmiş döküm parametreleri bulunmaktadır (Şekil 6.4 , 6.5).



Şekil 6.4 Deneme üretiminde kullanılan 300 tonluk enjeksiyon presi



Şekil 6.5 300 tonluk tezgahın kalıp kapama bölgesi

Döküm esnasında standart üretim değeri olarak kalıp sıcaklığı 180 ± 20 °C, sıvı metal sıcaklığı ise 680 ± 20 °C olup dökümü yapılan malzeme AlSi12Cu1(Fe) (ETIAL 141) dir (Tablo 6.2).

Tablo 6.2 Kalıp ve dökülen malzeme kimyasal analizleri

Malzeme	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
1.2344	0,40	1,00	0,40	4,95	1,35	-	1,00
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn
AlSi12Cu1(Fe)	10.5-13.5	1.3	0.7-1,2	0.55	0.35	0.3	0.55

6.2.3. Kaplama Performansının İncelenme Metotlarının Seçimi

Kalıp üzerinde performansın izlenmesi için birçok yöntem olduğu gibi bu çalışmada aşağıda belirtilen noktalarda kaplamasız bir delik maçası ile CrN kaplamalı delik maçası arasındaki etki farkları gözlenmiştir;

A. Döküm esnasında oluşan problemlerin karşılaştırılması: Döküm gibi bağlantılı olduğu birçok parametresi olan üretim yönteminde karşılaştırılması muhtemel ve denemesi yapılacak maçalarla bağlantılı problemler aşağıda belirtildiği gibidir;

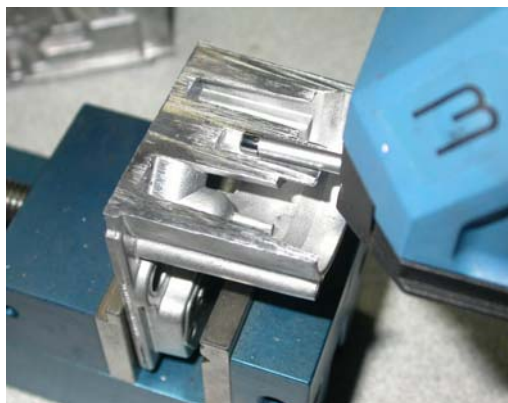
- Kalıpta parça kalması
- Maça ve iticilere kırılması ve kopması
- Maçalarda sıyırma ve ezilmeler
- Maça üzerinde malzeme yapışması ve birikmesi
- Enjeksiyon tezgâhında mekanik arıza

- B. Çıkan parça kalitesinin yüzey pürüzlülük değerlerinin baskı birim adetlerine göre karşılaştırılması: Parçaların ilgili bölgeleri müşteri tarafından teknik resim üzerinde belirtilmiş Rz değerleri toleransına sahip olup kullanım yerinde de hassasiyetin en üst düzeyde olduğu noktalardır. Zaten deneyde kullanımı amaçlanan delik maçaları bu tetkikin kolaylığı açısından özellikle bu noktalardan seçilmiştir.
- C. Birim baskı adetlerinde delik maçalarının gerek zayıf gerekse malzeme yapışmasına göre görsel ve SEM görüntüleri olarak incelenmesi: Deneyde kullanımı ve performanslarının tetkiki amaçlanan maçaların hem SEM görüntüleri hem fotoğraf görüntüleri hem de EDS analizleri performans karşılaştırmaları için kriter olarak alındı.

Bu çalışmada üretim problemleri değil çıkan parça kalitesi ve kalıp delik maçasının SEM görüntüleri üzerinden performans değerlendirmesi yapılmıştır.

7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

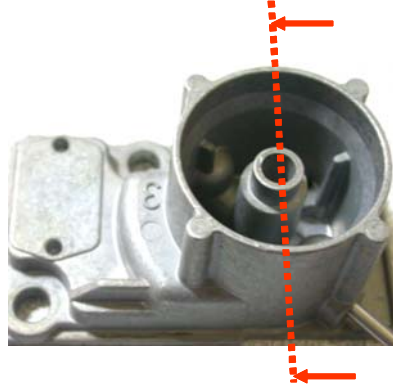
Bu çalışmada özellikle gerek parça gerekse kalıp üzerindeki yüzeylerin birim baskılar sonrası yüzey analizleri üzerinde duruldu.



Şekil 7.1 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Yüzey pürüzlülük ölçümleri Hommel Werke marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında yapılmış olup tarama boyu olarak 4,8 mm seçildi (Şekil 7.1). ABS Alt

Gövde parçası için Şekil 7.2 de görüldüğü şekilde kesit alındı ve göbekteki delik maçasının çalıştığı bölgenin parça yüzeyindeki yüzey pürüzlülük analizi yapıldı. Bu bölgede çalışan delik maçasının daha önce bahsedildiği üzere 4 gözünden 2 si kaplamalı 2 si ise kaplamasız olarak döküm denemelerinde kullanıldı. 1 ve 2 numaralı gözlerde kaplamasız, 3 ve 4 numaralı gözlerde CrN kaplamalı delik maçaları kullanıldı.



Şekil 7.2 ABS Alt Gövde parçası yüzey pürüzlülük analizi kesiti

Yüzey pürüzlülük değerlerinin analizleri farklı baskı adetleri sonrasında numuneler alınmak suretiyle tüm gözler üzerinden yapılmıştır. ABS Alt Gövde parçası için analize konu olacak birim baskı adetleri olarak 5.000 ve 14.000 seçilmiş olup ayrıca maçaların ilk baskıları sonrasında da yüzey ölçümleri alınmıştır.

Bu kalıp için garanti edilen baskı ömür sayısı 30.000 olduğundan yaklaşık olarak kalıp ömrünün yarısına kadar incelemeler yapılmış olmaktadır.

Tablo 7.1 ABS Alt Gövde parçasının 14.000 baskı sonrası kaplamalı ve kaplamasız delik maça bölgelerinin görünüşü

Parça Tanımı	Açıklama	Resim
ABS Alt Gövde	Gz 1 / Kaplamasız / 14.000 baskı	
	Gz 2 / Kaplamasız / 14.000 baskı	
	Gz 3 / Kaplamalı / 14.000 baskı	
	Gz 4 / Kaplamalı / 14.000 baskı	

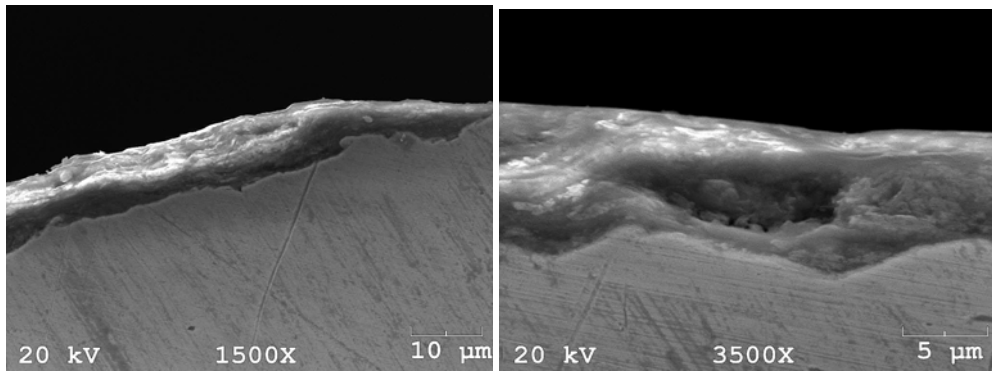
Tablo 7.1 da kalıbın 14.000 baskısı sonrasında çıkan parçaların gözler bazında yüzey kaliteleri görülmektedir. 1 ve 2 numaralı gözlerde kaplamasız maçalar kullanılmış ve yüzey kalitelerinde oldukça bozulmalar meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi zaten Şekil 7.3 de görünen maçalardan da anlaşılacağı üzere maça yüzeyinde oluşan alüminyum yapışmalarıdır.



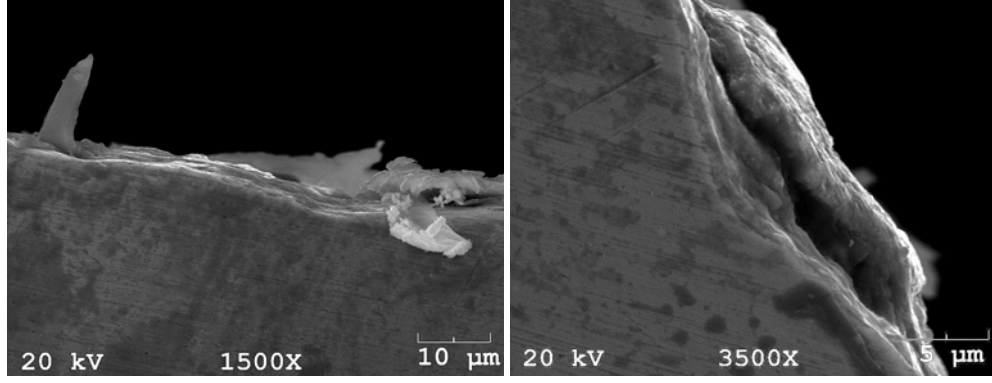
Şekil 7.3 14.000 baskı sonrası delik maçası görünüşü
Sol – Kaplamalı, Sağ – Kaplamasız

Bu yapışmaların form ve kalınlıkları Şekil 7.4, 7.5 de görülmekte olup yapışmadaki düzensizlik ve artan yüzey pürüzlülüğü çıkan parçada maçanın sıyrarak (kopararak) çıkmasından dolayı yüzey pürüzlülük değerlerinde artışa neden olmaktadır.

Yapışmanın kalınlığı 9,4 mikron olup buda çapta çıkan parça üzerinde çapın ufalması anlamına gelir.



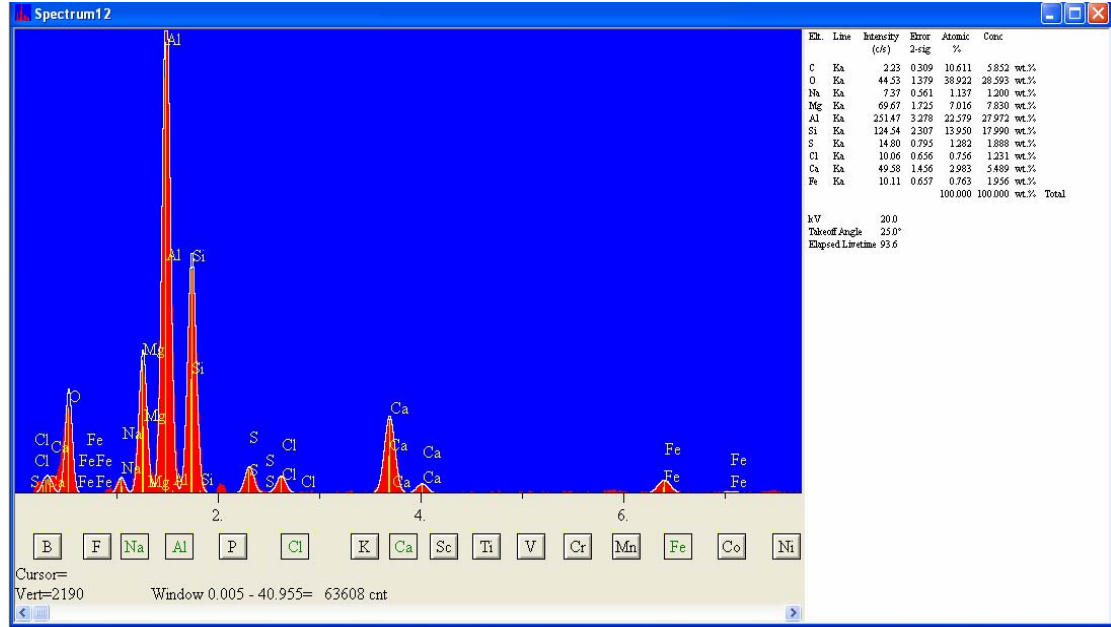
Şekil 7.4: 1 numaralı gözde oluşan yapışmaların X1500 VE X3500 SEM görüntüleri



Şekil 7.5: 2 numaralı gözde oluşan yapışmaların X1500 VE X3500 SEM görüntüleri

Yapışmaların alüminyum içerikli olduğu zaten EDS analizlerinden görünmektedir (Şekil 7.7). Farklı yapışma noktalarından alınan EDS analizlerinden yapışmaya bağlı değişkenlik gösteren bileşimler tespit edilmiştir. Farklı EDS analizlerinde bakıldığında alüminyum esaslı bir oluşumun baskın olduğu görülmektedir fakat bunun yanında karbon ve oksijen elementlerinin olduğu görülmektedir.

Karbonun bulunma nedeni kalıpta yapışmayı engelleme açısından kullanılan grafit esaslı kalıp yağlarıdır. Kalıp yağının maça üzerinde kalması ve dolayısıyla maçanın parçadan minimum alüminyum yapışması ile çıkması hedeflenmektedir.



Şekil 7.6 EDS analizi ekran görüntüsü

Kaplamasız bu delik maçalarındaki alüminyum oranı %30 lar civarında olmakla birlikte karbon değerleri ise %10 un altında seyretmektedir. Bünyede bulunan yüksek

orandaki oksijen elementi ise maça yüzeyindeki mevcut elementlerin oksitlerinin oluştuğunu göstermektedir. EDS analizindeki otomatik hesaplamamanın yaklaşık karşılığı da büyük oranda alüminyum oksidin oluştuğunu göstermektedir (Şekil 7.8).

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Atomic %	Conc	
C	Ka	2.23	0.309	10.611	5.852	wt.%
O	Ka	44.53	1.379	38.922	28.593	wt.%
Na	Ka	7.37	0.561	1.137	1.200	wt.%
Mg	Ka	69.67	1.725	7.016	7.830	wt.%
Al	Ka	251.47	3.278	22.579	27.972	wt.%
Si	Ka	124.54	2.307	13.950	17.990	wt.%
S	Ka	14.80	0.795	1.282	1.888	wt.%
Cl	Ka	10.06	0.656	0.756	1.231	wt.%
Ca	Ka	49.58	1.456	2.983	5.489	wt.%
Fe	Ka	10.11	0.657	0.763	1.956	wt.%
				100.000	100.000	wt.%
						Total

Şekil 7.7 EDS analizi 1

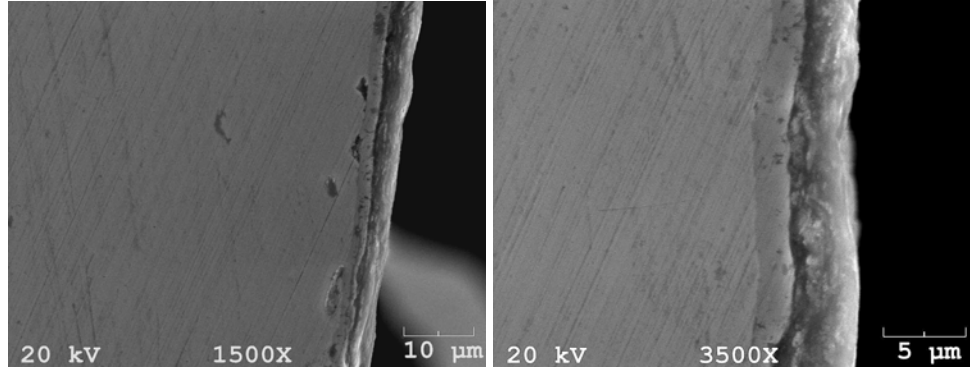
Component	Type	Mole Conc.	Conc.	
MgO	Calc	2.874	2.063	
Al2O3	Calc	40.140	72.893	
SiO2	Calc	14.494	15.511	
C	Calc	42.008	8.986	
Cu	Calc	0.483	0.547	
		100.000	100.000	Total

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Atomic %	Conc	
C	Ka	3.77	0.393	14.366	8.986	wt.%
O	Ka	6.26	0.506	52.075	43.393	wt.%
Mg	Ka	15.14	0.787	0.983	1.244	wt.%
Al	Ka	541.50	4.708	27.454	38.579	wt.%
Si	Ka	82.92	1.842	4.957	7.250	wt.%
Cu	Ka	1.46	0.244	0.165	0.547	wt.%
				100.000	100.000	wt.%
						Total

Şekil 7.8 EDS analizi 2 (oksit durumu)

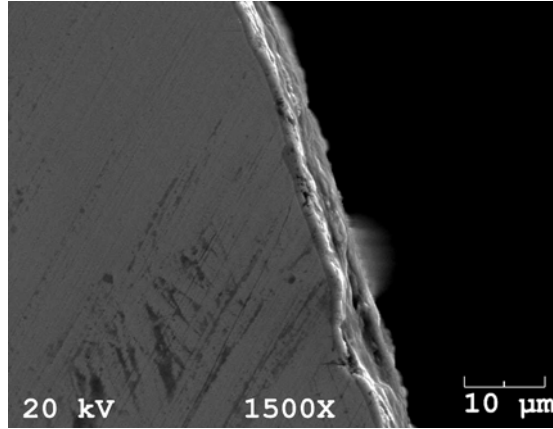
3 ve 4 numaralı gözlerin kaplanması ve akabinde ki 14.000 baskı sonrasındaki SEM görüntüleri Şekil 7.9 de görüldüğü gibidir. Kaplamanın zarar görmeden homojen olarak mevcut olduğu ve yapışmanın da oldukça homojen olduğu tespit edilmiştir.

Bu arada kaplama kalınlığının tespiti yapıla metodunun SEM fotoğrafları olduğu düşünülecek olursa 2 mikron olan CrN kalınlığı resimlerden de görülebilmektedir.



Şekil 7.9: 4 numaralı gözde oluşan yapışma ve CrN kaplamanın X1500 VE X3500 SEM görüntüleri

Yapılan yüzey taramasında sadece bir noktada kaplama bölgesinde harabiyet tespit edilmiş fakat buna rağmen oluşan yapışmanın formunda maça formunu olumsuz yönde etkileyip yapışma kalınlığını arttığı bir durum görülmemiştir (Şekil 7.10).



Şekil 7.10: Kaplamada oluşan harabiyet

Dairesel kesitli bir maça olduğu düşünülecek olursa yapışmanın bu derece homojen olması maçanın çapının sadece mikronlar mertebesinde büyümesine neden olup sıyırma anlamında (yırtarak çıkma) olumsuz bir etki yapmaz.

Ölçülen yapışma kalınlığı sadece 3 mikron olup kaplamasız maçanın 9,4 mikron yapışmaya maruz kaldığı düşünülecek olursa dökümden çıkan parçadaki ölçü değişikliği ihmal edilebilir seviyededir.

Bunun yanında yapılan EDS analizinde kaplamasız olan maçalardaki yapışma analizi ile benzer değerler elde edilmiş olup alüminyum konsantrasyonunda bir miktar düşme karbon konsantrasyonunda ise bir miktar artış gözlemlenmiştir. Bunun nedeni yapışma minimize edildiğinden alüminyum malzeme yüzeye daha az yapışmakta

ama buna karşın yapışmayı engellemek amaçlı kullanılan karbon esaslı yağ ise kalıp yüzeyinde tutunarak amaca yönelik bir davranış göstermektedir.

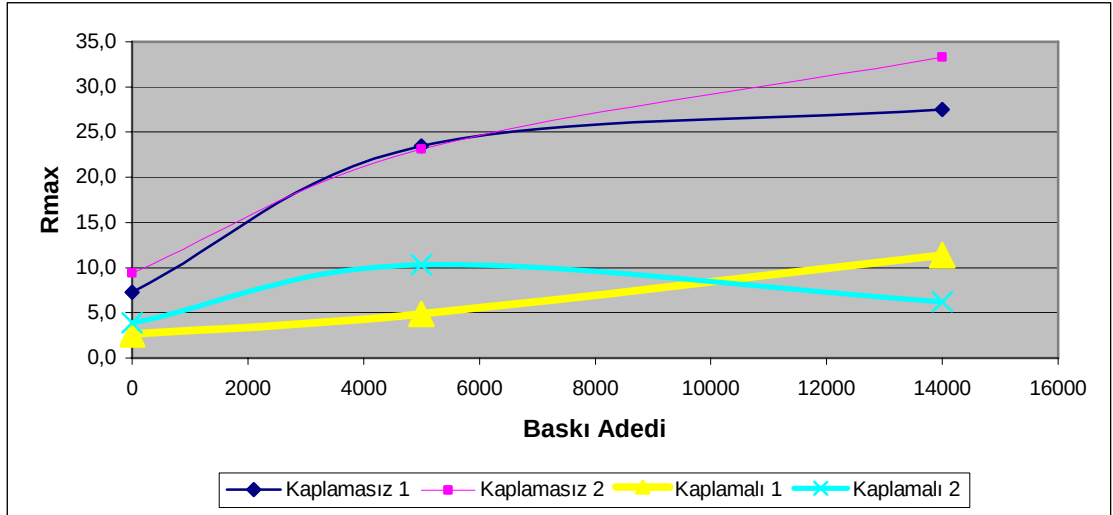
SEM de yapılan görüntü ve EDS çalışmalar sonrasında dökümden çıkan parçaların yüzey pürüzlülük analizlerinde Tablo 7.2 de görünen sonuçlar elde edilmiştir. Referans olarak alınan sıfır baskısı ve 5.000 ile 14.000 baskı numunelerinin yüzey pürüzlülük değerlerinde kaplamasız ile CrN kaplı delik maçalarının arasında ciddi bir pürüzlülük farklılıkları olduğu tespit edilmiştir.

Yüzey formunda sıyırmaya etki eden ve müşteri taleplerinde de asıl istenen değer Rmax değeri olduğundan Ra değeri değil Rmax değeri kullanılmıştır.

Şekil 7.11 de görüldüğü gibi baskı adetleri arttıkça kaplamasız maçalara ait döküm parçalarında yüzey pürüzlülük değerlerinin de arttığı fakat kaplamalı maçalara ait parçalarda ise bir miktar pürüzlülük artışı olduğu ama bunun düşük bir değer aralığında olduğu görülmüştür. Genel grafik değerlerine bakıldığında kaplamalı maçalara ait parçaların pürüzlülük değerlerinde kaplamasızlara nazaran %50 bir iyileşme söz konusudur.

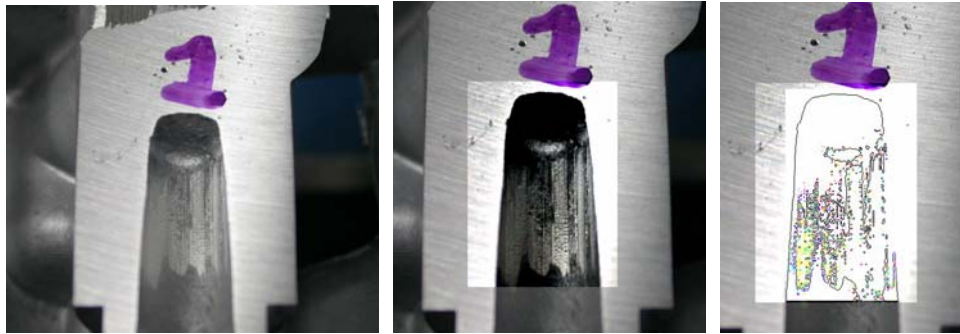
Tablo 7.2 Kaplamalı ve kaplamasız delik maçaları kullanımı sonrası birim baskı adetlerinde parça yüzey pürüzlülük değerleri tablosu

Parça Tanımı	Göz No	Kaplama Durumu	Baskı Adedi		
			0	5.000	14.000
			Rmax(μ)		
ABS Alt Gövde	1	Kaplamasız	7,3	23,5	27,5
	2	Kaplamasız	9,4	23,1	33,3
	3	<u>KaplamaLI</u>	2,6	4,9	11,4
	4	<u>KaplamaLI</u>	3,9	10,3	6,2

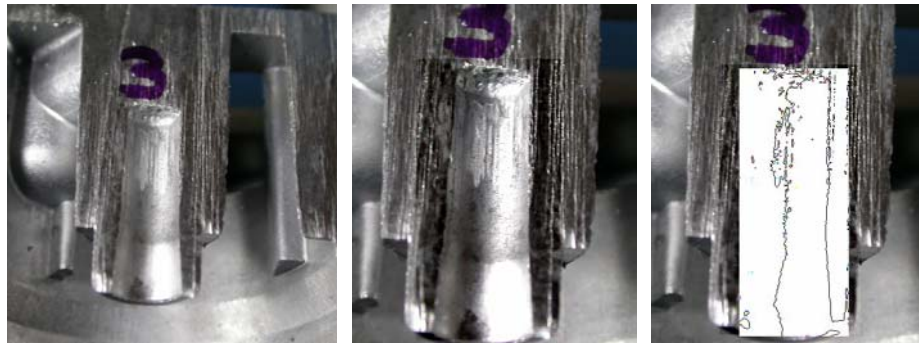


Şekil7.11 Birim baskı adetleri sonrası kaplamalı ve kaplamasız delik maçalarına ait parçaların yüzey pürüzlülük eğrileri

Bu çalışmalara ilaveten Photoshop programı ile yüzey kontrastına göre yapışma bölgeleri ortaya çıkartılmıştır (Şekil 7.12 , 7.13). Bu çalışmada yukarıdaki çalışmaları destekler ki; kaplamalı maçaların kullanımında parça yüzeyinde kaplamasız maçalara nazaran çok daha az yapışma gözlemlenmektedir.



Şekil 7.12 Kaplamasız maçalara ait parçaların yapışma kontrastları



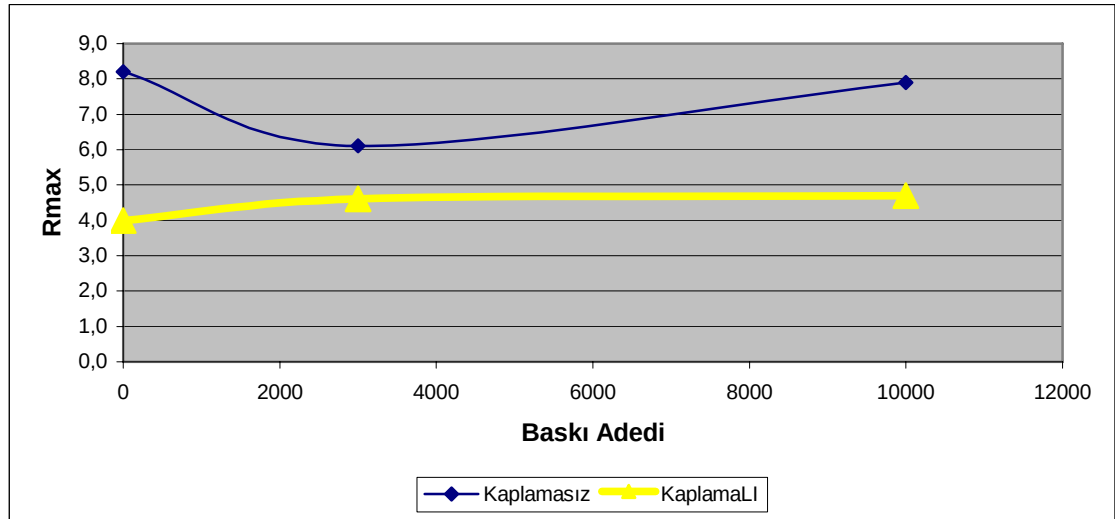
Şekil 7.13 Kaplamalı maçalara ait parçaların yapışma kontrastları

Yukarıda yapılan çalışmaların bir benzeri diğer bir döküm parçası olan Ön Yatak Burcu içinde yapılmış olup bu parçaya ait delik maçası üretim zorluklarından ve maliyetlerinden dolayı çıkarılamamış ve dolayısıyla SEM analizleri yapılamamıştır. Fakat çıkan parçalar üzerinden yüzey pürüzlülük analizi yapılmış ve Tablo 7.3 ile Şekil 7.14 de görülen sonuçlar elde edilmiştir.

Bu kalıptan sıfır ve 3.000 ile 10.000 baskı numunelerinin pürüzlülük neticeleri de ABS Alt Gövde parçasındaki neticelere benzer bir sonuç vermiştir.

Tablo 7.3 Kaplamalı ve kaplamasız delik maçaları kullanımı sonrası birim baskı adetlerinde parça yüzey pürüzlülük değerleri tablosu

Parça Tanımı	Göz No	Kaplama Durumu	Baskı Adedi		
			0	3.000	10.000
			$R_{max}(\mu)$		
Ön Yatak Burcu	1	Kaplamasız	8,2	6,1	7,9
	2	KaplamaLI	4,0	4,6	4,7



Şekil 7.14 Birim baskı adetleri sonrası kaplamalı ve kaplamasız delik maçalarına ait parçaların yüzey pürüzlülük eğrileri

8. SONUÇLAR

Metal enjeksiyon döküm kalıplarında çıkan döküm parçalarının yüzey kaliteleri açısından bakıldığında en fazla hata oluşum riski bulunan kısımları delik maçalarıdır. Bu noktadan yola çıkarak yapılan literatür incelemeleri sonrasında yapılan deneysel çalışmalarda delik maçalarının parça yüzeyini olumsuz yöndeki etkileri CrN kaplama yöntemiyle elemine edilmeye çalışılmış ve başarılı olunmuştur.

Baz alınan parçaların yüzey pürüzlülük değerleri birim baskı adetlerinde incelendiğinde %50 ye varan iyileştirme sağlanmıştır. Otomotiv parçalarından ABS fren sistemine ait Alt Gövde parçasında 5.000 ‘inci ve 14.000 ‘inci baskılara bakıldığında kaplamasız olan maçalara ait döküm parçalarında 25 – 10 mikronluk bir Rmax değeri elde edilirken kaplamalı maçalara ait döküm parçalarında ise 5 – 10 mikronluk bir Rmax değeri elde edilmiştir. Bu ölçümlerden başka yapılan SEM incelemelerinde de maçalara olan yapışmanın kaplamasız maçalarda homojen olmadığı ve maçanın parçadan yırtarak çıkmasına sebebiyet verecek biçimde olduğu, kaplamalı olanda ise daha homojen bir yapışmanın olduğu görülmüştür. Ayrıca kaplamasız maçada yapışma 9,4 mikronlar seviyesinde iken kaplamalı maçada ise 2 mikronlar seviyesindedir. Bu incelemelerin yanında çıkan parçanın fotografik görüntüleri de durumu net biçimde göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışma göstermiştir ki metal enjeksiyon preslerinin çıkan parçada yüksek yüzey kalitesi istenen maça bölgelerinde CrN kaplama kullanımı olumlu yönde etki yaptığı gibi gerek kalıp yağlaması ve maça temizliğinin getirdiği artı zaman maliyetleri gerekse kalıp ömrü açısından uygulanması gereken bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

- [1] **Çiğdemoğlu, M.**, 1972. Basınçlı Döküm Cilt I, Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 7, Ankara
- [2] **Doehler, H. H.**, 1951. Die Casting, Mcgraw – Hill Book Company, Inc., London
- [3] **Z.W. ChenU, M.Z. Jahedi.**, 1999. Die erosion and its effect on soldering formation in high pressure die casting of aluminium alloys, *Materials and Design*, **20**, 303 – 309.
- [4] **G. Dour, M. Dargusch, C. Davidson, A. Nef**, 2005. Development of a non-intrusive heat transfer coefficient gauge and its application to high pressure die casting Effect of the process parameters, *Journal of Materials Processing Technology*, **169**, 223 – 233.
- [5] **C.H. Caceres, M. Makhlof, D. Apelian, L. Wang**, 2001. Quality index chart for different alloys and temperatures: a case study on aluminium die-casting alloys, *Journal of Light Metals*, **1**, 51 – 59.
- [6] **Juan Asensio-Lozano, Beatriz Suarez-Pen**, 2006. Effect of the addition of refiners and/or modifiers on the microstructure of die cast Al–12Si alloys, *Scripta Materialia*.
- [7] **Z.W. Chen, M.Z. Jahedi**, 1999. Die erosion and its effect on soldering formation in high pressure die casting of aluminium alloys, *Materials and Design*, **20**, 303 – 309.
- [8] **Anders Persson, Sture Hogmark, Jens Bergstro**, 2005. Thermal fatigue cracking of surface Engineered hot work tool steels, *Surface & Coatings Technology*, **191**, 216 – 227.

- [9] **Ürgen, Ş.**, 2002. Basınçlı Döküm Kalıplarında Sert Seramik Kaplama [1]
Uygulaması ile Performans Artışının Değerlendirilmesi,
Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Korkmaz Çelik**, 1996. Takım Çelikleri El Kitabı, *El Kitabı*, İstanbul.
- [11] **Tokmanoğlu, K.**, 1997. Manyetik fokus ark tekniği ve sert seramik film
kaplamalar, *TINKAP LTD.*, İstanbul
- [12] **Multi Arc**, 2004. PVD Kaplama Yöntemleri, *web catalog*, USA.
- [13] **Davis, J. R.**, 1995. Tool Materials ASM Specialty Handbook, *ASM International*, USA.
- [14] **Dobrzanski, L.A.**, 2001. Structure and properties of high speed steels with wear
resistans cases or coatings, *Journal of Materials Processing Technology*, **109**, 44-51.
- [15] **Anders Persson, Sture Hogmark, Jens Bergstro**, 2005. Thermal fatigue
cracking of surface engineered hot work tool steels, *Surface & Coatings Technology*, **191**, 216 – 227.
- [16] **M. Sokovi, P. Panjan, R. Kirn**, 2004. Possibilities of improvement of dies
casting tools with duplex treatment, *Journal of Materials Processing Technology*, **157–158**, 613 – 616.
- [17] **S. Guliziaa, M.Z. Jahedia, E.D. Doyleb**, 2001. Performance evaluation of
PVD coatings for high pressure die casting, *Surface and Coatings Technology*, **140**, 200 – 205.
- [18] **Lee, S.C., Ho, W.Y., Pao, W.L.**, 1994. Process and properties of CrN coating
deposited on plasma nitrided high speed steel, *Surface and Coatings Technology*, **73**, 34-38.
- [19] **Wang D.Y., Weng K.W.**, 2000. Deposition of CrN coatings by current
modulating cathodic arc evaporation, *Surface and Coatings Technology*, **137**, 31-37.
- [20] **Tu, J.N., Duh, J.G., Tsai, S.Y.**, 2000. Morphology , mechanical properties, and
oxidation behavior of reactively sputtered Cr-N films, *Surface and Coatings Technology*, **133-134**, 181-185.

- [21] Navinsek, B., P. Panjan, A. Cvelbar, 1995. Characterizasyon of low temperature CrN and TiN (PVD) hard coatings, *Surface and Coatings Technology*, **74-75**, 155-161.
- [22] Mayrhofer, P.H., Tischler, G., Mitterer, C., 2001. Microstructure and mechanical / thermal properties of CrN coatings deposited by reactive unbalanced magnetron sputtering, *Surface and Coatings Technology*, **142-144**, 78-84.
- [23] Ichimura, H., Ando, I., 2001. Mechanical properties of arc evaporated CrN coatings Part I: nanoindentation hardness and elastic modulus, *Surface and Coatings Technology*, **145**, 88-93.
- [24] Gautier, C. Moussaoui, H., Elstner, F., Machet, J., 1996. Comparative study of mechanical and structural properties of CrN films deposited by d.c. magnetron sputtering and vacuum arc evaporation, *Surface and Coatings Technology*, **86-87**, 254-262.
- [25] Park H.S., Kappl, H., Lee, K.H., Lee, J.J., Jehn, H.A., Fenker, M., 2000. Structure modification of magnetron sputtered CrN coatings by intermediate plasma etching steps, *Surface and Coatings*.
- [26] Navinsek, B., Panjan, P., 1995. Novel applications of CrN (PVD) coatings deposited at 200 °C, *Surface and Coatings Technology*, **74-75**, 919-926.
- [27] Ürgen, M., Çakır, A.F., 1997. The effect of heating on corrosion behaviour of TiN and CrN coated steels, *Surface and Coatings Technology*, **96**, 236-244.

ÖZGEÇMİŞ

Borga Duruk 1975 yılında İstanbul 'da doğdu. Orta öğrenimini Göztepe Ortaokulunda lise öğrenimi de 50. Yıl Tahran Lisesinde tamamlamıştır. 1993 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamış ve 1997 yılında mezun olmuştur. Lisans eğitimi esnasında Islah çeliklerinin değişik ısıtım şartları sonrasında metalografik atlaslarının oluşturulması ve elektrik ark ocaklarında cüruf metal reaksiyonlarının termodinamik yönden incelenmeleri konusunda iki tez çalışması yapmıştır. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Malzeme Ana Bilim Dalı Seramik programında yüksek lisans eğitimine hak kazanmış ve 1997 – 1998 öğrenim yılını İTÜ İngilizce hazırlık programında geçirmiştir.

1998 – 2002 yılları arasında Makine Takım Endüstrisi A.Ş. de Ar – Ge, Isıl İşlem ve Kalite departmanlarında görev almış daha sonra 2002 – 2003 yıllarında Şahinler Metal firmasında Kalite Güvence Müdürü olarak çalışmıştır. Şu an halen Adöksan Döküm San. Tic. Ltd. Şti. firmasında Kalite Yönetim Müdürü ve Product Safety Manager olarak görev almaktadır.