

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT BİLİM DALI**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIP İMALATINDA KULLANILAN ÇELİKLERİN  
FARKLI YÜZEY İŞLEMLERİ İLE KOROZYON DAYANIMININ  
ARTTIRILMASI**

**Yazar  
Necati ÇAVUŞLAR**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Selda KAYRAL**



**MANİSA-2023**

**NECATI  
ÇAVUŞLAR**

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIP İMALATINDA KULLANILAN  
ÇELİKLERİN FARKLI YÜZEY İŞLEMLERİ İLE KOROSYON  
DAYANIMININ ARTTIRILMASI**

**2023**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Necati ÇAVUŞLAR**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	III
TABLO DİZİNİ.....	IV
TEŞEKKÜR .....	V
ÖZET .....	VI
ABSTRACT .....	VII
1. GİRİŞ .....	1
2. KALIPÇILIK VE ÜRETİM.....	3
3. PLASTİK ENJEKSİYON VE ÜRETİM PROSESLERİ.....	4
3.1. Plastik Enjeksiyon Makinesi .....	5
4. PLASTİK MALZEMELER .....	6
4.1. Termoplastikler .....	6
4.2. Termosetler .....	7
4.3. Elastomerler .....	7
5. KALIP ÇELİKLERİ .....	9
5.1. 1.2311 (40CrMnMo7/AISI: P20).....	10
5.2. 1.2312 (40CrMnMoS 8-6 / AISI: P20+S) .....	11
5.3. 1.2738 (40CrMnNiMo 8-6 -4/AISI: P20+Ni) .....	11
5.4. 1.2083 (X42Cr13 / AISI: 420 SS) .....	11
5.5. 1.2316 (X36CrMo17).....	11
6. KALIP ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI İÇİN YAPILAN İŞLEMLER.....	12
6.1. Karbürleme.....	13
6.2. Nitrürleme .....	13
6.3. Borlama.....	14
6.4. PVD İşlemi.....	15
6.5. Sert Krom Kaplama .....	17
6.6. Nikel Kaplama.....	19
6.7. CVD İşlemi .....	19
6.8. Lazer Yüzey İşlemleri.....	19
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
7.1. Korozyon Testi.....	24
7.2. Aşınma Testi .....	28
7.3. Maliyet Yaklaşımı .....	31
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	33
KAYNAKLAR.....	34

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>PVD</b>	Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
<b>CVD</b>	Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)
<b>HV</b>	Vickers Sertlik Birimi
<b>CrN</b>	Krom Nitrür
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
<b>P20</b>	Takım Çeliği
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1. Kalıpların Sınıflandırılması .....	3
Şekil 2. Plastik Enjeksiyon Kalıp Örneği.....	4
Şekil 3. Plastik Enjeksiyon Makinesi.....	5
Şekil 4. PVC Hammaddesi ile Üretilen Numune Örneği.....	8
Şekil 5. Yüzey İlem Teknikleri Şeması .....	12
Şekil 6. Borlama İşlemi Sonrası Mikroskop Görüntüleri .....	14
Şekil 7. Borlama İşlemi Sonrası Mikroskop Görüntüleri .....	15
Şekil 8. 1.2738 Çelik İçin CrN Kaplama (1000x) .....	16
Şekil 9. 1.2344 Çelik İçin CrN Kaplama (1000x) .....	16
Şekil 10. 1.2738 Sert Krom Kaplama (1000x) .....	17
Şekil 11. 1.2344 Sert Krom Kaplama (1000x) .....	18
Şekil 12. 1.2378 Korozyon Grafiği.....	18
Şekil 13. 1.2344 Korozyon Grafiği.....	18
Şekil 14. Lazer Yüzey İşlemleri Sonrası Yüzey Görüntüsü.....	20
Şekil 15. Lazer Yüzey İşlemleri Öncesi ve Sonrası SEM Görüntüsü .....	21
Şekil 16. Lazer Yüzey İşlemleri Öncesi ve Sonrası SEM Görüntüsü .....	22
Şekil 17. Numune Görselleri .....	23
Şekil 18. Nitrürlenmiş Parçaların Sertlik Dağılımları .....	23
Şekil 19. Korozyon Test Kabini .....	24
Şekil 20. Tuz Testi Sonucu Paslanan 1.2311 Çeliği Görseli.....	24
Şekil 21. Tuz Testi Sonucu Paslanan Nitrürlenmiş 1.2311 Çeliği Görseli .....	25
Şekil 22. Tuz Testi Devam Eden Numune Görselleri .....	26
Şekil 23. Tuz Testi Sonucu Paslanan Sert Krom Kaplanmış 12311 Çeliği Görseli	26
Şekil 24. Tuz Testi Sonucu Paslanan 1.2316 Çeliği Görseli.....	27
Şekil 25. Korozyon Dirençleri Grafiği.....	27
Şekil 26. Tribometre Cihazı Görseli .....	28
Şekil 27. Aşınma Testine Hazırlanan Numune Görselleri .....	28
Şekil 28. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı .....	29
Şekil 29. Sert Krom Kaplanmış 1.2311 Çeliğin yüzey Pürüzlülük Grafiği .....	29
Şekil 30. Nitrürlenmiş 1.2311 Çeliğin Yüzey Pürüzlülük Grafiği .....	29
Şekil 31. İşlem Görmemiş 1.2316 Çeliğin Yüzey Pürüzlülük Grafiği .....	30
Şekil 32. Aşınma Değerleri Grafiği .....	30
Şekil 33. Plastik Enjeksiyon Kalıp Parçaları.....	31
Şekil 34. Üretimde Yer Alan Başlıklara Göre Değer Grafiği .....	32

## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 1. Yaygın Olarak Kullanılan Plastik Türleri .....	6
Tablo 2. Plastik Enjeksiyon Kalıp Çeliklerinin Mekanik Özellikleri .....	10
Tablo 3. İşlem Görmemiş 1.2311 Çeliğin Korozyon Testi Sonuçları .....	25
Tablo 4. Nitrürlenmiş 1.2311 Çeliğin Korozyon Testi Sonuçları .....	25
Tablo 5. Sert Krom Kaplanmış 1.2311 Çeliğin Korozyon Testi Sonuçları .....	26
Tablo 6. İşlem Görmemiş 1.2316 Çeliğin Korozyon Testi Sonuçları .....	27



## TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum tez çalıőmasında, malzeme tedarıği konusunda hızlı aksiyonlar alan Sağlam Metal San. Ve Tic. A.Ő'ye, korozyon testleri için labarotuvuar imkânlarını benimle paylaőan LMC Makine San. Tic. A.Ő'ye, çeliklere sert krom kaplama yüzey işlemine uygulayan Fe-Cr Sert Krom Kaplama'ya, çeliklere uygulanan nitrrlleme işlemini gerçekleőtiren DÖSAN Isıl İşlem San. A.Ő'ye, bana yol gösteren, çalıőmalarımnda çokça emeği olan değerli Dr. Öğr. Üyesi Selda KAYRAL'a ve bu süreçte desteğini, sevgisini benden esirgemeyen aileme tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Necati ÇAVUŞLAR  
Manisa, 2023



## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

**Necati ÇAVUŞLAR**

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selda KAYRAL**

Seri üretimde önemli rol oynayan kalıplar, yanlış malzeme seçimi ve hatalı yüzey işlemi uygulanmasından dolayı, üreticiler tarafından hedeflenen üretim miktarını yakalayamadan hurdaya çıkmaktadır. Bu süreç içerisinde de korozyon ve aşınma gibi sorunlar nedeniyle kalıplarda bakım ihtiyacı artmaktadır. Üretimin durması, kalıp bakımı ve hedeflenen üretim miktarlarına ulaşamaması nedeniyle üretim maliyetleri artmaktadır. Malzeme seçimi yapılırken, hem plastik hammaddenin hem de kalıp çeliğinin maruz kalacağı etkiler ve sorunlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Yapılan araştırma ve çalışmalar, doğru malzeme seçimlerinin yanı sıra, uygun yüzey işlemleri ile aşınma direncini, korozyon direncini ve mukavemetini geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu sayede kalıpların daha uzun ömürlü olmaları, daha uzun periyotlarda bakım gerektirmeleri sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada kalıpcılık sektöründe sıkça kullanılan plastıklara ve plastik kalıp çelikleri üzerine bir literatür çalışması yapılmıştır. Ek olarak, kullanılan plastik türlerine göre uygun plastik kalıp çeliği seçimleri ve bunların üzerine uygulanan yüzey işlemleri incelenmiştir. Ayrıca 1.2311 ve 1.2316 malzeme numaralı plastik enjeksiyon kalıp çeliklerinin korozyon dirençlerinin kıyaslanması, yüzey işlemleri, aşınma testleri yapılarak uygun kalıp çeliği seçimi üzerine deneyler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler: Plastik Kalıp Çelikleri, Yüzey İşlemleri, Korozyon**

**2023, 34 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

**Necati ÇAVUŞLAR**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Mechanical and Manufacturing Engineering**

**Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Selda KAYRAL**

Molds, which play an important role in mass production, are scrapped before reaching the production amount targeted by the manufacturers due to wrong material selection and incorrect surface treatment. During this process, the need for maintenance in molds increases due to problems such as corrosion and wear. Production costs increase due to production stoppages, mold maintenance and inability to reach targeted production quantities. When choosing a material, the effects and problems that both the plastic raw material and the mold steel will be exposed to should be taken into consideration.

Research and studies aim to improve wear resistance, corrosion resistance and strength with appropriate surface treatments, as well as correct material selection. In this way, it is possible to ensure that the molds have a longer life and do not require maintenance in longer periods.

In this study, a literature study was conducted on plastics and plastic mold steels that are frequently used in the molding industry. In addition, the selection of appropriate plastic mold steels and the surface treatments applied on them were examined according to the types of plastic used. In addition, experiments were carried out on the selection of appropriate mold steel by comparing the corrosion resistance of plastic injection mold steels with material numbers 1.2311 and 1.2316, surface treatments, wear tests.

**Keywords: Plastic Mold Steels, Surface Treatments, Corrosion**

**2023, 34 pages**

## 1. GİRİŞ

Günümüzün rekabetçi üretim sektöründe, düşük yatırım maliyeti ile hafif, yüksek kaliteli ürünler elde edebilmenin yolları aranmaktadır. Cam, metal ve kâğıt gibi geleneksel malzemelerin üretimi devam ederken, plastik ürünler için enjeksiyon kalıplama işlemi, hızlı üretim ve düşük maliyet avantajlarından dolayı endüstride yoğun olarak kullanılan bir imalat yöntemi haline gelmiştir. Yüksek üretim oranının yanında düşük atık oranı, üretimde doğrudan son ürün eldesi ve karmaşık geometrileri üretebilme imkânı tanımaktadır. Bu da, diğer üretim yöntemlerine göre daha fazla tercih edilmesine neden olmaktadır. Özellikle otomotiv, beyaz eşya, medikal, elektrik-elektronik gibi birçok sektörün merkezinde plastik enjeksiyon kalıplılığı yer almaktadır [1].

Kalıplanan parçaların mekanik ve fiziksel özellikleri, imal edildiği plastik malzemenin kimyasal özelliklerine göre değişir. Bu yüzden kullanım alanına göre en uygun malzeme seçilmelidir. Günümüzde 20.000 civarında plastik enjeksiyona uygun malzeme olduğu tahmin edilmektedir ve bu sayı her geçen gün daha da artmaktadır [2,3].

Malzeme seçimindeki en temel amaç, ihtiyacı karşılamaya yönelik kurgulanan tasarımlar ile belirlenen çalışma koşulları altında en kaliteli ve en uzun ömürlü ürünleri elde edebilmektir. Bu malzeme seçimini gerçekleştirebilmek için de tasarım sürecinin adımlarına ve üretimdeki uygulanabilirliğine hâkim olmak gerekir [4].

Malzeme seçimi yapılırken, hem plastik hammaddenin hem de kalıp çeliğinin maruz kalacağı etkiler ve sorunlar göz önünde bulundurularak, imal edilecek malzemenin çalışma analizi ortaya koyulabilir.

Malzeme seçimi gerçekleştirilirken dikkat edilmesi gereken noktalar aşağıda belirtildiği gibidir:

a) Malzemelerin sulu, asidik, yağlı vs. ortamlardan hangisinde işleneceğinin bilinmesi gerekir. Bu, korozyona karşı önlem alınması için oldukça önemlidir.

b) Çalışma ortamının çok sıcak ya da soğuk olması, ısıya dayanıklı malzeme seçimi için önemlidir.

c) Malzemenin çalışacağı ortama göre basma, burulma, çekme ve akma mukavemetine dayanımlı malzeme seçilmesine dikkat edilmelidir.

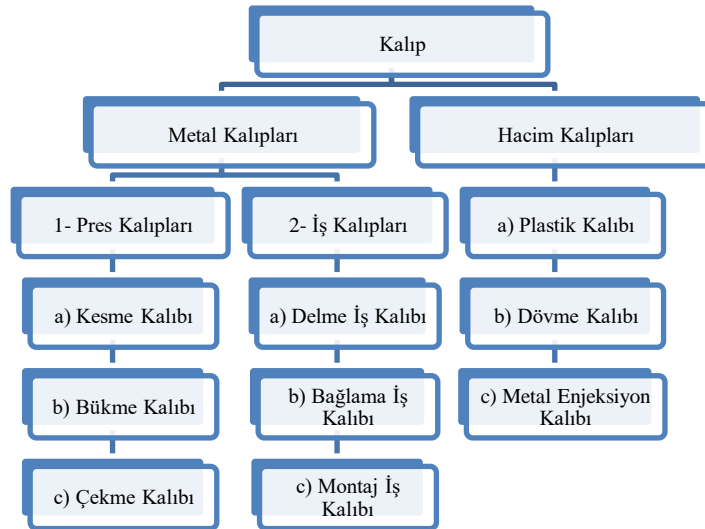
d) Malzemelerden ne kadar bir tokluk veya aşınma dayanımı beklendiği bilinmelidir ve bu doğrultuda ısıl işlem yapılıp yapılmayacağına karar verilmelidir.

e) Son ürün için yüzey kalitesi seviyesi belirlenmelidir [5].

## 2. KALIPÇILIK VE ÜRETİM

Seri üretim, modern imalat sektöründe önemli bir hale gelmiştir. Parçaların tekli üretimi rekabet etme olanağını yitirmiş, bu yüzden birçok yeni seri üretim yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de kalıpla üretimdir. Kalıpçılığın tanımı oldukça geniştir. Ancak özetle; çok sayıda aynı tür parçanın aynı anda seri olarak üretimini sağlayan araç anlamına gelir. Bir kalıbın tasarımı, üretimi ve enjeksiyon makinesine bağlanması yalnız bu konuda yetiştirilmiş ekiplerle mümkündür. Bir parçanın üretilmesi için gerekli olan kalıbı tasarlamak, kalıpçılık teknolojisine hakim olmak, bu alanda yeterli tecrübeye sahip olmak ve devamlı yenilikleri takip etmekle mümkündür.

Kalıplarla kısa sürede kaliteli ve yüksek adetli parça üretildiğinde, parça başına düşen maliyet değeri de azalmış olur. Bunun için üretimi yapılacak parçayla, kalıp üretimiyle ve kalıp üretiminde kullanılacak malzemeler ile ilgili teknik detaylara hâkim olmak gerekir. Bu durumda kalıp tasarımının ve işçilik konularının, kalıp maliyeti ve imalatı yapılacak parçanın birim maliyeti üzerinde sınırlı bir etkisi vardır. Maliyeti büyük oranda etkileyen ise kalıp üretiminde kullanılan malzeme seçimi, kalıbın bir parçayı üretebilmek için harcadığı zaman ve bununla doğrudan ilişkili olan kalıp ömrüdür [6]. Kalıpçılık sektöründe birçok üretim yöntemi mevcuttur. Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplarına değinilmiştir.

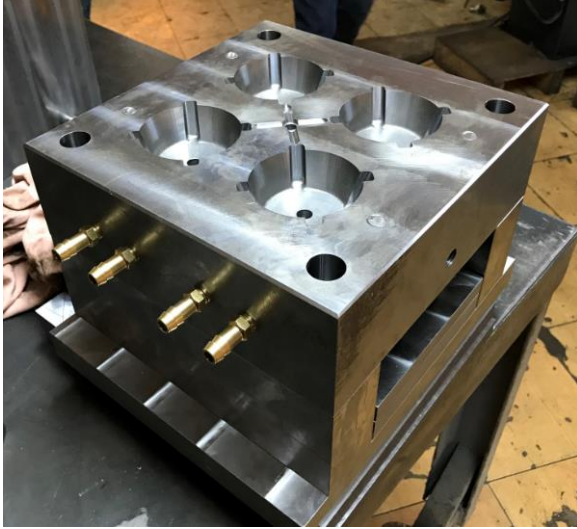


Şekil 1. Kalıpların Sınıflandırılması

### 3. PLASTİK ENJEKSİYON VE ÜRETİM PROSESLERİ

Plastik malzemelerin işlenmesi veya şekillendirilmesi belirli bir sıcaklık ve basınç altında gerçekleşmektedir [7]. Bu iki etkeni ve farklı prosesleri kullanarak plastiklere istenilen formu vermek mümkündür. Plastik parçaların her birinin şekli ve kullanım alanları farklı olduğu için bu doğrultuda farklı işleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu işleme ve şekillendirme tekniklerinden biri de enjeksiyon yöntemidir. Enjeksiyon yöntemi kavramının içinde enjeksiyon makinesi, üretilmesi hedeflenen parçaya ait kalıplar vs. gibi yardımcı malzeme ve ekipmanlar yer almaktadır. Sıklıkla kullandığımız plastik enjeksiyon ile üretilen malzemelere oyuncakları, otomobil parçalarını, ev eşyalarını, elektronik parçaları örnek gösterebiliriz. Enjeksiyon yönteminin artıları şu şekilde sıralanabilir:

- Parça üretimi hızlı bir biçimde gerçekleştirilebilir.
- Yüksek hacimlerde parça üretilebilir.
- Diğer üretim yöntemlerine göre maliyeti düşüktür.
- Genellikle son işleme gerek duyulmaz.
- Farklı renkte ve şekilde parçalar üretilebilir.
- Malzeme kaybı yüksek oranda önlenir.
- Hassas parçalar üretilebilir.



**Şekil 2.** Plastik Enjeksiyon Kalıp Örneği

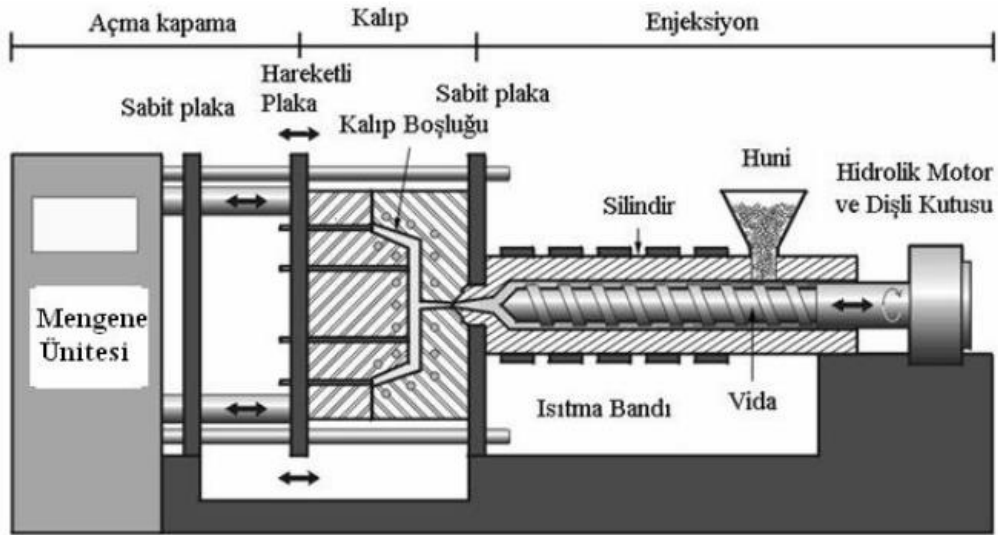
### 3.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi

Enjeksiyon makinesi, farklı tasarımda ve şekillerde üretilebilir. Genellikle, kullanım yerine göre uygunluğu belirlenir. Birçok faktörün, kalıp tasarımı yapılmadan önce makine dizaynına uygunluğu tespit edilmelidir. Kalıp tasarımının, makineye uygunluğunu seçerken ve işlemin tamamını anlamak için aşağıdaki etkenleri göz önüne almalıyız [8].

- Enjeksiyon yapılacak parçanın kullanılacağı yer,
- Kullanılan hammaddenin yapısı,
- Parça kalitesi ve üretim hacmi açısından prosesten istenilenler,
- Ekonomik geçerliliği (Hammadde- Enerji- Kalıp)

Enjeksiyon makinesi üç temel bölümden oluşur:

- Makine gövdesi
- Enjeksiyon ünitesi
- Kapama ünitesi



Şekil 3. Plastik Enjeksiyon Makinesi [9].

## 4. PLASTİK MALZEMELER

Plastikler, çalışma sıcaklığında katı halde bulunan, ısı ve basınç uygulanarak şekillendirilebilen organik polimer madde şeklinde tanımlanmaktadır [10].

Plastikler, değişik kriterlere göre sınıflandırılabilir. Bağ yapılarına göre sınıflandırılmak istendiğinde, çapraz bağlı olmayan ve çapraz bağlı şeklinde sınıflandırılır. Malzeme gruplarına göre ise termoplastikler, termosetler ve elastomerler olarak gruplandırılabilir. Elastomerler ve termosetler çapraz bağlı malzemelerdir fakat termoplastikler çapraz bağlı değildir. Tablo 1’de malzeme gruplarına göre plastik malzemelerin çeşitleri verilmektedir.

Termoplastikler	Termosetler	Elastomerler
<ul style="list-style-type: none"><li>• PP</li><li>• PC</li><li>• PVC</li><li>• PE</li><li>• PA</li><li>• PS</li><li>• ABS</li><li>• PET</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• UP</li><li>• PF</li><li>• EP</li><li>• BMI</li><li>• PI</li><li>• Akrilikler</li><li>• Termoset PUR</li><li>• Epoksi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• PI</li><li>• PB</li><li>• SBR</li><li>• NBR</li><li>• IIR</li><li>• EPR</li><li>• PDMS</li></ul>

**Tablo 1.** Yaygın Olarak Kullanılan Plastik Türleri

### 4.1 Termoplastikler

Termoplastikler, ısıtıldığında eriyen ve sonra yeniden şekillendirilebilen polimerlerdir. Enjeksiyon ve ekstrüzyon gibi yaygın kullanılan tekniklerle her türlü şekilde kalıplanabilirler. Elastomerlerden farklı olarak belli bir seviyeye kadar elastikiyetini korurlar ve daha sonra kalıcı bir deformasyona uğrar ya da kırılırlar.

Daha kolay şekil vermek veya şekil verme işlemini daha düşük bir sıcaklıkta gerçekleştirip enerjiden tasarruf etmek için, termoplastiklere “plastikleştirici katkı maddeleri” eklenebilir. Plastik enjeksiyon kalıpcılığında termoplastikler yapısı gereği oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir.

#### **4.2 Termosetler**

Termosetler, kritik bir sıcaklığın üzerinde kalıcı olarak sertleşen ve yeniden ısıtıldığında da yumuşamayan polimerlerdir. Termoset sözcüğü, ısı işlem altında kalıplanabildiklerini (termo) ve verilen şeklin tekrardan bozulamayacağını (set) gösterir. Termoplastiklerden ayıran özelliği, bir kere şekillendikten sonra bir daha eritilip kalıplanamamalarıdır. Termoset polimerler boyutsal bir kararlılığa sahiptir ve darbe dirençleri yüksektir. En yaygın uygulamaları cam elyaf, karbon elyaf ve aramid elyafıdır.

#### **4.3 Elastomerler**

Elastomerler, lineerpolimerler olan termoplastiklerin bir alt üyesidir. Moleküler yapıda termoplastiklerden farkları, C, H, S, F, O, Cl gibi elementlerden meydana gelen molekül zincirlerinin çapraz bağları nedeniyle yüksek oranda şekil değiştirme yeteneğine sahip olmalarıdır. Mekanik zorlanmalar esnasında çapraz bağların açılmasıyla %1000'e kadar şekil değiştirebilmektedirler. Zorlanma durumu ortadan kalktığında şekil değişimi de ortadan kalkar ve eski boyutlarına dönerler.

Günlük yaşantımızda en çok karşılaştığımız bu plastik türleri ambalajlar, şişeler, kaplar, koruyucu ekipmanlar, yer kaplamaları, elektronik, otomotiv, beyaz eşya vs. gibi alanlarda kullanılır. Kendi iç yapıları gereği kullanım alanları da farklılık göstermektedir. Termoplastikler ısıtıldıklarında faz değiştirirler, yumuşayıp erirler ve akışkan bir forma gelirler. Soğutulduklarında yeniden katılaşırlar. Bu sebeple termoplastiklerle işlem yapılırken plastikleştirme ünitesi sıcak, kalıplar soğuk çalışır. Genellikle arada 100 °C'nin üzerinde sıcaklık farkı bulunmaktadır [11].

Bu noktada genellikle sıcaklıkla açığa çıkan korozif etkiler, kalıbı ve dolayısıyla elde edilecek ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir. Aşınmalar kalıpçılık sektöründe karşılaşılan en büyük problemlerden biridir.

Kalıbın aşınmasını ve kalıbın ömrünü etkileyen faktörler, kalıbın yüzey sertliği ve dökülen malzemenin korozif özellikleridir. Örneğin, PVC gibi ışığa ve sığa karşı hassas olan malzemeler, kalıp yüzeylerinde zamanla aşınmalara sebep olur. Bunun nedeni, PVC hammaddesinin, kararsız yapısı yüzünden yüksek ısı altında ya da ışığa uzun süre maruz kaldığında ortama hidrojen klorür (HCl) molekülü vermesidir. Sonucunda temas ettiği yüzeylerin bozunmasına neden olmaktadır. Sebep olduğu korozyona karşı alınacak önlemler; uygun çelik seçimi ve/veya uygun yüzey işlemleridir.

Plastik enjeksiyon kalıplarının, aynı kalıp çeliğinden üretilip, aynı ısı işleminden geçirilmiş olsa dahi, farklı termoplastik malzeme kullanılması durumunda farklı kalıp ömürleri ile karşılaşıldığı bilinmektedir. [12].

Bu çalışmada PVC plastik hammaddesinin sebep olduğu korozyon etkisinden yola çıkılarak, çeliklerdeki korozif etkiler ve yüzey işlemleriyle bu etkiler ne kadar giderilebilir başlıkları incelenmiştir.



**Şekil 4.** PVC Hammaddesi ile Üretilen Numune Örneği

## 5. KALIP ÇELİKLERİ

Plastik kalıp çelikleri, her türlü plastik hammaddenin farklı yöntemlerle şekillendirilmesi amacıyla üretilmiş, aşındırıcı plastıklere karşı mukavemetli, çok yüksek baskı adedi ve yüksek parlatılabilirlik imkanı sunabilen alaşımlı takım çeliği grubudur. Plastik kalıp çelikleri genellikle ısıtma işlemi sertleştirilmesi yapılmış halde kullanıma sunulmaktadır.

Plastik kalıp çeliklerinden istenen özellikler:

- Temiz ve homojen bir mikro yapıya sahip olması
- Kolay işlenebilir olması
- Aşınma dayanımının yüksek olması
- Üretim anında plastik hammaddenin uyguladığı basınca karşı dayanımının yüksek olması
- Çok iyi derecede parlatılabilir özellikte olması
- Yüksek korozyon direncine sahip olmasıdır.

Plastik enjeksiyon kalıpları, özellikle koroziv plastiklerle çalıştıklarında, nemli ortamlarda depolandıklarında ve su geçen kanallar ile soğutulduklarında korozyona maruz kalabilirler. Korozyona uğrayan kalıp parçaları, genellikle paslanmaz çelikten üretilir. Paslanmaz çelik kullanılmadığında, kalıbın düzenli olarak parlatılması veya kaplanması gerekebilir ki bu durum, paslanmaz çelik kullanımına göre daha fazla işçilik gerektirir ve maliyetlidir. Ayrıca, soğutma kanallarının korozyona uğraması ısı iletimini azaltabilir ve üretim süresini uzatabilir

Paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, yapısında bulundurduğu krom miktarına göre değişir. En az %12 krom içeren paslanmaz çelikler, atmosferle veya oksijenle temas ettiğinde çok yoğun, güçlü bir şekilde yüzeye yapışan, gözle görülmeyen bir krom oksit tabakası oluşturur. Bu tabaka, çeliği korozyona karşı korur. Ayrıca, korozyon direnci kalıbın yüzey kalitesine de bağlıdır

Pürüzlü bir yüzey, parlatılmış bir pürüzsüz yüzeye kıyasla korozif ortamın etkileşebileceği daha fazla yüzey alanına sahiptir. Bu nedenle, %13 krom içeren krom çelikleri, sadece yüzeyleri parlatıldığında korozyona karşı direnç gösterebilirler. Plastik kalıpları korozyona karşı korumak için, kalıplar söküldüğünde ve depoya alındığında yüzeyleri titizlikle temizlenmelidir. Elektrolizle kaplama, plastik ve plastik katkı maddelerinin korozif etkilerini gidermede etkilidir, ancak keskin köşelerde bu kaplamalar zamanla aşınabilir ve korozif şartların hakim olduğu durumlarda yüzey kaplaması olsa bile kalıplar korozyona maruz kalabilir. Bu durumlarda, paslanmaz çelik kullanımı tavsiye edilir. Ancak paslanmaz çeliklere nitrürleme uygulanması, paslanmaz çeliğin korozyon direncini biraz azaltabileceği için önerilmez [13,14].

Plastik enjeksiyon kalıplarında yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler ve mekanik özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Malzeme	Sertleşebilme Kabiliyeti	Tokluk	İslenebilirlik	Parlatılabilirlik	Korozyon Dayanımı
1.2311	■	■	■	■	■
1.2312	■	■	■	■	■
1.2738	■	■	■	■	■
1.2083	■	■	■	■	■
1.2316	■	■	■	■	■

**Tablo 2.** Plastik Enjeksiyon Kalıp Çeliklerinin Mekanik Özellikleri

### 5.1 1.2311 (40CrMnMo7/AISI: P20):

Plastik enjeksiyon kalıplarında çekirdek, metal enjeksiyon kalıplarında ve ekstrüzyon preslerinin kovanlarında kullanılır. Yüksek düzeyde parlatılabilirlik özelliğine sahiptir. Yüzey sertliğini artırmak için nitrasyon işlemine uygun bir malzemedir ve krom kaplamaya da elverişlidir. Ölçüleri 400 mm'ye kadar olan kalıplarda homojen sertleşme özelliği gösterir. Daha küçük kesitlerde ise homojen bir şekilde sertleştirilebilir.

### **5.2 1.2312 (40CrMnMoS 8-6 / AISI: P20+S)**

Plastik enjeksiyon kalıplarında, parlaklık ve yüzey kalitesi hassasiyeti gerekmeyen durumlarda çekirdek olarak tercih edilebilir. Bu malzeme genellikle plastik ve metal enjeksiyon kalıplarında kalıp hamili olarak kullanılır. İçerdiği kükürt elementi malzemenin kolay işlenebilirliğine katkı sağlar. Ancak asit yoluyla desenleme için uygun değildir.

### **5.3 1.2738 (40CrMnNiMo 8-6 -4/AISI: P20+Ni)**

Plastik enjeksiyon kalıplarında en yaygın tercih edilen malzemedir. Isıl işlem sonrasında homojen bir sertlik dağılımı ve yüksek yüzey parlaklığı elde edilebilmesi, kullanıcıya büyük avantajlar sağlar. Televizyon gövdeleri, araba tamponları ve farklı boyutlardaki plastik konteyner kalıpları gibi geniş bir kullanım alanına sahip büyük ölçekli plastik kalıplarında sıklıkla kullanılır. Ayrıca, nitrasyon işlemiyle yüzeyinin sertleştirilmesine olanak tanır.

### **5.4 1.2083 (X42Cr13 / AISI: 420 SS)**

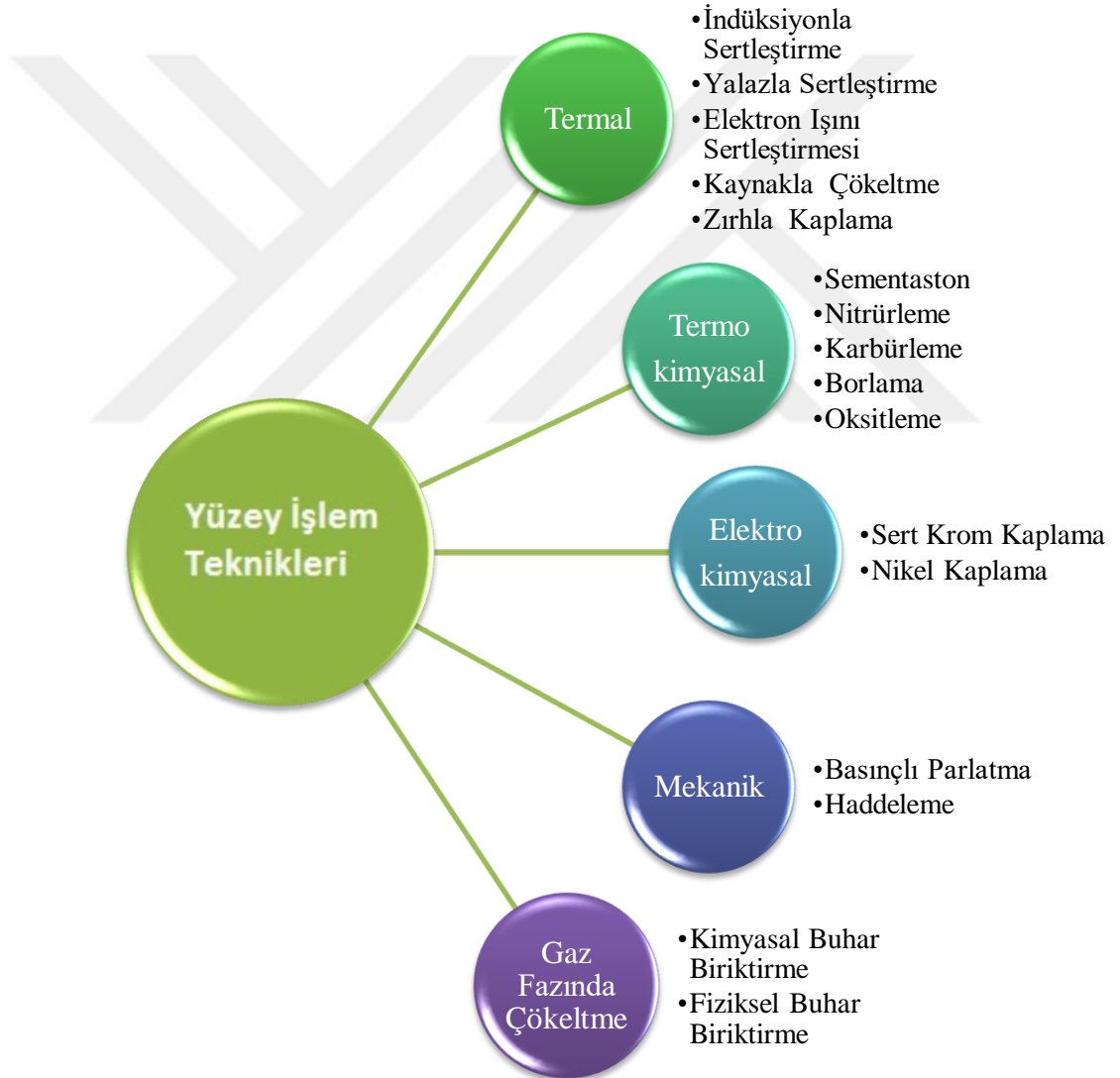
Bu malzeme, yüksek korozyon direncine sahip olup çok iyi işlenebilen bir paslanmaz plastik enjeksiyon kalıp çeliğidir. Özellikle korozyon etkisinin olduğu plastik hammaddelerin ürüne dönüştürüldüğü uygulamalarda ve yüksek parlaklık gerektiren kalıplarda sıkça tercih edilir. Ayrıca, yüksek düzeyde parlatılabilirlik özelliğine sahiptir, ancak nitrasyon işlemi için uygun değildir.

### **5.5 1.2316 (X36CrMo17)**

Plastik hammaddelerin yüksek korozyon etkisi altında şekillendirilmesinde, özellikle PVC kalıplarında sıklıkla tercih edilen bir paslanmaz plastik enjeksiyon kalıp çeliğidir. Ayrıca, gıda endüstrisinde bıçak, kalıp ve benzeri parçaların üretiminde kullanılır. Optimum aşınma direnci ve yüksek parlatılabilirlik özelliklerine sahiptir, fakat nitrasyon işlemi için uygun değildir.

## 6. KALIP ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI İÇİN YAPILAN İŞLEMLER

Çelik üreticileri ve plastik malzeme üreticilerinin ortak hedefi, uygun prosesleri kullanarak, enjeksiyon kalıplarının ömrünü ve kalitesini arttırmaktır. Bu da yüzey işlemleriyle sağlanabilir. Tüm işlemlerin amacı, yüzey kalitesini, korozyon dayanımını, yorulma ve aşınma dayanımını iyileştirmek ve plastik parçanın kalıba yapışmadan ayrılmasını sağlamaktır. Plastik kalıp çeliklerine uygulanan yüzey işlemleri, farklı başlıklar altında Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan yüzey işlemlerine değinilmiştir.



Şekil 5. Yüzey İşlem Teknikleri Şeması

## 6.1 Karbürleme

Karbürleme, karbon içeriği %0,3'ün altında olan çeliklerde kullanılan bir işlemdir. Bu yöntemde, karbon çelik yüzeyine yakın bölgelere difüzyonla geçirilir. Karbürleme prosedürü sonucunda çelik çekirdeği yumuşak kalırken yüzeyi sertleşir [13]. Karbürleme sıcaklığında ani su verilmesi durumunda, bu sürece doğrudan sertleşme adı verilir. Bu işlem, iç kısım tarafından desteklenen sert bir yüzey oluşturur. Sertleşme işleminden sonra çelik menevişlenir. Menevişleme sıcaklığı, yüzey sertliğini belirlemede önemli bir faktördür. 100-300 °C arasında gerçekleştirilen menevişleme, 600-700 Brinell sertliği sağlar [15].

## 6.2 Nitrürleme

Nitrürleme, dış katmanı azotla doyurarak malzemenin sertliğini, aşınma ve korozyon direncini artırmayı amaçlar. Bu işlemle elde edilen yüzeyin avantajlarından biri, malzemenin boyutlarının değişmemesidir. Oluşan sert nitrür tabakası, malzemenin aşınma ve yorulma direncini önemli ölçüde artırır. Nitrürleme, yaklaşık 570 °C sıcaklıkta gerçekleştirildiği için, nitrür tabakasının altındaki ana malzemenin sertliği ve dayanımında bir azalma olabilir. Neredeyse tüm plastik kalıp çelikleri nitrürlenebilirken, paslanmaz çeliklerin nitrürlenmesi korozyon direncini düşürdüğü için önerilmez [13]. Nitrürleme işlemi sonucunda kalıpta çarpılma oluşmaz.

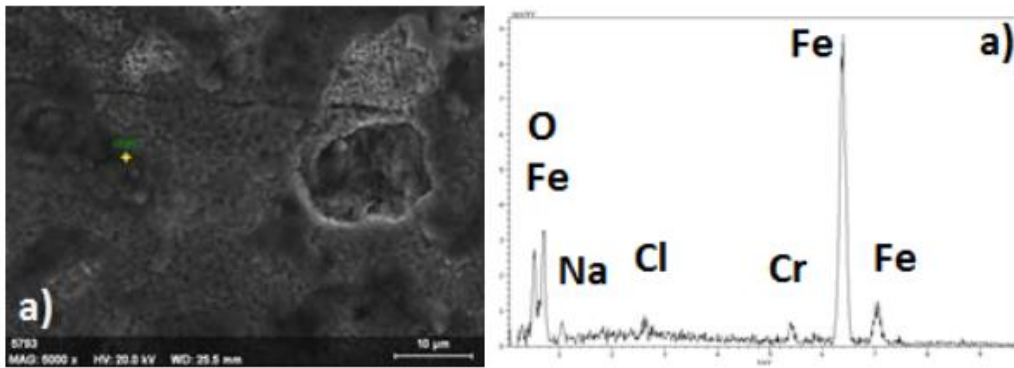
Guanghua Yana ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, Gaz Nitrürleme ve Lazer yüzey sertleştirme işlemlerinin P20 plastik kalıp çeliğinin yüzey özellikleri üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Gaz Nitrürleme işlemi ile yüzey sertliği ve aşınma direnci önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Ayrıca nitrürlenmiş katmanın gelişmiş bir korozyon direnci sergilediği gözlemlenmiştir. Nitrürleme işlemi takiben lazer yüzey sertleştirme işlemi, nitrürlenmiş tabakanın yüzey sertliğini ve aşınma direncini daha da arttırmıştır [16].

### 6.3 Borlama

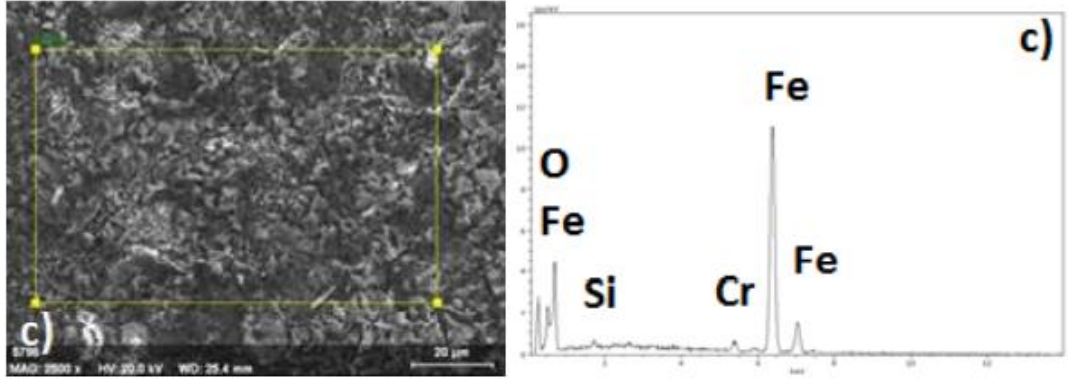
Borlama, yüzeye yakın katmanları bor ile zenginleştirerek sonuç olarak çok ince ancak son derece sert (1800 ile 2100 HV) ve yüksek aşınma direncine sahip demir borür tabakası oluşturur. Bu işlem genellikle 800 °C ile 1050 °C arasında gerçekleştirilir ve 600 µm'ye kadar tabaka kalınlığı elde edilebilir. Borlama sonrasında malzemenin dayanımını artırmak için genellikle ısıl işlem uygulanır, bu işlem alt malzemeye bağlı olarak belirlenir. Borlanmış katmanın 100 ile 200 µm'den kalın olması durumunda çatlama eğilimi görülebilir. Borlanmış yüzeyler genellikle mat gri bir görünüme sahiptir ve borlama sonrasında taşlama gerekebilir.

Yusuf Kayalı ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, AISI P20 çeliğine 800°C, 850°C ve 900°C sıcaklıklarında 2,4 ve 6 saat süre aralıklarında Mikro dalga fırınında yapılan kutu borlama işlemi uygulanmıştır.

Borlama işlemi sonrasında yapılan mikroskop incelemelerinde borür tabakasının AISI P20 çeliği içinde homojen bir kalınlığa sahip olduğu gözlemlenmiştir. AISI P20 çeliğinin borlama işleminden sonra, yüzey sertliğinin 3-4 kat arttığı gözlemlenmiştir. Borlama işlemi ile AISI P20 çeliğinin korozyon direncindeki artış dikkat çekmiştir. Ve artan borlama kalınlığına bağlı olarak korozyon direnci de azalmıştır [17].



Şekil 6. Borlama İşlemi Sonrası Mikroskop Görüntüleri



Şekil 7. Borlama İşlemi Sonrası Mikroskop Görüntüleri

#### 6.4 PVD İşlemi

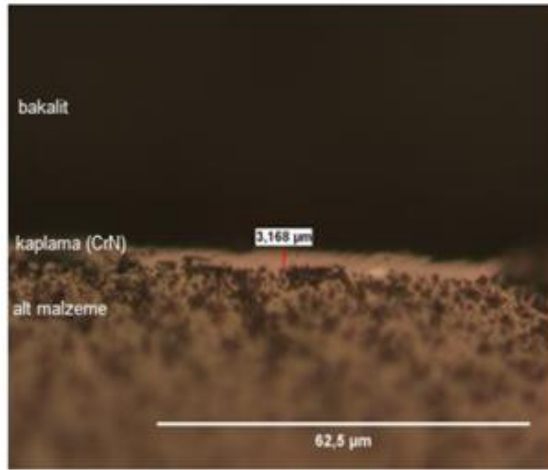
PVD terimi, metallerin, alaşımların ve bunların kimyasal bileşiklerinin (oksitler, nitrürler, karbürler) vakum ortamında termal ve kinetik enerjinin etkisiyle parçacık bombardımanı ile oluşan bir kaplama tekniğini ifade eder. CVD işleminden farklı olarak, bu fiziksel yöntemle yapılan kaplama işlemi genellikle 500-550 °C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu sıcaklıklar, genellikle altlık malzemenin tavlama sıcaklığının altında olduğundan, kaplama sonrasında ısıl işlem gerektirmez.

PVD kaplama öncesinde, kalıp yüzeyinin parlatılmış ve temiz olması, bağlanma ve kaplama sonrası yüzey kalitesi açısından büyük önem taşır. PVD kaplamaların bir avantajı, yüzey hatlarından bağımsız olmalarıdır. Yüzey şekli veya boyut hassasiyeti üzerinde minimal etkiye sahiptir; boyutlara olan etkisi genellikle 5µm'nin altındadır. Yüzey pürüzlülüğü ise 0,5 µm'nin altında olabilmektedir [18].

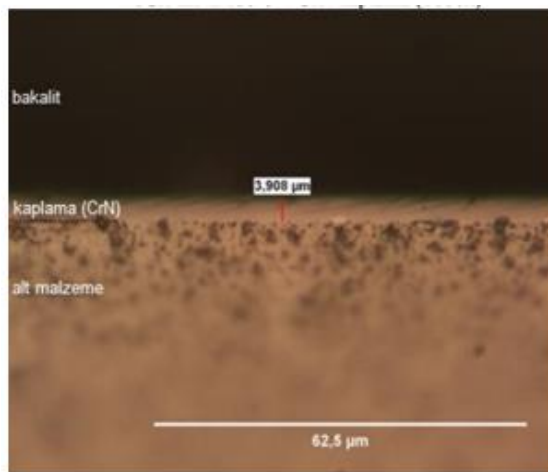
PVD kaplamaların kullanımı, kalıbın ömrünü önemli ölçüde artırır. Özellikle korozyon etkisi altındaki kalıplarda belirgin şekilde artan kalıp ömrü bu avantajın öne çıkan bir örneğidir [19]. Diğer bir ana avantajı ise parçanın kalıptan ayrılma kuvvetinin azalmasıdır.

Engin Sarıkaya ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, termoplastik kalıplarında yaygın olarak kullanılan 1.2738 ve termoset plastik kalıplarında oldukça sık kullanılan 1.2344 takım çeliklerine sert krom, CrN (PVD) ve nitrürleme işlemlerini uygulayarak, bu yüzey işlemlerinin korozyon dayanımını, aşınma dayanımını, sertliğini, darbe dayanımını ve çekme dayanımını nasıl etkilediği incelenmiştir.

CrN kaplama aşınma, sertlik ve korozyon direncinde en iyi performansı vermiştir. Nitrürleme, korozyon direncini çok geliştirmese de, aşınma direncini, sertliği önemli ölçüde arttırmış ve paslanmaz çalışma koşullarında CrN kaplamaya ucuz bir alternatif haline gelmiştir [14].



**Şekil 8.** 1.2738 Çelik İçin CrN Kaplama (1000x)



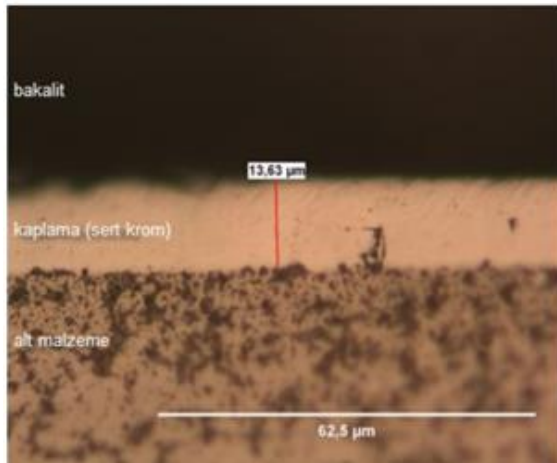
**Şekil 9.** 1.2344 Çelik İçin CrN Kaplama (1000x)

## 6.5 Sert Krom Kaplama

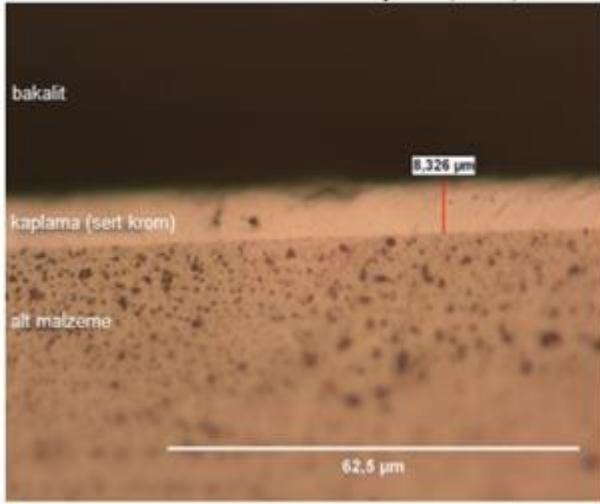
Sert krom kaplama, malzeme yüzeyinde elektroliz yoluyla oluşturulan sert krom tabakasını ifade eder. Elektrolizle çöktürülen krom tabakasının kalınlığı, akım yoğunluğuna ve elektrolit sıcaklığına bağlıdır. Bu işlem sonucunda yaklaşık 900 HV sertliğe sahip bir yüzey tabakası elde edilir. Sert krom kaplamada, krom katmanı genellikle 5 ile 200  $\mu\text{m}$  arasında değişir, ancak özel durumlarda 0,5 ile 1 mm arasında olabilir [15].

Krom tabakası elektrolizle uygulandığı için, topaklanma gibi sorunlar ortaya çıkabilir. İstenilen yüzey kalitesine ulaşmak için malzeme tekrar taşlanmalıdır. Sert krom kaplama işlemi, aşınmış yüzeylerin onarımı için kalıp bakımı uygulamalarında da kullanılır. Sert krom tabakası, alt malzemeye elektroliz yoluyla moleküler bağ ile bağlanır; bu bağ genellikle çatlamaya meyillidir çünkü çok güçlü bir bağ değildir [13].

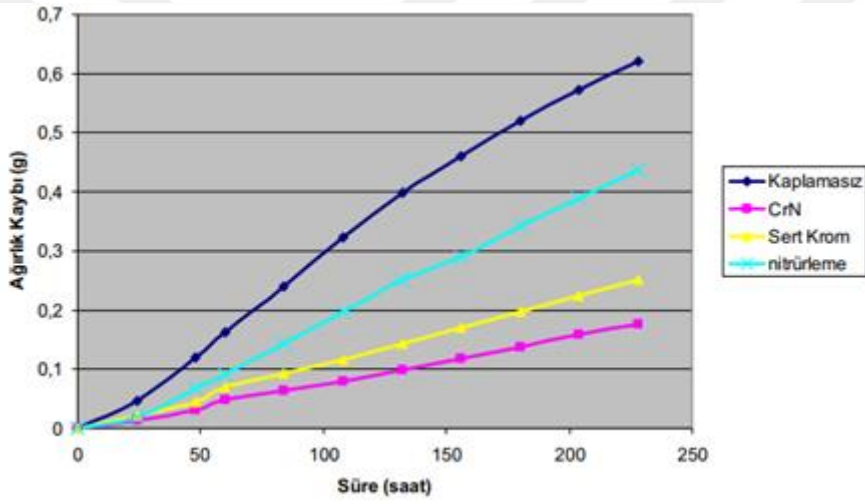
Engin Sarıkaya ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 1.2738 ve 1.2344 plastik kalıp çeliklerine uygulanan sert krom kaplama, CrN kaplama ve PVD kaplama yüzey işlemleri korozyon dayanımı, sertlik, aşınma dayanımı, çekme dayanımı, tokluk ve maliyetine göre bütün olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda diğer yöntemler ile kıyaslandığında sert krom kaplama yönteminin, PVC gibi korozif malzemelerle çalışılan kalıplarda, maliyet avantajını da hesaba katarak iyi bir alternatif olarak seçilebileceği belirtilmiştir [14].



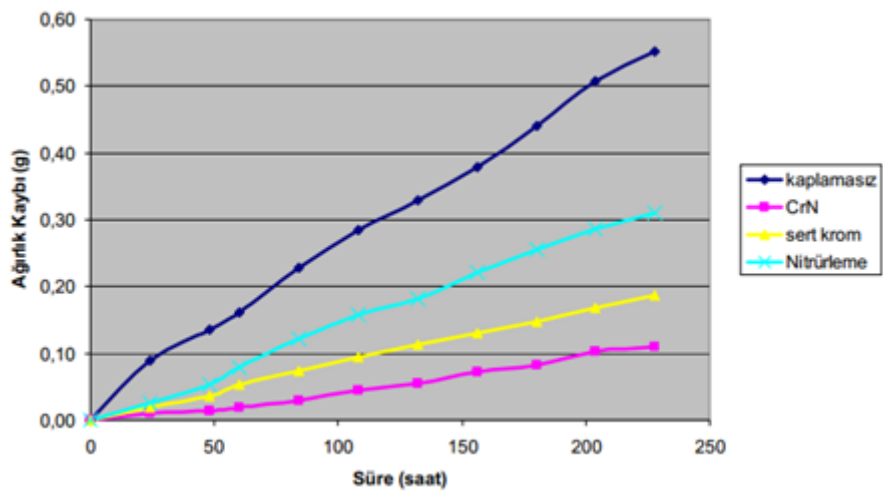
**Şekil 10.** 1.2738 Sert Krom Kaplama (1000x)



Şekil 11. 1.2344 Sert Krom Kaplama (1000x)



Şekil 12. 1.2378 Korozyon Grafiği



Şekil 13. 1.2344 Korozyon Grafiği

## 6.6 Nikel Kaplama

Nikel kaplama, elektrolitik veya kimyasal yöntemlerle yaklaşık 40 µm kalınlığında sert bir nikel tabakası oluşturma prensibine dayanır. Kimyasal nikel kaplama, yüzeyde koruyucu bir tabaka oluşturarak korozyon direnci sağlar.

Kimyasal yöntemle yapılan nikel kaplama, elektrolizle uygulanan kaplamalara göre daha homojen bir kalınlık sağlar. Nikel tabakasının sertliği genellikle yaklaşık 48 HRC civarındadır. Ancak nispeten yumuşak olan nikel kaplama, çok büyük bir aşınma direnci sunmaz [20].

## 6.7 CVD İşlemi

CVD işlemi, gaz haline getirilen malzemenin kimyasal reaksiyonla 800 °C'nin üzerindeki sıcaklıkta katı bir şekilde yüzeye çökertilmesidir [15]. Karbürler, metaller, nitrürler, borürler, silisidler veya oksitler gibi malzemeler, 800-1100 °C arasında ısıtılmış kalıp yüzeyine çökeltir. Bu işlemle elde edilen katmanlar genellikle 6 ila 30 µm kalınlığı arasındadır ve 4000 MPa'a kadar dayanıklılık sağlayabilir. Çökelti, kalıp yüzeyindeki işleme izleri de dahil olmak üzere yüzeye homojen bir şekilde yapışır ve kaplama öncesi yüzeyin detaylarını yansıtır. Bu nedenle, kaplama öncesi yüzeyin istenilen son kaliteye sahip olması önemlidir [21]. Ancak bu işlem için gereken yüksek sıcaklıklar, alt malzemenin sertliğini ve dayanımını azaltabilir. Bu dezavantaj, genellikle başka bir ısıtma işlemi ve ardından sertleştirme ile giderilmelidir.

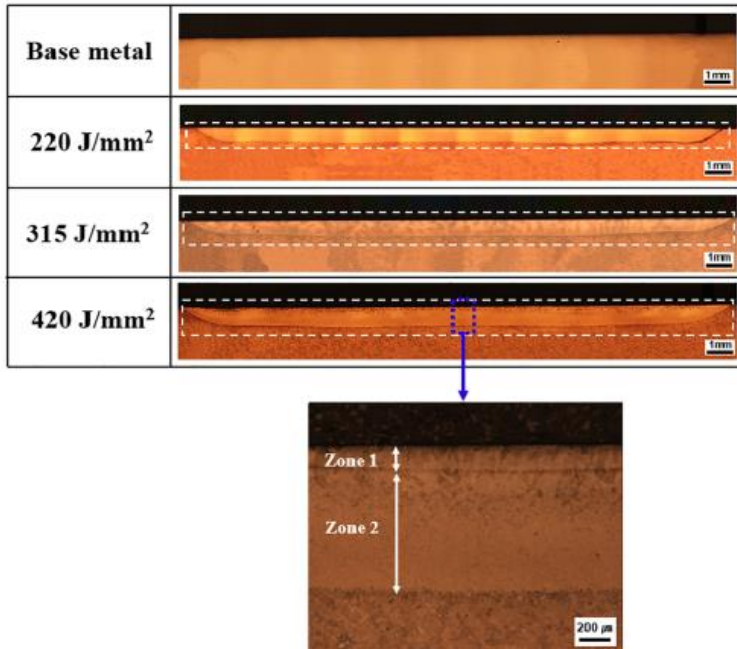
## 6.8 Lazer Yüzey İşlemleri

Lazer yüzey işlemi endüstriyel alanlarda oldukça yaygın bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntem, termal ve termokimyasal olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Geleneksel sertleştirme tekniklerine alternatif olarak, lazer yüzey işlemi, parça maliyeti ve servis ömrü açısından alternatifler sunar.

Termal yöntemler arasında lazer sertleştirme ve lazer yeniden ergitme bulunurken, termokimyasal işlemler arasında lazer alaşımlama, lazer yayma ve lazer kaplama yer alır. Termokimyasal metodlar, malzeme özelliklerini sadece ısıdan değil, ekstra malzeme ilavesinden kaynaklı olarak da değiştirir. Bu işlemle dış katmanın mekanik, tribolojik, termokimyasal ve kimyasal aşınma direnci artar [22].

Parka C. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, AISI P20 ile geliştirilmiş kalıp çeliğinin lazer yüzey mühendisliği farklı lazer enerji yoğunluklarında gerçekleştirilmiş ve lazer yüzey mühendisliği öncesi ve sonrasında aşınma ve korozyon davranışları incelenmiştir. İşlem görmemiş ana metalin değerlerine kıyasla, lazerle yüzey mühendisliği yapılmış AISI P20 çelikler için sürtünme katsayısında ve aşınma hacminde bir azalma gözlemlenmiştir.

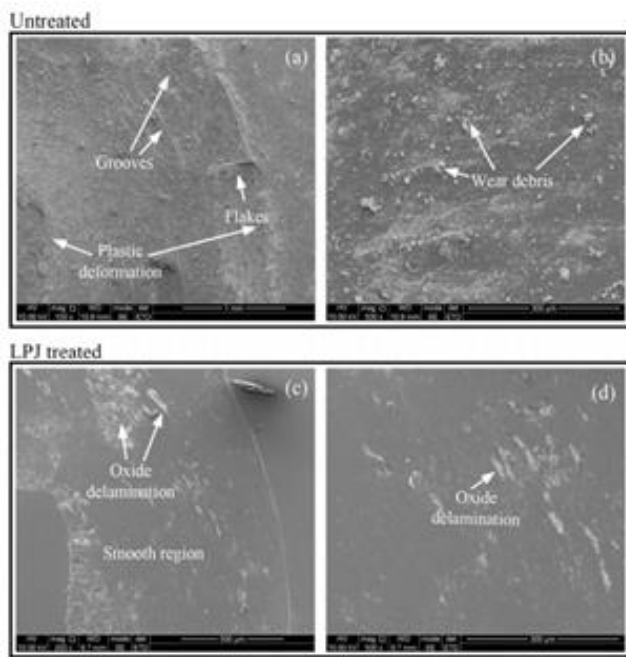
Ayrıca lazer yüzey işlemi ile iyileştirilen AISI P20 çeliği, ana metale kıyasla korozyon hızında ve korozyon potansiyelinde olumlu gelişmeler göstermiştir. Korozyon direncindeki iyileşme, lazer yüzey mühendisliği tarafından sağlanan mikroyapısal homojenlikteki artıştan kaynaklanmıştır [23].



**Şekil 14.** Lazer Yüzey İşlemleri Sonrası Yüzey Görüntüsü

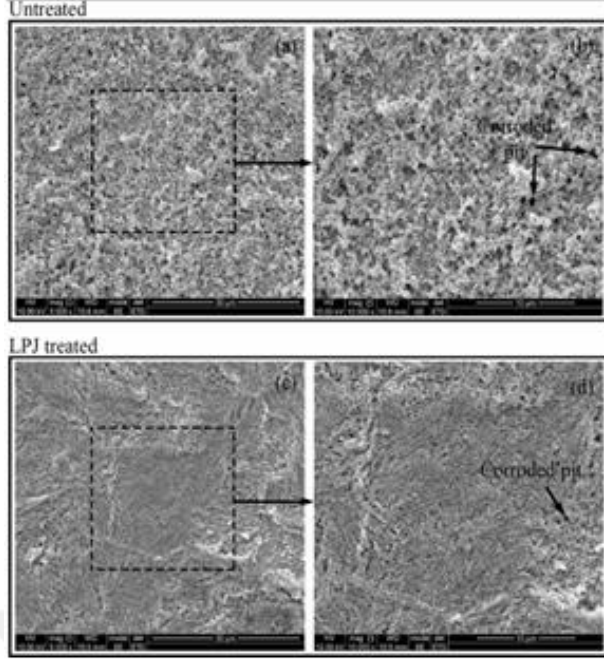
Guo D. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, P20 kalıp çeliğinin LPJ (lazer yüzey işlemleri) işleminden sonraki aşınma ve korozyon davranışları analiz edilmiştir. LPJ yüzey sertleştirme işlemi, önceden sertleştirilmiş P20 kalıp çeliğinin aşınma direncini önemli ölçüde iyileştirebildiği gözlemlenmiştir [24].

İlk şekilde, işlem görmemiş numunenin aşınma yüzeyinin (a)  $100\times$  (b)  $500\times$  SEM görüntüleri ve lazer yüzey mühendisliği ile işlem görmüş numunenin aşınma yüzeyinin (c)  $200\times$ , (d)  $500\times$  SEM görüntüleri gösterilmiştir.



**Şekil 15.** Lazer Yüzey İşlemleri Öncesi ve Sonrası SEM Görüntüsü

İkinci şekilde işlem görmemiş numunenin aşınma yüzeyinin (a)  $5000\times$ , (b)  $10.000\times$  SEM görüntüleri ve lazer yüzey mühendisliği ile işlem görmüş numunenin aşınma yüzeyinin (c)  $5000\times$ , (d)  $10.000\times$  SEM görüntüleri gösterilmiştir.



**Şekil 16.** Lazer Yüzey İşlemleri Öncesi ve Sonrası SEM Görüntüsü

Ayrıca Saklaoğlu N. Ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, AISI 304 ve 316 paslanmaz çeliklerin %10 HCl ve %10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamında gerilim korozyon çatlama davranışı araştırılmıştır.

Oda sıcaklığı şartlarında AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinde gerilimli korozyon çatlak mekanizması üzerinde soğuk deformasyon sırasında meydana gelen kayma çizgileri boyunca korozyonun etkin olduğu ve yine aynı koşullarda AISI 316 paslanmaz çelik malzemesinde korozyona rastlanmaması bu çalışmadaki en önemli gözlem olmuştur.

AISI 316 çelik malzemesinin her iki ortamda da çok iyi korozyon gösterdiği ve yüzeylerinde gerilim korozyon çatlama, taneler arası korozyon veya genel korozyon türünde hiçbir korozyon olayının gelişmediği gözlemlenmiştir. [25]

S. A. Sorokinaa'e göre aşınmaya yol açan bir diğer parametre olan basıncın, korozyon tipi ve korozyon hızı üzerindeki etkisi, gazların bileşimi ve sıcaklığının etkisinden daha az olduğu gözlemlenmiştir [26].

## 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, plastik kalıp çeliklerinden farklı yüzey kalitelere sahip olan 1.2311 ve 1.2316 malzeme numaralı çelikler kullanılmıştır. Çeliklere uygulanan korozyon ve aşınma testleri sonucu davranışlar incelenmiştir ve yorumlanmıştır.

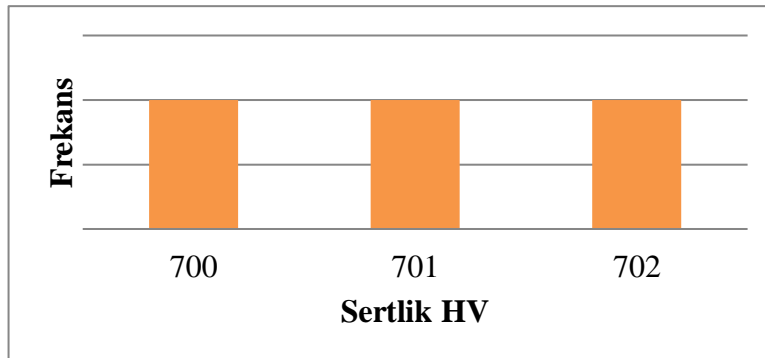
Numuneler 10 mm yüksekliğinde ve 30 mm çapında işlenerek teste hazır hale getirilmiştir. 1.2311 malzeme numaralı çeliğin yüzey kalitesi nispeten daha düşük olduğu için farklı yüzey işlemleri ile kalitesi artırılarak testlerden daha verimli sonuçlar elde etmek hedeflenmiştir.

1.2311 çeliğinden kaplamasız çelikler, sert krom kaplanmış çelikler, nitrürlenmiş çelikler aşınma ve korozyon testlerine sokulmuştur. 1.2316 malzeme numaralı çelik ise yalnızca kaplamasız haliyle aynı testlere sokulmuştur.



Şekil 17. Numune Görselleri

Hazırlanan numuneler için uygulanan nitrürleme işlemi Dösan Isıl İşlem San. A.Ş. tarafından yapılmıştır.



Şekil 18. Nitrürlenmiş Parçaların Sertlik Dağılımları

Hazırlanan numuneler için uygulanan sert krom kaplama işlemi ortalama 50 mikronluk boyutuyla Fe-Cr Sert Krom Kaplama tarafından yapılmıştır.

### 7.1 Korozyon Testi

3 adet 1.2311 kaplamasız çelik, 3 adet 1.2311 nitrürlenmiş çelik, 3 adet 1.2311 sert krom kaplanmış çelik ve 3 adet 1.2316 kaplamasız çelik teste girmiştir. Testler LMC Makine San. Tic. A.Ş.'de gerçekleştirilmiştir. Testler ISO 9227 standartlarındaki Liebisch markalı tuz testi kabiniinde yapılmıştır.



Şekil 19. Korozyon Test Kabini

Yapılan testler sonucunda, işlem görmemiş 1.2311 çeliğin en erken korozyona uğrayan parça olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 20. Tuz Testi Sonucu Paslanan 1.2311 Çeliği Görsele

Test Başlangıç Tarihi: 04.10.2023 08.30															
Test Bitiş Tarihi: 05.10.2023 08.30															
<b>TEST SONUÇLARI</b>															
A: Korozyon Yok															
B: Beyaz Pas															
C: Yüzeyin %5'inden Fazlası Üzerinde Beyaz Pas															
D: Kırmızı Pas															
<b>A</b>															
<b>B</b>															
<b>C</b>															
<b>D</b>															
<b>Saat</b>	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360

**Tablo 3.** İşlem Görmemiş 1.2311 Çeliğin Korozyon Testi Sonuçları

Devam eden testlerde ikinci en hızlı korozyona uğrayan çelik, nitrürlenmiş 1.2311 numaralı çelik olmuştur.



**Şekil 21.** Tuz Testi Sonucu Paslanan Nitrürlenmiş 1.2311 Çeliği Görseli

Test Başlangıç Tarihi: 04.10.2023 08.30															
Test Bitiş Tarihi: 06.10.2023 08.30															
<b>TEST SONUÇLARI</b>															
A: Korozyon Yok															
B: Beyaz Pas															
C: Yüzeyin %5'inden Fazlası Üzerinde Beyaz Pas															
D: Kırmızı Pas															
<b>A</b>															
<b>B</b>															
<b>C</b>															
<b>D</b>															
<b>Saat</b>	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360

**Tablo 4.** Nitrürlenmiş 1.2311 Çeliğin Korozyon Testi Sonuçları

Bu süreçlerde sert krom kaplanmış 1.2311 çeliğin ve işlem görmemiş 1.2316 çeliğin hasar görmediği tespit edilmiştir. Dolayısıyla testlere devam edilme kararı alınmıştır.



**Şekil 22.** Tuz Testi Devam Eden Numune Görselleri

Aradan geçen 144 saatin sonunda sert krom kaplanmış olan 1.2311 çeliğin korozyona uğradığı gözlemlenmiştir. Bu hızlandırılmış korozyon testinde diğer numunelere göre çok daha az aşınan ve aşınan yüzeyin çok daha az bir yüzeyde görülmesi sert krom kaplama yönteminin güçlü bir alternatif oluşturacağı konusunda fikir vermektedir.

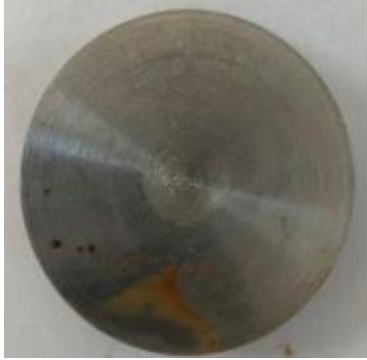


**Şekil 23.** Tuz Testi Sonucu Paslanan Sert Krom Kaplanmış 1.2311 Çeliği Görseli

Test Başlangıç Tarihi: 04.10.2023 08.30															
Test Bitiş Tarihi: 05.10.2023 08.30															
<b>TEST SONUÇLARI</b>															
A: Korozyon Yok															
B: Beyaz Pas															
C: Yüzeyin %5'inden Fazlası Üzerinde Beyaz Pas															
D: Kırmızı Pas															
<b>A</b>															
<b>B</b>															
<b>C</b>															
<b>D</b>															
<b>Saat</b>	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360

**Tablo 5.** Sert Krom Kaplanmış 1.2311 Çeliğin Korozyon Testi Sonuçları

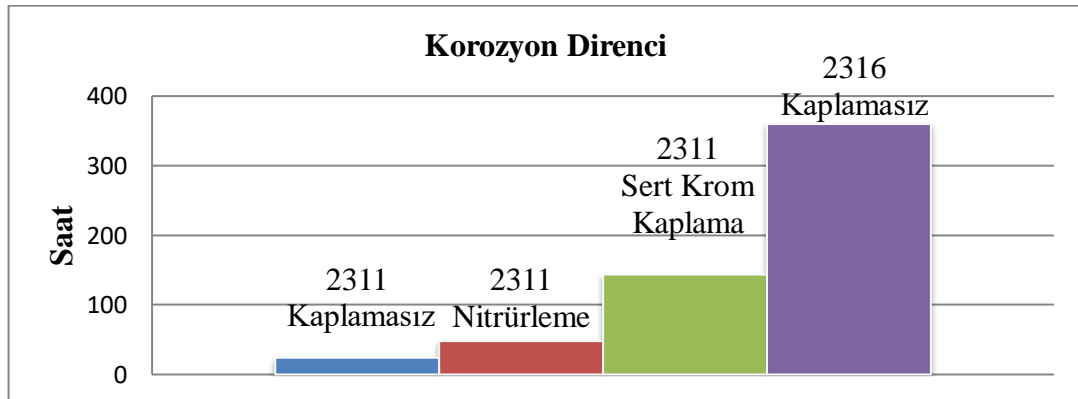
Yüksek yüzey kalitesiyle bilinen 1.2316 numaralı çeliğin bu süre zarfında aşınmaya uğramadığı gözlemlenmiştir. 360 saatin geçmesinin ardından parçada hafif aşınmalar meydana gelmiş, böylece testler son bulmuştur.



**Şekil 24.** Tuz Testi Sonucu Paslanan 1.2316 Çeliği Görseli

Test Başlangıç Tarihi: 04.10.2023 08.30															
Test Bitiş Tarihi: 05.10.2023 08.30															
<b>TEST SONUÇLARI</b>															
A: Korozyon Yok															
B: Beyaz Pas															
C: Yüzeyin %5'inden Fazlası Üzerinde Beyaz Pas															
D: Kırmızı Pas															
<b>A</b>															
<b>B</b>															
<b>C</b>															
<b>D</b>															
<b>Saat</b>	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360

**Tablo 6.** İşlem Görmemiş 1.2316 Çeliğin Korozyon Testi Sonuçları



**Şekil 25.** Korozyon Dirençleri Grafiği

## 7.2 Aşınma Testi

Aşınma testleri Manisa Celal Bayar Üniversitesi Deneysel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. 20 mm çapında ve 10 mm yüksekliğinde numuneler işlenmiştir. Numuneler Tribometre ile test edilmiştir ve aşınma için 6 mm çapında sert alümina bilya kullanılmıştır.



Şekil 26. Tribometre Cihazı Görseli

İşlenen numuneler:

- Nitrürlenmiş 1.2311 çeliği,
- Sert krom kaplanmış 1.2311 çeliği
- İşlem görmemiş 1.2316 çelikleridir.



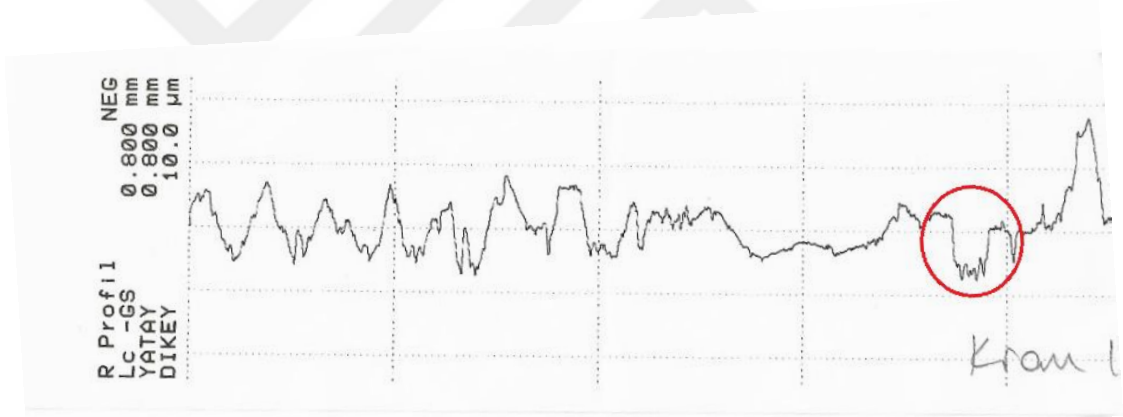
Şekil 27. Aşınma Testine Hazırlanan Numune Görselleri

Numuneler üzerinde 1000 m iz bırakılmıştır. Yapılan aşınma testleri sonrası yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. Bu incelemeler neticesinde nitrürlenmiş olan 1.2311 çeliğin en yüksek dirence sahip olduğu gözlemlenmiştir.

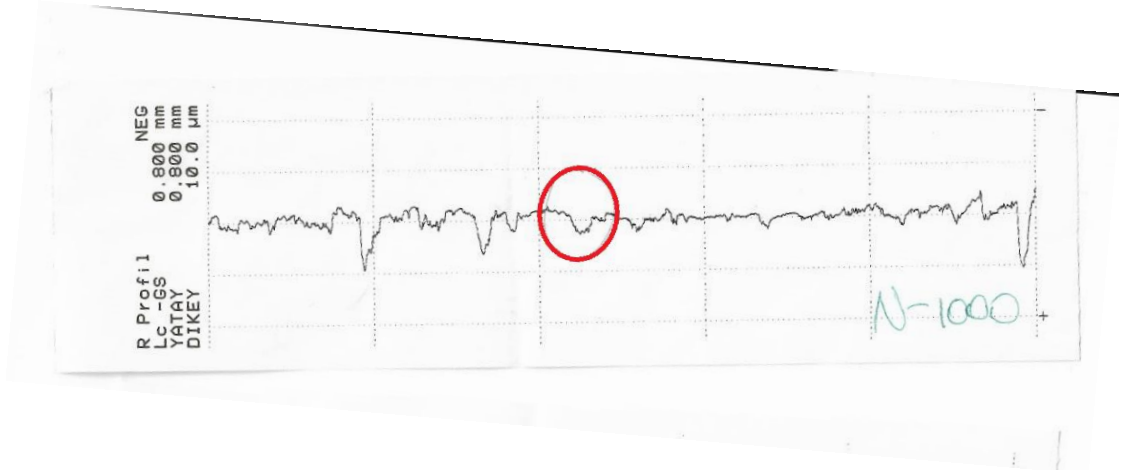


Şekil 28. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

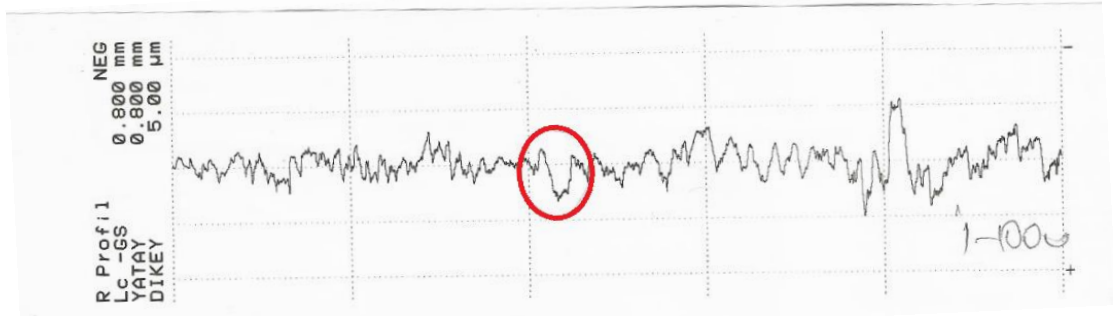
Ölçümler sonucu elde edilen grafikler:



Şekil 29. Sert Krom Kaplanmış 1.2311 Çeliğin yüzey Pürüzlülük Grafiği

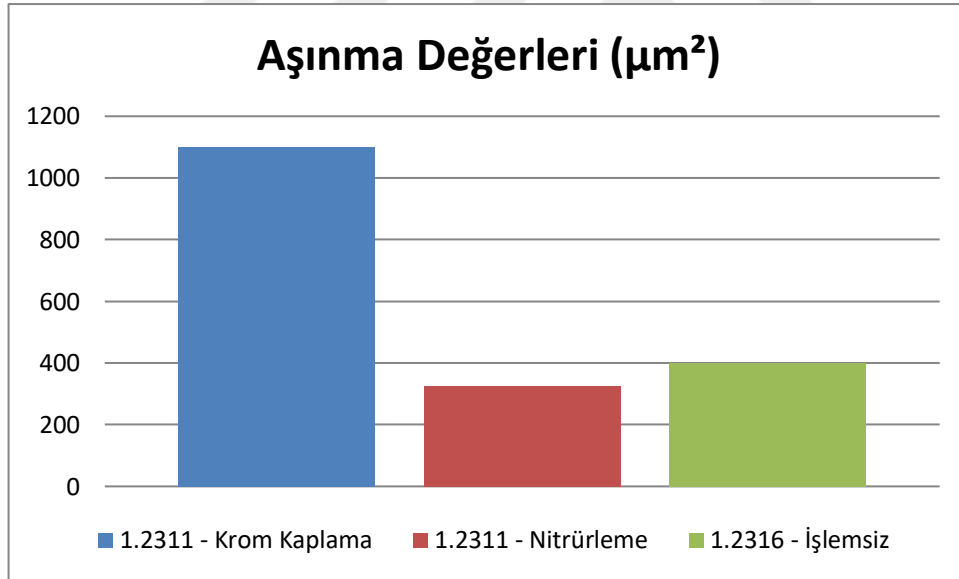


Şekil 30. Nitrürlenmiş 1.2311 Çeliğin Yüzey Pürüzlülük Grafiği



**Şekil 31.** İşlem Görmemiş 1.2316 Çeliğin Yüzey Pürüzlülük Grafiği

Aşınan yüzeylerin hacimleri grafikler yardımıyla bulunmuştur. Yapılan hesaplar doğrultusunda nitrürlenmiş 1.2311 en başarılı sonucu verirken, kaplamasız 1.2316 ikinci, sert krom kaplanmış 1.2311 çeliği ise en fazla pürüzlülüğe sahip, aşınan parça olmuştur. Böylece işlem görmemiş kaliteli çeliğe, yüzey işlemleri yardımıyla bir alternatif oluşturulmuş hatta daha iyi bir derece elde edilmiştir.



**Şekil 32.** Aşınma Değerleri Grafiği

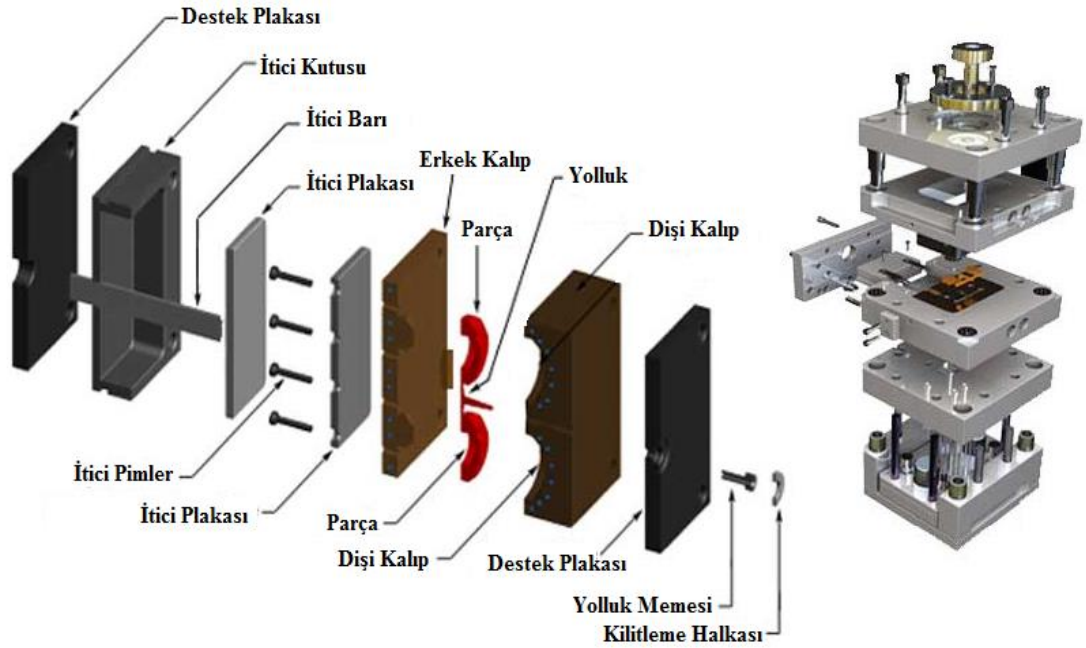
Verilen bu grafikte her bir çelik üzerinde bırakılan izin derinliği ifade edilmektedir.

### 7.3 Maliyet Yaklaşımı

Korozyon direnci ve aşınma direncinin yanı sıra iyileştirme amacıyla yapılan yüzey işlemlerinin maliyeti de oldukça önemlidir. Bu çalışmada elde edilen bilgiler ve literatürde yer alan araştırmalar bu önemli kriterleri desteklemektedir. Elde edilen bu bilgiler ışığında yapılacak olan kalıp tasarımı, doğru hammadde seçimiyle hem üreticiye hem de tüketiciye fayda sağlayacaktır.

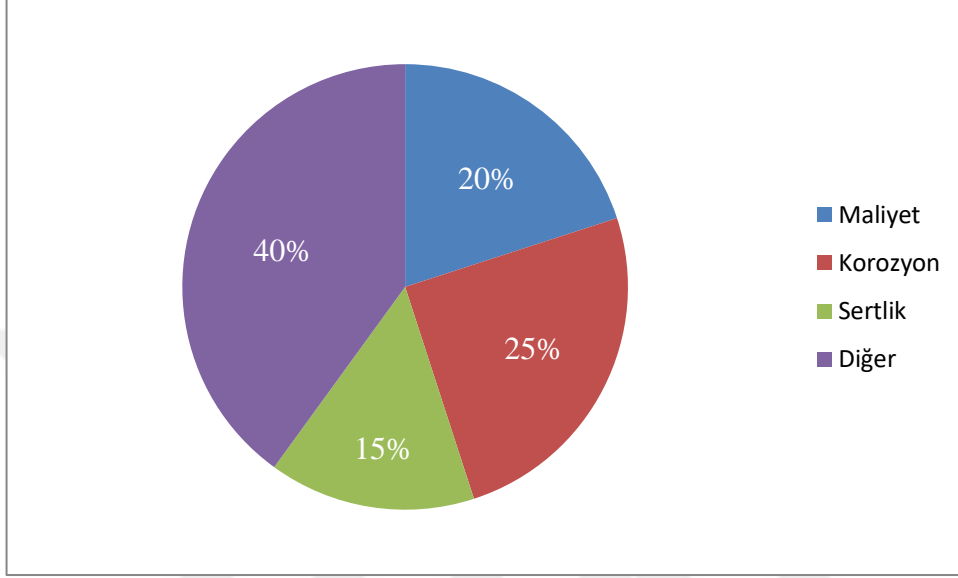
Doğru hammadde seçimi, detaylı hazırlanan parça ve kalıp tasarımları, uygun kalıp çeliği seçimi ile buna alternatif olarak seçilecek daha ucuz kalıp çeliklerine uygulanan yüzey işlemleri oranlandığında oluşacak tablodan maliyetler hakkında birtakım dersler çıkarabiliriz.

Örnekler ile açıklamak istersek kalıptaki asıl parçayı oluşturan gözler için kaliteli çelik, diğer kalıp parçaları için nispeten daha düşük kalite sınıfında yer alan çelikler tercih edilebilir. Kalıp ömrü hesaplandığında gözlere yapılacak yüzey işlemleri ile daha düşük kalitede bir çelik tercih edilebilir. Bir diğer örnek içinse çokça kırılan, deformasyona uğrayan iticiler, maçalar lokmalar ve kalıp hamilleri için sertleştirme işlemi önemli derecede artılar sağlayacaktır.



Şekil 33. Plastik Enjeksiyon Kalıp Parçaları

Şekil 34’te özellikle PVC gibi korozif etkilere sahip bir hammadde ile üretilen parçaların üretimde dikkate alınması gereken değer grafiği gösterilmektedir. Bu grafikte deneylerde yer verilen korozyona, sertliğe ve üretimdeki en önemli paylardan biri olan ilk yatırım maliyetine yer verilmiştir. Ayrıca “Diğer” olarak adlandırılan bölümde tasarım, plastik hammadde seçimi, kalıp çeliği seçimi vb. gibi başlıklar toplanmıştır.



Şekil 34. Üretimde Yer Alan Başlıklara Göre Değer Grafiği

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar ve literatürde yer alan bilgilerin incelenmesi sonucunda:

- ✓ Plastik enjeksiyon kalıpcılığında, korozif etkilere sahip olan olan plastik türlerine göre uygun çelik seçimi yapılmalıdır.
- ✓ En yüksek korozif etkilere sahip olan plastik türünün PVC olduğu belirtilmektedir.
- ✓ Korozyona karşı en yüksek direnci gösteren çeliğin 1.2316 Malzeme numaralı (X36CrMo17) plastik kalıp çeliği olduğu gözlemlenmiştir.
- ✓ Yüzey kalitesinin daha iyi hale getirebilmesi ve korozif aşınmalara daha fazla direnç gösterebilmesi için çeliklere farklı türde kaplamalar yapılabilmektedir.
- ✓ Yapılan deneyler içerisindeki kaplama türleri kıyaslandığında, sert krom kaplamanın aşınmalara karşı en yüksek mukavemeti sağladığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Aşınma sonuçlarına göre nitrürlemenin daha fazla direnç sağladığı hesaplanmıştır.
- ✓ Kalıbın hareketinden ve taşımacılığında oluşabilecek hasarlar öngörüldüğünde darbelere karşı yüksek mukavemet gösteren nitrürleme güçlü bir çözüm sağlamaktadır.
- ✓ Daha düşük kalitedeki çeliklere uygulanacak kaplamaların, kaplamasız kaliteli çeliklere göre maliyet açısından bir alternatif oluşturması önerilebilir.
- ✓ Literatürdeki güçlü sonuçların çıkarıldığı PVD gibi kaplama türleri ile test alanları genişletilerek daha farklı alternatifler değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

[1] Kayıkçı, S. (2005). Değer Analizinin Plastik Enjeksiyon Kalıp Endüstrisinde Uygulanması [Applying Value Analysis in the Plastic Injection Mold Industry]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sistem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul. (Yüksek Lisans Tezi)

[2] Döndüren, H. V., & Karacasulu, S. S. (2015). The Selection of the Most Suitable Mold Steel for PVC (Polyvinyl Chloride) and PC (Polycarbonate) in Plastic Injection Molds. Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Science, 19(2), 46-53.

[3] Özçelik, A., & Özbay, A. (2011). Determination of Effect on the Mechanical Properties of Polypropylene Product of Molding Materials Using Taguchi Method. Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 29, 289-300.

[4] Alibey, İ. T. (2010). Kalıp Malzemelerinin Uygulama Alanlarına Göre Sınıflandırılması [Classification of Mold Materials According to Application Areas]. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa. (Yüksek Lisans Tezi)

[5] Askeland, D. R. (1998). Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri [Materials Science and Engineering: An Introduction]. (Dr. Mehmet ERDOĞAN, Çev.). Nobel Yayın Dağıtım.

[6] Köse, E. (2006). Plastik Enjeksiyonda Proses ve Kalıp Kaynaklı Sorunların Giderilmesi [Solving Process and Mold-Related Issues in Plastic Injection]. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul. (Yüksek Lisans Tezi)

- [7] Şahin, O. (2018). Tersine Mühendislik Yöntemi ile Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Kalıp Dolum Parametrelerinin İncelenmesi [Investigation of Plastic Injection Mold Design and Mold Filling Parameters by Reverse Engineering Method]. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya. (Yüksek Lisans Tezi)
- [8] Kafalı, M. (2011). Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı [Computer-Aided Plastic Injection Mold Design]. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri. (Yüksek Lisans Tezi)
- [9] Abalı, B. E., & Koçak, M. (2005). Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı [Design of Plastic Injection Mold]. İstanbul. (Lisans Tezi)
- [10] Kaya, F. (2005). Ana Hatlarıyla Plastikler ve Katkı Maddeleri (İkinci baskı) [Fundamentals of Plastics and Additives (2nd ed.)]. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- [11] Akyüz, Ö. F. (1998). Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş [Introduction to Plastics and Plastic Injection Technology]. İstanbul: Pagev Yayınları.
- [12] Kocak, H. (2006). Takım Çelikleri El Kitabı [Handbook of Tool Steels]. Sağlam Metal, No:4, İstanbul.
- [13] Gastrow, H. (2002). Injection Molds: 130 Proven Designs. Carl Hanser Verlag, Cincinnati.
- [14] Meran, C., & Sarıkaya, E. (2012). Investigation of the effects of various surface treatments on properties of plastic mould steels X40CrMoV5-1. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 55(1).

- [15] Kortmann, W. (1985). Vergleichende Betrachtungen der Gebrauchlichsten Oberflächenbehandlungsverfahren [Comparative Considerations of the Most Common Surface Treatment Methods]. Thyssen Edelstahl Publication, Berlin.
- [16] Yana, G., Lub, S., Zhangb, M., Wangb, J., Yangc, X., Zhangc, Z., Guc, J., & Lic, C. (2020). Wear and corrosion behavior of P20 steel surface modified by gas nitriding with laser surface engineering. Elsevier B.V., 0169-4332.
- [17] Kayalı, Y., Barut, N., Talaş, Ş., & Büyüksağış, A. (2018). Investigation of Corrosion and Wear Behavior of Borided AISI P20 Steel in Micro-Wave Furnace. Mater. Res. Express, 2053-159.
- [18] Bennighoff, H. (1988). Beschichten von Werkzeugen [Coating of Tools]. K. Plast Kautsch, Zurich.
- [19] Menges, G., Michaeli, W., & Mohren, P. (2001). How to Make Injection Molds. Hanser Publishers, Munich, 105-109.
- [20] Rosato, D. V., Rosato, D. V., & Rosato, M. G. (2000). Injection Molding Handbook. Kluwer Academic Publishers, London, 479-481.
- [21] Ludwig, J. H. (1982). Werkzeugwerkstoffe Ihre Oberflächenbehandlung, Verschmutzung und Reinigung [Tool Materials: Their Surface Treatment, Contamination, and Cleaning]. Munich, 72-78.
- [22] König, W., & Klocke, E. (1997). Fertigungsverfahren, Vol. 3. Springer Verlag, Berlin, 78-79.
- [23] Parka, C., Simb, A., Ahna, S., Kanga, H., Chunc, E. (2019). Influence of laser surface engineering of AISI P20-improved mold steel on wear and corrosion behaviors. Elsevier B.V., 0257-8972.

[24] Guo, D., Yu, D., Zhang, P., Song, W., Zhang, B., Peng, K. (2021). Laminar plasma jet surface hardening of P20 mold steel: Analysis on the wear and corrosion behaviors. Elsevier B.V., 0257-8972.

[25] Saklaoglu, N., Irizalp, G. S., Gokdemir, E. Z., Polat, S. (2016). AISI 304 ve 316 Paslanmaz Çeliğinin HCl ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Çözeltilerindeki Gerilim Korozyon Çatlama Davranışı [Stress Corrosion Cracking Behavior of AISI 304 and 316 Stainless Steel in HCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solutions]. Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 139-150.

[26] Sorokina, S. A., & Romanova, A. D. (2018). Corrosion of Molds in Injection Molding Machines. Russian Engineering Research, 38(12), 996–999.

