

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLASTİK KALIP MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİNE FARKLI YÜZEY
İŞLEMLERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Engin SARIKAYA**

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Yüksek Lisans

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cemal MERAN

TEMMUZ 2011

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091111013 nolu öğrencisi Engin SARIKAYA tarafından hazırlanan "PLASTİK KALIP MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİNE FARKLI YÜZEY İŞLEMLERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof.Dr. Alper GÜLSÖZ (PAÜ)




Jüri Üyesi : Doç. Dr. Cemal MERAN (PAÜ)
(Tez Danışmanı)



Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Koray YILMAZ (PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..02.08.2011 tarih ve ..21/24..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza

:



Öğrenci Adı Soyadı : Engin SARIKAYA

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın başlangıcından bitimine kadar her aşamada çalışmayı yönlendiren, özverili yardımlarını esirgemeyen hocam, Sayın Doç. Dr. Cemal MERAN'a, tezin şekillenmesinde önerileriyle yol göstermiş Sayın Faruk İNCEOĞLU'na, deneyler esnasında değerli katkılarını aldığım Sayın Arş. Gör. Engin TAN'a ve Sayın Artunç ALPTEKİN'e, denemelerimde kullandığım malzemeleri kısa sürede temin etmemde yardımcı olan Sağlam Metal'e ve özellikle Sayın Volkan KOÇAK'a ve desteklerinden ötürü Dentaş Kağıt San. A.Ş.'ye teşekkürü bir borç bilir, şükranlarımı sunarım.

Temmuz 2011

Engin SARIKAYA
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Plastiklerin Zaman İçinde Gelişimi.....	2
1.3 Plastikler	2
1.3.1 Termoplastikler ve termoset plastikler	5
1.4 Bazı Önemli Plastiklerin Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	6
1.4.1 Bazı önemli termoplastikler.....	6
1.4.2 Bazı önemli termoset plastikler.....	10
1.5 Plastik Takviyeleri.....	13
2. PLASTİKLERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ	15
2.1 Plastik Enjeksiyon Yöntemi.....	15
2.1.1 Plastik enjeksiyon makinaları	15
2.1.2 Enjeksiyon kalıplama işlemi	19
2.1.2.1 Enjeksiyon kalıplama çevrimi	19
2.1.2.2 Termoplastiklerin enjeksiyon kalıplanması	21
2.1.2.3 Termoset plastiklerin enjeksiyon kalıplanması	21
2.2 Plastik Enjeksiyon Kalıpları	22
2.2.1 Plastik enjeksiyon kalıbını meydana getiren elemanlar	22
2.3 Plastik Kalıp Malzemeleri ve Malzeme Seçimi	24
2.3.1 Plastik kalıp çelikleri	26
2.3.1.1 Ön sertleştirilmiş çelikler	27
2.3.1.2 Kesitine sertleşen çelikler	27
2.3.1.3 Paslanmaz çelikler	28
2.3.2 Alüminyum alaşımları	29
2.3.3 Berilyum-bakır alaşımları	30
2.3.4 Sert metal alaşımları	30
2.4 Kalıp İmalat Süreci.....	30
2.4.1 Kalıba form verme işlemleri	31
2.4.1.1 Talaşlı işleme metodu ile kalıp imalatı.....	31
2.4.1.2 Elektrik boşalımlı işleme yoluyla kalıp imalatı (EDM).....	32
2.4.2 Isıl işlemin kalıp imalatında rolü.....	34
2.4.2.1 Sertleştirme ve menevişleme.....	34
2.4.2.2 Sertleştirme ve menevişleme esnasında oluşan çarpılma	36
2.4.2.3 Sıfır altı işlemi	37
2.4.3 Kalıp parlatma	38
2.4.3.1 Kalıpların taşlanması ve zımparalanması	39
2.4.3.2 Parlatma işlemi	39
2.4.4 Foto-dağlama.....	41
2.4.4.1 Foto-dağlama uygulanmış yüzeylerin avantajları	41

2.4.4.2 Foto dağlama ile ilgili sonuçlar	42
3. PLASTİK KALIP ÇELİKLERİNİN YÜZEY İŞLEMLERİ	43
3.1 Termokimyasal İşlemler	43
3.1.1 Karbürleme	44
3.1.2 Nitrürleme	44
3.1.3 Borlama	45
3.2 Elektrokimyasal İşlemler	45
3.2.1 Sert krom kaplama	46
3.2.2 Nikel kaplama	46
3.2.3 Sert alaşım kaplama	46
3.3 Düşük Basınçta Kaplama	47
3.3.1 CVD işlemi	47
3.3.2 PVD işlemi	48
3.4 Lazer Yüzey İşlemleri	49
3.4.1 Lazer sertleştirme ve yeniden ergitme	49
3.4.2 Lazer alaşımlama, lazer yayma ve kaplama	50
3.5 Elektron Işını Sertleştirilmesi	50
3.6 Lamcoat Kaplama	50
4. MATERYAL VE METOT	52
4.1 Numune Hazırlama Süreci	52
4.2 Sertlik Ölçümü	56
4.3 Charpy Çentik Darbe Deneyi,	57
4.4 Çekme Deneyi	58
4.5 Aşınma Deneyi	60
4.6 Tuz Spreyi Deneyi	63
4.7 Mikroyapı İncelemesi	64
5. DENEY SONUÇLARI	66
5.1 Sertlik Ölçüm Sonuçları	66
5.2 Charpy Çentik Darbe Deneyi Sonuçları	70
5.3 Çekme Deneyi Sonuçları	73
5.4 Aşınma Deneyi Sonuçları	75
5.5 Tuz Spreyi Deneyi Sonuçları	77
5.6 Mikroyapı Sonuçları	83
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	90

KISALTMALAR

PE	: Polietilen
PVC	: Polivinilklorür
PP	: Polipropilen
ABS	: Akronitril-Bütadien-Stiren
PS	: Polistren
PMMA	: Polimetil Metakrilat
PC	: Polikarbonat
TEFLON	: Tetrafloroetilen
RIM	: Reaksiyon Enjeksiyon Kalıplama (Reaction Injection Molding)
MPa	: Mega Pascal
mm	: Milimetre
HRC	: Hardness Rockwell C
ESR	: Electro Slag Remelting
CBN	: Kübik Boron Nitrür
HSC	: High Speed Cutting
HV	: Vickers sertliği
J	: Joule
CrN	: Krom Nitrür
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapour Deposition)
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapour Deposition)
EDM	: Elektrik Boşalımlı İşleme

TABLO LİSTESİ

Tablolar

1.1 : Polimer elementlerinin gösterildiği periyodik tablo	4
2.1 : Uygulamalara göre kullanılan kalıp malzemeleri.....	26
2.2 : Yaygın olarak kullanılan ön sertleştirilmiş plastik kalıp çelikleri	27
2.3 : Yaygın olarak kullanılan kesitine sertleşen plastik kalıp çelikleri.....	27
2.4 : Yaygın olarak kullanılan paslanmaz plastik kalıp çelikleri.....	29
2.5 : Takım çelikleri için ısıl işlem öncesi önerilen işleme payları	37
4.1 : Deneylerde kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimi.....	52
4.2 : Yassı çekme numunesi boyutları	59
5.1 : 40CrMnNiMo8-6-4 Rockwell sertlik sonuçları.....	66
5.2 : X40CrMoV5-1 Rockwell sertlik sonuçları.....	67
5.3 : 40CrMnNiMo8-6-4 Mikro Vickers sertlik sonuçları.....	68
5.4 : X40CrMoV5-1 Mikro Vickers sertlik sonuçları.....	69
5.5 : 40CrMnNiMo8-6-4 Çentik darbe deneyi sonuçları.....	70
5.6 : X40CrMoV5-1 Çentik darbe deneyi sonuçları.....	71
5.7 : 40CrMnNiMo8-6-4 Çekme deneyi sonuçları.....	73
5.8 : X40CrMoV5-1 Çekme deneyi sonuçları.....	74
5.9 : 40CrMnNiMo8-6-4 aşınma deneyi sonuçları.....	75
5.10 : X40CrMoV5-1 aşınma deneyi sonuçları.....	76
5.11 : 40CrMnNiMo8-6-4 tuz spreyi deneyi ağırlık kaybı tablosu	77
5.12 : Tuz spreyi deneyinin 40CrMnNiMo8-6-4 numunelere etkisi	79
5.13 : X40CrMoV5-1 tuz spreyi deneyi ağırlık kaybı tablosu	80
5.14 : Tuz spreyi deneyinin X40CrMoV5-1 numunelere etkisi	82

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

1.1 : Mühendislik malzemelerinin zaman içinde gelişimi	3
1.2 : Hammaddeden plastik maddeye akış şeması	5
1.3 : Plastik malzemelerin mekanik özellik skalası	6
1.4 : Polietilenden üretilmiş parçalar	6
1.5 : PVC'den üretilmiş parçalar	7
1.6 : Polipropilenden üretilmiş ürünler	7
1.7 : ABS'den üretilmiş ürünler	8
1.8 : Polistrenden üretilmiş ürünler	8
1.9 : Polyamidten üretilmiş ürünler	9
1.10 : Polimetil Metakrilattan üretilmiş ürünler	9
1.11 : Polikarbonattan üretilmiş ürünler	10
1.12 : Politetrafloretillen ürünler	10
1.13 : Fenolik termoset malzemeden üretilmiş ürünler	11
1.14 : Üretan termoset plastik kullanılarak üretilmiş ürünler	11
1.15 : Polyester ürünler	12
1.16 : Epoksi kullanılarak üretilmiş ürünler	12
1.17 : Melamin ürünler	12
1.18 : Poliimid kullanılarak üretilmiş ürünler	13
2.1 : Plastik enjeksiyon makinası üniteleri	17
2.2 : Yatay plastik enjeksiyon makinası	17
2.3 : Dik plastik enjeksiyon makinası	18
2.4 : Döner tablalı plastik enjeksiyon makinası	18
2.5 : Enjeksiyon kalıplama çevrimi	20
2.6 : Viskozite-çapraz bağ ilişkisi ve işlem limitleri	22
2.7 : Tipik bir enjeksiyon kalıbı	23
2.8 : CNC dik işlem merkezinde kalıp çekirdeği imalatı	31
2.9 : EDM ile kalıp imalatı	33
2.10 : EDM işlemi prensibi	33
2.11 : Farklı parametrelerin ikincil sertleşmeye etkileri	35
2.12 : Sertleştirilmiş ve menevişlenmiş X100CrMoV5-1 çeliğin mikro yapısı	36
2.13 : Parlatılmış kalıp yüzeyi	38
2.14 : Sertliğe bağlı parlatılabilirlik ve taşlanabilirlik ilişkisi	39
2.15 : Kalıp parlatma uygulaması	40
2.16 : Parlatma adımları	40
2.17 : Foto-dağlama ile kalıpta oluşturulmuş yüzey deseni	41
3.1 : Plastik kalıp çeliklerine uygulanan yüzey işlemleri	44
3.2 : Titanyum karbür çökeltimi şeması	47
3.3 : PVD tekniği temelleri	48
4.1 : Numunelerin şekillendirilmesi	53
4.2 : Numunelerin zımparalanması	53
4.3 : X40CrMoV5-1 çeliğin ısıl işlem diagramı	54

4.4 : Numunelerin parlatılması.....	54
4.5 : Deney Numuneleri	55
4.6 : Sertlik ölçümü numunelerinden biri	56
4.7 : Sertlik ölçme cihazı (a: mikrovickers, b: Rockwell)	56
4.8 : V-çentikli darbe deneyi numunesi boyutları	57
4.9 : X40CrMoV5-1 charpy çentik darbe deneyi numuneleri.....	57
4.10 : Charpy çentik darbe deney cihazı.....	58
4.11 : Yassı çekme numunesi.....	59
4.12 : Çekme numuneleri	59
4.13 : Alşa çekme deney cihazı	60
4.14 : Aşınma deneyi numunesi teknik resmi	61
4.15 : X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) Aşınma deneyi numuneleri	61
4.16 : Plint sürtünme ve aşınma deney cihazı	62
4.17 : Wolfram karbür (WC) aşındırıcı pimler.....	62
4.18 : Precisa XT620M hassas tartı	62
4.19 : SF/200-A Tuz spreyi kabini	63
4.20 : Tuz spreyi deneyi numune yerleşimi	63
4.21 : Mecatome T 255/300 hassas kesme cihazı.....	64
4.22 : Mecapress II bakalite alma cihazı.....	64
4.23 : Bakalite alınmış numuneler	65
4.24 : Nikon Eclipse LV150 optik mikroskobu.....	65
5.1 : 40CrMnNiMo8-6-4 çeliği yüzey işlemleri Rockwell sertlik ilişkisi	66
5.2 : X40CrMoV5-1 çeliği yüzey işlemleri Rockwell sertlik ilişkisi	67
5.3 : 40CrMnNiMo8-6-4 çeliği yüzey işlemleri Mikro Vickers sertlik ilişkisi ..	68
5.4 : X40CrMoV5-1 çeliği yüzey işlemleri Mikro Vickers sertlik ilişkisi	69
5.5 : 40CrMnNiMo8-6-4 kırılma enerjisi karşılaştırması	71
5.6 : X40CrMoV5-1 kırılma enerjisi karşılaştırması.....	72
5.7 : 40CrMnNiMo8-6-4 çekme deneyi sonuçları.....	73
5.8 : X40CrMoV5-1 çekme deneyi sonuçları	74
5.9 : 40CrMnNiMo8-6-4 aşınma deneyi sonuçları.....	75
5.10 : X40CrMoV5-1 aşınma deneyi sonuçları.....	76
5.11 : 40CrMnNiMo8-6-4 tuz spreyi deneyi sonuçları.....	78
5.12 : X40CrMoV5-1 tuz spreyi deneyi sonuçları	81
5.13 : 40CrMnNiMo8-6-4 CrN kaplama (1000x)	84
5.14 : 40CrMnNiMo8-6-4 sert krom kaplama (1000x)	84
5.15 : 40CrMnNiMo8-6-4 nitrürleme (500x).....	85
5.16 : X40CrMoV5-1 CrN kaplama (1000x).....	85
5.17 : X40CrMoV5-1 sert krom kaplama (1000x).....	86
5.18 : X40CrMoV5-1 nitrürleme (500x).....	86
6.1 : 40CrMnNiMo8-6-4 çeliği yüzey işlemlerinin bağıl karşılaştırması	87
6.2 : X40CrMoV5-1 çeliği yüzey işlemlerinin bağıl karşılaştırması.....	88
6.3 : Uygun yüzey işlemi seçim örneği	89

SEMBOL LİSTESİ

°C	Santigrat derece
%	Yüzde
<	Küçüktür
μ	Mikro

ÖZET

PLASTİK KALIP MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİNE FARKLI YÜZEY İŞLEMLERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Termoplastik kalıplarında yaygın olarak kullanılan 40CrMnNiMo8-6-4 (Malzeme No 1.2738) ve termoset plastik kalıplarında yaygın olarak kullanılan X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) takım çeliklerine CrN (PVD), sert krom ve nitrürleme uygulayarak, bu yüzey işlemlerinin aşınma dayanımını, darbe dayanımını, sertliği, çekme dayanımını ve korozyon dayanımını nasıl değiştirdiği deneysel olarak incelenmiştir. En yüksek mikro sertlik, sırasıyla CrN kaplamada, ardından nitrürleme ve sert krom kaplamada gözlenmiştir. Aşınma deneyinde ise en yüksek dayanımı CrN kaplama, ardından nitrürleme sağlamıştır. Sert krom kaplama, kaplamasız numunelere göre daha fazla aşınmıştır. CrN kaplama ve sert krom kaplama, numunenin akma sınırını ve çekme dayanımını değiştirmemiştir fakat elastiklik modüllerinde artış gözlenmiştir. Nitrürlemenin, malzemenin çekme dayanımını düşürdüğü, elastiklik modülünü arttırdığı gözlenmiştir. Kırılma enerjisinde düşme yani toklukta düşüş en fazla nitrürlemede, ardından CrN kaplamada, ardından sert krom kaplamada gözlenmiştir..

Anahtar Kelimeler: Plastik Enjeksiyon Kalıpları, Yüzey İşlemleri

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VARIOUS SURFACE TREATMENTS ON PROPERTIES OF PLASTIC MOLD MATERIALS

CrN (PVD) coating, hard chrome plating and nitriding has been applied on commonly used thermoplastic mould steel 40CrMnNiMo8-6-4 (Materials number 1.2738) and commonly used thermoset plastic mould steel X40CrMoV5-1 (Materials number 1.2344). The effects of these surface treatments over wear behaviour, impact behaviour, hardness, tensile strength and corrosion behaviour experimentally investigated. Highest micro hardness was observed in CrN coating, which is followed by nitriding and hard chrome plating. In wear tests, highest wear resistance was observed in CrN coating, then nitriding. Hard chrome plated samples were exposed abrasion more than uncoated ones. CrN coating and hard chrome plating didn't affect the yield and tensile strength of material but increased the modulus of elasticity. It is observed that, nitriding decreased the tensile strength but increased the modulus of elasticity. Decrease in impact energy and increase in brittleness was observed in descending order of nitriding, CrN coating and hard chrome plating.

Key Words: Plastic Injection Molds, Surface Treatments

1. GİRİŞ

Plastikler özellikle yalıtkan olması, korozyon riski bulunmaması, geri dönüşümünün bazı türlerinde mümkün olması, hafif olması, kolaylıkla şekillendirilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı gün geçtikçe kullanım alanı genişleyen mühendislik malzemelerindendir. Plastiklerin şekillendirileceği kalıp malzemelerinin kullanım ömrünün artırılması ürün maliyetlerinin düşmesine imkan verecektir. Kalıp ömrünü artırmak için ise kalıp malzemesi üzerinde en iyi sonucu veren yüzey işleminin uygulanmış olması önemlidir. Kalıplar seri üretimin en önemli elemanlarından. Başlı başına bir imalat alanı olan kalıpcılıkta çok farklı fonksiyonu olan ve farklı çalışma koşullarına maruz kalan birçok kalıp elemanı mevcuttur.

Seri üretimin temel elemanlarından olan kalıplar, yanlış malzeme seçimi, yanlış yüzey işlemi uygulanması veya yanlış yüzey işlemi seçiminden dolayı, hedeflenen üretim rakamlarını yakalayamadan hurdaya çıkmaktadır. Hurdaya çıkana kadar da korozyona uğrama, aşınma gibi sorunlar nedeniyle bakım gereksinimi artmaktadır. Üretimin durması, kalıp bakımı ve hedeflenen üretim rakamlarının yakalanamaması sebebiyle üretim maliyetleri artmaktadır. Yüzey işlemleri özel niteliklere sahip katmaların kalıp yüzeyine uygulanarak aşınma direncini, korozyon direncini ve mukavemetini geliştirmeyi hedeflemektedir. Uygun malzeme ve uygun yüzey işlemi seçilerek kalıpların daha uzun ömürlü olmaları, daha uzun periyotlarda bakım gerektirmeleri sağlanabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez ile plastik kalıpcılığında kullanılan malzemeleri, yüzey işlemlerini, ısıl işlemleri malzeme bilimi ışığında incelemek, ömür ve maliyet parametrelerini de göz önünde bulundurup uygun malzeme, yüzey işlemi ve ısıl işlem seçimi konusunda deneysel çalışmalarla destekli detaylı bir araştırma yapmak hedeflenmiştir. Plastik kalıpcılığında yaygın kullanılan 40CrMnNiMo8-6-4 ve X40CrMoV5-1 çeliklerine sert krom kaplama, nitrüleme, CrN kaplama işlemleri uygulayarak, bunların mekanik özellikleri (sertlik, tokluk, darbe dayanımı, çekme dayanımı), korozyon

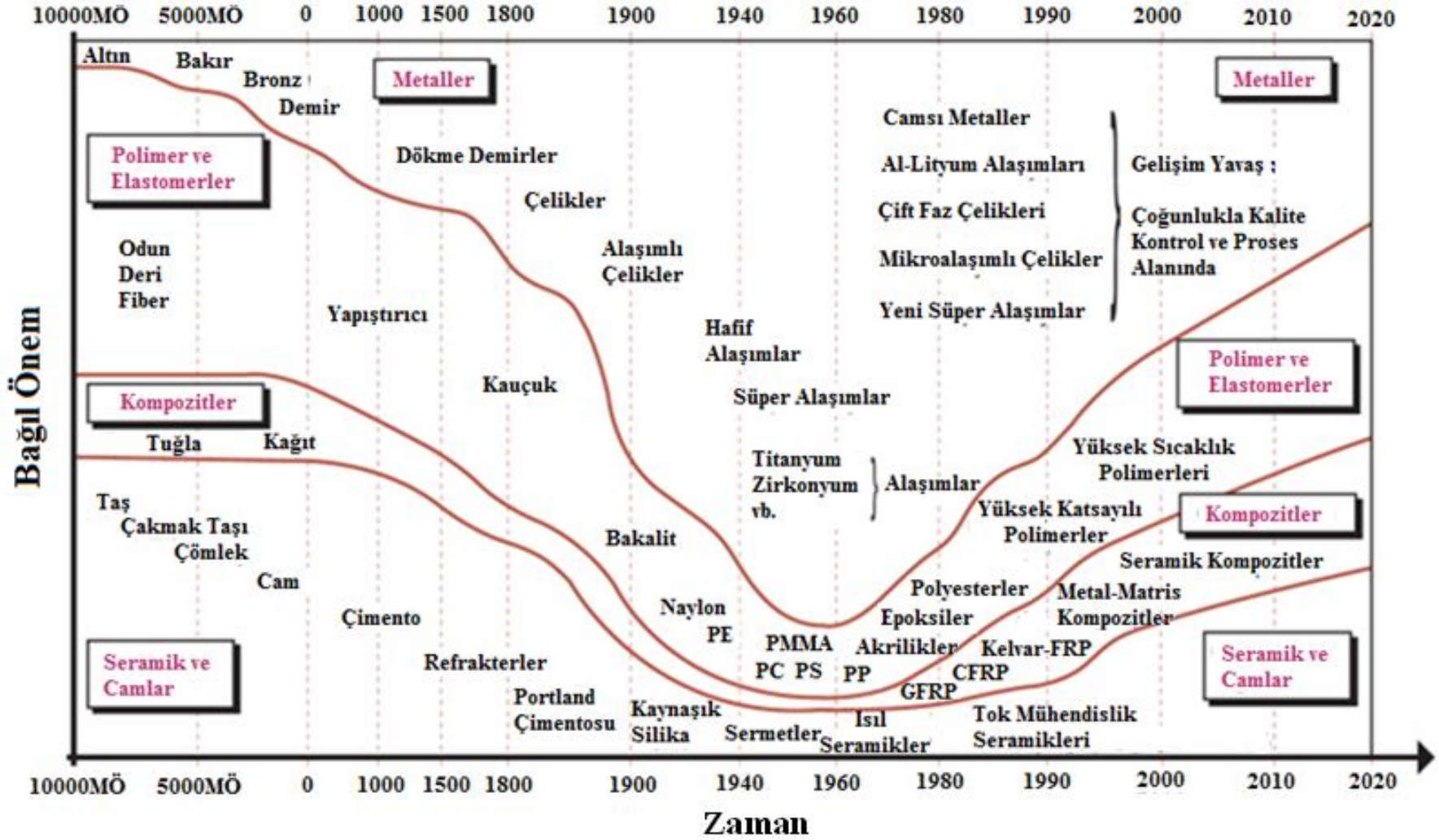
dayanımları, aşınma dayanımları tespit edilip birbirleri ile kıyaslanması amaçlanmıştır.

1.2 Plastiklerin Zaman İçinde Gelişimi

Tarih öncesi devirlerde kullanılan malzemeler (taş devrinde), seramikler ve camlar (taş, çakmaktaşı), doğal polimerler (odun) ve kompozitler (kerpiç) olmuştur. Altın ve gümüş kısmi olarak doğada bulunmakla birlikte zamanın teknolojisinde çok az bir rol almıştır. Bakır, bronz ve demirin bulunması, (bronz çağı – demir çağı) malzeme alanında büyük gelişmeler yaratmıştır. Dökme demir teknolojisi 1690’larda mühendisliği domine etmiştir. 1850’lerde çeliklerin gelişimi, 1940’larda hafif alaşımların gelişmesi, 1950 ve 1960’lı yıllarda metallerin kullanımını had safhaya çıkarmıştır ve mühendislik malzemeleri neredeyse “metaller” ile eş anlamlı hale gelmiştir. Malzemelerin tarihsel süreci ve kullanım ağırlıkları Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Günümüzde metal alaşımlarının gelişimi yavaşlamıştır fakat polimerler ve kompozitlerin gelişimi ve kullanım ağırlığı artan bir trend göstermektedir (Ashby, 2005).

1.3 Plastikler

Plastik kelimesi isim olarak bir malzeme türünü belirtir, bir sıfat olarak kalıcı şekil değiştirebilen cisim anlamına gelir. Örneğin bakalit bir plastiktir, fakat plastik malzeme değildir, zira gevrek, plastik şekil değiştirmeden kırılır. Endüstride plastik denmesinin nedeni üretimlerinin belirli bir aşamasında akıcı veya plastik kıvam almaları ve basınçla bir kalıba enjekte edilerek şekil verilebilmeleridir (Onaran, 2000).



Şekil 1.1 : Mühendislik malzemelerinin zaman içinde gelişimi (Ashby, 2005)

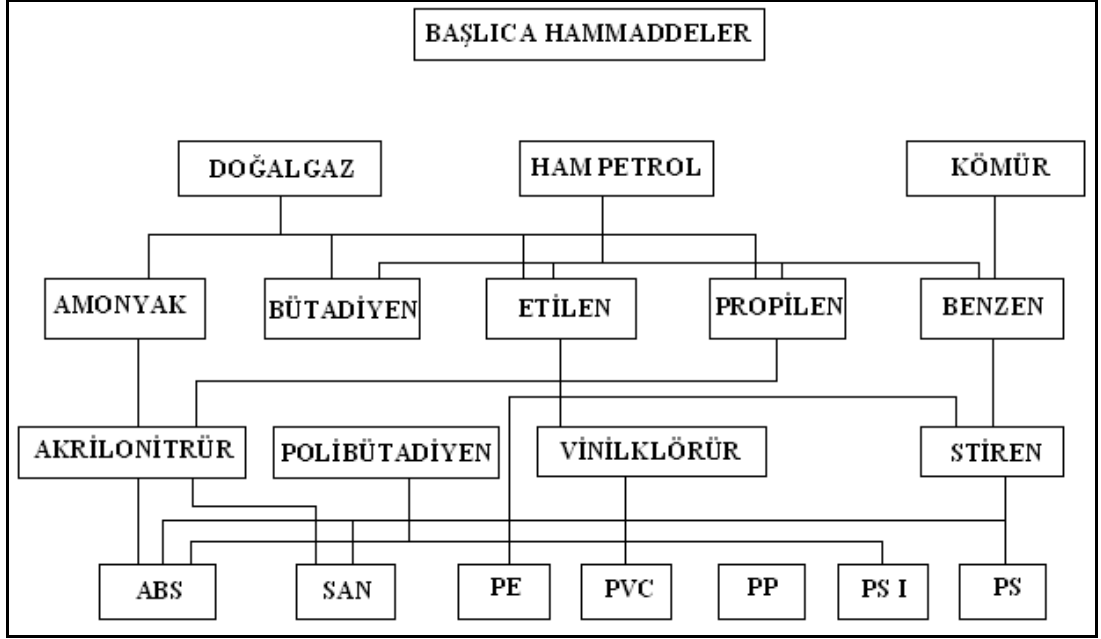
Plastik sınıfına giren malzemelerin bir kısmı doğal, bir kısmı ise sentetiktir. İnsanlar tarafından metallere çok daha önce kullanılmaya başlanan ahşap, deri, yün ve benzeri lifler birer doğal polimerdir. Bugün endüstride kullanılan plastiklerin büyük bir çoğunluğu sentetik polimerlerdir (Onaran, 2000). Polimerler elementleri Tablo 1.1’de maviye boyalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 1.1 : Polimer elementlerinin gösterildiği periyodik tablo (Shackelford, 2004)

IA																				O	
1																					2
H	II A										5	6	7	8	9	10					
3	4											B	C	N	O	F	Ne				
Li	Be											13	14	15	16	17	18				
11	12	VIII										Al	Si	P	S	Cl	Ar				
Na	Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B						I B	II B								
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86				
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
87	88	89	104	105	106																
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg																
		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71						
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu						
		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103						
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw						

Polietilen dahil bir çok polimer, sadece hidrojen ve karbon bileşimidir. Bunun haricinde oksijen (akrilikler), azot (naylonlar), flor (floroplastikler) ve silikon (silikonlar) içeren polimerler de vardır. Plastiklerin süneklikleri çok iyidir. Gevrek seramiklere nazaran çoğunlukla daha hafiftirler. Yapısal tasarımlarda düşük maliyetleri yüzünden metallerin yerini alabilmektedirler. Plastikler bağ yapılarına bağlı olarak metallerle karşılaştırıldıklarında dayanımları daha azdır, yine metal, seramik ve camlara nazaran ergime noktaları daha düşüktür ve kimyasal tepkimeye daha çabuk girerler. Son yıllarda, mühendislik plastiklerinde mukavemet ve peklilik özelliklerinde iyileştirmeler olmuş ve metallerin kullanıldığı bazı parçalarda plastikler kullanılmaya başlanmıştır (Shackelford, 2004).

Plastik malzemelerin 17000’in üzerinde çeşidi vardır. Çoğu sentetik olarak üretilir, çok azı doğada oluşur (Şekil 1.2). Ticari olarak bilinen yaklaşık 200 temel plastik ailesi vardır fakat bunların 20’den daha azı yaygın olarak kullanılır (Rosato vd, 2000).



Şekil 1.2 : Hammaddeden plastik maddeye akış şeması (Rosato vd, 2000)

1.3.1 Termoplastikler ve termoset plastikler

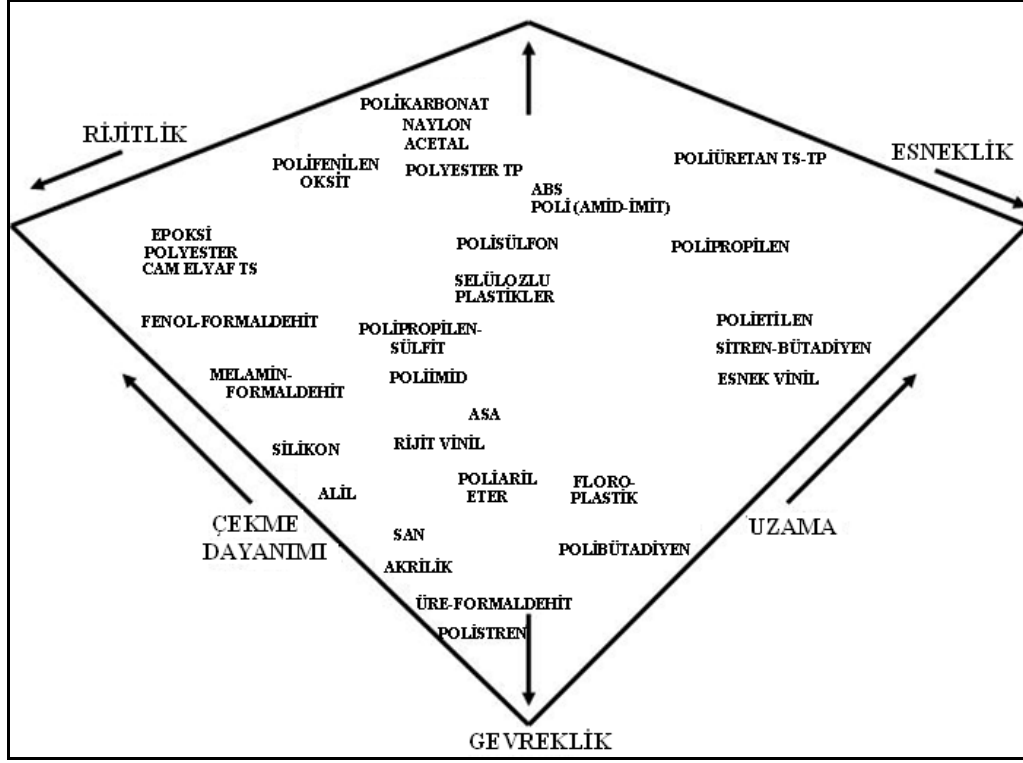
Plastik enjeksiyon kalıpcılığında kullanılan plastikler termoplastikler ve termoset plastikler olarak ikiye ayrılırlar. Termoplastikler genel olarak sünektir, kırılmadan önce plastik şekil değiştirirler. Mekanik özellikleri yükleme hızına, yükleme süresine ve sıcaklığa önemli derecede bağlıdır. Oda sıcaklığında sabit gerilme altında sünme nedeni ile sürekli şekil değiştirirler. Termoset plastikler ise gevreklerdir, plastik şekil değiştirme olmadan kırılır. Sıcaklık artınca mukavemetleri azalır, fakat yumuşamazlar. Aşırı sıcaklıkta ayrışır ve kavrulurlar (Onaran, 2000).

Termoset plastikler üç boyutlu çapraz bağlara sahiptir. Bağlar dönemediğinden ve kayamadığından termoset plastikler termoplastiklere göre daha iyi dayanım, sertlik ve peklilik gösterirler. Termoset plastiklerin süneklikleri ve darbe dayanımları düşüktür, camsı geçiş sıcaklıkları ise yüksektir. Çekme deneyinde, gevrek metallere ve seramiklerle benzer davranışlar sergilerler (Askeland, 1995).

Termoset plastiklerde ısı ve basınç çapraz bağların oluşumunu başlatan iki etmendir. Termosetlerde çapraz bağlar geri dönüşümsüzdür, bir defa oluşturuldu mu malzeme tekrar kullanılamaz ve geri dönüştürülemez.

1.4 Bazı Önemli Plastiklerin Özellikleri ve Kullanım Alanları

Plastikler sert, elastik, kauçuksu, kristal berraklığında, opak, iletken, sağlam, esnemez, dış hava şartlarına uygun olabilir. Farklı plastik malzemelerin mekanik özelliklerinin değişimi Şekil 1.3'te gösterilmiştir (Rosato vd, 2000).



Şekil 1.3 : Plastik malzemelerin mekanik özellik skalası (Rosato vd, 2000)

1.4.1 Bazı önemli termoplastikler

Polietilen (PE) : Gündelik hayatta en çok karşılaştığımız ve kullandığımız plastik türüdür. Ambalajlarda, borularda, tanklarda, şişelerde yaygın olarak kullanılır. Toplam plastik tüketiminin yaklaşık % 35'i polietilendir. Polietilenden üretilmiş parçalar Şekil 1.4'te görülmektedir.



Şekil 1.4 : Polietilenden üretilmiş parçalar

Polivinilklorür (PVC) : Yiyecek ambalajlarında, ayakkabılarda ve yer kaplamalarında yaygın olarak kullanılan mukavemeti ve aşınma dayanımı yüksek, alevle yanmaya dayanıklı bir malzemedir. PVC kullanılarak üretilmiş parçalar Şekil 1.5'te görülmektedir.



Şekil 1.5 : PVC'den üretilmiş parçalar

Polipropilen (PP) : Yoğurt kaplarında, bavullarda, kapaklarda, kovalarda, borularda, yere serilen yağılarda, akülerde yaygın olarak kullanılan kimyasal yönden asal, su emme özelliği az bir plastiktir. Polipropilen kullanılarak üretilmiş ürünler Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6 : Polipropilenden üretilmiş ürünler

ABS (Akronitril-Bütadien-Stiren): Yaygın olarak borular, otomotiv parçaları, koruyucu kasklar ve oyuncaqlarda kullanılan mukavemeti, tokluğu yüksek plastiktir. Dış ve kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. ABS kullanılarak üretilmiş ürünler Şekil 1.7'de görülmektedir.



Şekil 1.7 : ABS'den üretilmiş ürünler

Polistren (PS) : Yüksek miktarlarda üretilen şeffaf eşyalarda, yoğurt kaplarında, köpük fast food kaplarında ve kasetlerde kullanılan plastiktir. Kokusuzdur, çevre ve kimyasal etkilere karşı direnci düşüktür. Gevrek olmakla beraber kolay işlenir ve ucuzdur. Polistrenden üretilmiş ürünler Şekil 1.8'de görülmektedir.



Şekil 1.8 : Polistrenden üretilmiş ürünler

Polyamid (PA) : Yatak, dişli, civata, tamburlar ve elektronik parçalarda yaygın olarak kullanılan plastik türüdür. Mukavemeti, rijitliği ve tokluğu yüksek olup aşınmaya dayanıklıdır. Polyamid kullanılarak üretilmiş ürünler Şekil 1.9'da görülmektedir.



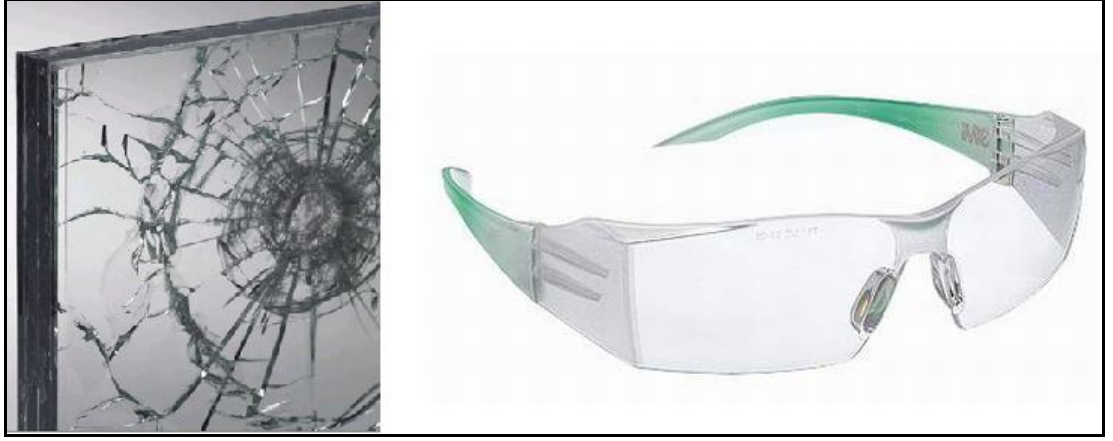
Şekil 1.9 : Polyamidden üretilmiş ürünler

Polimetil Metakrilat (PMMA): Piyasada pleksiglas olarak bilinen şeffaf ve renksiz bir termoplastiktir. Dış etkilere dayanıklı olduğundan deniz araçlarında, uçaklarda, otomobillerde, pencere, lamba ve reklam panolarında kullanılır. Polimetil metakrilattan üretilmiş ürünler Şekil 1.10'da görülmektedir.



Şekil 1.10 : Polimetil Metakrilattan üretilmiş ürünler

Polikarbonat (PC): Polikarbonatlar çok dayanıklı malzemelerdir. Kurşun geçirmez cam, kask, gözlük camı yapımında, uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılırlar. Şekil 1.11'de polikarbonat ürünler görülmektedir.



Şekil 1.11 : Polikarbonattan üretilmiş ürünler

Politetrafloretillen (Teflon): Yüksek ısıya dayanıklı conta, keçe, bant, vana seti, salmastra, taşıyıcı band, merdaneler ve mutfak eşyalarında yaygın olarak kullanılırlar. Mukavemeti ve aşınmaya karşı direnci yüksek, sürtünme katsayısı çok düşüktür. -200°C ile $+260^{\circ}\text{C}$ arasında kullanılmaya elverişlidir. Kimyasal etkilere karşı çok dayanıklıdır. Politetrafloretillen kullanılarak üretilmiş ürünler Şekil 1.12’de görülmektedir.



Şekil 1.12 : Politetrafloretillen ürünler

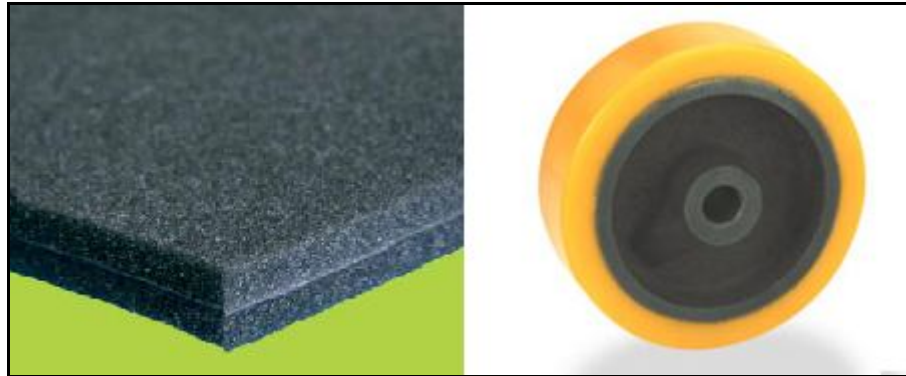
1.4.2 Bazı önemli termoset plastikler

Fenolikler: Tencere saplarında, ütülerde, tost makinalarında kullanılan ısıl dayanımı yüksek, en yaygın kullanılan termoset plastik türüdürler. Bakalit en yaygın fenolik termosetlerdendir. Şekil 1.13’de fenolik plastik malzemeden üretilmiş ürünler görülmektedir.



Şekil 1.13 : Fenolik termoset malzemedan üretilmiş ürünler

Üretanlar: Fiber, kaplama ve mobilyalar için köpük, yatak ve izolasyon malzemesi olarak kullanılan termoset plastiklerdir. Şekil 1.14’te üretan termoset plastik kullanılarak üretilmiş ürünler görülmektedir.



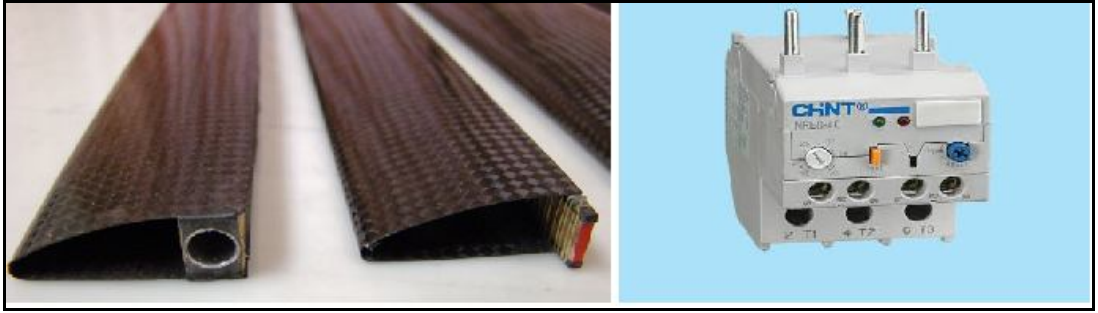
Şekil 1.14 : Üretan termoset plastik kullanılarak üretilmiş ürünler

Polyesterler: Elektrik ekipmanlarında, dekoratif kaplamalarda, botlarda, deniz ekipmanlarında ve kompozit malzemelerde kullanılırlar. Şekil 1.15’te polyester kullanılarak üretilmiş ürünler görülmektedir.



Şekil 1.15 : Polyester ürünler

Epoksi: Yapıştırıcılarda, uçak uzay uygulamalarında, yalıtkan ve kimyasal açıdan asal olduğu için elektrik ekipmanlarında yaygın olarak kullanılırlar. Şekil 1.16’da epoksi kullanılarak üretilmiş ürünler görülmektedir.



Şekil 1.16 : Epoksi kullanılarak üretilmiş ürünler

Melamin: Isıya dayanıklı laminasyon yüzeylerde ve mutfak eşyalarında yaygın olarak kullanılırlar. Yanmayı geciktirici özelliktedirler. Melaminden üretilmiş ürünler Şekil 1.17’de gösterilmiştir.



Şekil 1.17 : Melamin ürünler

Yanma Geciktiriciler: Organik oldukları için neredeyse bütün polimerler yanıcıdır. Klor, brom, fosfor veya metalik tuzlar yanma eğilimini düşürürler ve alevin yayılmasını yavaşlatırlar.

Plastikleştiriciler: Camsı geçiş sıcaklığını düşürerler, kendinden yağlama sağlarlar ve plastiklerin form verilebilirliğini arttırlar.

Takviyeler: Cam, plastik ve karbon filament takviyesi plastiklerin dayanımını ve rijitliğini yükseltir. Örneğin cam elyaf, polimer matrisinde yer alan kısa cam filamentlerden meydana gelir.

2. PLASTİKLERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Plastikler, kalıpla, ekstrüzyon, şişirme gibi çeşitli yöntemlerle şekillendirilirler. En yaygın şekillendirme yöntemi, plastiklerin enjeksiyon kalıpları ile şekillendirilmeleridir.

En geniş şekillendirme yöntemi termoplastiklerdedir. Plastik, ergime sıcaklığı civarlarına ya da biraz üzerine ısıtılır ve kauçuksu veya sıvı kıvamına gelir. Sonrasında kalıp içinde istenilen şekli alması sağlanır. Termoset plastikler için ise daha az şekillendirme yöntemi vardır çünkü termosetlerde çapraz bağlar oluştu mu, ürün yeniden şekillendirilemez (Askeland, 1995).

2.1 Plastik Enjeksiyon Yöntemi

Plastik enjeksiyon kalıplama yönteminde plastik ergime sıcaklığının üzerine kadar ısıtılır ve kapalı haldeki kalıpta yer alan kalıp boşluğuna gönderilir. Bu yöntem, ergimiş metallerin döküm ile kalıpta şekillendirilmesiyle benzerdir. Bir piston ya da özel bir vida mekanizması sıcak plastiği kalıp boşluğuna doğru ittirir (Askeland 1995). Topak halindeki plastik ergitilerek basınç ile kalıba enjekte edilir ve soğumaya bırakılır. Kalıp açılarak parça çıkarılır, kalıp kapanır ve çevrim tekrarlanır.

Genellikle lineer yapıya sahip olan termoplastikler kolay kalıplanabilir, karışık şekiller alabilir ve yüksek darbe dayanımına sahiptirler. Termosetler ise daha iyi boyut kararlılığı, ısı dayanımı ve elektriksel özelliklere sahip olmakla birlikte daha zor kalıplanabilirler. Bu nedenle termoplastiklerin kalıplanmalarında enjeksiyon, termosetlerde ise çoğunlukla baskı ve transfer yöntemi kullanılmaktadır (Michaeli, vd 2001).

2.1.1 Plastik enjeksiyon makinaları

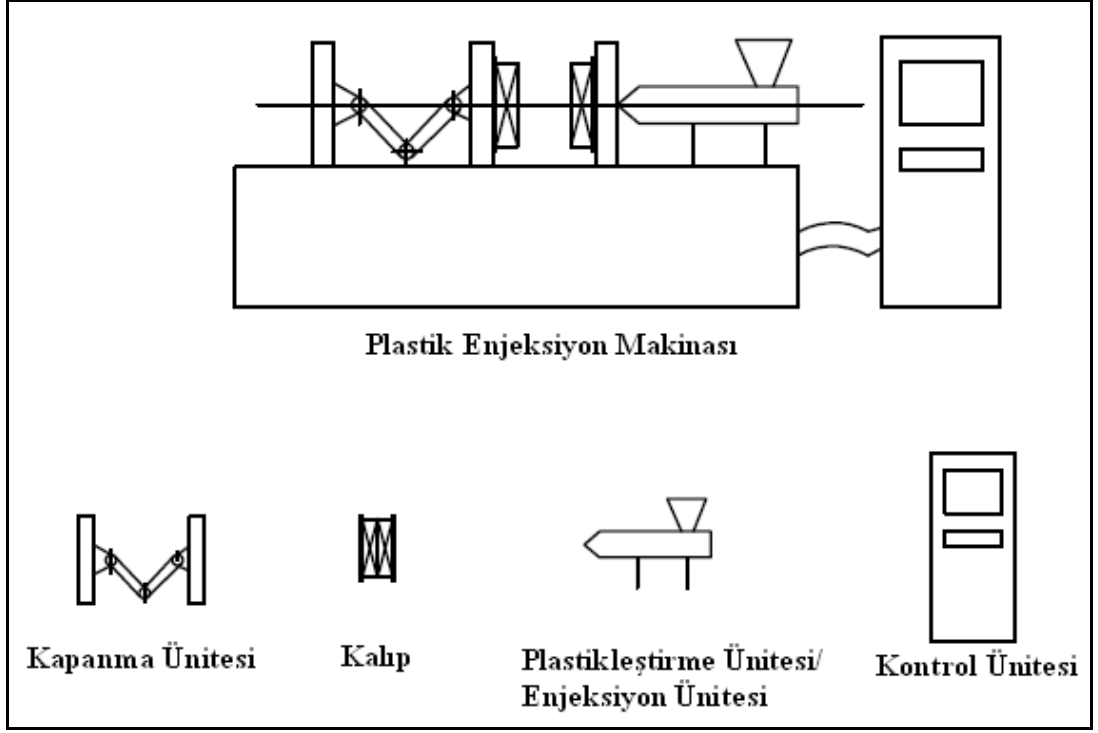
Plastiğin ergitilip kalıba enjekte edilmesi plastikleştirme ve enjeksiyon sisteminin fonksiyonlarıdır. Enjeksiyon hızı ve enjeksiyon basıncı makinanın hidrolik sistemi ile kontrol edilir. Enjeksiyon basınçları 35 MPa'dan 140 MPa'a kadar değişir. Ergitme sıcaklıkları da 215 °C'dan 300 °C'ye kadar değişir (DuPont, 2011).

Plastik enjeksiyon makinası kalıplanacak ürüne göre seçilmelidir. Kalıplanacak parça boyutları ile makina büyüklüğü doğru orantılı olmalıdır. Küçük boyutlu ürünleri çoklu kalıpta üretmenin ekonomik olduğu durumlarda, küçük boyutlu parçalar için de büyük kapasiteli makinalar gerekebilmektedir. Plastik enjeksiyon yönteminde, plastik bileşen, kalıp boşluğuna, 2000 bar veya 200 N/mm²'yi aşabilen yüksek basınçta enjekte edilir. Otomobil lastiklerinin 2 bar basınçlı hava ile dolu olduğu düşünülürse enjeksiyon basıncının yüksekliği anlaşılabilir. Çapak oluşmaması için kalıplar, plastiğin enjeksiyon basıncı ile kalıp boşluğunun kenarlarından sızamayacağı kadar sıkı kapanmalıdır. Bu kapanma kuvveti, kapanma ünitesi ile sağlanır. Plastik enjeksiyon makinaları bu kapanma kuvvetine göre sınıflanır. Kapanma kuvvetine karşı olan kuvvet, kalıp ayrılma kuvvetidir. Eriyik halindeki plastiğe uygulanan basıncın, parçanın izdüşüm alanına çarpılması ile bulunur ve kalıbın kapanma yönündedir. Sorunsuz ve çapaksız bir kalıplama sağlanması için kalıp ayrılma kuvvetinin, kalıbın kapanma kuvvetinden düşük olması gerekir (Michaeli, vd 2001).

Plastik enjeksiyon makinalarının ana modülleri tüm makina tipleri için ortaktır. Bu üniteler şunlardır;

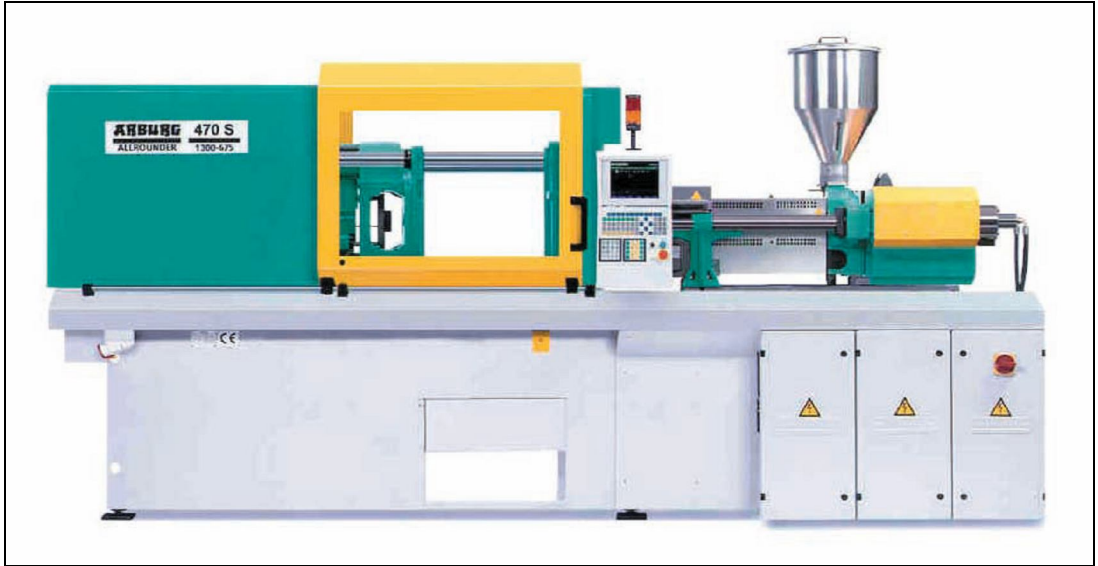
- plastikleştirme ve enjeksiyon ünitesi
- kapanma ünitesi
- kontrol ünitesidir (hidrolik ve elektrik sistemleri)

Bir enjeksiyon kalıp makinası ve temel yapı üniteleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Plastik enjeksiyon makinası üniteleri (Michaeli, vd 2001)

Termoplastiklerin şekillendirilmesi genellikle yatay plastik enjeksiyon makinalarında yapılır (Şekil 2.2). Kalıplar arasındaki ayrılma çizgisi dik olduğu için, parça kalıptan ayrıldığında bir konteynırın içine düşebilir (Michaeli, vd 2001).



Şekil 2.2 : Yatay plastik enjeksiyon makinası

Dik plastik enjeksiyon makinalarında kalıp yarıları ve kalıp ayrılma yüzeyi zemine paraleldir. Buna bağlı olarak, makina küçük parçaların kalıplanması için uygundur

(Şekil 2.3). Çoğu elastomer parçanın da kalıplanması dik enjeksiyon makinasında yapılmaktadır.



Şekil 2.3 : Dik plastik enjeksiyon makinası

Döner tablalı makinalarda, birden fazla kapanma ünitesi tek bir plastikleştirme ünitesine bağlanmıştır. Bu nedenle, bu tip makinalar, ısınma ve soğuma süresi uzun olan kalıplar için en uygun alternatiftir. Döner tablalı tip enjeksiyon makinası Şekil 2.4’te görülmektedir.



Şekil 2.4 : Döner tablalı plastik enjeksiyon makinası

2.1.2 Enjeksiyon kalıplama işlemi

Enjeksiyon kalıplama işlemi, plastiklerin şekillendirilmesinde temel üretim yöntemlerinden biridir. Aynı tasarımdan çok yüksek adetlere kadar, aynı komplekslikte ürün üretilmesini sağlar (Menges, vd 2001).

Bu işlemin avantajları şunlardır;

- Hammaddeden son ürüne tek bir rota olması
- Tam otomasyona uygun olması
- Aynı kalitede tekrarlanabilir üretim
- Yüksek hacimlerde düşük parça maliyeti

2.1.2.1 Enjeksiyon kalıplama çevrimi

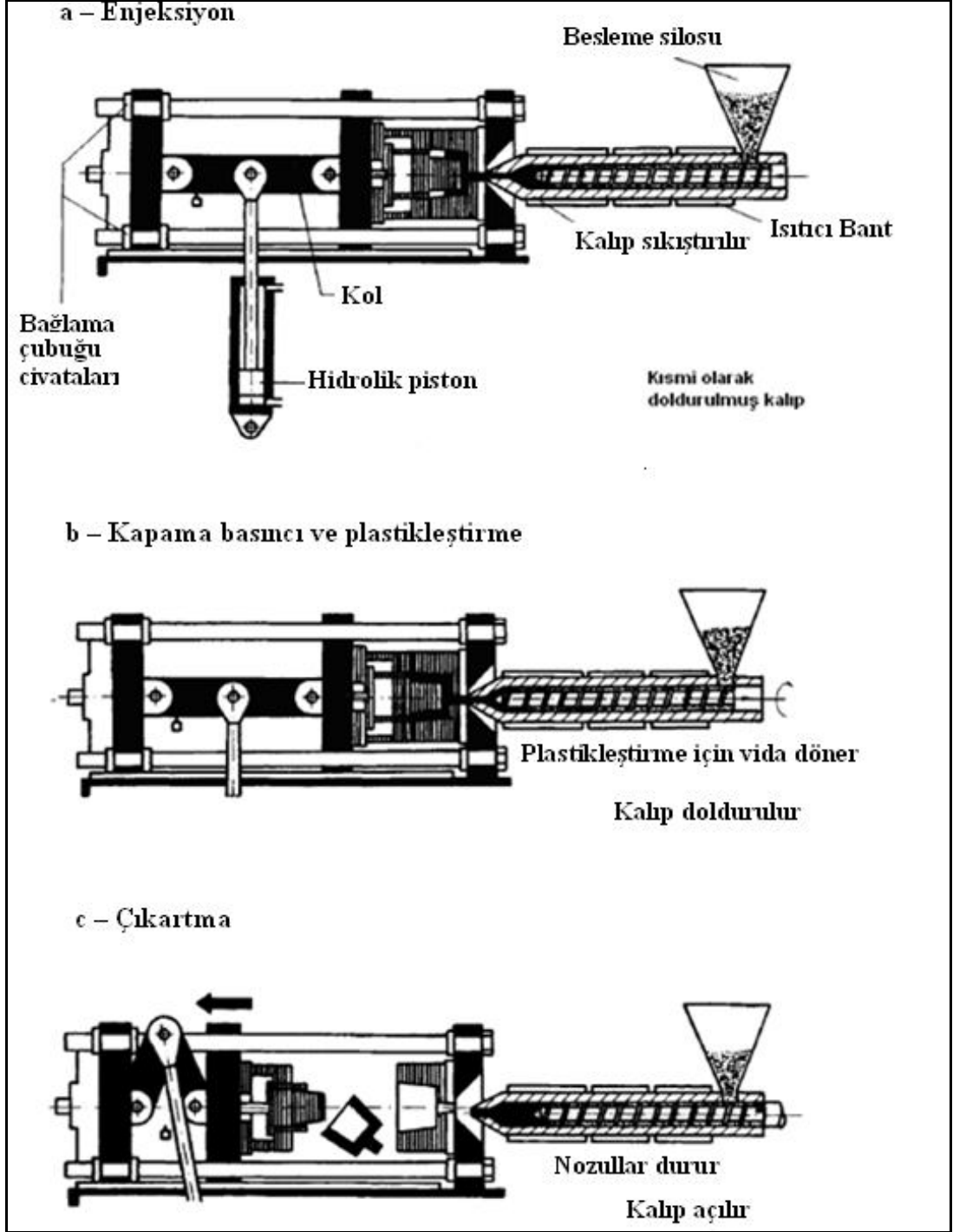
Çevrimin başında kalıp, plastik enjeksiyon makinasında kapanma ünitesi olarak adlandırılan presin tahriği ile kapanır. Plastikleştirme ünitesi tarafından ergitilen ve beslenen eriyik (kesin, ölçülü miktarda), kapalı kalıba enjekte edilir.

Kalıp boşluğu doldukça içeride basınç oluşur. Bu basınca, kapanma ünitesinin kapanma kuvveti karşı koyar ve eriyiğin kalıp boşluğunun kenarlarından dışarı kaçmasını önler.

Kalıp ile plastikleştirme ünitesinin arasındaki bağlantı, doldurma işlemi bitinceye kadar sürer. Kalıp boşluğunun dolması, işlemin sona ermesi anlamına gelmez, çünkü eriyik katılaşma esnasında hacim değiştirir. Bu hacim azalışını önlemek için daha fazla eriyik kalıp boşluğuna doğru basılır, böyle olunca, eriyiğin kalıptan taşmaması için yolluktaki eriyik katılaşana kadar kalıpla plastikleştirme ünitesi arasındaki bağlantı sürdürülür. Bağlantı, plastikleştirme ünitesindeki vidanın ters dönmesi ve enjeksiyon nozulunun kapanması ile kesilir. Nozulun ayrılması, kalıpla plastikleştirme ünitesi arasında ısı izolasyonu sağlar çünkü kalıpla plastikleştirme ünitesi çok farklı sıcaklıklardadır. (Şekil 2.5-a)

Plastikleştirme işlemi belli bir süre gerektirdiği için, nozul kapanıp ayrıldıktan sonra plastikleştirme ünitesi genellikle dönmeye başlar ve plastiği ergitip öne getirir. Kalıplanmış ürün soğuyup, dış destek olmadan şeklini koruyabilecek hale gelince, kapanma ünitesi kalıbı açar ve ürün itici pimler vasıtası ile kalıptan çıkarılır (Şekil 2.5-b).

Döngü bu şekilde devam eder. Şekil 2.5 plastik enjeksiyon çevrimini şematik olarak göstermektedir. Bu çevrim temel enjeksiyon çevrimidir, malzemeye ve yönteme bağlı olarak değişiklikler gösterebilir (Menges, vd 2001) (Şekil 2.5-c).



Şekil 2.5 : Enjeksiyon kalıplama çevrimi (Menges, vd 2001)

2.1.2.2 Termoplastiklerin enjeksiyon kalıplanması

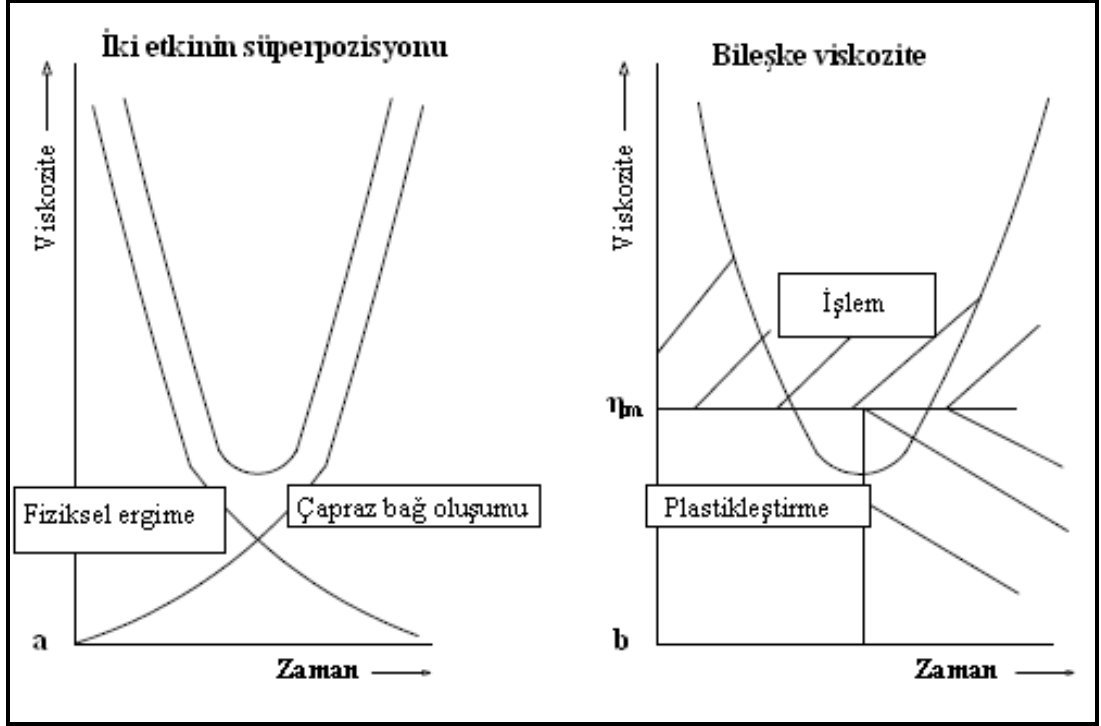
Termoplastikler ısıtıldıklarında faz değiştirirler, yumuşayıp ergirler ve akışkan hale gelirler. Soğutulduklarında tekrar katılaşırlar. Bu nedenle termoplastiklerle çalışılırken plastikleştirme ünitesi sıcak, kalıplar soğuk çalışır. Genellikle aradaki sıcaklık farkı 100 °C'nin üzerindedir. Enjeksiyon kalıpcılığı için geliştirilmiş termoplastik malzemeler genellikle düşük viskoziteye sahiptir. Viskozitenin düşük olmasına bağlı olarak enjeksiyon süreleri düşüktür ve düşük kapama kuvvetleri gerekir.

Plastik enjeksiyon kalıbı malzemeden sıcaklığı hızlı ve sabit bir şekilde almalıdır. Bu nedenle soğutma sistemi dikkatli bir şekilde tasarlanmalıdır. Genellikle su olan soğutucu, çekirdek etrafındaki kanallarda dolaşır ve kalıbın sıcaklığını 100 °C'nin altında tutar.

İşleme ve ikinci bir işlem gerektirmeyen parçaların üretimi tüm bağlantılarda ve kalıp ayrılma çizgisinde eriyiğin aralara girip sertleşemeyeceği kadar iyi sızdırmazlık sağlandı ise mümkün olmaktadır. Aksi halde çapak oluşur ve işleme gerekir. Bu yüzden eriyik katılaşıncaya kadar tüm bağlantı boşlukları, tam enjeksiyon basıncı altında bile 0,03 mm'nin altında kalmalıdır. Bu ihtiyaç, büyük parçalarda ve büyük enjeksiyon makinelerinde kendini gösterir, bu nedenle kalıpların çok rijit olması ve kapanma ünitesinin çok hassas olması gerekir. Ayrıca kapanma plakasının rijitliği de çok önemlidir (Menges, vd 2001).

2.1.2.3 Termoset plastiklerin enjeksiyon kalıplanması

Termoset plastikler son moleküler yapılarına sıcaklık altında çapraz bağlar oluşturarak ulaşırlar. Bu nedenle plastikleştirme ünitesinde mümkün oldukça düşük sıcaklıkta tutulmalıdırlar. Viskozite kalıp boşluğunun dolmasına yetecek kadar düşük olmalıdır. Plastikleştirme ünitesi genellikle 100 °C'nin altında tutulur ve sürtünme kaynaklı ısınma baskısız vida kullanılarak minimize edilir. Diğer yandan kalıp yüksek sıcaklıktadır, buna bağlı olarak reaksiyon ve çapraz bağ oluşumu hızlı bir şekilde gerçekleşir. Sıcaklıkta bir üst limit vardır çünkü kalıp yüzeyinde termal hasar oluşmamalıdır (Menges, vd 2001). Benzer plastik malzemelerin viskozite değişimleri ve oluşum döngüleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Viskozite-çapraz bağ ilişkisi ve işlem limitleri (Menges, vd 2001)

2.2 Plastik Enjeksiyon Kalıpları

Plastik enjeksiyon kalıpları bazıları standard olarak temin edilebilen, bazıları ise kalıba ve ürüne özel olarak tasarlanıp imal edilen birçok kalıp elemanından oluşmaktadır.

2.2.1 Plastik enjeksiyon kalıbını meydana getiren elemanlar

Plastik enjeksiyon kalıpları çok sayıda elemanın bir araya gelmesinden oluşur. Şekil 2.7'de, tipik bir enjeksiyon kalıbı montaj resmi görülmektedir.

9 - Hareketli Çekirdek Bağlama Plakası : Kalıbın hareketli kısmının üst plakasıdır. Hareketli çekirdek bu plakaya bağlanır.

10 – Kılavuz Pim : Kalıp açıldıktan sonra, tekrar kapatıldığında, tam ayarına gelmesini temin eder. Pim, sementasyon çeliğinden yapılır. Sertleştirilip taşlanır. Plakaya sıkı olarak preste çakılır.

12 – Kalıp Ayrılma Çizgisi : İki kalıp yarısının birleştiği düzlemdir.

13 – Sabit Çekirdek Bağlama Plakası : Kılavuz pimler bu plakaya bağlanır. Çekirdek olarak adlandırılan bu parçalar, bu plakanın iç tarafına bağlanırlar. Bu plaka, yolluk burcunu da tutar.

14 – Sabit Bağlantı Plakası : Kalıbın sabit kısmını, enjeksiyon makinasının sabit kısmına bağlamaya yarar. Sabit çekirdek bağlama plakası, bu plakaya, civatalarla bağlanır.

15 – Soğutma Kanalı Girişi : Soğutma kanallarında dolaşacak akışkanın kalıp ile bağlantısının yapıldığı elemandır.

16 – Merkezleme bileziği : Enjeksiyon silindirinin nozulu ile yolluk burcu girişi ve makina plakası ile kalıbın merkezlenmesini sağlar.

17 – Yolluk Burcu : Plastiğin kalıba girişini sağlar

18 – Sabit Çekirdek : Kalıp yarımının sabit olanına bağlıdır. Plastik parçanın şeklinin bir kısmını, sabit çekirdek verir.

19 – Soğutma kanalı : Kalıp yüzeylerinin sıcaklığını kontrol ederek plastiği soğutarak katı faza dönüşmesini sağlar.

20 – Hareketli Çekirdek : Bu da, sabit çekirdek gibi, parçanın bir kısmına şekil veren çekirdektir. Buna erkek kalıp da denir. Kalıbın hareketli olan yarımına bağlanır.

21 – Destek Sütunu : İtici plakanın hareket edebilmesi için boşluk sağlar.

2.3 Plastik Kalıp Malzemeleri ve Malzeme Seçimi

Plastik enjeksiyon kalıplarında yanlış malzeme seçimi, kalıp ömrünün kısa olmasının yanında üretim esnasında sorunlara da sebep olur. Kalıp malzemelerinden genel olarak aşağıdaki özellikleri sağlamaları beklenir;

- kolay işlenebilirlik
- sertlik gerektiği durumlarda iyi sertleştirilebilirlik
- yüksek tokluk ve dayanım
- parlatılabilirlik ve foto-dağlama için uygunluk
- yüksek aşınma dayanımı
- yüksek yorulma dayanımı
- kalıbın çabuk soğutulabilmesi için yüksek ısı iletimi
- yüksek korozyon dayanımı

Pratikte tüm bu özellikleri sağlayan tek bir malzeme yoktur. Kalıbın çalışma koşulları değerlendirilerek bu şartlara en uygun malzeme seçimi yapılmaya çalışılır. Kalıbın çalışma koşulları, aşağıdaki kriterlere göre değerlendirilir:

- kalıbın üreteceği parça adedi (kalıp ömrü)
- kalıpta çalışacak plastik malzemenin özelliği (aşındırıcı, korozif, vb.)
- foto-dağlama ve parlatma gerekip gerekmediği
- yüksek ısı iletimin gerekip gerekmediği
- diğer özel gereklilikler (çok yüksek enjeksiyon basıncı, vb.)

Plastik enjeksiyon kalıplarında yaygın olarak çelik kullanılır. Çelik, kalıp malzemelerinden beklenen bir çok özelliği karşılamaktadır. Alternatif malzemelerin kullanıldığı plastik enjeksiyon uygulamaları da vardır. Farklı uygulamalar için yaygın olarak hangi kalıp malzemelerinin kullanıldığı Tablo 2.1'de gösterilmiştir (Jones, 2008).

Plastik enjeksiyon kalıbında kullanılan başlıca malzeme türü çeliklerdir. Çelik haricinde Berilyum-bakır alaşımları, alüminyum alaşımları ve çelik takviyeli epoksi de kullanılmaktadır. Kalıp ömürleri hakkında referans olması açısından 35CrMo4 çeliğinden imal edilmiş bir kalıbın 1.000.000 adet parça üretebileceği, EN-AW 7050 alüminyum alaşımından imal edilmiş bir kalıbın 250.000 adet parça üretebileceği, çelik takviyeli epoksiden imal edilmiş bir kalıbın ise 50-200 arası parça üretebileceği öngörülebilir (Rosato, vd 2000)

Tablo 2.1 : Uygulamalara göre kullanılan kalıp malzemeleri

Uygulama	Kullanılan malzeme	İşlem
Küçük hacimde üretimler	Düşük karbonlu çelikler	İşleme
Basit parçalar için orta hacimde üretimler	Düşük karbonlu çelikler Aluminyum alaşımları Sertleştirilmemiş alaşımlı takım çeliği	İşleme
Yüksek performans plastikleri için orta hacimde üretimler	Aluminyum alaşımları Sertleştirilmemiş alaşımlı takım çeliği	İşleme
Yüksek hızlarda ve dar toleranslarda üretimler	Sertleştirilmiş alaşımlı takım çeliği	İşleme
Yüksek hacimde üretimler	Sertleştirilmiş alaşımlı takım çeliği	İşleme
Foto-dağlama ve parlak yüzey gerektiği durumlar için :		
Düşük/orta hacimde üretimler	Aluminyum alaşımları Sertleştirilmemiş alaşımlı takım çeliği	Foto- Dağlama Dağlama EDM
Yüksek hacimde üretimler	Sertleştirilmiş alaşımlı takım çeliği	Foto- Dağlama Dağlama EDM
Yüksek ısı iletimi	Berilyum bakır alaşımları	Döküm ve işleme
Düşük ısı transferi	Seramik titanyum	Döküm ve işleme

Günümüzde yaygın olarak kullanılan plastik enjeksiyon kalıbı malzemeleri başta çelikler olmak üzere berilyum-bakır alaşımları, aluminyum alaşımları ve toz metalurjisi ile üretilmiş sert metal alaşımlarıdır.

2.3.1 Plastik kalıp çelikleri

Çelikler yüksek aşınma dayanımları, korozyon dayanımları, sertlikleri, toklukları, basma dayanımları ve makul ısı iletimleri ile en yaygın kullanılan kalıp malzemeleridir. Bunun yanında kalıp tamiri için önemli bir özellik olan iyi kaynak edilebilirlikleri ve düşük bakım gereksinimleri çelikleri en tutarlı ve uzun vadede fiyat performans açısından en verimli kalıp malzemesi yapmaktadır. Yaygın olarak kullanılan plastik kalıp çelikleri şunlardır:

- ön sertleştirilmiş çelikler
- kesitine sertleşen çelikler
- paslanmaz çelikler

2.3.1.1 Ön sertleştirilmiş çelikler

Ön sertleştirilmiş çelikler imalatçı tarafından genellikle 270-400 Brinell sertlik aralığında teslim edilirler ve ısıl işlem uygulanmadan tedarik edildiği gibi kullanılırlar. Ön sertleştirilmiş çelikler genellikle ısıl işlem kaynaklı boyut değişimlerinin kontrolünün zor olduğu büyük boyutlu kalıplarda ve 500.000-1.000.000 civarında orta hacimli üretim yapılacak kalıplarda kullanılırlar. Tablo 2.2’de yaygın olarak kullanılan ön sertleştirilmiş plastik kalıp çelikleri gösterilmiştir.

Tablo 2.2 : Yaygın olarak kullanılan ön sertleştirilmiş plastik kalıp çelikleri

Çelik	Malzeme No.	Yüzey Sertliği (HRC)
42CrMo4	1.7225	30-35
40CrMnMo7	1.2330	30-35
40CrMnNiMo8-6-4	1.2738	27-35
40CrMnMoS8-6	1.2312	27-32

2.3.1.2 Kesitine sertleşen çelikler

Kesitine sertleşen çelikler yumuşak tavlı şekilde teslim edilirler. Kaba olarak işlenirler, ardından gerilme-giderme tavlı uygulanır, bunun ardından son işleme payı bırakılarak işlenirler, sertleştirilip menevişlenirler ve son ölçülerine işlenip parlatılırlar ya da foto-dağlama uygulanır. Bu çelikler genellikle yüksek hacimli üretim yapacak kalıplarda, aşındırıcı özellikte plastik parça üretecek kalıplarda ve yüksek enjeksiyon basınçlarının olduğu şartlarda kullanılırlar (Gastrow, 2002). Plastik enjeksiyon kalıplarında yaygın olarak kullanılan kesitine sertleşen çelikler Tablo 2.3’te gösterilmiştir.

Tablo 2.3 : Yaygın olarak kullanılan kesitine sertleşen plastik kalıp çelikleri

Çelik	Malzeme No.	Yüzey Sertliği (HRC)
X40CrMoV5-1	1.2344	48-54
X45NiCrMo4	1.2767	50-57
90MnCrV8	1.2842	56-63
X155CrVMo121	1.2379	58-65
X210Cr12	1.2080	60-65
X165CrMoV12	1.2601	61-65

Bu çelikler üstün mekanik özelliklerinin ve aşınma dayanımlarının yanında homojen yapıya sahiptirler. Sonradan işleme yüksek dayanıma sahip herhangi bir bölgeyi ve yüzeyi ortadan kaldırmaz.

2.3.1.3 Paslanmaz çelikler

Plastik enjeksiyon kalıpları PVC gibi korozif plastiklerle çalıştıklarında, nemli ortamlarda stoklandıklarında ve içinden su geçen kanallarla soğutulduklarında korozyona maruz kalmaktadırlar. Korozyona maruz kalan kalıp parçaları, paslanmaz çelikten imal edilirler. Paslanmaz çelik kullanılmayan durumlarda kalıbın sık sık parlatılması veya kalıba sık sık kaplama yapılması gerekmektedir ki bu durum, paslanmaz çelik kullanılmasından daha zahmetli ve maliyetli bir sonuç doğurmaktadır. Bunun yanında, soğutma kanallarının korozyona uğraması ısı iletiminin düşmesine ve çevrim süresinin artmasına sebep olur.

Paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı içerdikleri krom miktarına bağlıdır. En az % 12 krom oranı, atmosferle ya da oksijen içeren bir ortamla temasa geçince çok yoğun, yüzeye çok kuvvetli yapışan, görünmez bir krom oksit tabakası oluşturur. Bu tabaka çeliği korozyona karşı korur. Korozyon dayanımı kalıbın yüzey kalitesine de bağlıdır. Kaba yüzey, parlatılmış pürüzsüz yüzeye göre korozif ortamın etki edebileceği daha fazla yüzey alanına sahiptir. Bu nedenle % 13 krom içeren krom çelikleri sadece yüzeyleri parlatılırsa korozyon dayanımı gösterirler. Plastik kalıpları, korozyon dayanımı için, kalıptan sökülüp depoya alınacağı zaman, yüzeyleri iyice temizlenmelidir.

Plastik ve plastik ilavelerinin korozif etkilerini elektrolizle kaplama gidermektedir fakat keskin köşelerde bu kaplamalar kalkmakta ve korozif şartların baskın olduğu durumlarda yüzeyde kaplama da olsa kalıp korozyona uğramaya başlamaktadır. Böyle durumlarda paslanmaz çelik kullanılması tavsiye edilmektedir. Paslanmaz çeliklere nitrürleme uygulanması, nitrürlemenin paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını kaplamasız paslanmaz çeliğe kıyasla bir miktar azalttığı için önerilmemektedir (Gastrow, 2002). Plastik enjeksiyon kalıplarında yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4 : Yaygın olarak kullanılan paslanmaz plastik kalıp çelikleri

Kısaltma	Malzeme No.	Yüzey Sertliği (HRC)
X41Cr13	1.2083	54-59
X36CrMo17	1.2316	48-52
X105CrMo17	1.4125	57-60

2.3.2 Alüminyum alaşımları

İngiltere, Amerika ve Avrupa'da yükselen bir trendle orta hacimli üretimlerde plastik kalıp malzemesi olarak alüminyum alaşımları kullanılmaya başlanmıştır. Alüminyum alaşımı ile imal edilmiş kalıplarda 250.000 civarında parça üretimi yapılabilmektedir. Bazı basit parçalarda üretim 1.000.000 adetlere çıkılabilmektedir. Yaygınlaşan bir kullanım ise hibrit alüminyum-çelik bileşik kalıplardır. Aynı kalıp çekirdeğinde kritik ve aşınmaya zorlanan kesitlerde çelik, düz, kritik olmayan kesitlerde ise alüminyum kullanarak ısı iletimi avantajı ile yüksek hızlarda plastik parça üretimi yapılabilmektedir (Jones, 2008). Alüminyum alaşımlarının temel avantajları şunlardır;

- Çelikten daha ucuzdur.
- Çeliğe göre 5-10 kat daha hızlı işlenebilmektedir.
- İşleme gerilmeleri ve çarpılma çeliğe göre daha azdır.
- Isı iletimi çelikten çok daha iyidir ve üretimin çevrim süresi çeliğe göre kısadır.
- Korozyon dayanımı çelikten yüksektir.
- Sert krom kaplama ve sert anodlama ile aşınma ve korozyon dayanımı arttırılabilmektedir.

Alüminyum alaşımlarının temel dezavantajları ise şunlardır:

- Elastiklik modülü çeliğin % 30'u kadardır.
- Sertliği çelikten çok daha düşüktür.
- Dayanımı çelikten daha az olduğu için, aynı plaka çelikten yaklaşık % 40 daha kalın olmalıdır.
- Aşınma dayanımı çelikten çok daha düşüktür.

2.3.3 Berilyum-bakır alaşımları

Bakır çok yüksek ısı iletimine sahiptir ve teoride yüksek hızlı üretim için en uygun kalıp malzemesidir fakat dayanımı çok düşük olduğu için pratikte kalıp çekirdeğinde kullanılamamaktadır. Bakır ile berilyum alaşım yapıldığında kalıp çekirdeği için uygun, dayanımı yüksek ve tok bir malzeme ortaya çıkmaktadır.

Kalıp çekirdeği olarak kullanılacak berilyum-bakır alaşımı en az % 1,7 berilyum içermelidir. % 1,7'den fazla berilyum içeren berilyum-bakır alaşımı kalıp çekirdeğine 400 °C civarında ısıl işlem uygulandığında yaklaşık 40 HRC civarı sertlik elde edilmektedir (Jones, 2008).

2.3.4 Sert metal alaşımları

Sert kalıp alaşımları, toz metalurjisi yöntemi ile üretilen, çelik matrisine uniform olarak dağılmış farklı miktarlarda yüksek oranda küçük karbürler içeren çeliklerdir (Dittrich ve Kortmann, 1981).

Çelik sınıfına ve imalatçısına göre bileşim değişebilmekle birlikte, bu çelikler hacim olarak % 50 oranında titanyum karbür içerirler. İçerdikleri bu karbür oranı, çelikleri aşınmaya karşı çok dirençli kılar. Bu çelikler, aşındırıcı plastiklerin kalıpları için (termosetler ve takviyeli termoplastikler) ve aşınmaya maruz kalan kalıp parçaları için (nozullar, vb.) uygundur.

2.4 Kalıp İmalat Süreci

Ürün ve kalıp tasarımı tamamlanıp malzemeler seçildikten sonra kalıp imalatı süreci başlar. Bu süreç şu adımlardan oluşur;

- kalıba form verme (işleme)
- ısıl işlem
- son işleme
- foto-dağlama (gerektiği durumlarda)
- yüzey işlemleri

2.4.1 Kalıba form verme işlemleri

Kalıp imalatında döküm, lazer sinterleme gibi farklı yollar da kullanılabilmele birlikte, günümüzdeki en yaygın imalat yolları “talaşlı işleme” ve “elektrik boşalımlı işlemedir” (EDM).

2.4.1.1 Talaşlı işleme metodu ile kalıp imalatı

Talaşlı işleme imalat metodları geometrik olarak belirlenmiş kesici ile yapılan (tornalama, frezeleme, delik delme, testereyle kesme) ve geometrik olarak belirlenmemiş kesici ile yapılan (taşlama, honlama, lepleme) olarak iki işlem grubuna ayrılır.

Kalıp imalatı için olan modern işleme tezgahları genellikle çok eksenli CNC kontrolüne sahiptir ve çok hassas pozisyonlama sistemleri vardır.

Şekil 2.8’de CNC kontrolüne sahip dik işlem merkezinde kalıp çekirdeğinin işlenmesi görülmektedir.



Şekil 2.8 : CNC dik işlem merkezinde kalıp çekirdeği imalatı

Günümüzde ısıl işlem görmüş iş parçaları frezeleme ile son haline kadar işlenebilirler (örnek olarak çekme dayanımı 2000 MPa’a kadar olan malzemeler). Çeşitli operasyonlar, örneğin EDM ile çekirdek oyma, tamamen frezeleme ile yer

değiştirebilir ve böylelikle işlem süresi kısılır. Ayrıca, dış bölümdeki erozyondan kaynaklı ısı bozulma meydana gelmez.

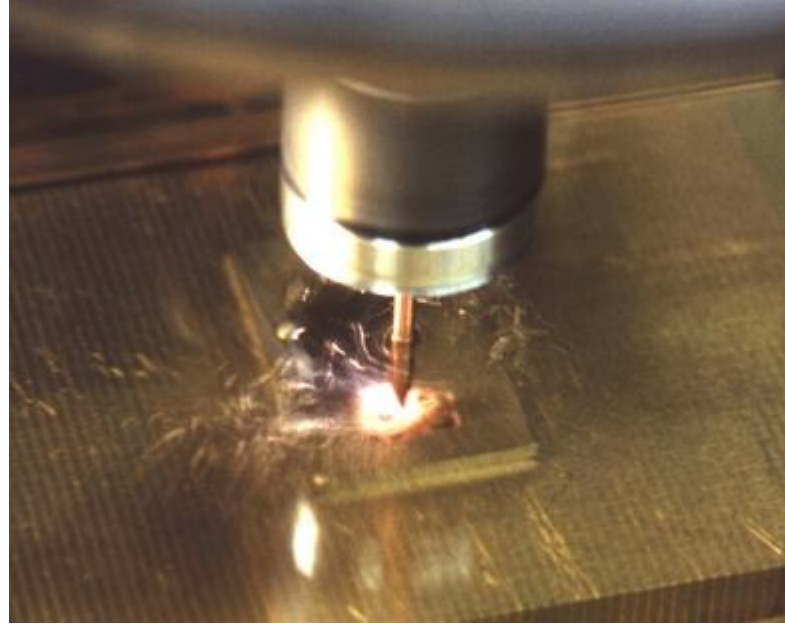
Günümüzde rekabet, yüksek hızlı kesim (HSC - high speed cutting) ve eş zamanlı beş eksenli işleme arasında yoğunlaşmıştır. HSC, yüksek kesme hızları ve yüksek iş mili (spindle) devir sayıları ile tanımlanır. Sertliği 62 HRC'ye kadar olan çelikler, yeni nesil HSC freze takımları ile işlenebilirler. HSC işleme tam kapsamlı bir işleme olarak uygulanabilir. Böylelikle elektrotla imalat adımları ve erozyonun bütünüyle yerini alabilir. Buna ilaveten, daha iyi bir yüzey kalitesi çoğunlukla yakalanabilir ve buna bağlı olarak, işleme sonrası yapılan zorlayıcı manuel operasyonlar azalır (Malle, 1996).

Plastik enjeksiyon kalıplarının imalatında, frezeleme ve erozyon birlikte kullanılabilir. Yüksek talaş kaldırma kapasitesine bağlı olarak işleme süresi azaldığı için frezeleme işlemi maksimumda tutulmalıdır.

2.4.1.2 Elektrik boşalımlı işleme yoluyla kalıp imalatı (EDM)

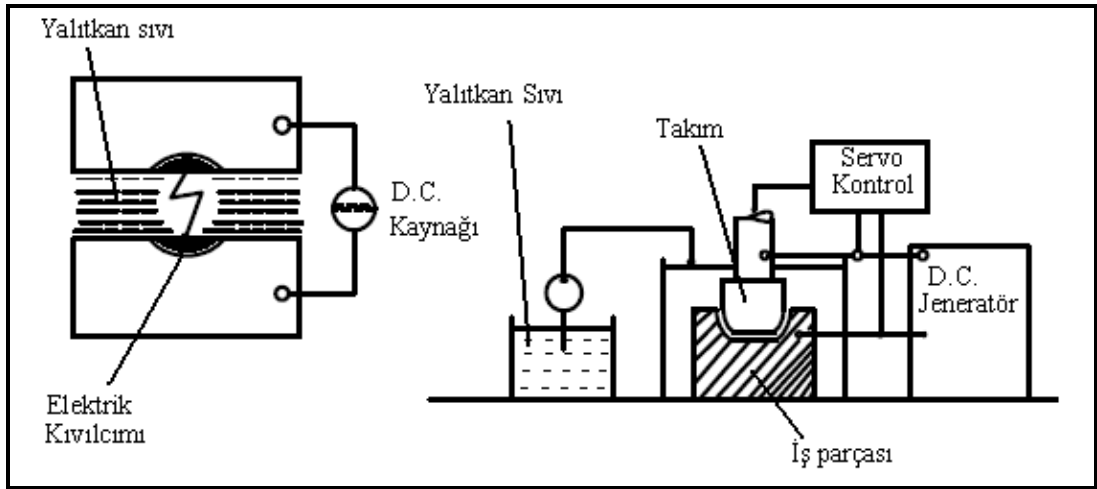
Modern kalıp imalatı elektrik boşalımlı ekipmanları olmadan düşünülemez. Elektrik boşalımlının yardımı ile, kompleks geometrik şekiller, en küçük iç yarıçap ve derin oyuklar; tavllanmış, menevişlenmiş ve sertleştirilmiş çeliklerde, neredeyse hiç çarpılma olmadan elde edilebilir (Steiner, 1986). İşlem temas olmadan gerçekleşir. Malzeme uzaklaştırımı sıcaklık temellidir, takım ve iş parçası arasında elektrik boşalımlı ile olur (Konig ve Klocke, 1997).

Elektrik boşalımlı işleme; yalıtkan sıvı içinde kısa, peşpeşe elektrik boşalımlarının malzeme uzaklaştırma etkisi ile gerçekleşen form verme işlemidir. Her etkiden sonra düşük hacimli bir parça, iş parçasından ergime ya da buharlaşma sıcaklığının üzerine çıkarak elektriksel ve mekanik kuvvetlerle uzaklaştırılır. Uygun işlem parametrelerinin seçimiyle, iş parçasından takıma göre çok daha fazla malzeme kaldırılması sağlanır ve böylelikle işlem ekonomik olarak uygulanabilir olur. Takımın iş parçasına göre aşınması % 0,1 mertebelerinin altına düşürülebilir. Şekil 2.9'da EDM yoluyla kalıp imalatı görülmektedir.



Şekil 2.9 : EDM ile kalıp imalatı

İş parçası ve takımın kutuplanması, uygulanan malzemeye bağlıdır ve en fazla malzemenin nasıl kaldırılacağı göz önüne alınarak seçilir. EDM işleminin prensibi Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : EDM işlemi prensibi (Geneath, 1973)

EDM işleminin en büyük avantajı ise, elektrot boyutunun küçük olmasına bağlı olarak bir elektrotla bütün bir kalıbın tek seferde işlenebilmesidir. Temel olarak bütün iyi iletkenler eğer iyi ısıl iletim katsayısına da sahipse elektrot olarak kullanılabilir. Çoğu durumda elektrotlar, elektrotun hemen tükenmemesi için ergime noktası yüksek malzemeden seçilirler. Günümüzde, grafit ve bakır elektrotlar çelik işlerken, tungsten-bakır elektrotlar sert metal işlerken kullanılmaktadır. Elektrotlar,

tornalama, planyalama veya taşlama ile imal edilirler ve operasyonun hassasiyetine ve işlenecek malzemeye göre seçilirler. Enjeksiyon kalıplarından beklenen yüksek yüzey kalitesi ve az elektrod aşınmasına bağlı olarak kaba işlemeden ince işleme kadar farklı elektrodlar kullanılmaktadır. Böylelikle, 1µm ve altında hassasiyet ve 0,1µm yüzey pürüzlülüğünü yakalamak mümkün olmaktadır. Bu yöntemle işlenen kalıbın sadece parlatılması yeterli olmaktadır (Genath, 1973).

2.4.2 Isıl işlemin kalıp imalatında rolü

Kalıp çelikleri genellikle yumuşak tavlı olarak piyasaya sürülürler. Bunun sebebi, malzemenin kolay işlenebilmesi ve sertleştirilebilir iç yapı kazanmasıdır. İç yapı, karbürlerin gömülü olduğu yumuşak bir matristen oluşmaktadır. Yumuşak tavlı çeliğe form verildikten sonra, mukavemetini ve aşınma dayanımını arttırmak için sertleştirme işlemi uygulanır.

2.4.2.1 Sertleştirme ve menevişleme

Çelik, sertleştirilmek üzere ısıtıldığında temel düşünce; karbürleri matris içinde, matrisi sertleştirecek bir alaşım oranında, kaba taneli ve gevrek hale gelmeden çözmektir.

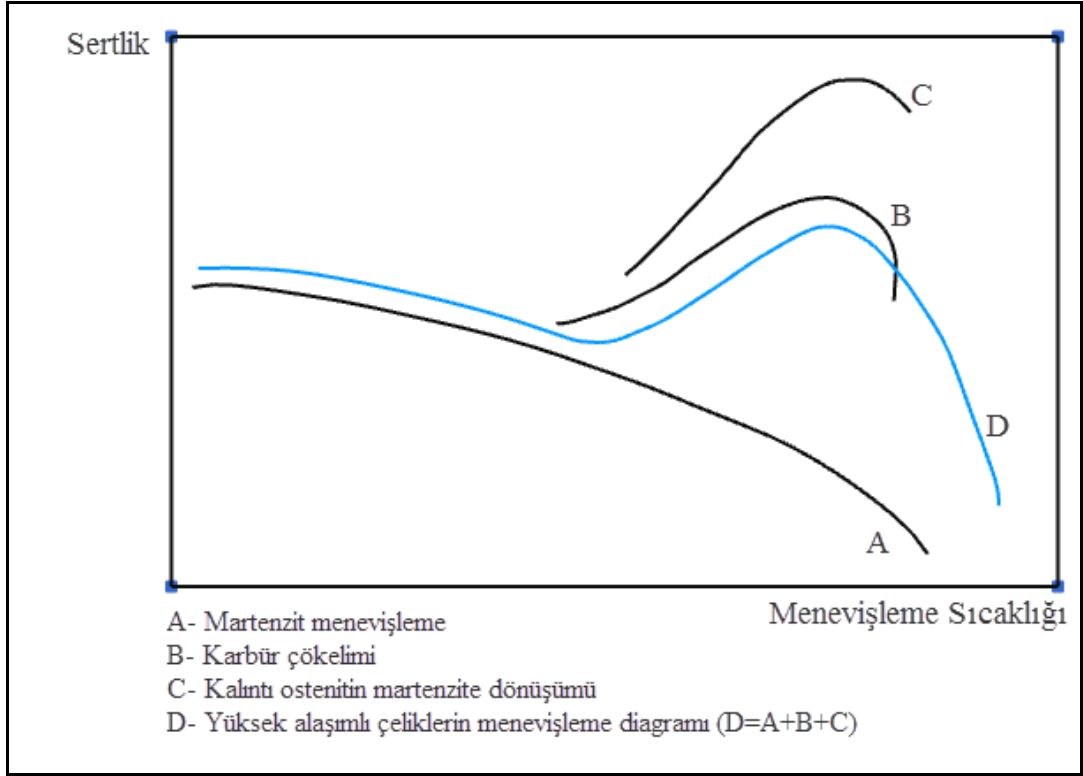
Çelik, sertleştirme sıcaklığına ısıtıldığında (ostenitleşme sıcaklığı), karbürler kısmi olarak çözünür ve ferritten ostenite dönüşür. Bu olay, atomik kafes içindeki demir atomlarının konumlarının değişmesi ve karbon ile alaşım elementlerine yer açılması demektir. Karbür halindeki karbon ve alaşım elementleri kafes yapısı içinde çözünürler.

Çeliğe yeteri kadar hızlı su verilirse, karbon atomları yer değiştirmeye zaman bulamaz ve tavlamadaki gibi ostenitten ferrite dönüşemez. Karbon atomları için yeterli boşluk olmayan bir konumda kalırlar ve bunun sonucunda yüksek iç gerilmeler oluşur ve bu da sertlik artışını doğurur. Bu sert yapıya martenzit denir. Martenzit için ferrit içinde zorla karbon çözdürme denebilir.

Su verme sonrasında çelik; martenzit, kalıntı ostenit ve karbürden oluşan bir iç yapıya sahip olur. Bu yapıda kolay çatlak oluşumuna sebep olan iç gerilmeler vardır. Bu durum çeliği belli bir sıcaklığa tekrar ısıtıp gerilmeleri azaltarak önlenir. Sertleştirmeden sonra uygulanan bu ısıtma işlemine menevişleme denir. Takım çeliğinin sertleştirilmesinin hemen ardından menevişleme uygulanmalıdır. Yüksek

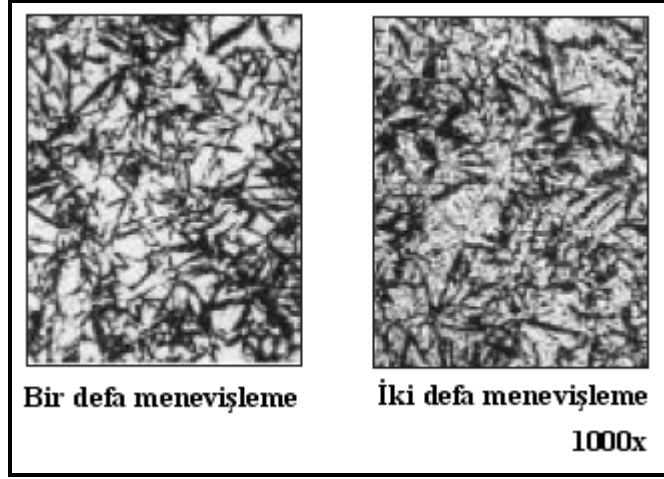
sıcaklıkta menevişleme sonrasında iç yapı; menevişlenmiş martenzit, yeni oluşmuş martenzit, bir miktar kalıntı ostenit ve karbürlerden oluşur.

Çökelmiş ikincil (yeni oluşmuş) karbürler ve yeni oluşmuş martenzitler yüksek sıcaklık menevişlemesi esnasında sertliği arttırabilir. Bu nedenle, bu işleme; çeliklerin ikincil sertleştirilmesi de denir (Anonymous, 2007). İkincil sertleştirme üzerine farklı parametrelerin etkisi Şekil 2.11’de görülmektedir.



Şekil 2.11 : Farklı parametrelerin ikincil sertleşmeye etkileri (Boehler, 1997)

Takım çelikleri her zaman iki defa menevişlenmelidir. İkinci menevişleme, birinci menevişleme sonrasında oluşan yeni martenzitler içindir. Yüksek karbon içeren yüksek hız çeliklerinde üç defa menevişleme önerilir. Bir defa ve iki defa menevişlemenin iç yapıya etkisi Şekil 2.12’de görülmektedir.



Şekil 2.12 : Sertleştirilmiş ve menevişlenmiş X100CrMoV5-1 çeliğin mikro yapısı

2.4.2.2 Sertleştirme ve menevişleme esnasında oluşan çarpılma

Takım çeliklerinin bir parçası sertleştirildiğinde ve menevişlendiğinde bir miktar eğrilme veya çarpılma gerçekleşir. Çarpılma, yüksek sıcaklıkta daha fazladır. Bilinen uygulama kalıpta sertleşme öncesinde bir miktar talaş bırakmaktır. Bu pay, sertleştirme ve menevişleme sonrası son işleme ve taşlama ile istenilen boyutların yakalanmasını sağlar.

Çarpılmanın sebebi malzemedeki gerilmelerdir. Bu gerilmeler üçe ayrılabilir:

- İşleme gerilmeleri
- Isıl gerilmeler
- Dönüşüm gerilmeleri

Çarpılma şu yollarla azaltılabilir:

- tasarımı basitleştirip simetrik hale getirerek
- gerilme giderme tavı ile işleme gerilmelerini gidererek
- sertleştirme sırasında parçayı yavaş ısıtarak
- uygun kalite çelik seçerek

- parçaya mümkün oldukça yavaş su vererek fakat istenilen mikroyapıyı elde edecek kadar da hızlı su vererek
- uygun sıcaklıkta menevişleme yaparak (Anonymous, 2007)

Tablo 2.5’de verilmiş işleme payları referans olarak kullanılabilir:

Tablo 2.5 : Takım çelikleri için ısıtım işlem öncesi önerilen işleme payları

Standard Gösterimi		Uzunluk ve çapta, boyut olarak işleme payı (%)
Çelik	Malzeme No	
100MnCrW4	1.2510	0,25
X100CrMoV5	1.2363	0,20
X153CrMoV12	1.2379	0,20
X210CrW12	1.2436	0,20
X42Cr13	1.2083	0,15
X40CrMoV5-1	1.2344	0,20

2.4.2.3 Sıfır altı işlemi

En yüksek boyut kararlılığına sahip olması beklenen parçalara sıfır altı işlemi uygulanır. Su vermeden hemen sonra, kalıp -70 °C, -80 °C’ye kadar soğutulup 1-3 saat arası bekletilir ve ardından menevişlenir.

Sıfır altı işlemi, kalıntı ostenit miktarının azalmasına yol açar. Bu durum sertlikte 1-2 HRC artış oluşturur. Yüksek sıcaklıkta menevişlenmiş kalıplar için çok az ya da neredeyse hiç sertlik artışı gözlenmez, bir miktar sertlik artışı için normalden 25-50 °C düşük menevişleme sıcaklığı seçilmelidir.

Yüksek sıcaklıkta menevişlenmiş, sıfır altı işlemi uygulanmamış kalıplar düşük kalıntı ostenit miktarına sahiptir ve çoğu durumda yeterli boyut kararlılığına sahiptir. Buna rağmen yüksek boyut kararlılığı gerektiği durumlarda, sıfır altı işleminin yüksek sıcaklıkta menevişleme ile birlikte uygulanması önerilir (Anonymous, 2007).

En yüksek boyut kararlılığı istendiği durumlarda su verme ve her menevişleme işleminin ardından sıvı azot içinde sıfır altı işlemi uygulanması tavsiye edilir.

2.4.3 Kalıp parlatma

Plastik parçaların kullanım alanlarının artması plastik kalıplarında parlak, pürüzsüz yüzey ihtiyacını arttırmıştır. Kalıba yüzey işlemi uygulanması gereken durumlarda işlemin yüzeye tutunabilmesi için de pürüzsüz ve parlak bir yüzey gerekmektedir. Yüksek yüzey parlaklığının genel faydaları şunlardır:

- Plastik parçaların kalıptan daha kolay ayrılması
- Düşük yerel korozyon riski
- Geçici aşırı yüklenme ve yorulmaya bağlı daha düşük kırılma veya çatlama riski

Çeliğin parlatılması ile elde edilen yüzey düzgünlüğü aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Kalıp çeliğinin kalitesi
- Isıl işlem
- Parlatma tekniği

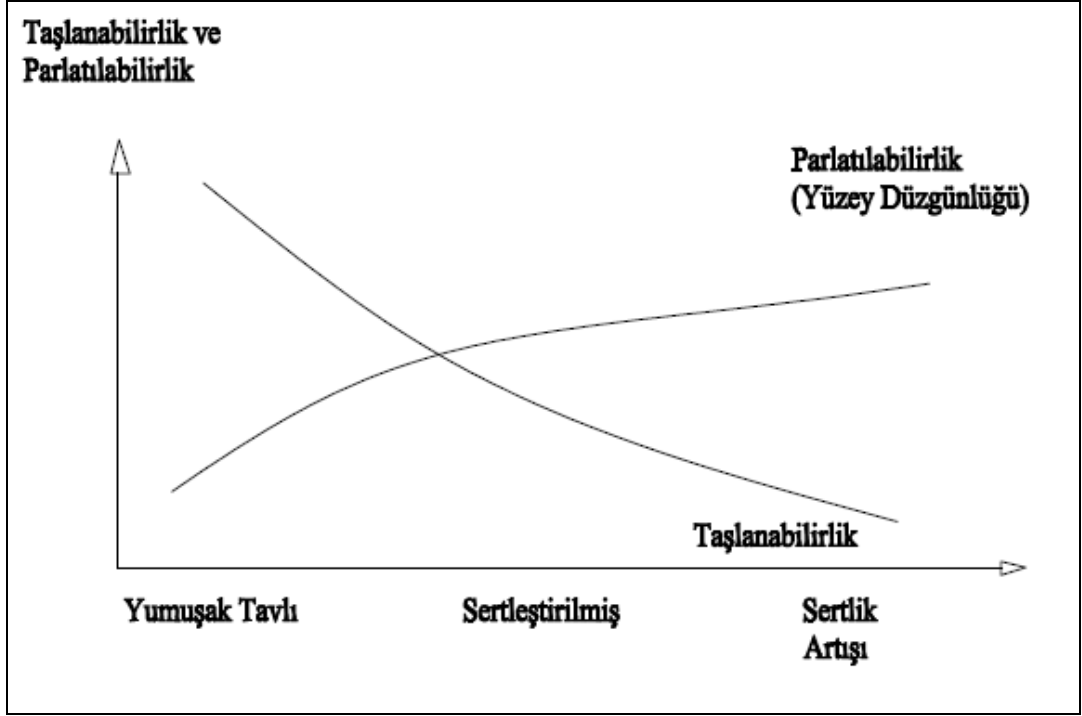
Şekil 2.13’de yüzeyi parlatılmış plastik enjeksiyon kalıbı görülmektedir.



Şekil 2.13 : Parlatılmış kalıp yüzeyi

2.4.3.1 Kalıpların taşlanması ve zımparalanması

Taşlama operasyonu hızlı ve başarılı bir parlatma için temel oluşturur. Taşlamada kaba işlemeden kalan izler giderilir, metalik olarak ve geometrik olarak düzgün bir yüzey elde edilir. Kalıp çeliğinin sertliği arttıkça taşlanabilirliği azalmaktadır. Sertliğin taşlanabilirlik ve parlatılabilirlikle ilişkisi Şekil 2.14’de gösterilmektedir.



Şekil 2.14 : Sertliğe bağlı parlatılabilirlik ve taşlanabilirlik ilişkisi (Boehler, 1997)

2.4.3.2 Parlatma işlemi

İyi bir parlatma için yüksek saflıkta çelik seçilmelidir. Kükürt parlatılabilirliği olumsuz etkilediği için çeliğin kükürt oranı düşük olmalıdır. ESR (Electro Slag Remelting-Cürüf Altında Elektrikli Saflaştırma) yöntemi ile imal edilmiş çelikler parlatma işlemi için en uygun çeliklerdir (Jones, 2008). Kalıpların parlatılması, pasta ve parlatma keçesi ile yapılır. En yaygın parlatma araçları, elle uygulanan çubuk, keçe veya blok, makinalarla uygulanan parlatma çarkları, fırçalar ve disklerdir. Şekil 2.15’de parlatma fırçası ile uygulanan kalıp parlatma işlemi görülmektedir.

2.4.4 Foto-dağlama

Plastik parçaların estetik görünmelerini ve kolay tutulup kaymamalarını sağlamak için yüzeylere desen ve doku uygulaması geliştirilmiştir. Desen veya doku kalıp yüzeyine foto-dağlama yöntemi ile kopyalanmaktadır. Şekil 2.17’de foto-dağlama ile oluşturulmuş yüzey görülmektedir.



Şekil 2.17 : Foto-dağlama ile kalıpta oluşturulmuş yüzey deseni

Temel olarak, istenilen desen kalıp yüzeyine fotoğraflık yöntemlerle transfer edilir. Desen, kapalı bir ortamda, uygun asit kullanılarak istenilen derinlikte dağlanır. Foto-dağlama kalıbın tamamına ya da belli bir bölgesine uygulanabilir. Foto-dağlama yapılmak istenmeyen yüzeyler asitten etkilenmeyen bir kaplama ile kaplanarak dağlanmayabilir (Rosato, vd 2000).

2.4.4.1 Foto-dağlama uygulanmış yüzeylerin avantajları

Dokulu bir yüzey, kalıp imalatı sırasında ya da sonrasındaki işlemler esnasında oluşan küçük yüzey bozukluklarını saklar. Bunun yanında foto-dağlama, uzun süren ve maliyetli parlatma işinin yerini alır. Ürün estetik olarak çekici bir yüzeye sahip olur. Foto-dağlanmış yüzeyi tutması, parlak bir yüzeyi tutmaktan daha kolaydır. Rahatsız edici yansımalar çoğu zaman önlenir. Başka bir avantaj ise parmak izlerinin ve benzer izlerin parlak yüzeylerdeki gibi görünmemesidir.

2.4.4.2 Foto dağlama ile ilgili sonuçlar

Plastik kalıp çeliklerine uygulanan foto-dağlama deneylerine ve tecrübelerine bağlı olarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıŐtır.

- Malzeme No 1.2636, 1.2344, 1.2738 ve 1.2083 çelikleri foto-dağlama uygulandığında tatmin edici sonuçlar vermiştir.
- Nitrüleme uygulanacaksa foto-dağlama işleminden sonra uygulanmalıdır.
- Foto-dağlama öncesi alevle sertleştirmeden kaçınılmalıdır, çünkü alevle sertleştirilmiş bölge ve sertleştirilip menevişlenmiş alt malzemenin dağlamasının birbirinden farklı olması gerekmektedir.
- Kaynak yapılmış kalıpta, eğer kaynak malzemesi alt malzeme ile aynı ise foto-dağlama yapılabilir.
- EDM ile iŐlenmiŐ yüzeyleer sağlıklı bir foto-dağlama uygulaması için taşlanmış olmalıdır yoksa kötü bir sonuç elde edilir.
- Eğer kalıp elirdek kısmı birden fazla parçanın birleŐmesinden meydana geliyorsa ve bu parçalara aynı desenle foto-dağlama uygulanacaksa bu parçalar aynı malzemedен imal edilmelidir ve aynı yönde, aynı taş büyüklüğünde taşlanmış olmalıdır.
- Temiz bir içyapı ve düşük kükürt oranı en uygun foto-dağlama sonucu elde etme imkanı verir.
- Foto-dağlama yapılacak yüzeyleere 220 kumdan daha ince taneli taşlama uygulanmamalıdır (Anonymous, 2007).

3. PLASTİK KALIP ÇELİKLERİNİN YÜZEY İŞLEMLERİ

Çelik üreticileri ve kullanıcıları plastik parça üreticileri ile, uygun işlemleri kullanarak, enjeksiyon kalıplarının kalitesini ve servis ömrünü arttırmaya çalışmaktadırlar. Bu iyileşme yüzey işlemleri ile mümkündür. Bütün bu işlemlerin amacı, aşağıdaki özellikleri iyileştirmek içindir;

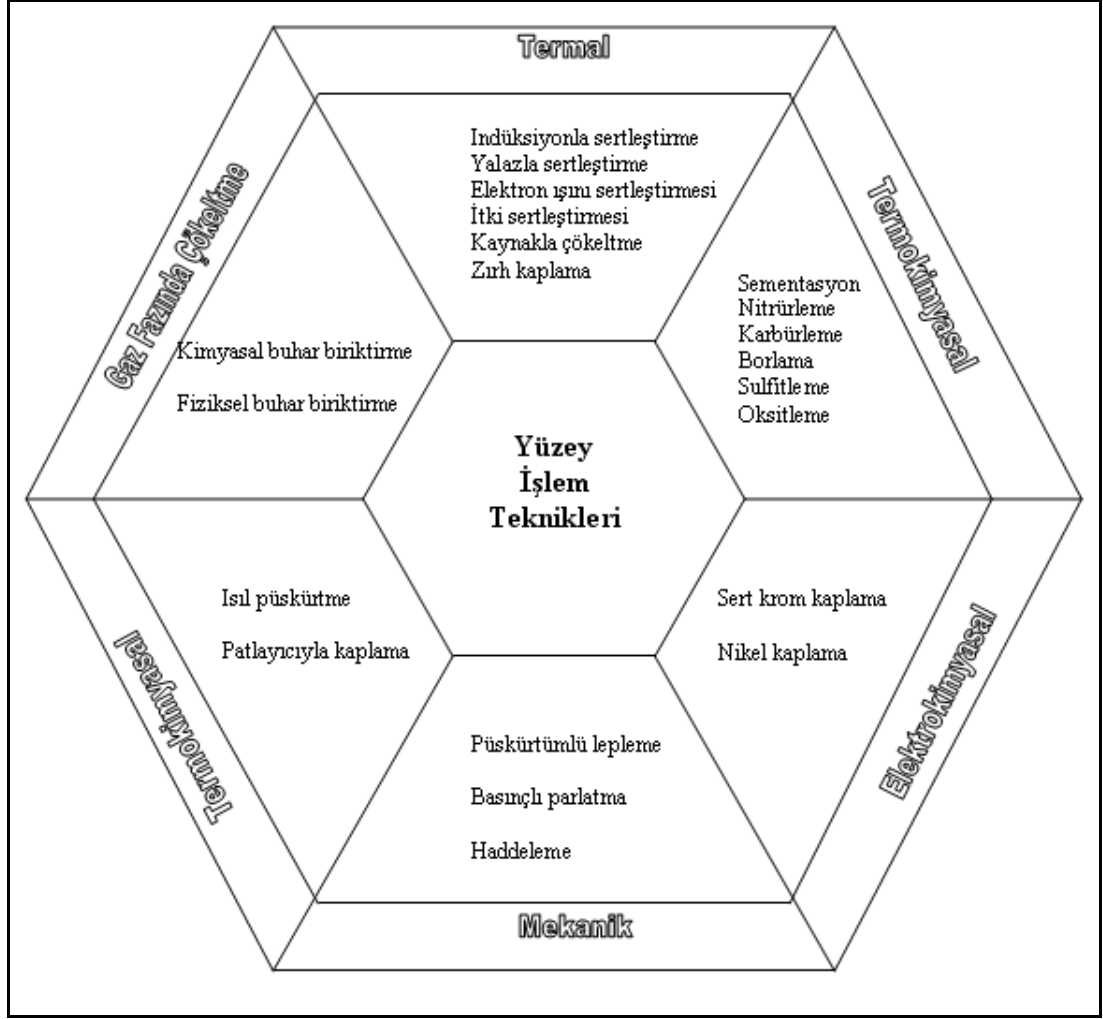
- yüzey kalitesi
- yorulma ve aşınma dayanımı
- korozyon dayanımı
- kayma özelliği (plastik parçanın kalıba yapışmadan ayrılması)
- kalıp yüzeyinde malzeme kalıntılarının ve yapışmanın azalması

Enjeksiyon kalıbı elemanlarının yüzey özellikleri uygun işleme, kontrollü ısıl işlem ve yüzey tabakasının alaşım elementlerine malzeme katkısı ile dikkate değer bir şekilde değiştirilebilir. Böylelikle malzemeden özel beklentiler karşılanabilir. Plastik kalıp çeliklerine uygulanan yüzey işlemlerinin çoğu Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

3.1 Termokimyasal İşlemler

Termokimyasal metodlar, sert ve aşınma dayanımı yüksek olan katman oluşturmak için, gaz, sıvı veya katı halde malzeme yüzeyine difüzyonla geçiş yapan kimyasal elementlerden yararlanırlar (Kortmann, 1985). Bu yöntemde, aşağıdaki işlemler mevcuttur;

- karbürleme
- nitrürleme
- borlama



Şekil 3.1 : Plastik kalıp çeliklerine uygulanan yüzey işlemleri (Menges, vd 2001)

3.1.1 Karbürleme

Karbürleme % 0,3'ten az karbon içeren çeliklere uygulanır. Bu yöntemle karbon yüzeye yakın bölgelere difüzyonla geçiş yapar. Karbürleme uygulanmış çelik çekirdeği yumuşakken yüzeyi sert bir hal alır (Gastrow, 2002). Karbürleme sıcaklığında aniden su verme yapılırsa, bu işleme doğrudan sertleştirme denir. Karbürleme, yumuşak ve tok iç kesitin desteklediği sert bir yüzey oluşturur.

Sertleştirmeden sonra çelik menevişlenir. Menevişleme sıcaklığı yüzeyin sertliğini de belirler. 100-300 °C arasında yapılan menevişleme; 600-700 Brinell sertlik oluşturur (Kortmann 1985).

3.1.2 Nitrüleme

Nitrülemenin amacı dış katmanı difüzyonla azota doyurmak ve böylelikle sertlik, aşınma dayanımı ve korozyon dayanımı sağlamaktır. Nitrüleme ile elde edilmiş

yüzeyin bir avantajı da malzemenin boyutlarının değişmemesidir. Yüzeyde oluşan nitrür tabakası çok serttir ve buna bağlı olarak malzemenin aşınma ve yorulma dayanımı artmaktadır. Nitrürleme işlemi yaklaşık 570 °C sıcaklıkta uygulandığı için nitrürleme tabakasının altındaki ana malzemenin sertliğinde ve dayanımında düşüş görülebilir. Neredeyse tüm plastik kalıp çelikleri nitrürlenebilmektedir fakat paslanmaz çeliklerin nitrürlenmesi korozyon dayanımını düşürdüğü için paslanmaz çeliklerin nitrürlenmesi tavsiye edilmemektedir (Gastrow, 2002). Nitrürleme işlemi sonucunda kalıpta çarpılma oluşmaz.

3.1.3 Borlama

Borlamada yüzeye yakın olan katmanlar bor ile zenginleştirilir. Sonuç çok ince fakat aşırı sert (1800 ile 2100 HV) ve aşınma dayanımı yüksek alt metale yapışmış demir borür tabakasıdır.

Borlama 800 °C ile 1050 °C arasında yapılır. Normal bekleme süresi 15 dakika ile 30 saat arasındadır. İşlem süresini sıcaklık ve alt malzeme kalınlığı belirler. Borlama ile 600 µm kalınlığa kadar tabaka elde edilebilir. Parçanın kısmi borlanması da mümkündür.

Borlamadan sonra malzemenin dayanımının artması için ısı işlem uygulanır. Sıcaklık alt malzemeye bağlıdır. Borlanmış katman 100 ile 200 µm'den kalın olursa çatlama eğilimi olur. Borlanmış yüzeyler genellikle donuk gri görünüme sahip olur. Borlama sonrası taşlama gerekir.

3.2 Elektrokimyasal İşlemler

Plastiklerin kalıplanması esnasında bazı plastikler hidroklorik veya asetik asit gibi kimyasal agresif maddeler salarlar. Böyle durumlarda kalıplar çoğunlukla krom veya nikelin elektrolitik yöntemlerle kalıp üzerine kaplanması ile korunur. Sadece korozyon dayanımı artmaz, bunun yanında sürtünme azalır ve özellikle kromda aşınma dayanımı da yükselir.

Bu kaplama ancak çökelti kalınlığı üniform ise ve kalıpta keskin köşeler yoksa kalıcı olarak etkin olur. Üniform olmayan kalınlık ve keskin köşeler koruyucu tabakada gerilmeler yaratır. Bu gerilmeler yük altında kaplamada dökülmelere sebep olur. Üniform olmayan kaplama kalınlığı oluşması riski karmaşık forma sahip kalıplarda fazladır. Eğilme gerilimine maruz ince kenarlar elektrolizle kaplanırsa çatlak

oluşumu riski yükselir. Elektrolitik çökeltme ile koruyucu kaplama uygulamadan önce kalıp yüzeyleri taşlanmalıdır. Çökeltmenin oluşumu ve yüzey kalitesi alt malzemenin kalitesine bağlıdır. Taşlanmış veya parlatılmış yüzeyler en iyi elektrolizle kaplama sonucu verir (Menges, vd 2001).

3.2.1 Sert krom kaplama

Malzeme yüzeyinde elektroliz ile sert krom tabakası oluşturma işlemine sert krom kaplama denir. Elektrolizle çökeltilmiş krom katmanı kalınlığı akım yoğunluğuna ve elektrolit sıcaklığına bağlıdır. Sert krom kaplama sonucunda yaklaşık 900 HV sertliğe sahip yüzey tabakası elde edilmektedir.

Sert krom kaplamada yüzeye uygulanan krom katmanı kalınlıkları 5 ile 200 µm arasındadır fakat özel durumlarda 0,5 ile 1 mm arasında olabilmektedir (Kortmann, 1985). Krom tabakası elektrolizle kaplandığı için, topaklanmalar görülebilir. İstenilen yüzey kalitesine ulaşılan kadar malzeme yeniden taşlanmalıdır.

Sert krom kaplama işlemi kalıp bakımı uygulamalarında aşınmış yüzeylerin tamiri için de kullanılmaktadır. Sert krom tabakası alt malzemeye elektroliz sonucunda moleküler bağ ile bağlanmaktadır ve bu bağ güçlü bir bağ olmadığından çatlamaya meyillidir (Gastrow, 2002).

3.2.2 Nikel kaplama

Nikel kaplama elektrolitik veya kimyasal yollarla yüzeyde yaklaşık 40 µm kalınlığında sert bir nikel katmanı oluşturma esasına dayanmaktadır. Kimyasal yolla nikel kaplama yüzeyde korozyon dayanımı sağlayan koruyucu bir tabaka oluşturmaktadır. Kimyasal yolla nikel kaplama, elektroliz ile uygulanan kaplamaya göre daha üniform dağılmış bir kaplama kalınlığı sağlamaktadır. Nikel tabakasının sertliği 48 HRC civarında olmaktadır. Nispeten yumuşak olan nikel çökeltisi fazla bir aşınma dayanımı sağlamamaktadır (Rosato, vd 2000).

3.2.3 Sert alaşım kaplama

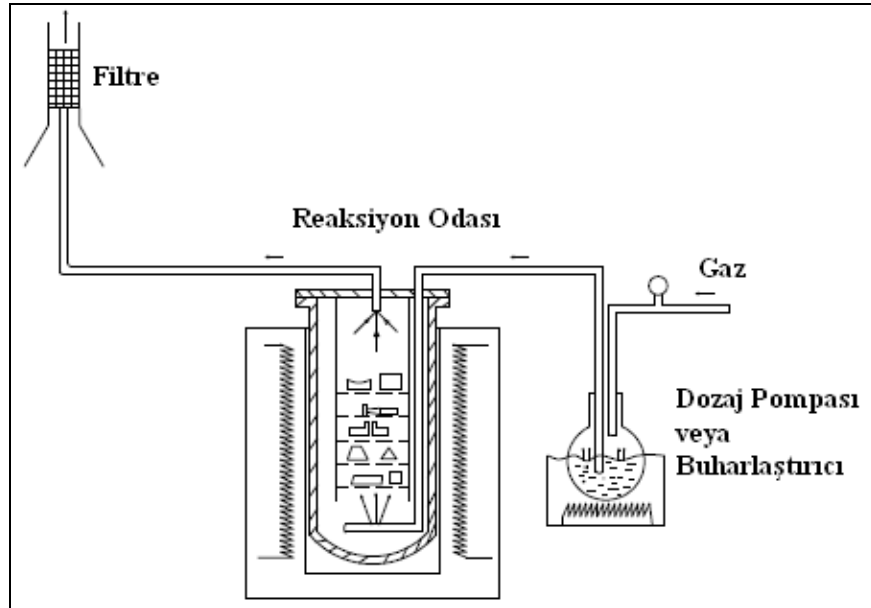
Sert alaşım kaplamalar, elektrolizle çökeltilmiş tungsten-krom (sert alaşım W) veya vanadyum-kobalt (sert alaşım TD) koruyucu kaplamalardır. Önceden düzleştirilmiş yüzeye iyon demeti ile uygulanır.

3.3 Düşük Basınçta Kaplama

Gaz fazında çökeltme tekniğine dayalı yaygın kaplama teknikleri; kimyasal buhar çökeltimi (CVD - Chemical Vapour Deposition), fiziksel buhar çökeltimi (PVD- Physical Vapour Deposition) ve bunların türevleridir. İki teknik de belirli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. CVD işlemi için takım çeliklerinin sertleştirildiği sıcaklığın üzerinde sıcaklık gerektiğinden işlemden sonra çeliğe ısıtma işlemi uygulanması gerekir. Bu durum çarpılmaya sebep olabilir ve buna bağlı olarak ölçülerden ve biçimden sapmalar gerçekleşebilir. PVD daha sonra bir ısıtma işlemi gerektirmez. CVD katmanları genellikle daha yüksek bağ kuvvetine ve derin, dar bölgelerde daha yüksek nüfuziyete sahiptir (Menges, vd 2001).

3.3.1 CVD işlemi

CVD işlemi 800 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kimyasal reaksiyonla gaz fazına dönüştürülmüş malzemenin katı olarak çökeltilmesi işlemidir (Kortmann, 1985). Şematik olarak Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Titanyum karbür çökeltimi şeması (Kortmann, 1985)

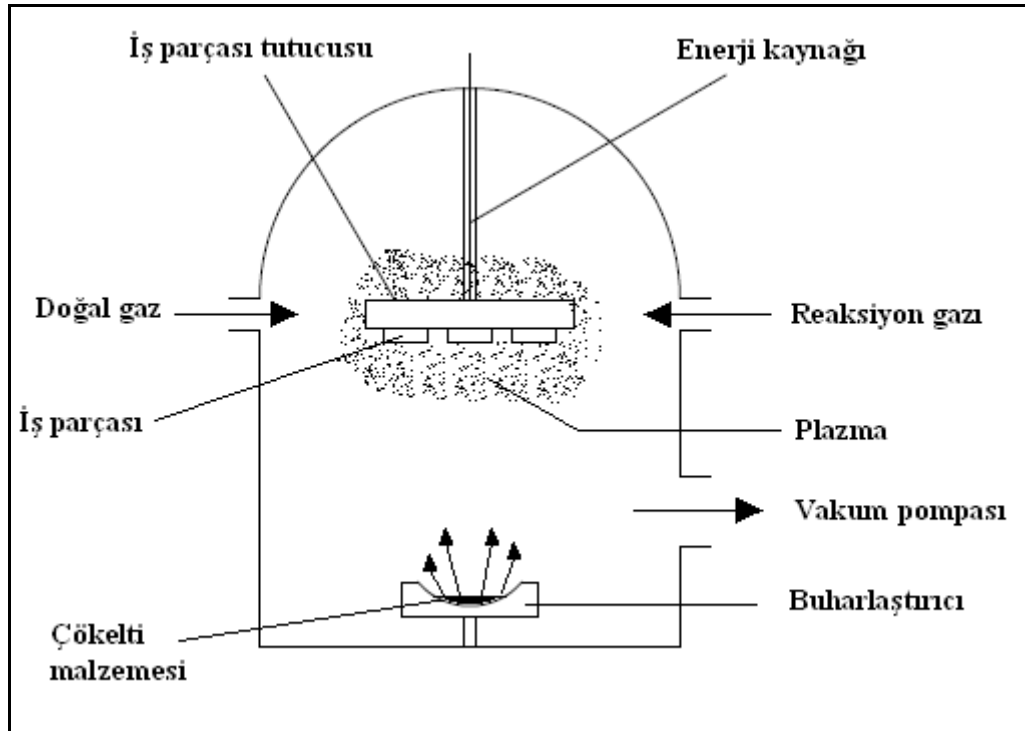
CVD işleminde karbürler, metaller, nitrürler, borürler, silisidler veya oksitler, 800-1100 °C arasında ısıtılmış kalıp yüzeyine çökeltirler. Katmanlar 6 ila 30 µm kalınlık aralığında olur ve 4000 MPa'a varan dayanımlar yakalanabilir. Çökelti, kalıp yüzeyindeki işleme izleri dahil yüzeye aynı şekilde yapışır ve kaplama öncesi

yüzeyin kopyasını oluşturur. Bu nedenle kaplama öncesi yüzey, istenen son yüzey kalitesinde olmalıdır (Ludwig, 1982).

Bu işlem için gerekli yüksek sıcaklıklar alt malzemenin sertliğini ve dayanımını yitirmesine sebep olur. Bu dezavantaj başka bir ısıl işlemle ve akabinde sertleştirme ile giderilmelidir.

3.3.2 PVD işlemi

PVD terimi, metaller, bunların alaşımları, bunların kimyasal bileşiklerinin (oksitler, nitrürler, karbürler) vakum altında termal ve kinetik enerjinin eşzamanlı etkisi ile gerçekleşen parçacık bombardımanı sayesinde oluşan kaplama tekniğini özetler (Kortmann, 1985). İşlem şematik olarak Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : PVD tekniği temelleri (Kortmann, 1985)

CVD işleminin tersine bu fiziksel yöntemle kalıp yüzeylerini kaplama işlemi 500-550 °C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleşir. Bu sıcaklıklar, birçok durumda altlık malzemenin tavlama sıcaklığının altındadır, böyle olunca, kaplama sonrasında ısıl işlem (ve buna bağlı çarpılma riski) gerekmez (Ludwig, 1982).

PVD için kaplama öncesinde kalıp yüzeyinin parlatılmış ve temiz (pas ve yağlardan arındırılmış) olması, bağlanma için ve kaplama sonrasındaki yüzey kalitesi açısından çok önemlidir.

PVD kaplamaların bir avantajı, yüzey hatlarından bağımsız olmalarıdır. Yüzey şeklinin inceliğine ya da boyut hassasiyetine bir etkisi olmaz. Boyutlara etkisi 5µm'nin altındadır. Yüzey pürüzlülüğü ise 0,5 µm'nin altında olmaktadır (Bennighoff, 1988).

PVD kaplamaların kullanılması, kalıbın ömrünü dikkate değer ölçüde arttırır (bazen 20 kata kadar). Çok ciddi ölçüde artan kalıp ömrü, kendini özellikle korozif etki altındaki kalıplarda (örnek olarak yanmaz polyamid veya acetal ile çalışan kalıplar) gösterir (Menges, vd 2001). Diğer bir ana avantaj, kalıptan parçanın ayrılma kuvvetinin azalmasıdır.

3.4 Lazer Yüzey İşlemleri

Lazer yüzey işlemi endüstriyel uygulamalarda çok yaygın uygulama alanı bulmaktadır. Lazer yüzey işlem metodları termal ve termokimyasal olarak iki gruba ayrılır. Lazer yüzey işlemi geleneksel sertleştirme tekniklerine, servis ömrü ve parça maliyeti açısından alternatif oluşturmaktadır.

Termal türevler, lazer sertleştirme (laser hardening) ve lazer yeniden ergitme (laser remelting) işlemlerini içermektedir, termokimyasal işlemler ise lazer alaşımlama (laser alloying), lazer yayma (laser dispersing) ve lazer kaplamadır (laser coating). Termokimyasal metodlarda malzeme özellikleri sadece ısıdan değil, bunun yanında ekstra malzeme ilavesi ile de değişmektedir. Dış katmanın, mekanik, tribolojik, termokimyasal ve kimyasal aşınma dayanımı özellikleri iyileşmektedir (Konig ve Klocke, 1997).

3.4.1 Lazer sertleştirme ve yeniden ergitme

Bütün çelikler ve % 3'ün üzerinde karbon içeren dökme demir malzemeler, martenzit sertleştirilmesi yapılabildiği müddetçe sertleştirilebilirler. Lazer sertleştirmede iş parçası ostenit dönüşüm sıcaklığının üzerine ısıtılır. Isınma, yüzeyde kızıl ötesi lazer ışını emilimi ile ve belli bir derinlik altına kadar ise iletimle gerçekleşir. Bu ısıtma işlemi çok hızlı gerçekleşir ve soğuma da çok ani olur. İş parçasının yüzeyi ve geride

kalan gövde kısmı arasında çok farklı ısı gradyeni oluşur. Lazer ışını hareket ettikçe emilen ısı anında iş parçasına dağılır ve martenzit oluşumu için gerekli kritik soğuma hızı geçilir (öz suverme) (Menges, vd 2001).

Lazerle sertleştirme kısmi sertleştirme işlemidir. Bunun avantajı, aşınma beklenen bölgelere selektif sertleştirme yapılabilmesidir. Buna bağlı olarak sertleştirme çok az bir çarpılma ve minimum ısıl gerilme ile gerçekleştirilebilmektedir. Uygulamanın dezavantajı ise, büyük alanların birkaç adımda sertleştirilebilmesidir.

3.4.2 Lazer alaşımlama, lazer yayma ve kaplama

Lazer alaşımlama ilave malzemeleri alt malzemedeki tamamen çözmek için kullanılır. Eriyikte gerçekleşen taşınım ve difüzyon olayları, altlık ve ilave malzemenin homojen olarak karışmasını sağlar. Yüksek soğuma hızı, ilave malzemelerin soğutma sonrasında da çözeltide kalmasını sağlar. İlave elementler ve bileşikler öncelikle aşınma ve korozyon dayanımını artırır.

3.5 Elektron Işını Sertleştirilmesi

Bu yöntemde elektron ışınları lazer ışınları yerine kullanılır. Bu nedenle, elektron ışını sertleştirilmesi, lazer ışını sertleştirme ile aynı prensipte çalışır. Elektron bombardımanı, altlık malzeme yüzeyinde ani sıcaklık yükselmesi ve ardından öz suverme oluşturur. Elektron ışını normal ortam koşullarında çok fazla difüze olur ve gerekli yoğunluğa erişilemez. İşlem sadece yüksek vakum odalarında yapılır. Bu kısıtlama işlem süresini uzatır, çünkü parça vakum odasına yerleştirildikten sonra yüksek vakuma erişilmesi gerekir. İlâveten elektron ışını ekipmanının dar boyutları işlem görebilecek malzeme boyutlarını kısıtlar. Tüm bu nedenlere bağlı olarak bu işlem endüstride şimdiye kadar çok az bir kullanım alanı bulmuştur.

3.6 Lamcoat Kaplama

Lamcoat işlemi, ABD’de pürüzsüz kayma yüzeyleri elde etmek için geliştirilmiştir. Tungsten disülfid bazlı yumuşak bir katman, oda sıcaklığında kalıp yüzeyine mekanik olarak uygulanır. Bu işlem öncesinde kalıp, alkollü ultrasonik yağ alma banyosunda temizlenir. Bunun ardından tungsten disülfid manuel olarak kuru, saflaştırılmış hava ile yüksek basınçta spreyle yüzeylere uygulanır. Kaplama malzemesi yüzeyde

yığılmaz, yüzeye penetre ederek moleküler bağlar oluşturur. Sonuç olarak, 0,5-1,5 µm kalınlıkta çok ince bir katman oluşur.

A.B.D.'deki çalışmalar, Lamcoat kaplamanın sürtünmeyi % 70 oranında azalttığını göstermiştir. Bu durum enjeksiyon basıncının düşmesine ve akış yolunun % 10 artmasına imkan vermiştir. Bunun haricinde, çevrim süresinin kısılması ve kalıp ömrünün % 30-70 artması gibi olumlu sonuçlar vermiştir. Bu kaplama teknolojisi Almanya'da iki firma tarafından uygulanmaktadır (Menges, vd 2001).

4. MATERYAL VE METOT

Yaygın olarak kullanılan iki farklı plastik kalıp çeliği seçilmiştir. Bu çeliklerden birincisi, termoplastiklerin kalıplanmasında yaygın olarak kullanılan 40CrMnNiMo8-6-4'dür (Malzeme No 1.2738). Diğeri ise termoset plastiklerin kalıplanmasında yaygın olarak kullanılan X40CrMoV5-1'dür (Malzeme No 1.2344). Bu çeliklerin kimyasal bileşimi Tablo 4.1'de görülmektedir.

Tablo 4.1 : Deneylerde kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimi

Malzeme	C(%)	Si(%)	Mn(%)	Cr(%)	Ni(%)	Mo(%)	S(%)	V(%)
40CrMnNiMo8-6-4	0,37	0,30	1,40	2,0	1,0	0,20	0,008	-
X40CrMoV5-1	0,39	1,0	0,40	5,3	-	1,40	-	0,90

Bu çeliklere aşağıdaki yüzey işlemleri uygulanmıştır.

- Sert krom kaplama
- Nitrürleme
- CrN kaplama

Yukarıda belirtilen yüzey işlemlerinin uygulandığı numunelere ve hiç yüzey işlemi uygulanmamış numunelere aşağıda belirtilen deneyler uygulanmıştır;

- Charpy çentik darbe deneyi
- Çekme deneyi
- Sertlik ölçümü
- Aşınma deneyi
- Tuz spreysi deneyi

4.1 Numune Hazırlama Süreci

Bu deneylerin uygulanabilmesi için farklı boyutlarda deney numuneleri gerekli olmuştur. Bunun için, kaba ölçülerde 40CrMnNiMo8-6-4 ve X40CrMoV5-1 malzemeler temin edilmiştir.

Bu numuneler, kalıpcı freze, torna, CNC dik işlem merkezi ve sütun matkap ile istenilen boyutlara getirilmiştir. Şekil 4.1’de numunelerin şekillendirilmesi esnasında uygulanmış işlemlerden birkaçı görülmektedir.



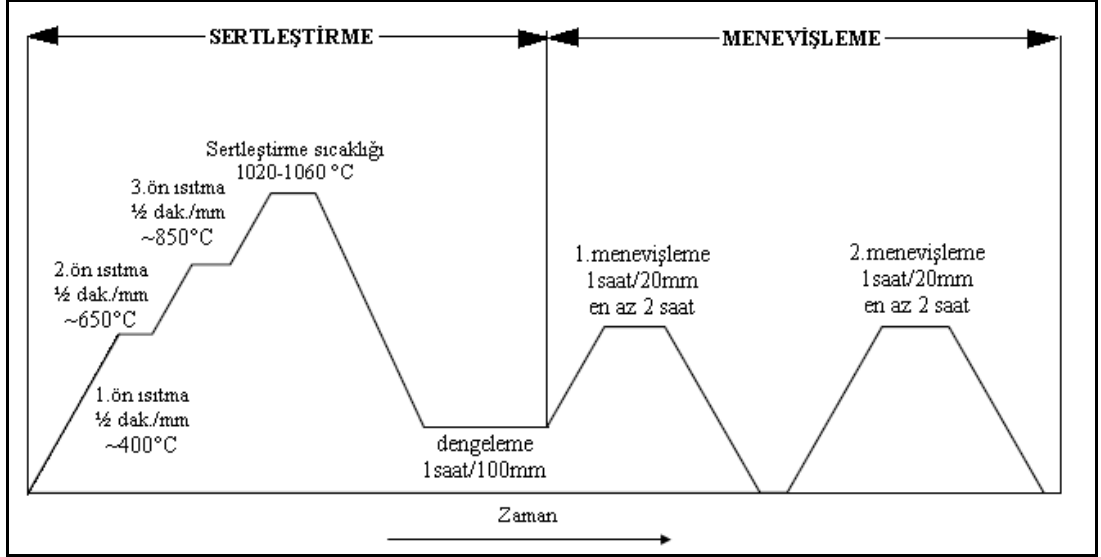
Şekil 4.1 : Numunelerin şekillendirilmesi

Ardından numuneler sırasıyla 80-120-280-400-800 kum zımpara ile Şekil 4.2’de görüldüğü gibi zımparalanmıştır.



Şekil 4.2 : Numunelerin zımparalanması

Numunelerin zımparalanmalarının ardından X40CrMoV5-1 numuneler Şekil 4.3’teki ısıl işlem diagramına uygun olarak vakum altında sertleştirilmiştir ve menevişlenmiştir. 40CrMnNiMo8-6-4 numuneler ön sertleştirilmiş olduğu için sonradan sertleştirme işlemi uygulanmamıştır.



Şekil 4.3 : X40CrMoV5-1 çeliğin ısıtma işlemi diagramı

Ardından malzemeler, sırasıyla 10, 5 ve 1 mikron elmas pasta ile Şekil 4.4'te görüldüğü gibi parlatılmıştır.



Şekil 4.4 : Numunelerin parlatılması

Deney standartlarına göre şekil verilmiş, sertleştirilmiş ve parlatılmış numuneler Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5 : Deney Numuneleri

Parlatmanın ardından numunelere Sağlam Metal’de sert krom kaplama, nitrüleme ve CrN kaplama uygulanmıştır.

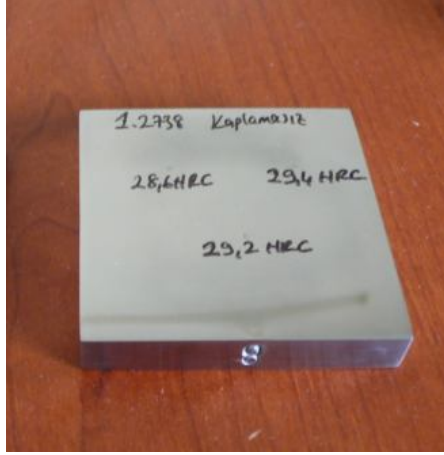
Optimum sert krom kaplama kalınlığı ile ilgili araştırmalar, korozyon, aşınma, atmosferik etkiler ve kimyasal etkilere karşı en uygun kalınlığın 5-10 µm olduğunu göstermiştir (DeLaPuenta 2000). Buna bağlı olarak sert krom kaplama kalınlığı 5-10 µm arası seçilmiştir.

Plastik enjeksiyon kalıplarına uygulanan nitrüleme tabakasının kalınlığı ile ilgili olarak 0,3-0,5mm kalınlığın çoğunlukla yeterli olduğu literatürde bahsedilmektedir (Rees, 2002). Buna bağlı olarak uygulanan nitrüleme tabakasının kalınlığı 0,3-0,5 mm arası seçilmiştir.

Plastik kalıp çeliklerine uygulanan CrN kaplama kalınlıkları araştırılmış ve tavsiye edilen kaplama kalınlığının 3-8 µm olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak numunelere uygulanacak kaplama kalınlığı 3-8 µm arası seçilmiştir.

4.2 Sertlik Ölçümü

40CrMnNiMo8-6-4 ve X40CrMoV5-1 plastik kalıp çeliklerine uygulanan yüzey işlemlerinin makro sertliğe etkisini görmek için, her yüzey işleminden iki farklı numunenin 6 yerinden makro ve mikro sertlikleri ölçülmüştür.. Sertlik ölçümleri, Şekil 4.6'da görülen 50x50x10 mm numuneler üzerinde yapılmıştır.



Şekil 4.6 : Sertlik ölçümü numunelerinden biri

Mikro sertlikler Metkon mikrovickers sertlik ölçüm cihazı ile, makro sertlikler ise Meba MHT-150 Rockwell sertlik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 4.7).



a.



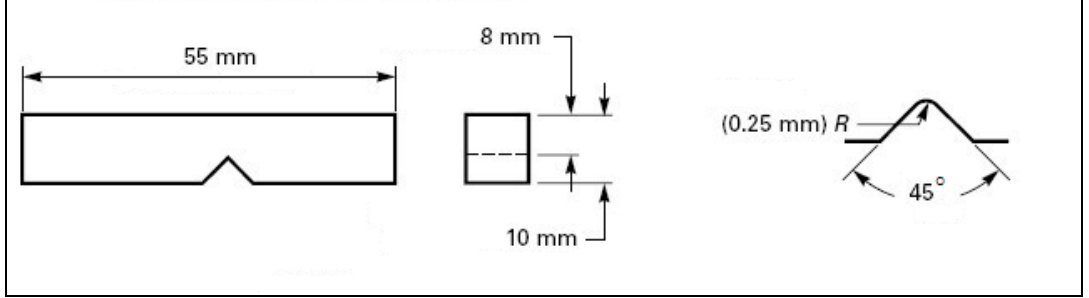
b.

Şekil 4.7 : Sertlik ölçme cihazı (a: mikrovickers, b: Rockwell)

4.3 Charpy Çentik Darbe Deneyi,

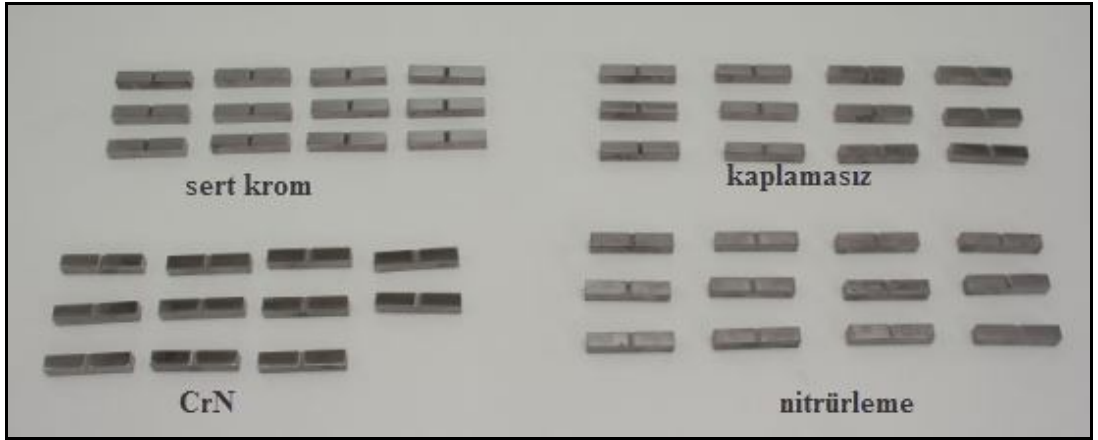
40CrMnNiMo8-6-4 ve X40CrMoV5-1 plastik kalıp çeliklerine uygulanan sert krom kaplama, nitrürleme ve CrN kaplama işleminin, malzemelerin tokluğuna olan etkilerini anlamak için Charpy çentik darbe deneyi uygulanmıştır.

Charpy çentik darbe deneyi yapmak için, Şekil 4.8’de görülen boyutlarda, V-çentikli darbe numuneleri hazırlanmıştır.



Şekil 4.8 : V-çentikli darbe deneyi numunesi boyutları

Numunelerin bir kısmı Şekil 4.9’da görülmektedir



Şekil 4.9 : X40CrMoV5-1 charpy çentik darbe deneyi numuneleri

Charpy çentik darbe deneyleri; Şekil 4.10’da görülen Alşa 300J Darbe Deney cihazında uygulanmıştır.

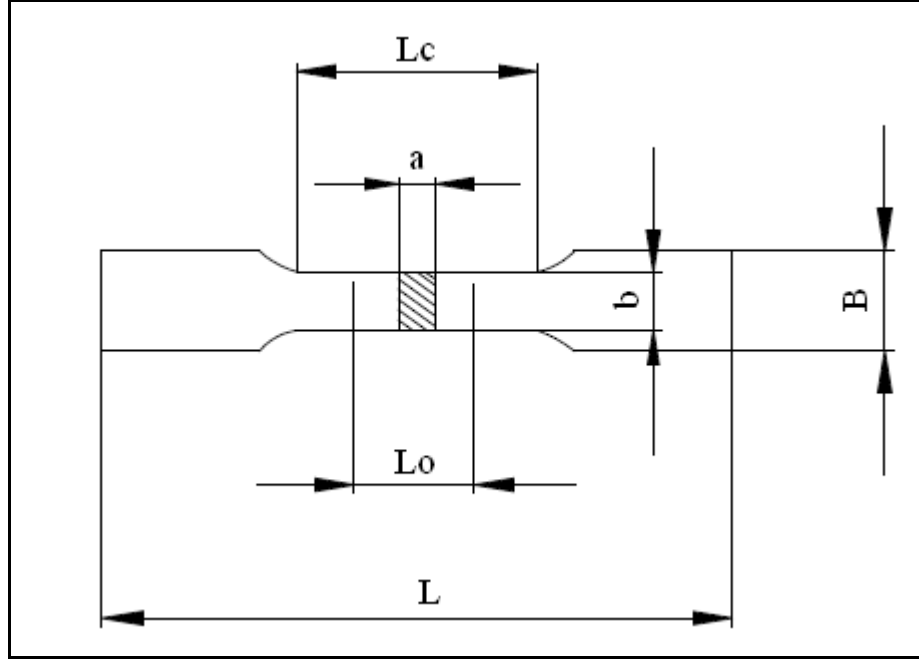


Şekil 4.10 : Charpy çentik darbe deney cihazı

4.4 Çekme Deneyi

40CrMnNiMo8-6-4 ve X40CrMoV5-1 plastik kalıp çeliklerine uygulanan sert krom kaplama, nitrüleme ve CrN kaplama işleminin malzemelerin mukavemetine olan etkilerini anlamak için çekme deneyi uygulanmıştır.

Çekme deneyi için DIN 50125 standardına göre hazırlanmış şekil 4.11’de görülen numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 4.11 : Yassı çekme numunesi

Numunelerin boyutları Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2 : Yassı çekme numunesi boyutları

a	b	L_0	B	L_c	L
6	20	60	22	50	210

Çekme numunelerin bir kısmı Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12 : Çekme numuneleri

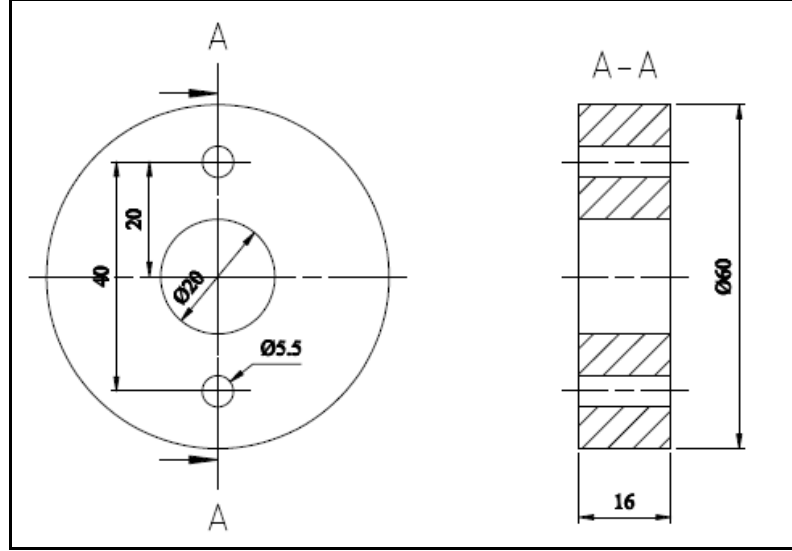
Çekme deneyleri, Şekil 4.13’te görülen Alşa çekme deneyi cihazı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.13 : Alşa çekme deney cihazı

4.5 Aşınma Deneyi

40CrMnNiMo8-6-4 ve X40CrMoV5-1 plastik kalıp çeliklerine uygulanan sert krom kaplama, nitrüleme ve CrN kaplama işleminin malzemelerin aşınma dayanımına olan etkilerini anlamak için her bir kaplamadan iki numuneye aşınma deneyi uygulanmıştır. Aşınma numuneleri Şekil 4.14'teki teknik resme göre hazırlanmıştır.



Şekil 4.14 : Aşınma deneyi numunesi teknik resmi

Şekil 4.14'teki boyutlara göre imal edilmiş ve yüzey işlemi uygulanmış numunelerin bir kısmı, Şekil 4.15'de görülmektedir.



Şekil 4.15 : X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) Aşınma deneyi numuneleri

Aşınma deneyleri Şekil 4.16'da görülen Plint sürtünme ve aşınma deney cihazında yapılmıştır.



Şekil 4.16 : Plint sürtünme ve aşınma deney cihazı

Tüm numuneler 400 min^{-1} dönme hızında, 2 kg yük uygulanarak 2 saat boyunca toplam 18864 metre kuru sürtünme ile aındırılmıtır. Aşındırıcı olarak Şekil 4.17’de görülen 1840 HV sertlikte, 12 mm çapında, 12,5 mm boyunda Wolfram karbür (WC) pimler kullanılmıştır.



Şekil 4.17 : Wolfram karbür (WC) aşındırıcı pimler

Aşınma deneyi numuneleri, deney öncesinde ve sonrasında Şekil 4.18’de görülen Precisa XT620M, 0,001 hassasiyetli tartıda tartılmıştır.



Şekil 4.18 : Precisa XT620M hassas tartı

4.6 Tuz Spreyi Deneyi

40CrMnNiMo8-6-4 ve X40CrMoV5-1 plastik kalıp çeliklerine uygulanan sert krom kaplama, nitrüleme ve CrN kaplama işleminin malzemelerin korozyon dayanımına olan etkilerini anlamak için tuz spreyi deneyi uygulanmıştır.

Tuz spreyi deneyleri, TS ISO 9227 standardına uygun olarak, Şekil 4.19'da görülen CW SF/200-A tuz spreyi kabiniinde yapılmıştır.



Şekil 4.19 : SF/200-A Tuz spreyi kabini

50x50x10 (mm) boyutlarında numuneler, Şekil 7.20'de görüldüğü gibi tuz spreyi kabinine yerleştirilmiştir.



Şekil 4.20 : Tuz spreyi deneyi numune yerleşimi

Numuneler 24 saat aralıklarla, göz ile, fotoğraflarını çekerek ve hassas tartıda tartarak incelenmiştir. Korozyon kaynaklı ağırlık kaybı kontrolü yapmak için numuneler hassas tartıda tartılmıştır.

4.7 Mikroyapı İncelemesi

40CrMnNiMo8-6-4 ve X40CrMoV5-1 plastik kalıp çeliklerine uygulanan sert krom kaplama, nitrüleme ve CrN kaplama işleminin kaplama ve difüzyon tabakalarını görebilmek için numunelerin mikroyapıları incelenmiştir.

Numuneler Şekil 4.21'de görülen Mecatome T 255/300 hassas kesme cihazında kesilmiş, çapakları alınmış ve Şekil 4.22'de görülen Mecapress II bakalite alma cihazında bakalite alınmıştır.

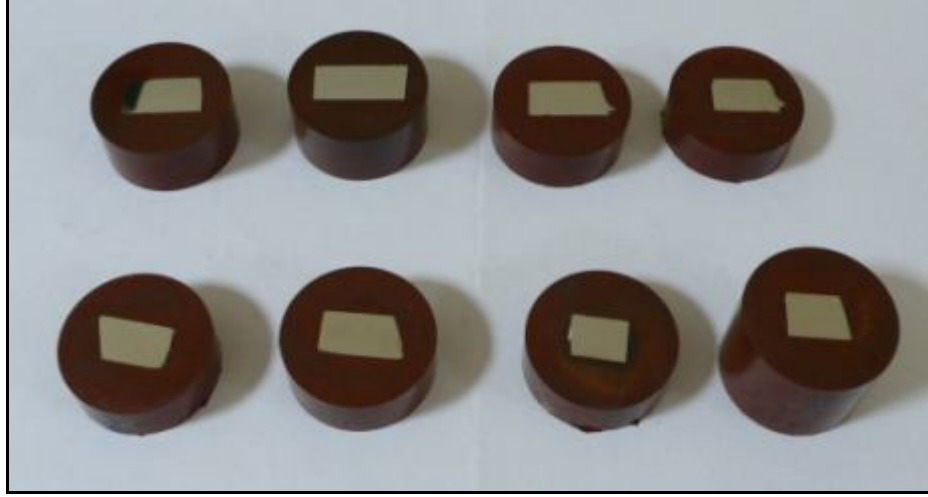


Şekil 4.21 : Mecatome T 255/300 hassas kesme cihazı



Şekil 4.22 : Mecapress II bakalite alma cihazı

Numuneler bakalite alındıktan sonra 80-120-280-400-800 kum zımpara ile zımparalanmış ardından sırasıyla 10, 5 ve 1 mikron elmas pasta ile parlatılmıştır. Zımparalanmış ve parlatılmış bakalite alma numuneleri Şekil 4.23'te görülmektedir.



Şekil 4.23 : Bakalite alınmış numuneler

Parlatma işleminden sonra numuneler % 2'lik nital çözeltisinde 30 saniye dağlanmış ve Şekil 4.24'te görülen Nikon Eclipse LV150 optik mikroskopta kaplama ve difüzyon tabakaları incelenmiştir.



Şekil 4.24 : Nikon Eclipse LV150 optik mikroskobu

5. DENEY SONUÇLARI

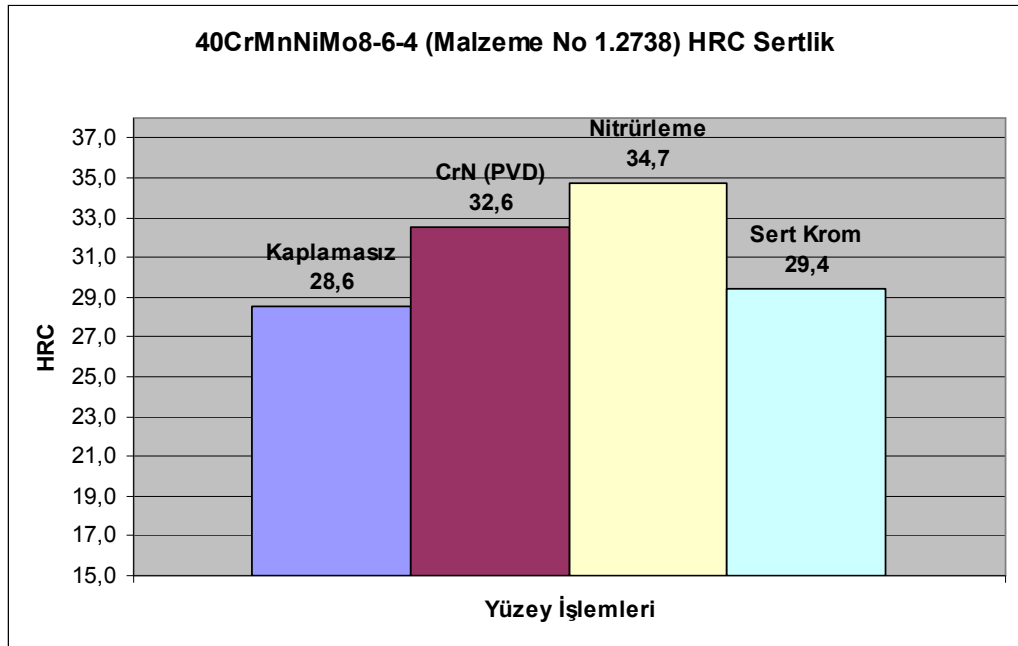
5.1 Sertlik Ölçüm Sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 plastik kalıp çeliğine uygulanan yüzey işlemlerinin makro sertliğe etkisini görmek için, her yüzey işleminden iki farklı numunenin 6 yerinden ölçülmüş Rockwell HRC sertlik değerleri Tablo 5.1’de görülmektedir.

Tablo 5.1 : 40CrMnNiMo8-6-4 Rockwell sertlik sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 (Malzeme No 1.2738) HRC Sertlik					
Numuneler		Sertlik (HRC)			
		Kaplamasız	CrN (PVD)	Nitrüleme	Sert Krom
Numune1	Ölçüm Noktası 1	28,7	32,8	34,3	29,4
	Ölçüm Noktası 2	28,5	32,2	35	28,9
	Ölçüm Noktası 3	26,9	32,4	34,7	29,5
Numune2	Ölçüm Noktası 1	28,6	32,7	35,2	29,6
	Ölçüm Noktası 2	29,4	32,4	35	29,2
	Ölçüm Noktası 3	29,2	32,8	34,2	30
Ortalama		28,6	32,6	34,7	29,4

Tablo 5.1’deki sonuçlar Şekil 5.1’de grafik halinde görülmektedir.



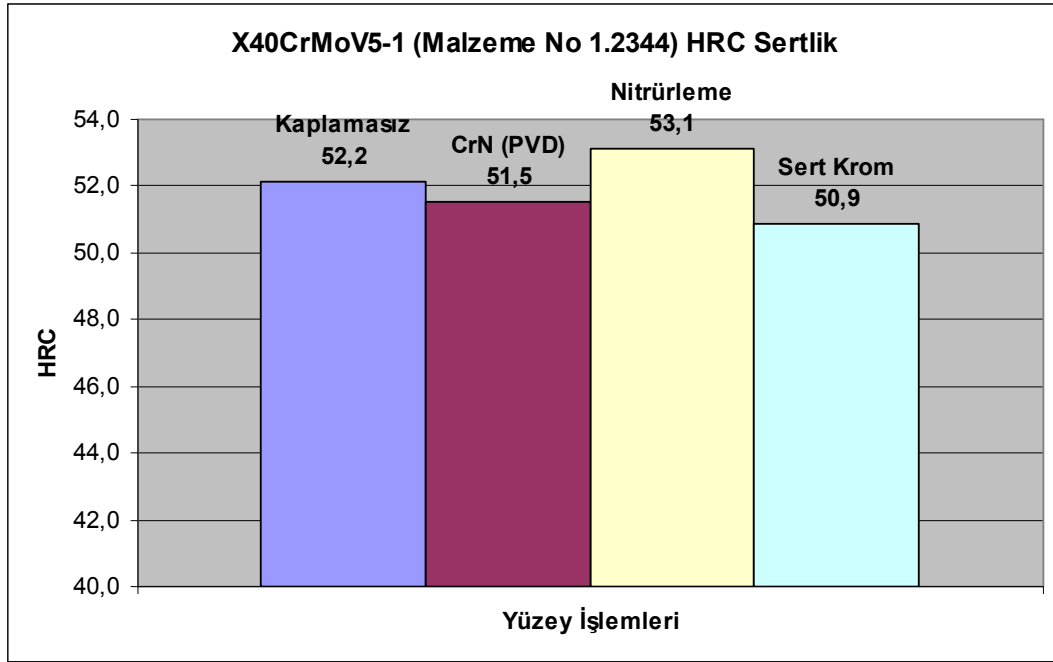
Şekil 5.1 : 40CrMnNiMo8-6-4 çeliği yüzey işlemleri Rockwell sertlik ilişkisi

X40CrMoV5-1 plastik kalıp çeliğine uygulanan yüzey işlemlerinin makro sertliğe etkisini görmek için, her yüzey işleminden iki farklı numunenin 6 yerinden ölçülmüş Rockwell HRC sertlik değerleri Tablo 5.2’de görülmektedir.

Tablo 5.2 : X40CrMoV5-1 Rockwell sertlik sonuçları

X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) HRC Sertlik					
Numuneler		Sertlik (HRC)			
		Kaplamasız	CrN (PVD)	Nitrürleme	Sert Krom
Numune1	Ölçüm Noktası 1	51,8	52,4	52,5	50,5
	Ölçüm Noktası 2	53,1	51,4	52,7	51,3
	Ölçüm Noktası 3	52,4	52,2	53,2	50,7
Numune2	Ölçüm Noktası 1	51,6	51,2	53,7	50,3
	Ölçüm Noktası 2	51,6	50,9	53,5	51
	Ölçüm Noktası 3	52,4	51,1	53	51,3
Ortalama		52,2	51,5	53,1	50,9

Tablo 5.2’deki sonuçlar Şekil 8.2’de grafik halinde görülmektedir.



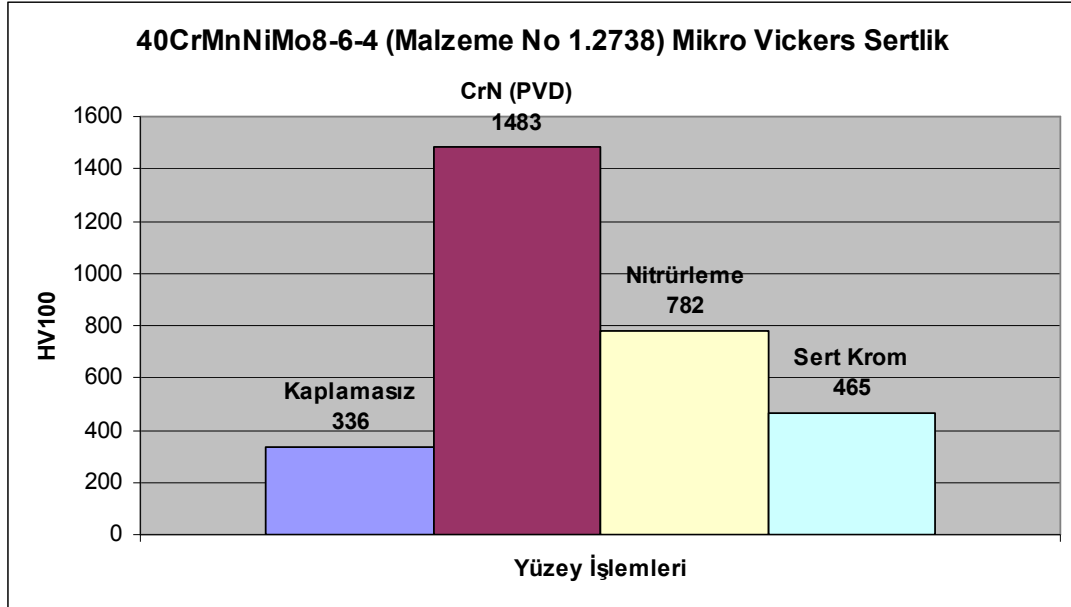
Şekil 5.2 : X40CrMoV5-1 çeliği yüzey işlemleri Rockwell sertlik ilişkisi

40CrMnNiMo8-6-4 plastik kalıp çeliğine uygulanan yüzey işlemlerinin mikro sertliğe etkisini görmek için, her yüzey işlemi için 6 farklı noktadan ölçülmüş Mikro Vickers sertlik değerleri, Tablo 5.3’te görülmektedir.

Tablo 5.3 : 40CrMnNiMo8-6-4 Mikro Vickers sertlik sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 (Malzeme No 1.2738) Mikro Vickers Sertlik					
Numuneler		Sertlik (HV100)			
		Kaplamasız	CrN (PVD)	Nitrüleme	Sert Krom
Numune1	Ölçüm Noktası 1	330	1504	789	466
	Ölçüm Noktası 2	330	1478	742	450
	Ölçüm Noktası 3	336	1460	796	465
Numune2	Ölçüm Noktası 1	338	1505	779	477
	Ölçüm Noktası 2	336	1486	782	464
	Ölçüm Noktası 3	344	1462	802	470
Ortalama		336	1483	782	465

Tablo 8.3'teki sonuçlar Şekil 8.3'te grafik halinde görülmektedir.

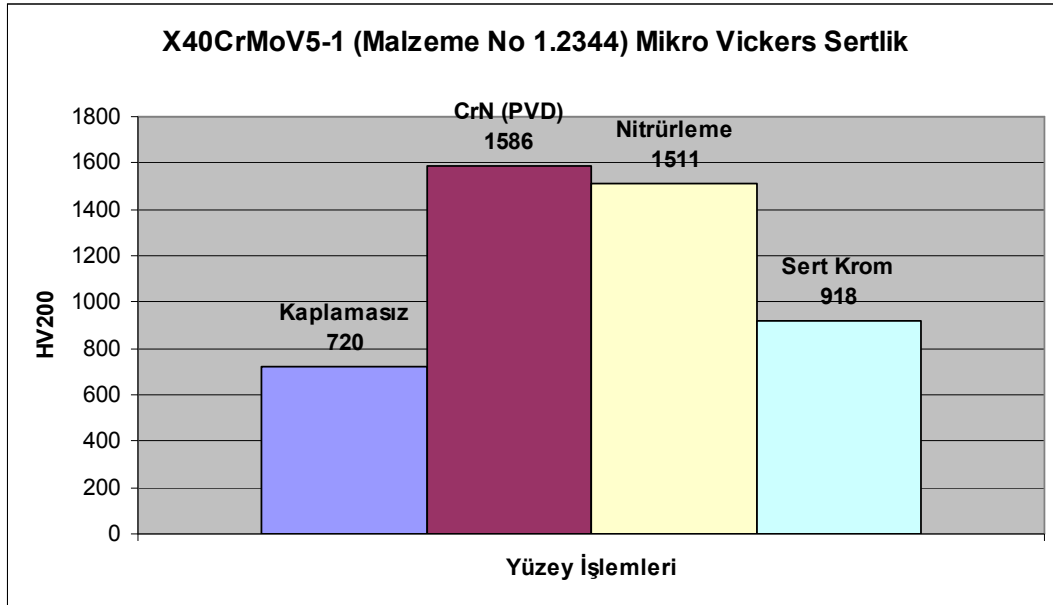


Şekil 5.3 : 40CrMnNiMo8-6-4 çeliği yüzey işlemleri Mikro Vickers sertlik ilişkisi
X40CrMoV5-1 plastik kalıp çeliğine uygulanan yüzey işlemlerinin mikro sertliğe etkisini görmek için, her yüzey işlemi için 6 farklı noktadan ölçülmüş Mikro Vickers sertlik değerleri, Tablo 5.4'te görülmektedir.

Tablo 5.4 : X40CrMoV5-1 Mikro Vickers sertlik sonuçları

X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) Mikro Vickers Sertlik					
Numuneler		Sertlik (HV200)			
		Kaplamasız	CrN (PVD)	Nitrürleme	Sert Krom
Numune1	Ölçüm Noktası 1	719	1563	1511	936
	Ölçüm Noktası 2	732	1584	1485	918
	Ölçüm Noktası 3	720	1598	1563	918
Numune2	Ölçüm Noktası 1	707	1605	1467	927
	Ölçüm Noktası 2	718	1578	1513	913
	Ölçüm Noktası 3	724	1586	1526	896
Ortalama		720	1586	1511	918

Tablo 5.4'teki sonuçlar Şekil 5.4'te grafik halinde görülmektedir.



Şekil 5.4 : X40CrMoV5-1 çeliği yüzey işlemleri Mikro Vickers sertlik ilişkisi

Her iki çelikte de sert krom kaplama ve CrN kaplama malzemelerin makro sertliklerini kayda değer bir oranda değiştirmemiştir. Rockwell sertlik ölçümü 150 kg kuvvet ile kaplama tabakasının altına nüfuz ettiği için alt malzemenin sertliğini ölçmüştür. Sadece nitrürleme işlemi uygulanmış numuneler kaplamasız numunelere oranla biraz daha yüksek makro sertlik değerine ulaşmıştır. Bu durum, nitrürlemenin difüzyonla CrN ve sert kromdan daha derinlere nüfuz etmesinden kaynaklanmaktadır.

CrN tabakası 3µm civarı kalınlıkta yüzeye metalik bağlarla bağlı bir seramik tabakadır ve yüzey sertliğini 1500 HV civarına çıkarmıştır.

Nitrüleme tabakası difüzyonla yüzeye nüfuz ederek yüzeyde ince nitrür taneleri oluşturmuştur ve bu ince yapılı nitrür taneleri yüzey sertliğini arttırmıştır.

Sert krom kaplamada elektrolizle yüzeyde 10 µm civarı bir tabaka oluşmuştur. Sert krom kaplama elektrolizle yüzeyi kapladığı için nitrüleme ve CrN kaplamaya oranla daha zayıf bir bağ ile yüzeye bağlanmıştır. Sert krom kaplamanın yüzeye bağlanması zayıf ve tabaka ince olduğu için katman altlık malzemenin sertliğine bağlı bir sertlik artışı gerçekleştirmiştir.

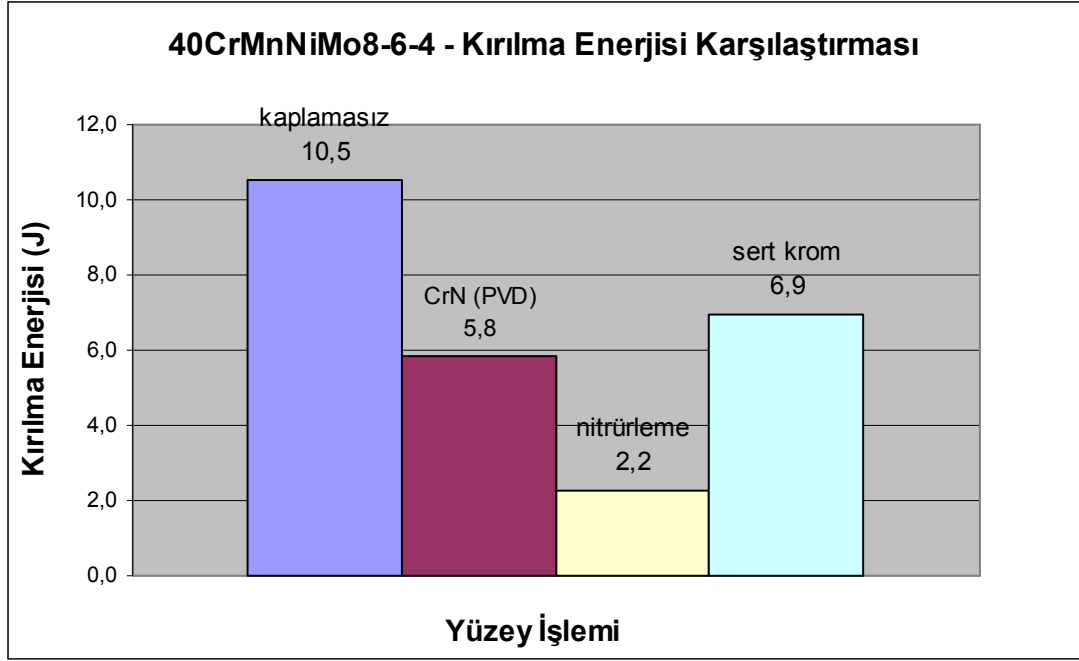
5.2 Charpy Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 çeliğine uygulanmış Charpy çentik darbe deneyinin sonuçları Tablo 5.5'te görülmektedir.

Tablo 5.5 : 40CrMnNiMo8-6-4 Çentik darbe deneyi sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 (Malzeme No 1.2738) Çentik Darbe Deneyi				
Numuneler	Kırılma Enerjileri (J)			
	Kaplamasız	CrN (PVD) Kaplı	Nitrülenmiş	Sert Krom Kaplı
Numune1	10,06	8,15	2,34	5,79
Numune2	13,18	5,48	1,54	6,8
Numune3	11,8	6,13	1,44	6,34
Numune4	9,67	4,65	2,54	7,15
Numune5	8,83	5,18	2,86	8,63
Numune6	11,72	7,12	2,16	6,45
Numune7	8,92	5,87	1,98	7,18
Numune8	10,9	4,95	2,79	7,49
Numune9	9,83	5,12	2,11	6,43
Numune10	10,04	5,51	1,9	7,12
Numune11	8,74	-	2,54	-
Numune12	12,63	-	2,33	-
Numune13	-	-	2,6	-
ortalama	10,5	5,8	2,2	6,9

Tablo 5.5'teki sonuçların grafik halindeki karşılaştırmaları Şekil 5.5'te görülmektedir.



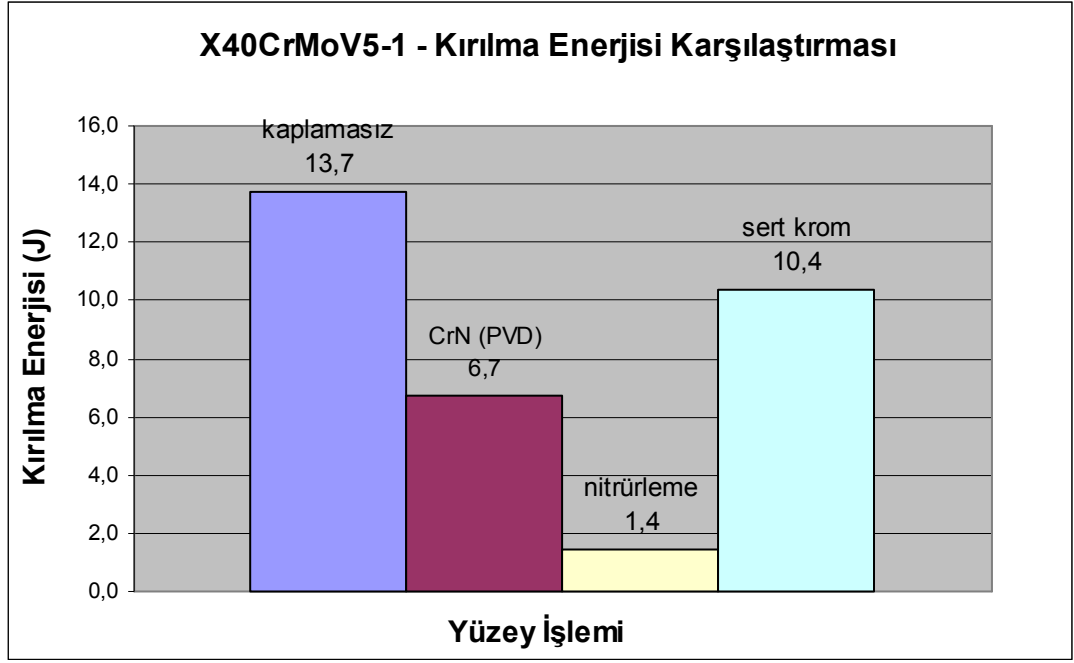
Şekil 5.5 : 40CrMnNiMo8-6-4 kırılma enerjisi karşılaştırması

X40CrMoV5-1 çeliğine uygulanmış Charpy çentik darbe deneyinin sonuçları Tablo 5.6'da görülmektedir.

Tablo 5.6 : X40CrMoV5-1 Çentik darbe deneyi sonuçları

X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) Çentik Darbe Deneyi				
Numuneler	Kırılma Enerjileri (J)			
	Kaplamasız	CrN (PVD)	Nitrüleme	Sert Krom
Numune1	14,75	6,21	1,44	9,68
Numune2	13,32	6,98	1,73	10,63
Numune3	13,64	6,25	1,18	11,2
Numune4	12,89	7,18	1,15	10,56
Numune5	14,65	7,54	1,23	10,23
Numune6	13,74	6,11	1,54	9,98
Numune7	12,87	6,35	1,45	10,12
Numune8	13,16	6,84	1,74	10,47
Numune9	13,55	7,21	1,25	10,63
Numune10	15,02	-	1,45	10,78
Numune11	13,46	-	-	9,85
ortalama	13,7	6,7	1,4	10,4

Tablo 5.6'daki sonuçların grafik halindeki karşılaştırmaları Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6 : X40CrMoV5-1 kırılma enerjisi karşılaştırması

Seramik CrN kaplama tabakası çok sert olduğu için çatlak oluşumu kaplamasız numuneye göre daha hızlı olmuş ve CrN kaplamanın tokluğu kaplamasız numuneye göre düşmüştür.

Nitrülemde, sertliği alt malzemeye göre çok yüksek difüzyon tabakası CrN kaplama ve sert krom kaplamaya göre çok daha derin olduğu için nitrülenmiş numuneler daha gevrek davranış sergilemiş ve tokluk en fazla nitrülemde düşmüştür.

Sertlik artışı sert krom kaplamada CrN kaplama ve nitrülemeye göre daha düşük olduğu için toklukta azalma da daha az olmuştur.

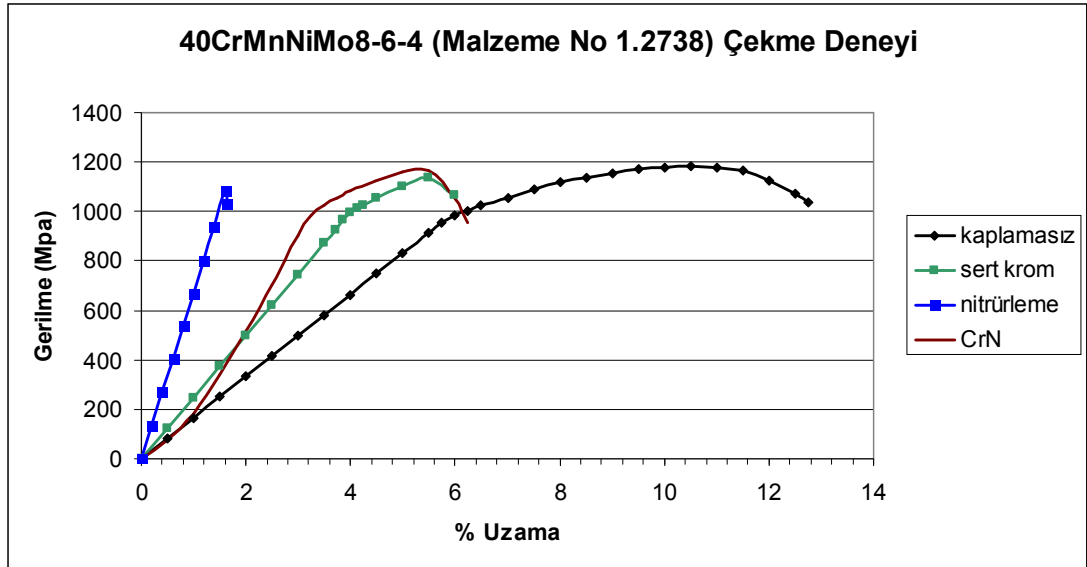
5.3 Çekme Deneyi Sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 çeliklerine (her bir yüzey işleminden 3'er adet numuneye) uygulanmış çekme deneylerinin sonuçları Tablo 5.7'de görülmektedir.

Tablo 5.7 : 40CrMnNiMo8-6-4 Çekme deneyi sonuçları

40CrMnNiMo 8-6-4 (DIN 1.2738) Çekme Deneyi					
Numuneler		Kaplamasız	CrN	Nitrüleme	Sert Krom
Rm (N/mm ²)	Numune1	1184	1168	1016	1163
	Numune2	1186	1188	1069	1179
	Numune3	x	1103	1107	1109
Ortalama (N/mm ²)		1185	1153	1064	1150
Rp0.2 (N/mm ²)	Numune1	986	1020	-	1000
	Numune2	1020	1038	-	1010
	Numune3	x	1038	-	1010
Ortalama (N/mm ²)		1003	1032	-	1007
E (N/mm ²)	Numune1	218	400	2105	400
	Numune2	228	387	2059	392
	Numune3	x	389	2069	381
Ortalama (N/mm ²)		2,23x10 ¹¹	3,92x10 ¹¹	2,1x10 ¹²	3,9x10 ¹¹

40CrMnNiMo8-6-4 çeliğinin gerilme-birim uzama eğrileri şekil 5.7'de görülmektedir.



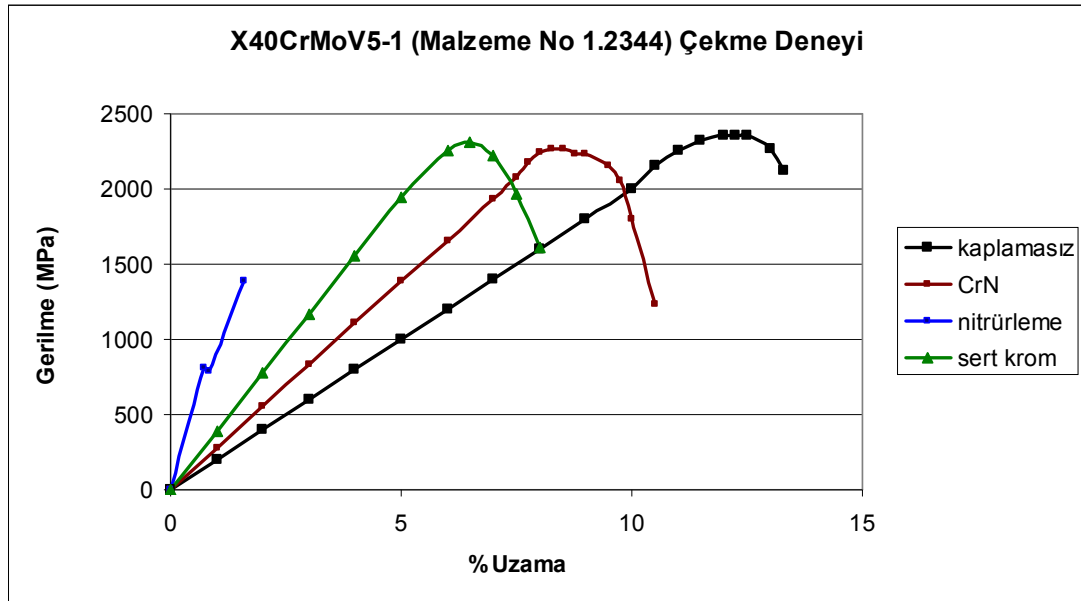
Şekil 5.7 : 40CrMnNiMo8-6-4 çekme deneyi sonuçları

X40CrMoV5-1 çeliklerine (her bir yüzey işleminden 3'er adet numuneye) uygulanmış çekme deneylerinin sonuçları Tablo 5.8'de görülmektedir.

Tablo 5.8 : X40CrMoV5-1 Çekme deneyi sonuçları

X40CrMoV5-1 (1.2344) Çekme Deneyi					
Numuneler		Kaplamasız	CrN	Nitrüleme	Sert Krom
Rm (N/mm ²)	Numune1	2346	2278	1385	2318
	Numune2	x	2283	x	2338
	Numune3	x	2266	x	x
Ortalama (N/mm ²)		2346	2276	1385	2328
Rp0.2 (N/mm ²)	Numune1	2216	2217	-	2272
	Numune2	x	2270	x	2250
	Numune3	x	2213	x	x
Ortalama (N/mm ²)		2216	2233	-	2261
E (N/mm ²)	Numune1	200,34	270	865	360
	Numune2	x	276	x	375
	Numune3	x	284	x	x
Ortalama (N/mm ²)		2x10 ¹¹	2,77x10 ¹¹	8,65x10 ¹¹	3,68x10 ¹¹

X40CrMoV5-1 çeliğinin gerilme-birim uzama eğrileri Şekil 5.8'de görülmektedir



Şekil 5.8 : X40CrMoV5-1 çekme deneyi sonuçları

CrN kaplama, sert krom kaplama ve nitrüleme yüzeyde sert bir yüzey tabakası oluşturdukları için gerilme-birim uzama davranışları değişmiştir ve üç yüzey işlemi de elastik modülünde artışa sebep olmuştur. Nitrüleme kalın ve gevrek bir difüzyon tabakası oluşturduğu için elastiklik modülünde en fazla artış nitrülemeye olmuştur. CrN ve sert krom kaplamada çekme ve akma dayanımı kaplamasız numuneye göre değişmezken nitrülemeye akma sınırı gözlenmemiş, çekme dayanımı ise kaplamasız numuneye göre azalmıştır.

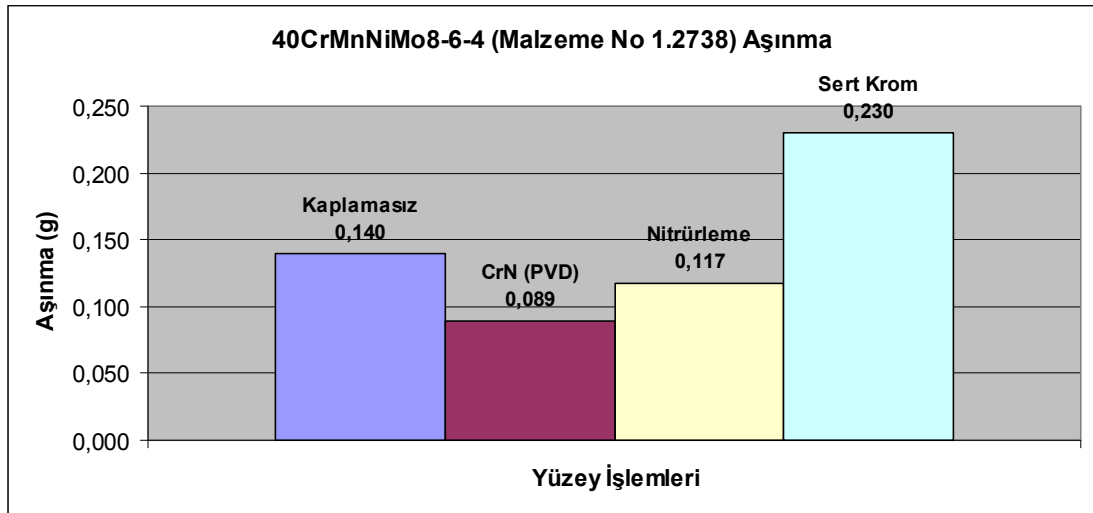
5.4 Aşınma Deneyi Sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 çeliğine (her bir yüzey işleminden 2'şer adet numuneye) uygulanmış aşınma deneylerinin sonuçları Tablo 5.9'daki gibidir.

Tablo 5.9 : 40CrMnNiMo8-6-4 aşınma deneyi sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 (Malzeme No 1.2738) Aşınma Deneyi							
Numune		Devir sayısı (min ⁻¹)	Yük (kg)	Kayma mesafesi (m)	İlk ağırlık (g)	Son ağırlık (g)	Aşınma (g)
Numune-1	Kaplamasız	400	2	18084	299,452	299,313	0,139
	Nitrüleme	400	2	18084	303,893	303,775	0,118
	Sert Krom	400	2	18084	303,39	303,162	0,228
	CrN	400	2	18084	-	-	-
Numune-2	Kaplamasız	400	2	18084	301,349	301,208	0,141
	Nitrüleme	400	2	18084	302,758	302,642	0,116
	Sert Krom	400	2	18084	303,777	303,546	0,231
	CrN	400	2	18084	304,217	304,128	0,089

Tablo 5.9'daki sonuçların ortalaması Şekil 5.9'da grafik halinde görülmektedir.



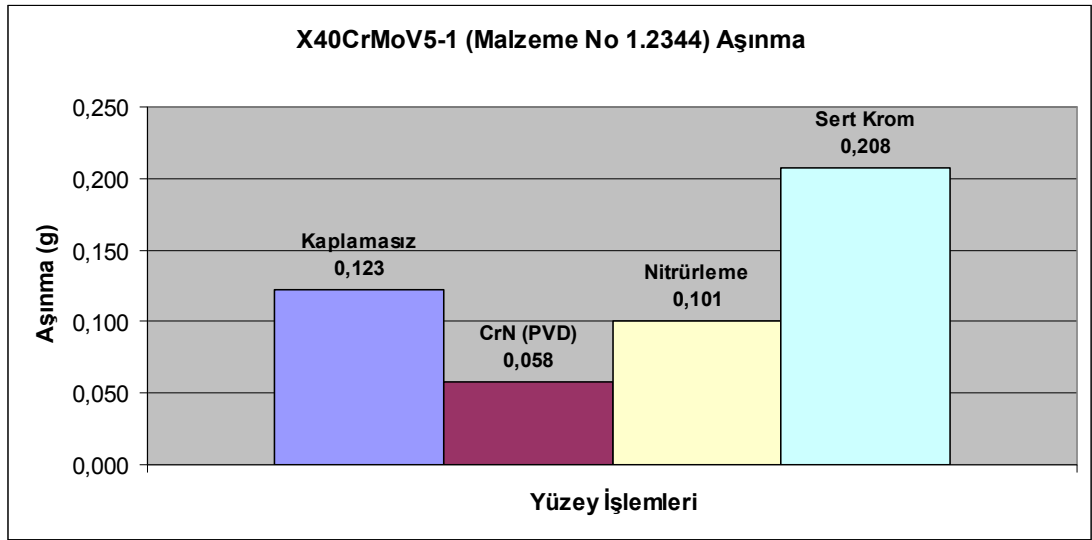
Şekil 5.9 : 40CrMnNiMo8-6-4 aşınma deneyi sonuçları

X40CrMoV5-1 çeliğine (her bir yüzey işleminden 2'şer adet numuneye) uygulanmış aşınma deneylerinin sonuçları Tablo 5.10'daki gibidir.

Tablo 5.10 : X40CrMoV5-1 aşınma deneyi sonuçları

X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) Aşınma Deneyi							
Numune		Devir sayısı (min ⁻¹)	Yük (kg)	Kayma mesafesi (m)	İlk ağırlık (g)	Son ağırlık (g)	Aşınma (g)
Numune-1	Kaplamasız	400	2	18084	299,058	298,934	0,124
	Nitrüleme	400	2	18084	302,026	301,924	0,102
	Sert Krom	400	2	18084	302,411	302,205	0,206
	CrN	400	2	18084	299,511	299,454	0,057
Numune-2	Kaplamasız	400	2	18084	278,059	277,938	0,121
	Nitrüleme	400	2	18084	302,722	302,623	0,099
	Sert Krom	400	2	18084	303,622	303,413	0,209
	CrN	400	2	18084	300,631	300,572	0,059

Tablo 5.10'daki sonuçların ortalaması Şekil 5.10'da grafik halinde görülmektedir.



Şekil 5.10 : X40CrMoV5-1 aşınma deneyi sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 çeliğinde en fazla aşınma sert krom kaplamada görülmüştür. CrN kaplama, kaplamasız numuneye oranla % 36 daha az aşınmıştır. Nitrüleme uygulanmış numune, kaplamasız numuneye oranla % 16 daha az aşınmıştır.

X40CrMoV5-1 çeliğinde de en fazla aşınma sert krom kaplamada görülmüştür. CrN kaplama, kaplamasız numuneye oranla % 53 daha az aşınmıştır. Nitrüleme uygulanmış numune, kaplamasız numuneye oranla % 18 daha az aşınmıştır.

CrN kaplama yüksek sertliği, yüksek kırılma tokluğu ve düşük sürtünme katsayısı sebebiyle en yüksek aşınma dayanımı gösteren kaplama olmuştur.

Sert krom kaplamada elektroliz tabakasının düşük bağlanma özelliği, yük altında kaplama tabakasının çatlamasına ve kalkmasına sebep olduğu için en düşük aşınma dayanımını sergilemiştir.

Difüzyon ile oluşmuş nitrürleme tabakasının sertliğinin alt malzemedeki yüksek oluşu, sürtünme katsayısını düşürmüş ve aşınma dayanımını arttırmıştır.

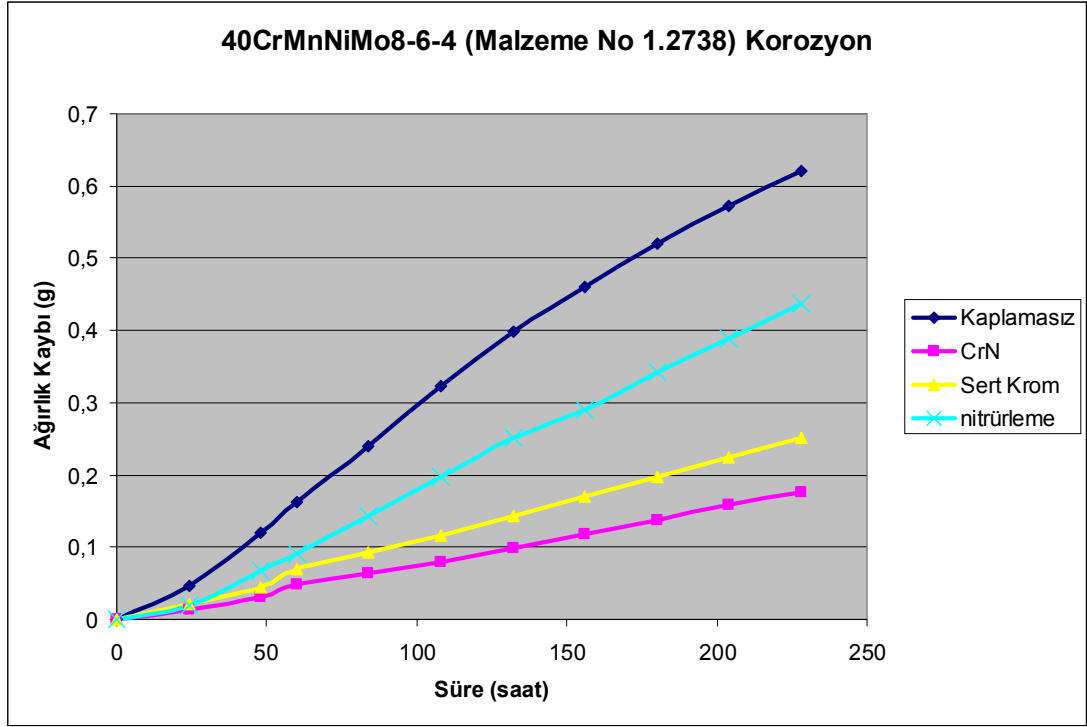
5.5 Tuz Spreyi Deneyi Sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 çeliğine uygulanmış tuz spreyi deneyinin sonuçları Tablo 5.11'deki gibidir.

Tablo 5.11 : 40CrMnNiMo8-6-4 tuz spreyi deneyi ağırlık kaybı tablosu

40CrMnNiMo8-6-4 (Malzeme No 1.2738) Korozyon				
Süre (saat)	Ağırlık Kaybı (g)			
	Kaplamasız	CrN	Nitrürleme	Sert Krom
0	0	0	0	0
24	0,047	0,015	0,019	0,022
48	0,120	0,031	0,067	0,044
60	0,161	0,048	0,092	0,069
84	0,240	0,063	0,143	0,092
108	0,323	0,079	0,197	0,116
132	0,398	0,099	0,251	0,143
156	0,460	0,117	0,290	0,169
180	0,519	0,138	0,343	0,196
204	0,573	0,158	0,388	0,225
228	0,621	0,176	0,438	0,251






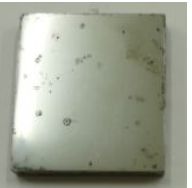
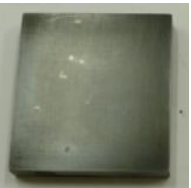
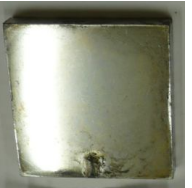

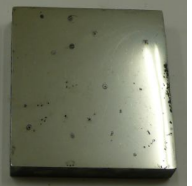

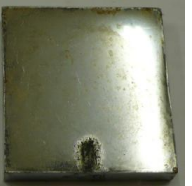


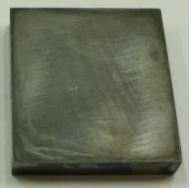
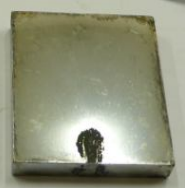

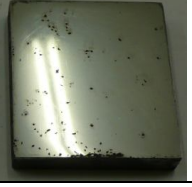


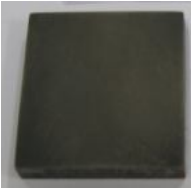
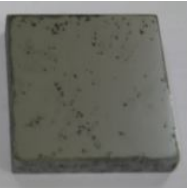

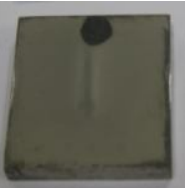








Tablo 5.11'deki sonuçların eğriler üzerinden karşılaştırması Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : 40CrMnNiMo8-6-4 tuz spreyi deneyi sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 çeliğine uygulanmış tuz spreyi deneyinin zamana bağlı olarak numunelere etkisi Tablo 5.12’de görülmektedir.

Tablo 5.12 : Tuz spreyi deneyinin 40CrMnNiMo8-6-4 numunelere etkisi

40CrMnNiMo8-6-4 (Malzeme No 1.2738) Tuz Spreyi Deneyi				
Süre (saat)	Kaplamasız	CrN	Nitrüleme	Sert Krom
0				
24				
48				
60				
84				
108				
132				
154				

Tablo 5.12 : (devam) Tuz spreji deneyinin 40CrMnNiMo8-6-4 numunelere etkisi

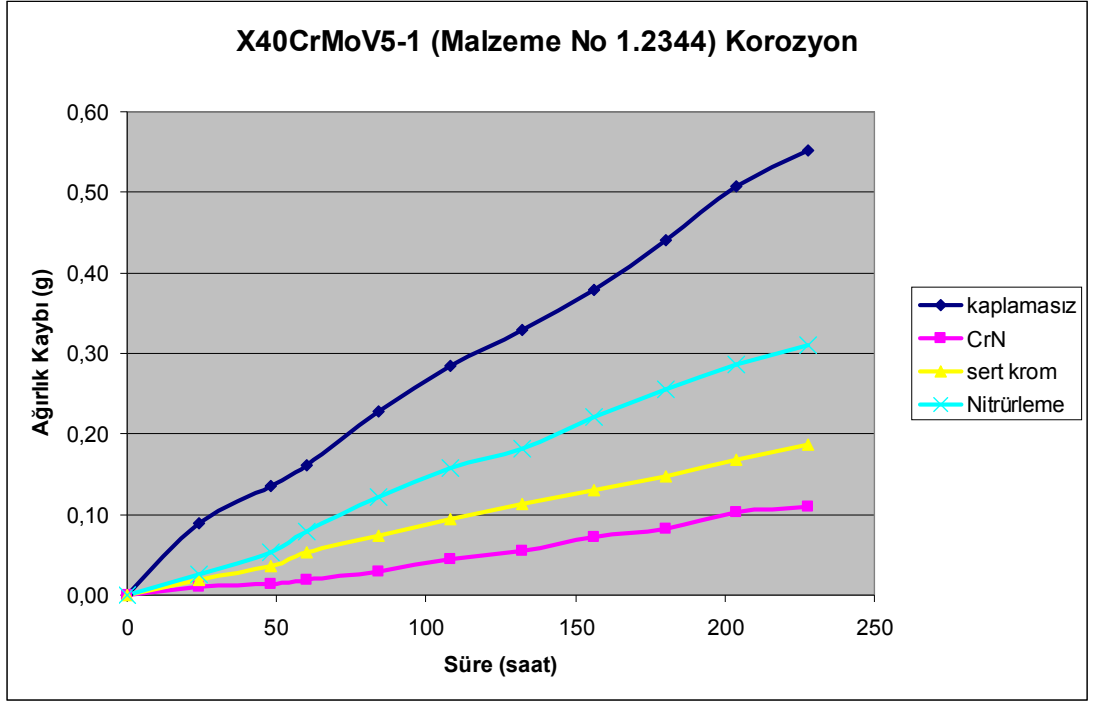
40CrMnNiMo8-6-4 (Malzeme No 1.2738) Tuz Spreji Deneyi				
Süre (saat)	Kaplamasız	CrN	Nitrüleme	Sert Krom
180				
204				
228				

X40CrMoV5-1 çeliğine uygulanmış tuz spreji deneyinin sonuçları Tablo 5.13'deki gibidir.

Tablo 5.13 : X40CrMoV5-1 tuz spreji deneyi ağırlık kaybı tablosu

X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) Korozyon				
Süre (saat)	Ağırlık Kaybı (g)			
	Kaplamasız	CrN	Nitrüleme	Sert Krom
0	0	0	0	0
24	0,089	0,010	0,019	0,025
48	0,136	0,013	0,036	0,053
60	0,161	0,018	0,053	0,079
84	0,228	0,029	0,074	0,122
108	0,285	0,045	0,094	0,157
132	0,330	0,054	0,113	0,181
156	0,379	0,072	0,131	0,222
180	0,441	0,082	0,147	0,255
204	0,507	0,103	0,168	0,287
228	0,552	0,109	0,186	0,309

































Tablo 5.13'deki sonuçların eğriler üzerinden karşılaştırması Şekil 5.12'de gösterilmiştir.




Şekil 5.12 : X40CrMoV5-1 tuz spreysi deneyi sonuçları

X40CrMoV5-1 çeliğine uygulanmış tuz deneyinin zamana bağlı olarak numunelere etkisi Tablo 5.12’de görülmektedir.

Tablo 5.14 : Tuz spreji deneyinin X40CrMoV5-1 numunelere etkisi

X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) Tuz Spreji Deneyi				
Süre (saat)	Kaplamasız	CrN	Nitrüleme	Sert Krom
0				
24				
48				
60				
84				
108				
132				
154				

Tablo 5.12 : (devam) Tuz spreji deneyinin X40CrMoV5-1 numunelere etkisi

X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) Tuz Spreyi Deneyi				
Süre (saat)	Kaplamasız	CrN	Nitrüleme	Sert Krom
180				
204				
228				

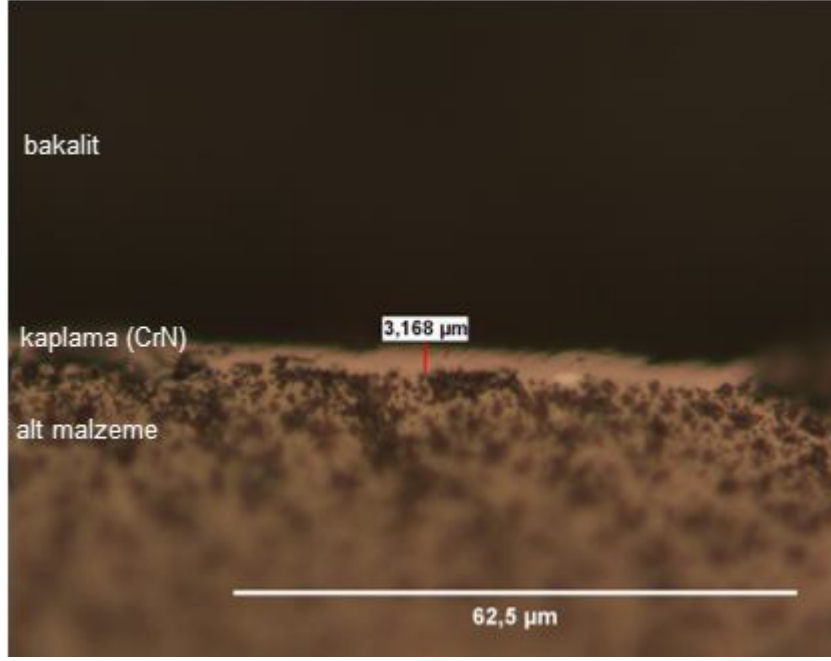
Yüzeydeki CrN tabakası seramik esaslı olduğu için korozif ortamda en asal davranışı sergilemiş ve en az korozyona uğrayan yüzey işlemi olmuştur.

Sert krom kaplama homojen ve mikro çatlakların çok az olduğu bir yüzey katmanı oluşturduğu için korozif etkilerin ana malzemeye ulaşmasını engellemiş ve korozyon dayanımını arttırmıştır.

Nitrüleme esnasında yüzeyde oluşan ϵ -nitrür (Fe_2-3N), nitrüleme yapılmış numunelerin korozyon dayanımının kaplamasız numunelere oranla artmasına sebep olmuştur fakat sert krom ve CrN kaplamaya oranla korozyon dayanımı düşüktür.

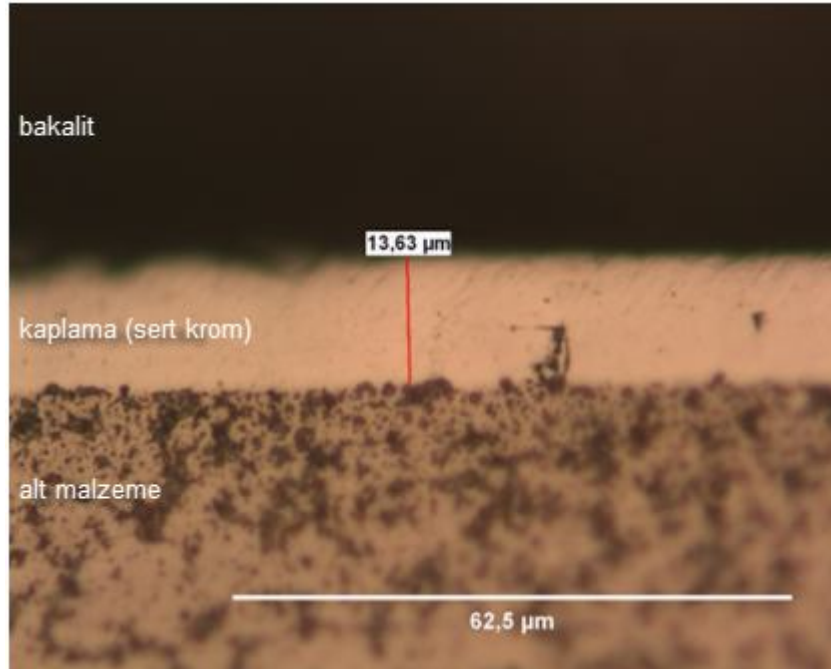
5.6 Mikroyapı Sonuçları

40CrMnNiMo8-6-4 çeliğine uygulanmış CrN kaplama tabakası Şekil 5.13'te görülmektedir.



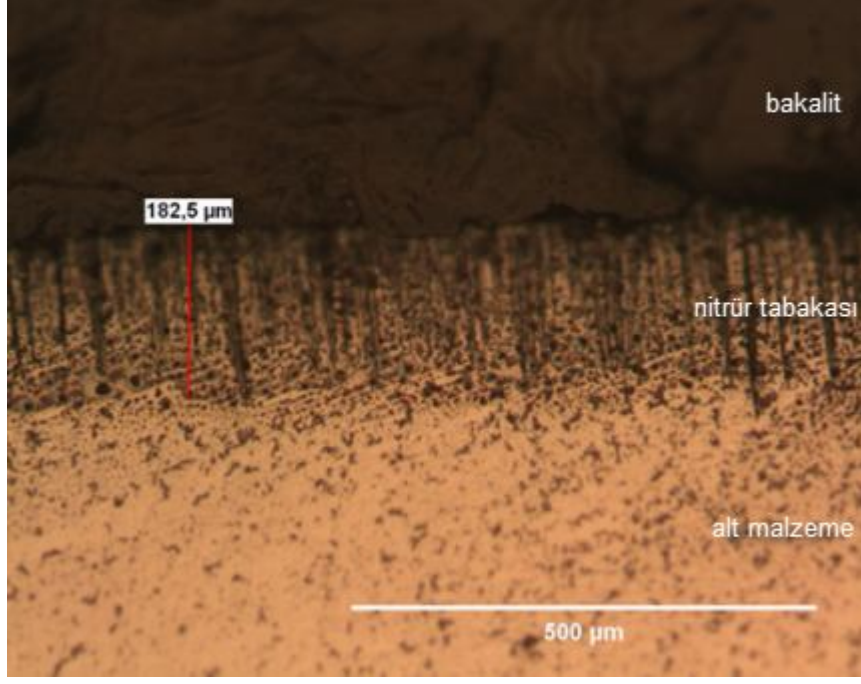
Şekil 5.13 : 40CrMnNiMo8-6-4 CrN kaplama (1000x)

40CrMnNiMo8-6-4 çeliğine uygulanmış sert krom kaplama tabakası Şekil 5.14'te görülmektedir.



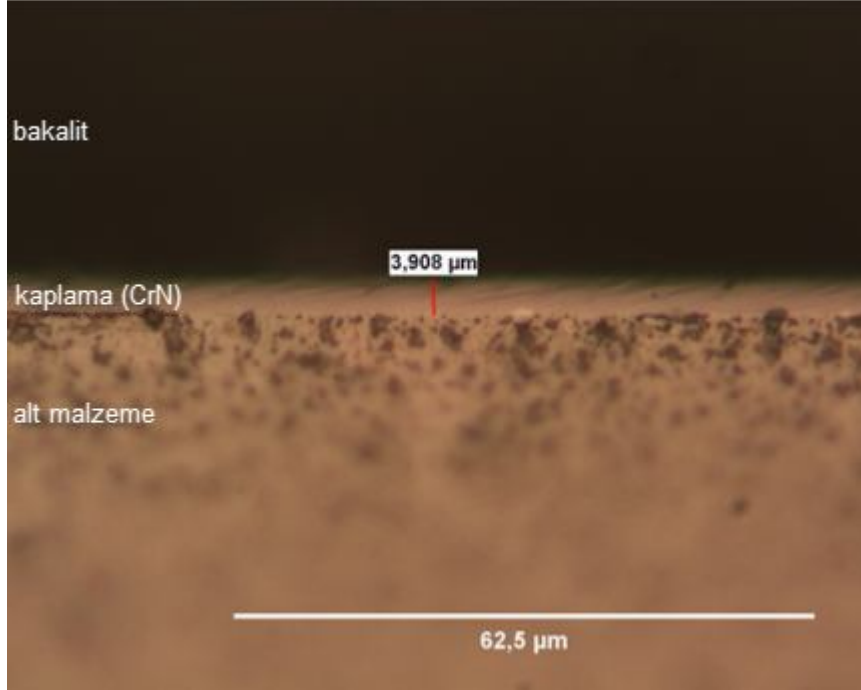
Şekil 5.14 : 40CrMnNiMo8-6-4 sert krom kaplama (1000x)

40CrMnNiMo8-6-4 çeliğine uygulanmış nitrürleme tabakası Şekil 5.15'te görülmektedir.



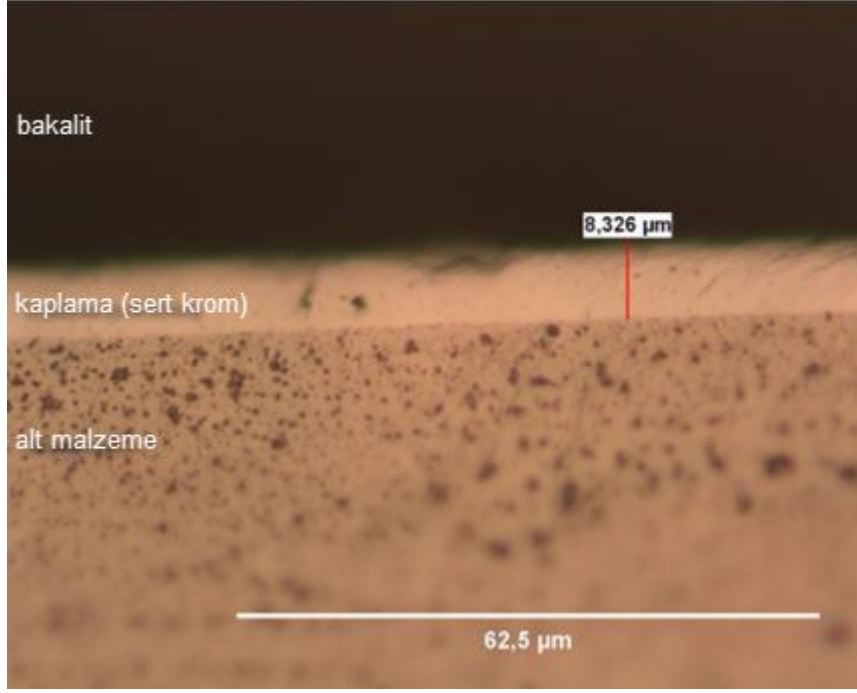
Şekil 5.15 : 40CrMnNiMo8-6-4 nitrürleme (500x)

X40CrMoV5-1 çeliğine uygulanmış CrN tabakası Şekil 5.16'da görülmektedir.



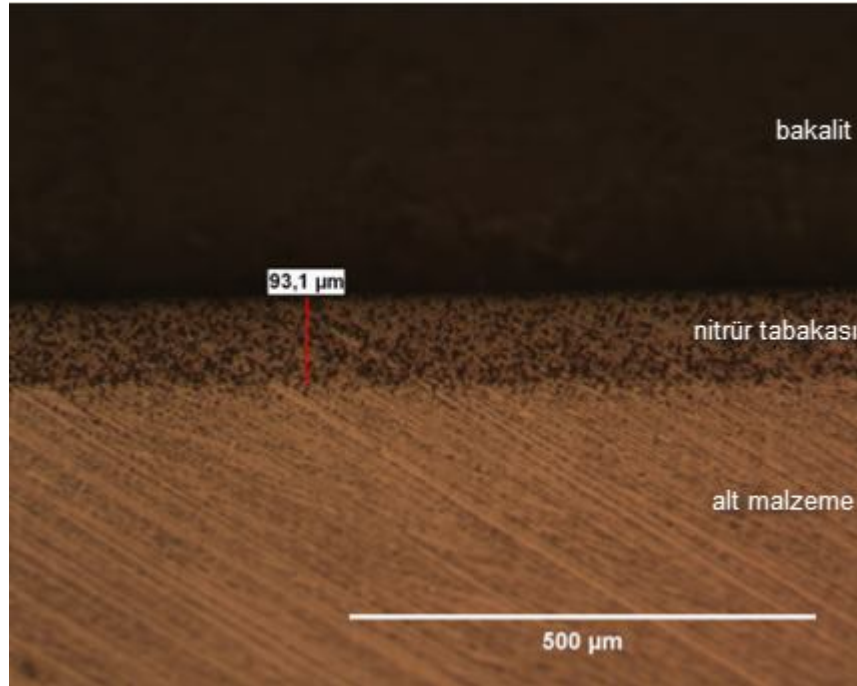
Şekil 5.16 : X40CrMoV5-1 CrN kaplama (1000x)

X40CrMoV5-1 çeliğine uygulanmış sert krom tabakasının 1000x optik mikroskoptan alınmış görüntüsü Şekil 5.17'de görülmektedir.



Şekil 5.17 : X40CrMoV5-1 sert krom kaplama (1000x)

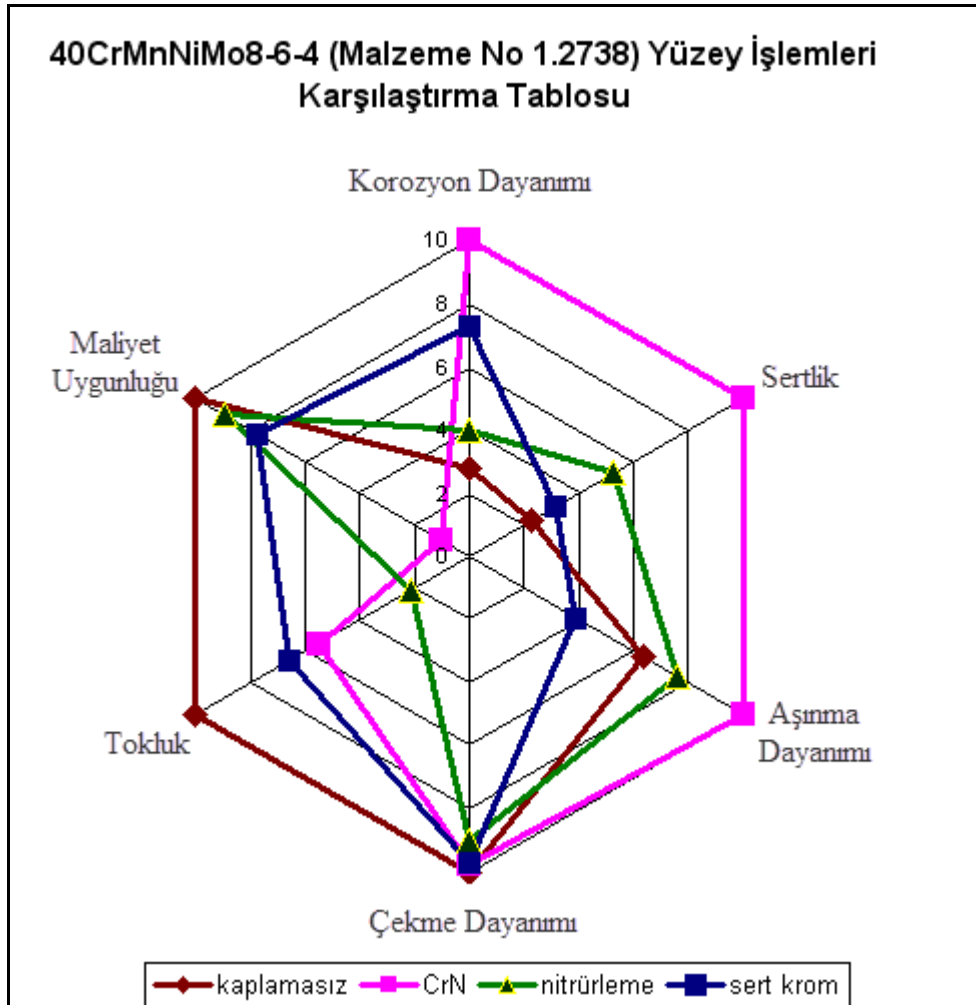
X40CrMoV5-1 çeliğine uygulanmış nitrürleme tabakası Şekil 5.18’de görülmektedir.



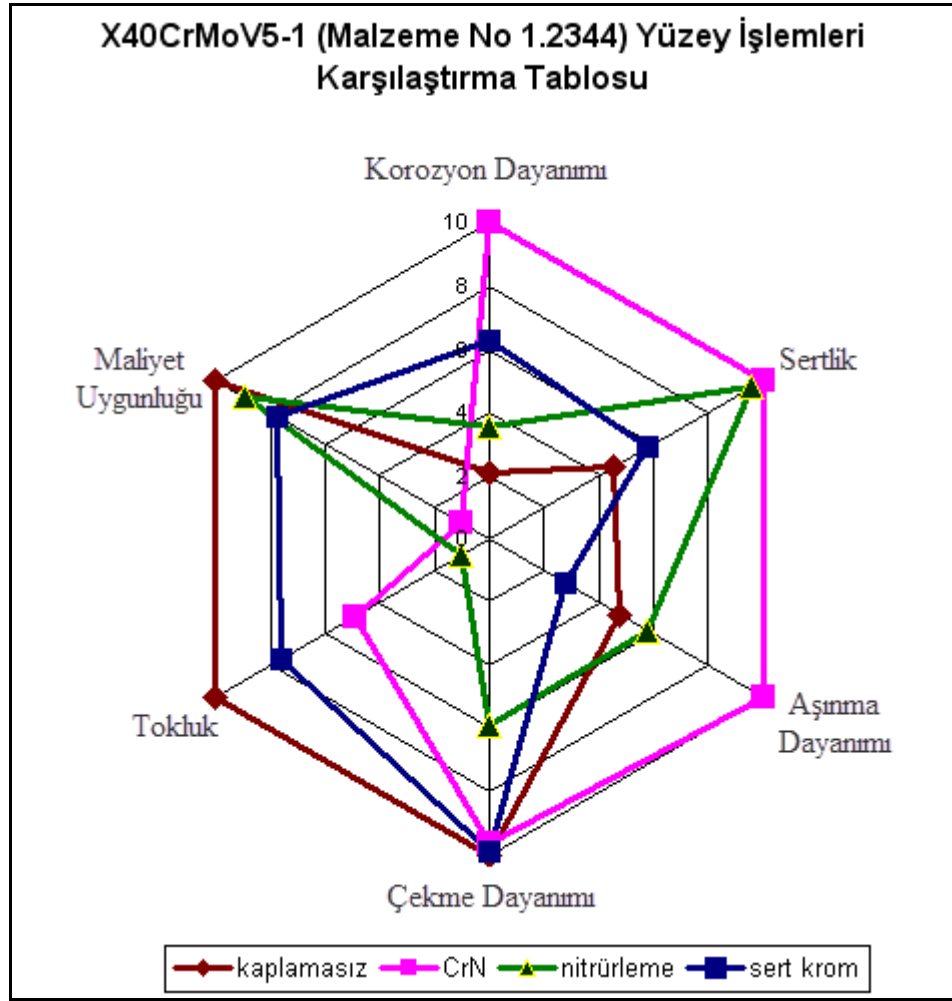
Şekil 5.18 : X40CrMoV5-1 nitrürleme (500x)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüzey işlemlerinin korozyon dayanımı, sertlik, aşınma dayanımı, çekme dayanımı, tokluk ve maliyetlerinin bağıl olarak değerlendirilmesi Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.1 : 40CrMnNiMo8-6-4 çeliği yüzey işlemlerinin bağıl karşılaştırması

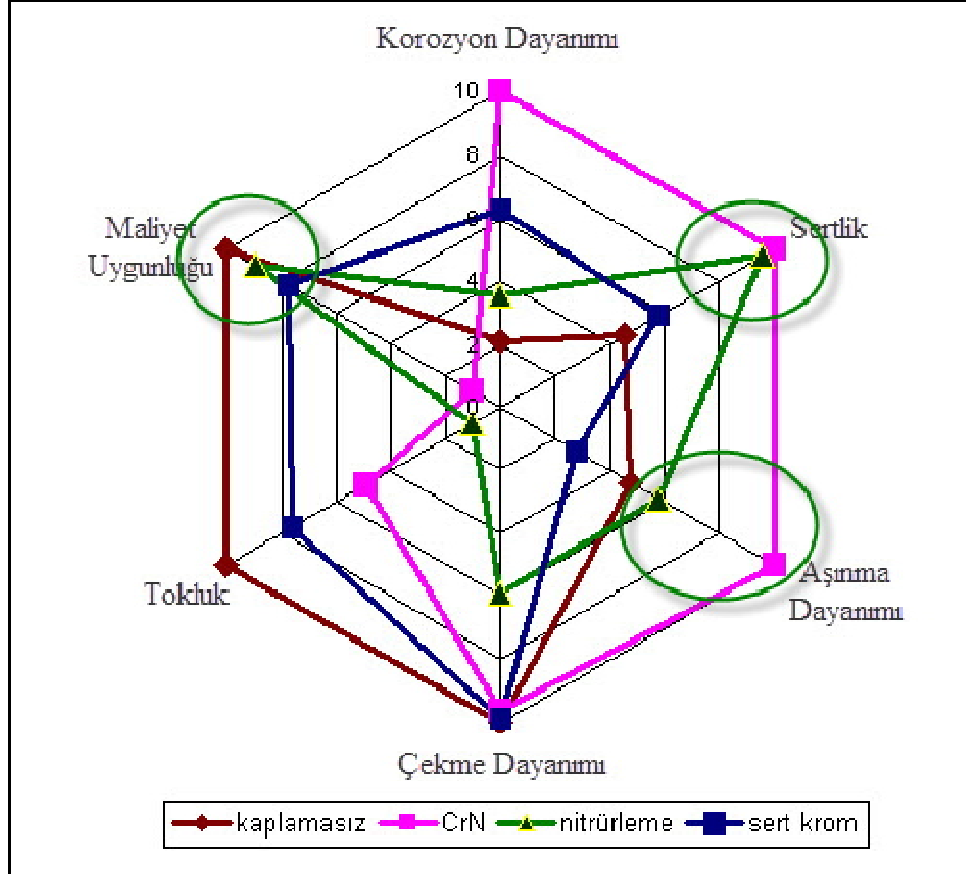


Şekil 6.2 : X40CrMoV5-1 çeliği yüzey işlemlerinin bağıl karşılaştırması

40CrMnNiMo8-6-4 ve X40CrMoV5-1 plastik kalıp çeliklerine uygulanan yüzey işlemleri korozyon dayanımı, sertlik, aşınma dayanımı, çekme dayanımı, tokluk ve maliyetine göre bütün olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir:

1. CrN kaplama aşınma, sertlik ve korozyon dayanımı açısından en iyi yüzey işlemi olarak görülmektedir fakat maliyeti diğer yüzey işlemlerine kıyasla yüksektir.
2. Nitrüleme korozyon dayanımında yüksek bir artış yaratmasada aşınma dayanımında ve sertlikte önemli artış sağlamaktadır ve korozif olmayan durumlarda CrN için düşük maliyetli bir alternatif olmaktadır.
3. PVC gibi korozif malzemelerle çalışılan basit yüzeylerin olduğu kalıplarda maliyet avantajına bağlı olarak sert krom iyi bir alternatif olarak görülmektedir.

Yüzey kaplamalarının bağıl olarak karşılaştırıldığı örümcek ağı diagramları şu şekilde kullanılabilir. Örnek olarak, korozif olmayan bir plastik, kompleks geometrili kısmen aşındırıcı bir formu dolduracaksa ve maliyetin yüksek olmaması önemli bir kriterse Şekil 6.3'teki gibi bir eliminasyon yapılabilir. Bu durumda bizim için gerekli olan özellikleri optimum sağlayan kaplama olarak nitrürleme öne çıkmaktadır.



Şekil 6.3 : Uygun yüzey işlemleri seçim örneği

Bu çalışmada plastik kalıplarında yaygın olarak kullanılan CrN, sert krom ve nitrürleme yüzey işlemleri incelenmiştir. Benzer bir çalışmaya ülkemizin zengin yer altı kaynağı olan bor kullanılarak yapılan ve son zamanlarda plastik enjeksiyon kalıplarında kullanıldığı belirtilen boron karbür (B_4C) kaplama dahil edilebilir. Yine benzer bir çalışmada toz metalurjisi ile üretilen yeni nesil çeliklerin aşınma dayanımları yüzey işlemleri uygulanmış toz metalurji yöntemi ile imal edilmemiş çelikler ile mukayese edilebilir.

KAYNAKLAR

- Ashby, M. F. (2004) Materials Selection in Mechanical Design, *Butterworth Inc.*, Oxford, s. 5
- Askeland, D. R. (1995) The Science and Engineering of Materials, *PWS Publishing Company*, Boston, s. 511-519
- Bennighoff, H. (1988) Beschichten von Werkzeugen, *K. Plast Kautsch*, Zurich, s.13.
- Boehler Brochure (1997), *Boehler Company. Publication*, Dusseldorf.
- De La Puente, M. (2000, Jan. 5), *Products Finishing*, 2000(1): 19-20.
- Dittrich, A. ve Kortmann, W. (1981) Werkstoffauswahl und Obernachenbearbeitung von Kunststoffstählen”, *Thyssen Edelstahl Technical Report*, Dusseldorf, s.190-192
- Gastrow, H. (2002), Injection Molds : 130 Proven Designs, *Carl Hanser Verlag*, Cincinnati, s. 8-10
- Genath, B. (1973, Feb. 7) Die Mikroerosion erzielt hohe Genauigkeiten, *VDI-Nachr.*, No. 6: 17-18
- Jones, P. (2008), The Mould Design Guide, *Smithers Rapra Technology Limited*, Shawbury, s. 321-323
- Konig, W. ve Klocke, E. (1997) Fertigungsverfahren, Vol. 3, *Springer Verlag*, Berlin, s. 78-79
- Kortmann, W. (1985) Vergleichende Betrachtungen der Gebrauchlichsten Oberflächenbehandlungsverfahren, *Thyssen Edelstahl Publication*, Berlin, s.163-199
- Ludwig, J. H. (1982) Werkzeugwerkstoffe Ihre Oberflächenbehandlung, *Verschmutzung und Reinigung*. Munich, s. 72-78
- Malle, K. (1996) Von der HSC-Produktidee zum Bearbeitungszentrum, *VDI-Z*, Aachen, s.138
- Menges, G., Michaeli, W. ve Mohren, P. (2001) How to Make Injection Molds, *Hanser Publishers*, Munich, s. 105-109
- Mennig, G. (1998) Mold Making Handbook, *Carl Hanser Verlag*, Munich, s. 79-80

- Michaeli, W., Greg, H., Kretzschmar, G. ve Ehrig, F. (2001) Training in Injection Molding, *Carl Hanser Verlag*, Munich, s. 1-24
- Onaran, K. (2000) Malzeme Bilimi, **Bilim Teknik Yayınevi**, İstanbul, s.328-341
- Rees, H. (2002) Mold Engineering, *Hanser Gardner Publication*, New York, s. 353
- Rosato, D. V., Rosato D. V. ve Rosato, M. G. (2000) Injection Molding Handbook, *Kluwer Academic Publishers*, London, s. 479-481
- Shackelford, J. F. (2004) Introduction to Materials Science for Engineers, *Prentice Hall International Inc.*, New York, s. 6-7
- Steiner, J. (1986) Senkerodieren von Stahl im Werkzeugbau, *Kunststoffe*, Berlin, s. 1193-1194

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Engin SARIKAYA

Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli, 25.03.1982

Adres: Şirinköy, Denizli

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi