



**ALCRN ESASLI BİR KAPLAMANIN PLASTİK ENJEKSİYON KALIP
ÖMRÜNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Yusuf ASLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yusuf ASLAN
15/05/2022

ALCRN ESASLI BİR KAPLAMANIN PLASTİK ENJEKSİYON KALIP ÖMRÜNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Yusuf ASLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2022

ÖZET

Plastik enjeksiyon kalıplama, ergiyik plastiğin kapalı bir kalıp boşluğuna basınçla doldurulması, kalıp kapalı haldeyken katılaştırılarak, katı ürün olarak kalıptan çıkartılması sürecidir. Özellikle lif veya dolgu malzemesi katkılı plastikler, yüksek aşındırıcı akışkanlardır. Plastik enjeksiyon kalıplarında, dağıtıcı ve kalıp boşluğunun aşınma dayanımı artırmak için farklı yüzey işlemleri (sertleştirme, kaplama vb.) uygulanmaktadır. Kaplama işlemlerinin bir türü olan fiziksel buhar biriktirme (PVD) yönteminde, kaplama kompozisyonu, uygulanma sıcaklığı, kaplama kalınlığı, aşınma direnci, kalıp çeliği, kalıp sertliği gibi etmenler göz önüne alındığında plastik enjeksiyon kalıplarına uygulanabilirliği daha yüksek olmaktadır. PVD kaplama uygulamasıyla kalıp yüzeyinin aşınma dayanımı artırılabilen ve böylece kalıp ömrü uzatılabilmektedir. Bu çalışmada, aşındırıcı etkisi yüksek %30 cam elyaf takviyeli PA6 plastiklerin kalıplanması için kullanılan bir enjeksiyon kalıbına PVD Ark metodu ile AlCrN esaslı kaplama uygulanmıştır. Kaplama işlemi öncesi ve sonrası ile kalıplama sonrasında, kalıp yüzey durumu incelenmiş ve kaplama karakterizasyonu yapılmıştır. Kalıplama sonrasında yapılan kaplama aşınma testlerinde kaplama kalınlığının $3,465\ \mu\text{m}$ ' dan $2,849\ \mu\text{m}$ 'ye düşmüş ve aşınma miktarı $0,6036\ \mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir. Kaplamada gerçekleşen aşınmanın kalıp aşınmasına engel olduğu görülmüş ve PVD kaplama uygulaması ile kalıp ömründe iyileşme sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Plastik enjeksiyon kalıplama, Termoplastik, Matriksili kompozitler, Enjeksiyon kalıplama, Kalıp aşınması, PVD kaplama, Kalıp ömrü

Sayfa Adedi : 50

Danışman : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AN ALCRN-BASED COATING ON PLASTICS INJECTION MOULD LIFE

(M. Sc. Thesis)

Yusuf ASLAN

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2022

ABSTRACT

Plastic injection molding is the process of filling molten plastic with pressure into a closed mold cavity, solidifying it while the mold is closed, and removing it from the mold as a solid product. Molten plastics, especially plastics with fiber or filler additives, are highly corrosive fluids. In plastic injection molds, different surface treatments (hardening, coating, etc.) are applied to increase the abrasion resistance of the dispersant and mold cavity. In the physical vapor deposition (PVD) method, which is a type of coating process, its applicability to plastic injection molds is higher when factors such as coating composition, application temperature, coating thickness, wear resistance, mold steel, mold hardness are taken into account. With the application of PVD coating, the abrasion resistance of the mold surface can be increased and thus the mold life can be extended. In this study, AlCrN-based coating was applied to an injection mold used for molding of 30% glass fiber reinforced PA6 plastics with high abrasive effect by PVD Arc method. Before and after the coating process and after the molding, the surface condition of the mold was examined and the coating characterization was made. In the coating wear tests performed after molding, the coating thickness decreased from 3.465 μm to 2.849 μm and the wear amount was determined as 0.6036 μm . It has been observed that the wear in the coating prevents the mold wear and it has been concluded that the mold life can be improved with the PVD coating application.

Science Code : 91438

Key Words : Plastic injection moulding, Thermoplastics, Matrix composites, Injection, Mould wear, PVD coatings, Mould performance

Page Number : 50

Supervisor : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca kıymetli bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli Danışmanım Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER' e, çalışmamın her aşamasında yanımda olan, desteklerini esirgemeyen ve gösterdiği sabır için Sayın Dr. Şükran KATMER' e, en yakınlarım ve destekçilerim olan kıymetli eşim Tuba KAYA ASLAN ve ilkim Beliz ASLAN' a, beni bugünlere getiren aileme başta annem Feride ASLAN ve babam Ayhan ASLAN' a, tezime yaptıkları destekler için “Ata Kalıp Sanayi ve Ticaret A.Ş.” adına Sayın Serhat DAZKIR' a, çalışmamın temelini oluşturan ve meslek hayatımda her zaman ayrı bir yeri olacak olan Oerlikon Balzers Kaplama Sanayi ve Ticaret Ltd. Şirketine teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLAMA	7
3.1. Plastik Enjeksiyon Kalıplama Süreci	7
3.2. Plastik Enjeksiyon Kalıpları	9
3.2.1. Plastik enjeksiyon kalıplarının kısımları	9
3.2.2. Plastik enjeksiyon kalıp çelikleri	10
3.3. Kalıp Yüzey Durumu Hataları	13
3.3.1. Vakumla şekil değiştirme	14
3.3.2. Yolluk girişinde yüzey bozukluğu	14
3.3.3. Yapışan yolluklar	14
3.3.4. Kalıba yapışma	14
3.3.5. Çarpılma	14
3.3.6. Kurt izleri	15

	Sayfa
4. LİF TAKVİYELİ TERMOPLASTİKLER	17
4.1. Lifler	18
4.2. Karbon Elyaf	18
4.3. Aramid Elyaf	18
4.4. Polyamid 6	19
5. FİZİKSEL BUHAR BİRİKTİRME KAPLAMALAR	21
5.1. PVD Uygulamalarının Sınıflandırılması	22
5.2. Ark PVD Kaplama	24
5.3. PVD Kaplamaların Plastik Proseslerine Etkileri	25
6. MATERYAL VE METOT	27
6.1. Plastik Kalıp Çeliği 1.2738	28
6.2. PVD Kaplama	29
6.3. Kalıplanan Plastik Malzeme	31
7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	33
7.1. Kaplamasız Kalıba Yapılan Testler	33
7.2. Kaplanmış Kalıba Kalıplama Öncesi Yapılan Testler	35
7.3. Kaplanmış Kalıba Kalıplama Sonrası Yapılan Testler	37
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	46
EKLER	48
ÖZGEÇMİŞ	52

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. 2738 malzeme kimyasal bileşenleri	29
Çizelge 6.2. 2738 malzeme ısıtım işlem bilgisi	29
Çizelge 6.3. 2738 malzeme mekanik özellikleri	29
Çizelge 6.4. Balinit Alcrona Pro kaplama özellikleri	30
Çizelge 6.5. PA6/GF30 ve PA6/GF50 malzemelerin bazı özellikleri	31
Çizelge 7.1. Kaplamasız ve kaplamalı kalıptan 70.000 baskı sonrası alınan ürünlerin yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması	43
Çizelge 7.2. Kalıp yüzey pürüzlülüğü ve aşınma sonuçlarının karşılaştırılması	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Plastik enjeksiyon kalıplama çevrimi a) Dolum, b) Ütüleme ve soğutma c) Soğutma ve mal alma d) Kalıbın açılıp ürünün alınması	8
Şekil 3.2. Plastik enjeksiyon kalıbı	9
Şekil 5.1. PVD kaplama kalınlığı	22
Şekil 5.2. PVD uygulama yöntemleri (a) Termal Buharlaştırma (b) Sıçratma (c) Ark ..	23
Şekil 5.3. Ark PVD kaplama	25
Şekil 6.1. Deneysel çalışma sürecinin şematik gösterimi	27
Şekil 6.2. Kaplama yapışma sınıfları	31
Şekil 6.3. Kalıp üzerinde yapılan işlemler süreci	32
Şekil 7.1. Kalıplama Öncesi Kalıp Yüzey Pürüzlülüğü Değeri	33
Şekil 7.2. Kaplamasız aşınmış kalıbın yüzey pürüzlülüğü (a) plastik akış yönüne paralel, (b) plastik akış yönüne dik, (c) kalıp boşluğu merkezinden noktasal ..	35
Şekil 7.3. Kalıplama sonrası kaplamasız kalıp üzerindeki aşınma ölçümü	35
Şekil 7.4. Plastik enjeksiyon kalıbında ki yüzey pürüzlülük değerleri	37
Şekil 7.5. Plastik enjeksiyon kalıbı kalıp boşluğunun yüzey durumu	37
Şekil 7.6. Kalıplama sonrası yüzey pürüzlülük değeri (a)1. Bölge, (b) 2. Bölge	39
Şekil 7.7. Kalıplama sonrası 3D yüzey taraması	40
Şekil 7.8. Kalıplama sonrası kalıp üzerindeki aşınma ölçümü	41

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Plastik enjeksiyon kalıbı dişi plakası	28
Resim 7.1. Kaplama yapışma görseli	36
Resim 7.2. Kalıplama sonrası analiz yapılan bölgeler	38
Resim 7.3. Kalıplama sonrası kaplama yapışma sınıfı	40

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
°C	Celsius Degree
%	Yüzde
Kısaltmalar	Açıklamalar
Al	Alüminyum
AlCrN	Alüminyum Krom Nitrür
AlTiN	Alüminyum Titanyum Nitrür
C	Karbon
Cr	Krom
CrCN	Krom Karbon Nitrür
CrN	Krom Nitrür
DLC	Diamond Like Carbon (Elmas Benzeri Amorf Karbon)
HB	Hardness Brinell (Brinell Sertlik)
HRC	Hardness Rockwell (Rockwell Sertlik)
TiAlSiN	Titanyum Alüminyum Silisyum Nitrür
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Ni	Nikel
PVD	Physical Vapour Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
TiCrN	Titanyum Krom Nitrür
TiN	Titanyum Nitrür
V	Vanadyum

1. GİRİŞ

Plastikler kullanım amacına ve çeşitlerine göre değişik yöntemlerle şekillendirilebilirler. Plastik enjeksiyon kalıplama, plastik parça üretiminde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Enjeksiyonla kalıplamanın en önemli avantajı, karmaşık geometrili parçaların kontrollü bir kalıplama süreciyle, son bir işleme gerek kalmaksızın üretilmesidir. Plastik enjeksiyon kalıplama yönteminde, makinaya bağlanan kalıbın içerisine ergiyik plastik basınçla itilir ve belirli bir süre içerisinde katılaştıran plastik parça dışarıya çıkarılır. Kalıp içerisinde yaşanan bu davranışları daha iyi anlayabilmek için plastik malzemenin özelliklerinin ve kalıp içerisinde ki hareketlerinin bilinmesi gerekir [1]. Üretilen ürünün özellikleri ise kalıp tasarımı, plastik malzeme, kalıplama şartları gibi değişkenlere bağlıdır [1, 2]. Enjeksiyon kalıplama sonrası parça maliyetinde kalıp maliyeti, kullanılacak hammadde maliyeti ve kalıbın çalışacağı makine maliyeti çok önemlidir. Kalıp maliyeti dolayısıyla da kalıp ömrü, diğer üretim şartlarında olduğu gibi en önemli maliyet kalemlerinden biridir. Gerek çıkacak ürünün kalitesi gerekse de kalıp ömrünün mümkün olduğunca uzun olması temel beklentilerin başında gelmektedir [3].

Plastik enjeksiyon kalıpları, maruz kaldığı çok yüksek enjeksiyon basınçlarına ve kalıp kapama kuvvetlerine dayanabilecek düzeyde sağlam olmalı, ve öncesinde belirlenen baskı sayılarını karşılayabilecek kalitede olması gerekmektedir. Kalıbın kaliteli olmasında, her ne kadar kalıbın işlenmesinde ki parametreler ve ısı işleme etkili olsa da en temelinde kalıp malzemesi en büyük etkidir. Yüksek kalıp kalitesi sağlayabilmek için, kaliteyi etkileyen tüm parametrelerin doğru seçilmesi gerekmektedir. En başta hassas bir işleme, doğru bir kalıp tasarımı ve uygun bir kalıp çeliği seçimini yaparak başlanabilir [4].

Doğru seçilen bir kalıp çeliği ve sonrasında yapılacak hassas işleme ile uygulanacak ısı işleme şartları, çoğu zaman kalıptan beklenen beklentiye tek başına karşılayamamaktadır. Kalıbın hammadde ile temasıyla birlikte bilinen tüm ezberler biranda bozularak mevcut yüzey şartları yetersiz kalabilmektedir.

Kalıp malzemesinin ve sonrasında ki yapılan ısı işleme prosesinin yetersiz kaldığı durumlarda kalıp yüzeyine malzemeden bağımsız özellikler sergileyebilecek yüzey çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Malzemeler tek başlarına kendilerinden beklenen bütün

yüzey çözümlerini tekil olarak karşılamayabilmektedir. Yapılacak yüzey işlemleri ürün oluşturmaz; önceden oluşturulmuş bileşenlerin ya da ürünlerin sonraki kullanımı için yüzey özelliklerini geliştirir. Yüzey işlemlerinin en önemli avantajı, göreceli olarak ucuz bir malzemenin, yüzeyine yapılacak işlemlerle yüzey-ortam etkileşimine dayanan mühendislik özelliklerinin, istenilen şekilde değiştirilebilmesidir.

Günümüzde yüzey mühendisliği altında birçok farklı uygulama mevcut olup PVD kaplamalarda bu uygulamalardan biridir. PVD kaplama yönteminin en büyük özelliklerinden biri taban malzemenin mukavemetinde bir değişkenlik yaratmaz. Mükemmel fiziksel, mekaniksel ve metalurjik özelliklerinden dolayı kaplamalar taban malzemesinin üzerine ince seramik bir yapı oluşturarak, doğabilecek olumsuzlukların daha maliyetli olan kalıp çeliğine ulaşmasına engel olmaktadır.

Bu çalışmada, plastik enjeksiyon kalıp yüzeylerinin aşınma direncini artırmak için çelik özellikleri de dikkate alınarak yapılan PVD kaplamanın kalıp ömrüne etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Cam elyaf ile güçlendirilmiş aşındırıcı etkisi yüksek plastik matriksli kompozitlerin kalıplanmasında AlCrN esaslı bir PVD kaplamanın performansa etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kalıplama yüzeyine uygulanacak kaplamanın kalıplanan plastik kompozit malzemenin aşındırıcı etkisine karşı direnci ve kalıp ömrüne etkileri araştırılmıştır ve böylece uzun vadede kalıp maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Geçmiş çalışmalarda farklı çelik tipleri üzerine değişik yüzey işlemleri uygulanmış ve kombinasyonların çelik üzerinde yarattığı yüzey davranışları incelenmiştir. SARIKAYA (2011), yaptığı çalışmada termoplastik malzemelerin kalıplanmasından yaygın olarak tercih edilen 40CrMnNiMo8-6-4 (Malzeme No 1.2738) ve termoset plastik malzemelerin kalıplanmasında yaygın olarak tercih edilen X40CrMoV5-1 (Malzeme No 1.2344) takım çeliklerine krom nitrür (CrN) (PVD), sert krom ve nitrürleme olmak üzere 3 farklı uygulamayı uygulayarak, yapılan bu yüzey işlemlerinin aşınma dayanımını, darbe dayanımını, sertliğini, çekme dayanımını ve korozyon dayanımını gibi özelliklerin nasıl değişime uğradığı deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneyler sonrasında en yüksek mikro sertliği CrN kaplama da ardından nitrürleme uygulamasında ve son olarak ta sert krom kaplama da gözlemlediğini söylemiştir. Aşınma deneyi karşılaştırmasında ise en yüksek aşınma dayanımını CrN kaplamada gözlediğini, sonrasında ise nitrürlemenin en yüksek aşınma dayanımı sağladığını belirtmiştir. Sert krom kaplamanın ise kaplama yapılmayan numunelere kıyasla daha fazla aşındığını belirtmiştir. CrN kaplama ve sert krom kaplamaların, numuneler üzerinde çekme dayanımı ve akma sınırını değiştirmede fakat elastiklik modüllerinde yaşanan artışı gözlemlendiğini belirtmiştir. Nitrürleme uygulamasının, malzeme üzerinde ki çekme dayanımını azalttığı, elastiklik modülünde ise iyileştirme sağladığını ifade edilmiş. Son olarak toklukta ki en fazla düşüş yapılan yüzey işlemlerinden en fazla nitrürleme de gözlenmiş, nitrürlemeden sonra CrN kaplamada gözlenmiş, en ez düşüşün ise sert krom kaplamada gözlemlendiği ifade edilmiştir [5].

Önceki çalışmalarda, aşındırıcı etkisi yüksek bir malzemenin kalıp yüzeyine yapılan iki farklı kaplama ile yüzeyde yarattığı aşınmanın ölçümü hedeflenmiştir. Buna benzer bir çalışmayı; Silva ve diğerleri (2017), cam elyaf takviyeli plastiklerin enjeksiyonu için kalıpların aşınma direncinin arttırılmasını incelemiştir. Elyaf takviyeli plastiklerin enjeksiyonla kalıplanması sırasında cam elyafın kalıp yüzeyinde ki aşındırıcı etkisini azaltmak için iki farklı PVD kaplama (TiAlSiN ve CrN/CrCN/DLC) ile çalışma yapılmış ve iki farklı kaplamanın da kaplamasız kalıba nazaran kalıp yüzeyine çok daha fazla aşınma dayanımı kazandırdığı sonucuna ulaşılmıştır [6].

Farklı teknolojilere sahip kaplama çözümlerinin beraber kombine edilmiş halleri de önceki çalışmalar da kendine yer bulmuş ve dubleks yüzeyler de ki korozyon dirençleri karşılaştırılmıştır. Vencovsky ve diğerleri, (1998), bir çalışmalarında, plastik enjeksiyon çeliklerinde tek başına yeterli korozyon direnci sağlamayan CrN (PVD) kaplama öncesinde yüzeye uygulanan akımsız nikel kaplama ile birlikte CrN kaplamanın korozyon direncinin arttığını rapor etmişlerdir. Yani akımsız nikel kaplama üzerine yapılan CrN kaplamanın korozyon direnci, sadece CrN kaplamaya nazaran daha üstün korozyon dayanımı göstermiştir [7].

Litaratürde PVD kaplamalı kalıpların sert krom yöntemi ile kaplanmış kalıplara karşılık yüzey durumlarının daha iyi sonuç verdiği ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu yönde bir çalışmayı; D'Avico ve diğerleri, (2018), yaptıkları çalışmada AlTiN ve TiN bazlı kaplamaların plastik kalıplarında ki uygulamalarını araştırmışlardır. Çalışmada sert krom kaplamalara nazaran üstün özelliklerinden, bu kaplamaların korozyon ve yüzey dayanım özelliklerinden bahsedilmiştir. Bu kaplamaların sertlikleri, kritik yük altındaki davranışları ve yapışma eğilimleri incelenmiştir. Titanyum esaslı kaplamalar, yüksek korozyon direnci ve dikkat çekici yüzey özellikleri arasında en iyi performansı gösterdiği, onları plastik ve kauçuk kalıplamadaki belirli uygulamalar için umut verici bir seçim haline getirdiğinden söz edilmiştir. Mevcut çalışmada incelenen TiN kaplamanın, yüksek lokalize yüklerin ve sürünmelerin beklendiği uygulamalarda tercih edilebilirliğinden bahsedilmiştir. TiN kaplama, test edilen çözeltilerde üstün korozyon direnci ile bağlantılı sertlik, pürüzlülük ve yapışma ile ilgili uygun mekanik özellikler sergilemiştir. [8].

Farklı yüzey işlemleri ile ilgili çalışmalar biraz daha detaylandırılmış ve farklı kimyasal içeriğe sahip PVD kaplamalar ile farklı proseslere tabi tutulmuş diğer yüzey işlemleri beraber değerlendirilmiştir. Özellikle PVD kaplamanın dışında ki diğer yüzey işlemlerinin de olduğu bir çalışma; Cunha ve diğerleri, (2000) tarafından yapılmıştır. Çalışma da tek katmanlı titanyum nitrür (TiN) ve çok katmanlı titanyum krom nitrür (TiCrN) kaplamaların diğer yüzey işlemlerine (ısıl işlem, sert krom kaplama, nitrüleme) karşılık plastik enjeksiyon kalıplarında ki özellikleri deney ortamında incelenmiş ve PVD kaplamaların diğer yüzey işlemlerine nazaran aşınma ve korozyon direncinin daha iyi olduğu şeklinde tespit etmişlerdir [9].

Farklı PVD yöntemleri ile farklı kimyasal içeriğe sahip kaplamalarla kaplanmış değişik altyapıda ki kalıpların korozyon ve aşınma dirençleri ile ilgili de literatürde çalışmalar mevcut. Bir çalışmada; Deflorian ve diğerleri, (2007) arc ve magnetron metodu olmak üzere farklı iki tip PVD teknolojisi ile kaplanmış polimerik enjeksiyon kalıplarında ki korozyon ve aşınma davranışlarını incelemişler. Çelik alt yüzeylerde arc metodu ile yapılan ZrN kaplama ve sıçratma yöntemi ile yapılan CrN kaplamaların korozyon dirençlerinin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bakır alaşımlı yüzeylerde ise magnetron yöntemi ile yapılan CrN kaplamanın daha düşük sıcaklıklarda arc yöntemi ile yapılan kaplamalara nazaran daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir [10].

Literatürde yapılan çalışmalardan birinde; Golabczak ve diğerleri, (2013) plastik kalıplarında hareketli parçaların yağ kullanılmadığında yarattıkları sıkışma ve mikro kaynak oluşumunu önlemek için PVD yöntemiyle yapılan TiC+a-C:H kaplamanın avantajları gözlemlenmiştir. TiC+a-C:H kaplamaların sürtünme katsayıları ve aşınma dirençleri incelenmiştir. TiC+a-C:H kaplamalı kalıpların sürtünme katsayısı ve aşınma direnci gibi tribolojik özelliklerinin kaplamasız çeliğe nazaran çok daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [11].

Kalıplanmış parçaların kalıptan ayrılırken yarattığı deformasyonu azaltmak ya da önlemek amaçlı yapılmış çalışmalardan birinde; Hopmann ve diğerleri, (2015) özellikle Krom (Cr) esaslı kaplamaların, eriyik plastiklerin yapışması konusunda bir gelişme gösterdiği gözlemlenmiş ve bu nedenle yaptığı deneylerde CrAlN kimyasal içeriğine sahip kaplamaları tercih etmiştir. PVD kaplamalı kalıpların, kırılğan polimer malzemelerin başarılı bir şekilde kalıplanmasını ve kalıptan çıkarılmasını sağladığı gözlemlenmiştir [12].

Cam elyaf takviyeli kompozitlerin enjeksiyon kalıplarında ciddi aşınmaya sebep verdiği bilinmektedir. Kalıp üzerinde ki bu aşınmayı önlemek amaçlı yapılan çalışmalardan birinde; Silva ve diğerleri, (2013) çok katmanlı PVD kaplamanın kalıp yüzeyinde ki aşınma davranışları incelemişlerdir. Bu deneyde altta CrN, ara katman olarak CrCN ve üstte DLC (elmas benzeri amorf karbon) olmak üzere 3 farklı katmandan oluşan bir PVD kaplama uygulanmıştır [13]. Bu deneyde 135.000 baskı sonrası kaplamasız kalıba nazaran aşınma direncinin 58.2 kat daha iyi olduğu rapor edilmiştir.

Literatürde plastik eriyiğin kalıba verdiği zararı önlemek amaçlı yapılan kaplama çalışmalarına örnek olarak; M. Heinze, (1997) PVD ve CVD kaplamalı kalıplarda ki aşınma direncini incelemiştir. Sert kaplamalar diye tabir edilen PVD ve CVD kaplamaların

aşındırıcı etkisi yüksek malzemelerin plastik proseslerinde ki yarattığı aşınma etkisini azaltmada önemli rol oynadığı gözlemlenmiştir. Plastik proseslerinde sert kaplamaların aşınma korumasının, eriyiğin aşınma yoğunluğuna bağlı olduğu belirtilmiştir [14].

Plastik kalıplarında ki hareketli parçaların yarattığı aşınmalar ile ilgili literatürde yapılan çalışmalardan birinde; Jacquet ve diğerleri (2012) farklı yüzey işlemlerinin kalıp yüzeyindeki sürtünme katsayısı, sertlik, mikro yapısı ve yüzey yapısı ve tribolojik aşınma davranışlarını incelemiştir. Kalıp yüzeylerine tuz nitrüleme, tuz nitrüleme sonrası oksidasyon, düşük basınçlı nitrüleme ve plazma nitrasyon gibi çeşitli yüzey çözümleri uygulanmış ve bunların dışında PVD yöntemi ile WC-C içeriğine sahip kaplamada uygulanmıştır. Sürtünmeler için PVD kaplama ve nitrüleme benzer sonuçları verse de yüzey pürüzlülüğü anlamında nitrüleme prosesleri PVD kaplamadan 15 kat daha pürüzlü bir yapıya sebebiyet vermiştir. Çalışmayı aşınma davranışları ile desteklemenin gerekliliği gözlemlenmiştir [15].

Plastik kalıp endüstrisindeki tribolojik problemlerin genellikle uygun bir yüzey işlemi ile çözülebileceği Danimarka Teknoloji Enstitüsü'ndeki DTI Triboloji Merkezi tarafından söylenmiş ve PVD gibi düşük sıcaklık teknolojilerini kullanarak kalıp parçalarının performansının sık sık ve başarılı bir şekilde iyileştirildiği deneyimlenmiştir [16].

Kalıp parçalarının performansının geliştirilmesine yönelik bir çalışmada; Bienk ve arkadaşları (1997) çoğunlukla ion implantasyonu ve dengesiz magnetron püskürtme yöntemi ile yapılan PVD gibi düşük sıcaklık teknolojilerini kullanarak kalıp parçalarının performansını iyileştirildiğini belirtmişlerdir. Farklı tribolojik özellikler karşısında farklı kaplama çözümlerinin olabileceğini vurgulamışlardır. Yaptığı deneylerde CrN kaplamanın korozyon direncinin TiN kaplamaya nazaran daha iyi olduğunu fakat CrN kaplamanın da yapışma eğiliminin TiN kaplama nazaran daha alt seviyede olduğunu gözlemlemiştir [17].

3. PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLAMA

3.1. Plastik Enjeksiyon Kalıplama Süreci

Plastik hammaddenin, yüksek sıcaklık altında ergitilmesi ve belirlenen kalıp içerisine doldurulması ile gerçekleştirilen üretim yönteminin adına plastik enjeksiyon kalıplama adı verilir. Bu metot endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde kullandığımız bir çok parça ve aparat plastik enjeksiyon kalıplama kullanılarak üretilmektedir. Plastik enjeksiyon kalıplama yönteminin geçmişine baktığımızda, bu işlemin 1900’lü yılların başından beri uygulandığı ve plastik enjeksiyon makinelerinde gerçekleştiğini görmekteyiz. Bugün gelinen noktada ise plastik enjeksiyon makineleri, son teknoloji ile donatılmış bilgisayar sistemleri ile koordineli çalışıp en son teknolojiler tercih edilip üretim gerçekleştirir. Enjeksiyon makinelerini oluşturan kısımlar genellikle mengene ünitesi, yumuşatma ve enjeksiyon ünitesi ile kontrol ünitesidir. Kalıp, makinenin mengene ünitesine sabitlenerek çalışan ancak makinenin doğrudan parçası olmayan bir aygıttır.

Kalıbı tamamen doldurup, tutma basıncı ile stabil hale getirilen eriyik hammaddenin, kalıpta sertleşmesi işlemi soğutma işlemi ile gerçekleştirilir. Plastik enjeksiyon uygulamasının son aşaması olan soğutmadan sonra ürün kalıptan çıkarılarak kullanıma sunulabilir. Genellikle üretici firmalar, hazır hale gelmiş ürün üzerinde çapak alma, düzeltme gibi işlemler uygulayarak, talep edilen ürünün hatasız ve kusursuz olarak teslim edilmesine özen göstermektedir [18].

Günümüzde artan teknolojik altyapı ile birlikte plastik enjeksiyon uygulamaları buna paralel olarak farklı işlemlere olanak sağlamaktadır.

Bir enjeksiyon kalıplama sisteminin temel adımları;

- Kalıbın kapanması
- Ergimiş veya yumuşatılmış plastiğin kalıp boşluğuna enjekte edilmesi
- Plastik soğuyup kalıptan çıkmaya hazır olana kadar kalıbın kapalı tutulması
- Kalıbın açılması ve
- Bitmiş ürünün kalıptan alınması.

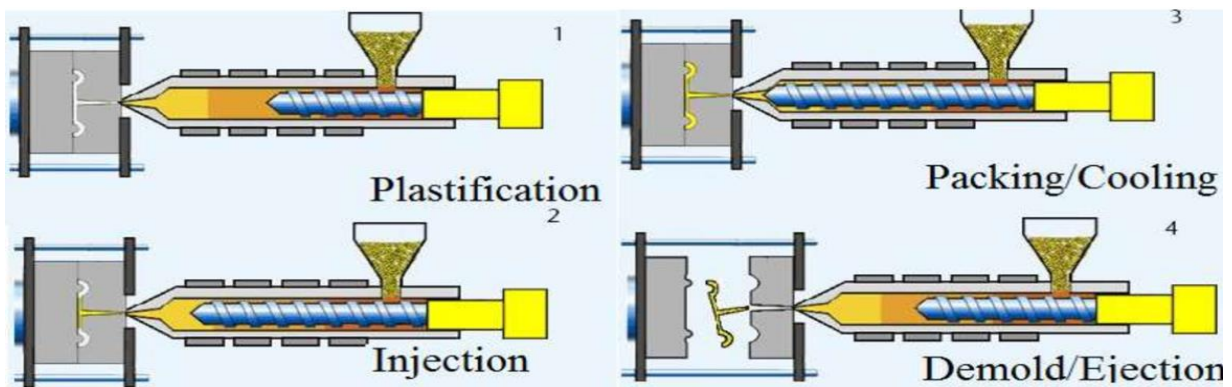
Plastik enjeksiyon kalıplama çevriminin adımları şematik olarak Şekil 3.1’de verilmiştir [19].

Herhangi bir malzeme için başarılı bir kalıplama işlemi; malzeme seçimi ve kalıp tasarımı ile birlikte enjeksiyon parametrelerini doğru ayarlamakla mümkündür. Ekonomik bakış açısına göre kalıplamada amaç, her parçanın, yüksek kalitede ve kısa süreli bir kalıplama çevriminde üretilmesidir. Kalıplama çevriminin üç temel aşaması bulunur: Dolum, ütüleme ve soğutma [19].

Dolum: Plastik malzemenin sıcaklığı, akabileceği noktaya kadar basınç altında yükseltilir. Bu işlemde, enjeksiyon kalıplama presinin silindiri içinde pistonlu vida ile katı halde bulunan granüller eriyik haline gelene kadar ısıtılır. Sıcaklık ve viskozite değeri her noktada aynı değere sahip olana kadar ısıtılmaya devam edilir ve karıştırılır. Bu safhada son olarak, eriyik hammadde basınç altında, şeklini alması istenen kalıp boşluğuna enjekte edilir. (Şekil 3.1a) [19].

Ütüleme: Kalıp boşluğunun doldurulması sonrasında, soğuma nedeniyle malzemede çekme (büzülme) meydana gelir. Oluşan hacim kaybı ise ütüleme safhası için ayrılan malzeme enjekte edilerek tamamlanır. Bu safha ütüleme olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.1b) [19].

Soğutma ve kalıptan çıkartma: Ütüleme safhası sonrasında, ürün kalıptan çıkma sıcaklığına kadar soğutulur. Herhangi bir enjeksiyon kalıplama çevriminde soğutma süresi toplam çevrim süresinin %70 ini tutar. Gerçekte soğutma safhası, malzemenin enjeksiyonunun hemen ardından başlar enjeksiyon, ütüleme ve tutma safhalarını kapsar. Son olarak kalıp açılır, sıcaklık ve basınç altında kalıp boşluğu şeklini almış olan parça kalıptan dışarı alınır (Şekil 3.1c ve Şekil 3.1d) [19].



Şekil 3.1. Plastik enjeksiyon kalıplama çevrimi 1) Dolum, 2) Ütüleme ve soğutma
3) Soğutma ve mal alma 4) Kalıbın açılıp ürünün alınması [19]

Dişi ve erkek plakalar: Dişi ve erkek plakalar kendi içlerinde bazı parçalara ayrılmaktadır. Plakaların parça geometrisinin işlendiği bölüm, kalıp çekirdeği ve erkek çelik/dişi çelik denilerek ana taşıyıcı plaka ile yekpare yapılmayabilir. Ana taşıyıcı plaka ile yekpare yapılmayışının en büyük nedeni maliyetleri düşürmek içindir. Sebebi ise parça geometrisinin işlendiği kalıp çekirdekleri yüksek alaşımlı çeliklerdir. Bundan dolayı büyük ölçülerde bir yüksek alaşımlı çelik kullanmaktansa daha küçük ölçülerde kullanılarak maliyetin önüne geçilir. Böyle kalıplarda geometrinin işlendiği parçaya erkek/dişi çekirdek(çelik) denir, taşıyıcı plakaya da erkek/dişi hamil denir.

Üst bağlama plakası: Üst bağlama plakası dişi hamil ile enjeksiyon tablasının arasında kalmaktadır. Kalıbın dişi tarafına enjeksiyon makinasında bu plaka yardımıyla bağlanır. Üst plaka ile enjeksiyon tablası arasında ısı yalıtım plakası konduğu kalıplar genellikle sıcak yolluklu kalıplardır.

Alt bağlama plakası: Kalıbın erkek tarafının makine tablasına bağlanan plakasıdır.

Paraleller: Erkek hamilin iki yanında bulunan kalıp elemanlarıdır. Takozların ve itici plakaların arasında çalışırlar. Kalıptan parçanın ne kadar itileceğini takozların yükseklikleri belirler.

Destek plakası: Destek plakası kalıbın erkek hamilinin altına konulur. İtici plakalarının çalışma boşluğu erkek hamilin altına gelir. Kalıpta bu bölge deformasyona uğrayabilir. Bu aşınmayı azaltmak için değişik kalınlıklarda kalıp elemanı kullanılabilir.

Silindirik takozlar: Erkek hamilin altındaki bulunan, basınçlar karşında hamili deforme olmaya maruz bırakan itici plakalarının çalışma boşluklarına yerleştirilir [20].

Geri itme pimi: İtici pimlerin kalıp çukurundaki malzemeyi dışarıya attıktan sonra kalıbın kapanması anında tekrar itici pim grubunun eski konumuna gelmesini sağlayan pimlerdir.

3.2.2. Plastik enjeksiyon kalıp çelikleri

Plastik malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan plastik kalıp çeliklerinin diğer takım çeliklerinden ayırt edici özelliklerinin başında korozyon dayanımlarının daha yüksek olması,

parlatılabilirliklerinin diğer takım çeliklerinden daha iyi olması ve desen alma kabiliyetlerinin aynı şekilde daha yüksek olmasıdır. Plastik kalıp çelikleri; mangan, vanadyum, molibden, krom, nikel ve alüminyum gibi alaşım elementleri içeren takım çelikleridir. Bu çelikler yoğun olarak plastiklerin enjeksiyon, ekstrüzyon, şişirme ve presleme teknikleriyle üretilmesinde kullanılırlar. Bu çeliklerde genellikle karbon oranı ve diğer alaşım elementleri miktarı diğer takım çeliklerine nazaran daha düşüktür. Kullanılan plastik hammaddenin cinsine göre kalıp çelikleri çeşitli etkilere maruz kalır, bu nedenle de şekillendirilen plastik malzemeye uygun plastik kalıp çeliği seçilmelidir [21].

Genel olarak plastik kalıp çeliklerinden beklenen özellikleri:

- Kolay parlatılabilirlik ve desen alma kabiliyetinin olması
- Yüksek korozyon direnci
- Aşınma direncinin ve mukavemetinin yüksek olması
- Sertleşebilirlik özelliklerinin iyi olması
- Tokluğunun yüksek olması
- Yüzey sertlik değerinin yüksek olması
- Kaynak edilebilirlik özelliğinin bulunması
- Boyutsal kararlılıktır.

Plastik kalıp çelikleri yaygın olarak ön sertleştirilmiş halde kullanılırlar. Takım çeliklerinin normal teslim sertliği 190-250HB aralığında değişirken, plastik kalıp çeliği olarak ta kullanılan ön sertleştirilmiş çeliklerde ise 400HB sertliğe kadar çıkabilmektedir. Isıl işlem sonrası gerçekleşebilecek boyutsal değişimin ya da çarpılmanın önüne geçmek en büyük nedenidir. Bu çelikler işlendikten sonra tekrar ısıl işleme gerek kalmaksızın kullanılabilirler [21]. Korozyon dayanımı yüksek çelikler, plastik kalıp çeliklerinde de talep edildiği için paslanmaz kalıp çelikleri geliştirilmiştir. Bu çelikler yüksek krom (Cr) (%12 – %18) ihtiva edebilir. Aynı zamanda bu çelikler yüksek korozyon dayanımı hem de yüksek parlatılabilirlik özelliği gösterirler [21]. Uygulamalarda yaygın kullanılan plastik kalıp çeliklerinden bazılarının özellikleri aşağıda sunulmuştur.

DIN 1.2738

Ön sertleştirilmiş (280-325 HB) ve menevişleme prosesi uygulanmış plastik kalıp çeliğidir. CrMnMoCSi alaşımına ilave olarak %1 nikel elementi içeren, nikel (Ni) ilavesi sebebiyle

400mm'den kalın boyutlarda malzemenin çekirdeğine kadar sertlik azalması olmayan ve mükemmel parlayabilen, nitrasyon, kaynak, desenlenme yapılmaya ve krom kaplamaya uygun, kolay işlenebilen, ısıtılma işlem gerektirmeyen bir malzemedir. Yüksek yüzey parlaklığı beklenen bütün boyutlarda ve büyük boyutlu 400 mm'den daha kalın plastik enjeksiyon kalıplarında, basınçlı döküm endüstrisi ve plastik enjeksiyon kalıplarının kalıp kasaları ve hamillerinde, yüksek gerilime maruz kalan büyük boyutlu plastik kalıplarında ve kauçuk kalıplarında kullanılır [22].

DIN 1.2083

Korozyona dayanımı yüksek olan paslanmaz plastik kalıp çeliğidir. Yüksek krom içeriğine sahip olduğu için korozyon dayanımı yüksektir. Kalıntı içermeyen kimyasal yapısı sayesinde parlatılabilme özelliği mükemmeldir. Parlak kalıp yüzeyleri, (görsel ve şeffaf plastik ürünleri için önemlidir.) Termal şoklara ve darbelere karşı tokluğu yüksektir. Temperleme işlemi esnasında sertlik düşüşüne karşı minimum direnç gösterir. Isıl işlem sonrası maksimum 56 HRC değerine karşı sertleştirilebilir. Korozyon etkisi olan plastiklerde kalıp olarak kullanılır [22].

DIN 1.2316

32 HRC teslim sertliğinde ve işlenebilirliği yüksek olan bir çeliktir. Karmaşık şekilli kasa kalıplarında ve sert plastik hammadde ile üretilen boru profil kalıplarında tercih edilir. Plastik kapı pencere sektöründe yoğun olarak kullanılan bu alaşımın krom oranı %17 civarındadır. İçerdiği molibden alaşımı sayesinde aşınma dayanımı çok üstün ve nikel muhteviyatı ile de sertleşme kabiliyeti iyi bir çeliktir [22].

DIN 1.2311

Ön sertleştirilmiş (280-325 HB) plastik kalıp çeliğidir. Aşınma direnci ve tokluğu iyidir. İşlenebilirlik özelliği kolay olup nitrasyon yapılarak aşınma direncinde artış sağlanabilir. Desenlemeye uygun olup parlatılabilirliği 1.2312 kaliteden daha iyidir. Yüzeyden çekirdeğe inildikçe sertlikte azalma görülür. Krom ve nikel kaplamaya uygundur. 28 HRC teslim sertliği ile daha çok büyük ebatlı kalıplarda tercih edilir. Kalıp destek plakaları ,makine

gövdeleri, taşıyıcı mührelerde de tercih edilmektedir. Tonaj oranında en çok kullanılan plastik kalıp çeliğidir ve büyük ebatlarda stok sirkülasyonu olan bir alaşımdır [22].

DIN 1.2312

Ön sertleştirilmiş (290-325 HB yani 31-35 HRC) plastik kalıp çeliğidir. İçerisindeki S içeriği ile çok iyi işlenebilme özelliği gösterir ve sertleşebilirliği yüksek çeliktir. 1.2311 gibi parlaklık özelliği yine çok iyidir. Mükemmel parlaklık istendiğinde ise 1.2738 kullanılmalıdır. İyi tokluk ve aşınma direncine sahip, nitrasyon kabiliyeti olan çeliktir. Parlatılma işlemine ve krom kaplamaya uygun değildir. Üst kalite parlaklık gerektirmeyen orta ve büyük boyutlu plastik enjeksiyon kalıplarında, basınçlı döküm ve plastik enjeksiyon kalıp bağlantı parçalarında, ekstrüzyon preslerinin kovanlarında, otomotiv ve gıda endüstrisi için plastik kalıplarında kullanım alanına sahiptir [22].

DIN 1.1730

Özel normalize işleminden geçmiş sertleştirilebilir çeliktir. Plastik kalıplarda kalıp hamili olarak kullanılır. Ayrıca minimum yüzey kalitesinin istendiği şişirme kalıplarında kullanılır. C 45 imalat çeliğine göre daha homojen sertlik ve mikroyapı dağılımına sahiptir [22].

DIN 1.2764

Yüksek aşınma dayanımı ve parlaklık elde edilebilen plastik kalıp çeliğidir. Sementasyonla sertleştirilen aşındırıcı plastik kalıpları ve yüksek basınçtaki plastik kalıplarında kullanılır [22].

3.3. Kalıp Yüzey Durumu Hataları

Plastik enjeksiyon kalıplama sürecinde plastik parçalarda, makine, kalıp veya proses şartlarından kaynaklı hatalar olabilmektedir. Bu bölümde, tez çalışmasının kapsamı itibarıyla yalnızca kalıp yüzey durumu nedeniyle oluşabilen hatalar ele alınmıştır.

3.3.1. Vakumla şekil değiştirme

Eriyik malzemenin ilk boşaltması esnasında oluşan çekme yada vakum ile parçanın şekli değişebilir. Bunun da temel sebebi parça için çok yumuşak kalan itici tarafında ki hava basıncıdır. Soğutma üniteleri kontrol edilmelidir. Havalandırmanın kalitesi artırılırsa bu problemin önüne geçilebilir.

3.3.2. Yolluk girişinde yüzey bozukluğu

Giriş yakınındaki bir bölgede görülen yüzey bozukluğu olarak tanımlanabilir. Görülen yüzey bozukluğunun çevresinde mikro jetting oluşması buna sebebiyet verebilir. Bu bölgelerin polisaj yapılması ile bu hata giderilebilir. Çok aşındırıcı malzeme ile kalıplamada genelde görülebilir. Girişin derin olmayacak şekilde daha geniş yapılması bu hatayı önleyecektir.

3.3.3. Yapışan yolluklar

Kalıplama sonrası, açılan kalıpta dağıtıcı kendi sisteminden ayrılıp kopuyorsa bu hata gerçekteşir. Kalıp boşluğuna yapışma eğilimi gösteren dağıtıcı sistemleri buna sebebiyet verebilir. Dağıtıcı sisteminde yapılacak değişiklikler ile önlenebilir. Bu değişiklikler; giriş derinliğinin artırılması olabilir. Nozül sıcaklıkları da kontrol edilmeli ve düşük ise artırılmalıdır.

3.3.4. Kalıba yapışma

Kalıplanan malzeme kalıba yapışmıştır. Eğer iticiler görevini gerçekteştirmemiş ise parça iticileri olmadığı tarafta kalmıştır. İlk kontrol edilmesi gereken ütüleme basıncıdır. Büyük ölçüde hatanın önüne geçilmiş olacaktır.

3.3.5. Çarpılma

Kalıplanmış parça beklentinin dışında ve çarpılmıştır. İ gerilmelerden dolayı parçanın şeklinde değişiklik olmuştur. Temel sebebi girişler ile alakalıdır. Giriş yerinin doğru seçilmesi ve dağıtıcı sistem tasarımı doğru olması ile bu hata önlenebilir. Parçada ki gerilmeler soğuma zamanı geçtikçe azalmaya başlar ve durur.

3.3.6. Kurt izleri

İlk baskı sonucu parçanın üzerinde ki yüzeyde diş macunu andıran bir yüzey oluşur. Yüksek hızda olan malzeme aynı hız ile kalıp boşluğuna girer. Bir taraftan kalıbı olabildiğince hızlı doldurmak istenirken bu vaziyet eriyik malzemenin düzensiz bir şekilde kalıp boşluğunda hareket etmesine sebep olur. Önleme amaçlı ölçeklendirilmiş bir giriş ile akış karşısında bir direnç sağlanabilir.

4. LİF TAKVİYELİ TERMOPLASTİKLER

Elyaf takviyeli kompozitler en yaygın kompozit malzeme türüdür. Bu kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak ilk sırayı cam alır. Lif takviyeli kompozit malzemeler takviye elemanlarının şekillerine göre aşağıdaki gibi tasnif edilirler [23].

- a. Sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemeler
- b. Süreksiz(kesikli) elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Kompozitlerde yükü büyük oranda lifler taşır. Kompozit malzemenin mukavemeti elyaf yerleşim eksenini doğrultusunda maksimum değere ulaşmaktadır. Yükleme doğrultusunda yapılan sürekli elyaf takviyesi, matris malzemenin özelliklerini oldukça aşan özellikler ile sonuçlanmaktadır. Aynı elyaf kısa ve süreksiz hale getirildiğinde kompozit önceki duruma göre daha düşük mukavemet sergiler [23].

Polimerik matrisli kompozitler (PMC), birçok mühendislik uygulamasında tercih edilmektedir. Özgül ağırlık, darbe sönümlene kabiliyetleri ve aşınma dayanımı gibi etmenler, bu malzemeleri ekseriyetle havacılık endüstrisi, inşaat mühendisliği, otomobil sanayisi için oldukça cazip kılmaktadır. Uygulamaların birçoğunda parçalar dinamik yükleme koşullarına maruz kalmaktadır.

Sıklıkla kullanılan takviye elemanlarından bazıları şunlardır;

- Sürekli karbon elyaf, cam elyaf, aramid elyaf
- Dokuma kumaş
- Üç boyutlu kumaş
- Kesikli elyaf
- Dokuma veya örme yapıda üç boyutlu ön şekillendirme yapılmış parçalardır.

En fazla kullanılan takviye elemanları aramid, karbon ve cam elyaflarıdır [23].

4.1. Lifler

Cam elyaflı polimer, kompozit sistemlerde geniş kullanım alanına sahiptir. Günümüzde termoset reçinelerle birlikte kullanılan takviye fazının yarısından fazlası cam elyaftır. Cam elyafların temel maddesi silikadır. Elyaf içinde SiO_2 şeklinde bulunur. Cam elyafların önde gelen avantajları, düşük maliyetli oluşu, yüksek gerilim mukavemeti, yüksek kimyasal direnci ve üstün yalıtma özellikleridir. Dezavantajları ise düşük elastisite modülü, yüksek

yoğunluğu, kullanım sırasında aşınmaya duyarlı olması, düşük yorulma direnci ve sertlikleridir. Cam elyaf, aramid ve karbon liflere oranla daha düşük maliyetlidirler. En çok kullanılan türleri E-cam, S-cam ve S2-camdır. Cam lifleri, camın yapısında yer alan üç boyutlu ağlardan dolayı diğer takviye elyaflarından farklı olarak izotropik yapıya sahiptir. Cam lifleri kayık, yarış botları, helikopter kanatları, otomobil panelleri ve sıvı tanklarının üretiminde yaygın bir şekilde kullanılır [23].

4.2. Karbon Elyaf

Karbon elyafları çeliklere göre oldukça düşük yoğunluktadır. Genellikle epoksi reçineleri ve polyester matrisin içinde takviye olarak kullanılır. Karbon elyaf, içerisinde en az %92 karbon içeren bir yapıya sahiptir. Karbon elyaflarının ağırlıklarına oranla mukavemet ve elastikiyet modülleri çok yüksektir. Sıcaklığa maruz kaldığında boyutsal kararlılık, yüksek yorulma dayanımı, yüksek erime noktası avantajları arasında yer almaktadır. Fakat ani darbeye karşı duyarlıdırlar. Karbon elyaf takviyeleri uzay ve havacılık sektöründe, roket ve uydü yapımında kullanılırlar [23].

4.3. Aramid Elyaf

Aramidlere benzen halkaları içeren aromatik poliamidler de denilir. Aromatik yapıları zincirin rijitliğini artırdığı için kolayca erimezler, erime sıcaklıkları 500 C'nin üzerindedir. Aşınmaya karşı yüksek direnci olan aramid lifleri bugün uçak sanayisinde, yüksek performanslı kayış ve halat üretiminde, yüksek basınca maruz kalan boruların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [23].

4.4. Polyamid 6

Poliamidler mühendislik plastiklerinin en önemli gruplarından birini oluşturur. PA6 malzeme yüksek mol kütlesine ve kristalliğe sahip, nem aktivitesi düşük sentetik bir termoplastiktir. Mekanik ve fiziksel özellikleri açısından naylon türleri arasında en iyi olanıdır. Çeşitli viskozite değerlerinde, cam elyaf ve benzeri elyaflar ile kuvvetlendirilmiş, kauçuklu, ısıl dayanımı yüksek, mineral dolgulu ve alev geciktiricili, UV dayanımlı olmak üzere çok geniş bir ürün çeşitliliği bulunmaktadır [24].

- » Dolgusuz
- » Cam Elyaf Katkılı
- » Cam Bilye Katkılı
- » Mineral (Talk-Kalsit) Katkılı
- » Yanmaz (V0-V1-V2) Katkılı
- » UV-Antioksidan-Antistatik Katkılı

Mükemmel sertlik ve tokluk dengesine ve ısıl deformasyona karşı direnç özelliklerine sahiptir. Yatak, dişli, aşınma plakaları, yatak segmanları gibi parçaların yapımına uygun olup çelik, bronz, pirinç yerine gereken durumlarda tercih edilir. Düşük ve normal kayma hızlarında toz, kum vb. aşındırıcı ortamlarda çalışma ömrü bronz, döküm, demir ve çelikten 2 ila 10 kat daha fazladır. Kolay işlenebilir özelliktedir. Düşük nemde ve sıcaklıkta makul oranlarda elektrik yalıtkanlığı özelliği vardır. Yağlara, motor yakıtlarına, hidrolik sıvılara, temizleyici kimyasallara, alifatik ve aromatik hidrokarbonlara dayanıklıdır. Ancak sulandırılmış mineral aside karşı dayanıklı değildir. Alkol, ester ve ketonlara dirençlidir. Formik asit, sülfürik asit gibi asitlere ve oksidasyonlu maddelerin çözeltilerine direnç gösteremez ve tamamen çözülür [24].

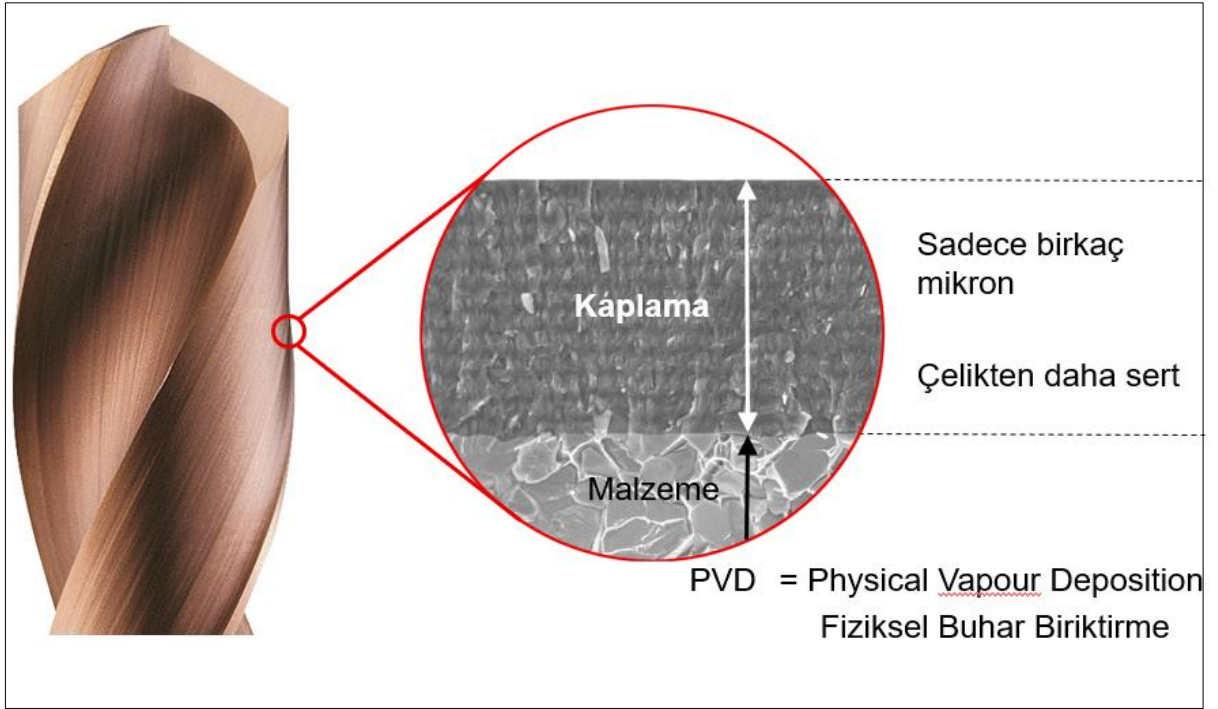
5. FİZİKSEL BUHAR BİRİKTİRME KAPLAMALAR

Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) yöntemi çok yüksek sıcaklıkta ve atmosferik vakum altında katı halde bulundurulmuş kaplama hammaddesinin yüzeyindeki atomların buharlaştırılarak sıvı faza geçmeden direk gaz fazına geçirilerek, kaplama yapılacak yüzeyde tek tek atomik veya iyonik bileşikler şeklinde biriktirilmesi esasına dayanmaktadır.

Her bir parçanın ömrü ve kullanım süreleri, aşınma nedeni ile sınırlıdır. Günümüzde aynı parçanın gittikçe daha büyük sayıda üretilme talepleri yaygınlaşan otomasyona karşılık aşınma nedeni ile metal işleme makinelerinin durma süreleri, fiyat faktörünü devamlı arttırmaktadır. Takım ömürlerini uzatma için yeni nesil takım çelikleri üretilmektedir. Takımlarda kullanılan malzemeleri, daha pahalı yenileri ile değiştirme yerine, yalnız yüzeyin aşınma özelliklerini geliştirmek ise soruna ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır [6]. İmalat süreçlerinde kullanılan malzemelerin ya da takımların kırılması veya erken aşınması imalatı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzlukları en aza indirmek ya da geciktirmek için kullanılan malzemelerin kaliteleri, yüzey pürüzlülükleri ve ısıl işlemlerinde farklı yöntemler uygulanmaktadır. Üretimde kullanılacak malzemeler çalışma koşullarına, işlevlerine ve ekonomikliğine göre belirlenmelidir. Bu gereksinimler doğrultusunda malzemelerin ya da takımların yüzey özelliklerini iyileştirmek amaçlı ince sert seramik kaplamalar yapılmaktadır.

PVD kaplamanın genel özellikleri:

- Isıl işlem ya da meneviş görmüş takım çeliklerinin 200-600 °C arasında değişen sıcaklık değerleri altında kaplanabilmesi ve kaplanan parçalarda sertlik kaybı olmaması
- Kaplanmış yüzeydeki kaplama tabakasının çok yüksek tutunma kuvvetini oluşturması ve böylelikle yüzeyden dökülmemesi,
- Kristal tabaka yapısının sık dokulu olması,
- Kaplama kalınlıklarının çok ince (1-10 µm) yapılabilmesi ve parça toleransının bu doğrultuda muhafaza edilmesi,
- Karmaşık geometrik parçaların döner mekanizmalarla rotasyon verilerek homojen özelliklerde kaplanabilmesi,
- Köşelerin ve keskin uçların körelme gibi keskinliğinin bozulmadan kaplanabilmesi,
- Kaplanmış bölgelerin taşlama sonrası tekrar kaplanabilmesidir. PVD kaplamanın kalınlığı ile ilgili görsel Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

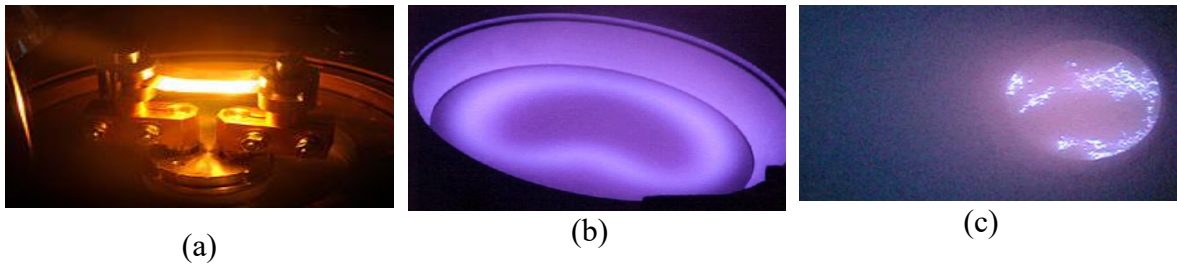


Şekil 5.1. PVD kaplama kalınlığı [25]

Kaplama işlemi sonrası malzeme üzerinde sadece birkaç mikron kaplama kalınlığı olmasına karşılık çelikten ortalama x3 kat daha sert bir yapı oluşur ve bu yapı malzeme üzerinden içeriye sirayet etmeden malzeme üzerinde ince bir tabaka şeklinde kalarak malzemenin mikro yapısına bir zarar vermez. PVD Kaplama kalınlıkları bir insan saçı (0,05 mikron) ile mukayese edildiğinde ortalama bir insan saçından 1/20 oranında (0,003 mikron) daha incedir.

5.1. PVD Uygulamalarının Sınıflandırılması

Katı haldeki kaplama malzemesinin direkt olarak gaz haline getirildiği ve bu gazın kaplanacak parçalar üzerinde yoğunlaştırıldığı proseslerdir. PVD yöntemleri Şekil 5.2’de gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır [25].



Şekil 5.2. PVD uygulama yöntemleri (a) Termal Buharlaştırma (b) Sıçratma (c) Ark [25]

Termal Buharlaştırma:

Termal buharlaştırma ile PVD Kaplama yüksek vakum ($10^{-8} - 10^{-6}$ Bar) altında yapılır. Şekil 5.2a'da gösterildiği gibi sistemde, ısıtma bobinleri vardır ve elektron demeti şeklinde plazma oluşturulur.

Sıçratma:

Termal buharlaştırmaya nazaran daha düşük bir vakum basıncına sahiptir. ($10^{-6} - 10^{-4}$ Bar). Atomik çarpıştırma esasına dayalıdır. Şekil 5.2b'de gösterilmiştir.

Ark:

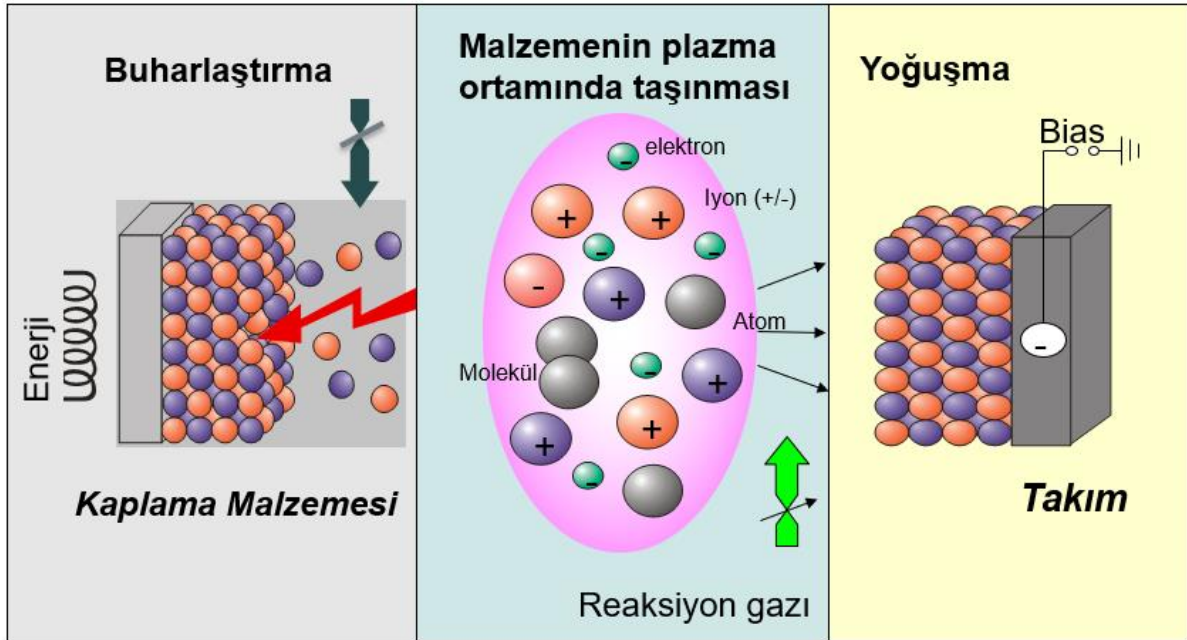
Düşük vakum altında yapılır. ($10^{-6} - 10^{-4}$ Bar). Hammadde üzerinde yüksek sıcaklık altında tetikleme çubukları ile ark oluşturularak buharlaştırma esasına dayanır. Şekil 5.2c'de gösterilmiştir. Kaplama hammaddeleri, makina yan çeperlerinde ki yerlerine yapılacak kaplamanın kimyasal içeriğine göre seçilerek yerleştirilir. Kaplanacak malzemeler şarj yükleme arabalarına yüklenir. Kaplama reçetelerine göre değişkenlik göstermekle birlikte kaplama sıcaklıkları genellikle 400 ila 600 dereceler arasında gerçekleştirilir. Bu sıcaklık değerleri yine kaplama makinası yan çeperlerinde bulunan ısı rezistansları tarafından sağlanır.

PVD kaplamanın avantajları düşük kaplama sıcaklığı (400 - 600 °C) sunması, birçok alternatif kaplama yönteminin mümkün olması ve kaplanan parçaların yüzeyinde basma gerilimli oluşmasıdır. Yüzeydeki basma gerilimi sayesinde gerilim çatlağı oluşumu azalmaktadır [10]. PVD kaplamanın dezavantajları ise sadece targetlara bakan yüzeylerin kaplanabilmesi, deliklerin kaplanmasında sınırların olması ve yüksek ekipman maliyeti olarak özetlenebilir [25].

5.2. Ark PVD Kaplama

PVD kaplama yöntemlerinden biri olan bu teknikte, kaplama, katı haldeki hammaddenin çok yüksek sıcaklık ve vakum altında buharlaşarak sıvı faza geçmeden direk gaz fazına geçerek

bir iş parçası ya da takımının üzerine yoğunlaşması ile gerçekleşir. Kaplama esnasında ortama sürekli argon, azot, asetilen gibi kaplama içeriğine göre değişkenlik gösterebilen reaktif gazlar verilir. Katı haldeki hammadde yani kaplama malzemesinden kopan ve havada serbest halde dolaşan pozitif (+) yüklü tanecikler, negatif (-) yük yüklenmiş iş parçası tarafından çekilir. Böylelikle kaplanması hedeflenen iş parçası üzerin de atom-atom malzeme biriktirme işlemi gerçekleşir. Bu proses boyunca kaplama makinasında ki sıcaklık rezistanslar vasıtasıyla sağlanır. İçeride ki basıncı istenilen seviyeye getirmek için turbo pompalardan faydalanılır. Sıcaklık ve vakum altında katı haldeki kaplama hammaddesinin direnci düşer ve atomize olmaya başlar. Kaplanacak malzemeler üzerine atom bombardımanı şeklinde bir transfer gerçekleşir.



Şekil 5.3. PVD ark kaplamanın oluşumu şematik olarak gösterilmiştir [25]

5.3. PVD Kaplamaların Plastik Proseslerine Etkileri

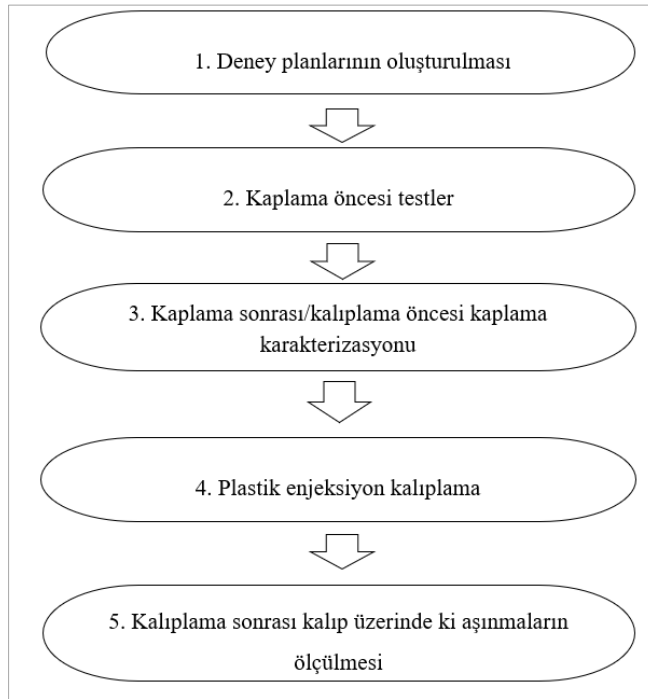
PVD kaplamanın plastiklerin şekillendirilmesinde kullanılan kalıplar üzerinde etkili olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Bunlara göre;

- kalıp servis ömrü uzamakta,
- kalıp temizliği sırasında oluşan aşınma ve hasarlara karşı koruma sağlamakta,
- daha az bakım işçiliği ve maliyeti oluşmakta,

- kalıplanan ürünlerin kalıptan kolay çıkmasını sağlamakta, yapışmanın azalması ile birlikte son ürün kalitesinde iyileşme sağlanmakta,
- kalıp ayırıcı maddelerin kalıp yüzeylerinde daha az kullanılmasını sağlamakta,
- korozyonun geciktirilmesini sağlamakta,
- daha kısa süreli tasfiye ve malzeme renk değişimini sağlamakta,
- yapışmanın azalmasıyla ergiyik hammaddenin akışının kolaylaşması böylece daha düşük enjeksiyon basıncı ile kalıplama yapabilme olarak sıralanabilir [25].

6. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, PVD kaplanmış bir plastik enjeksiyon kalıbının cam elyaf takviyeli plastik parçaların enjeksiyon yöntemi ile kalıplanması ile kalıp üzerindeki aşınmaların kalıp ömrüne etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Kalıp yüzeyi, kalıp yüzeysel sertliği, 3 boyutlu yüzey taraması, kaplama kalınlığı ve yapışması deney parametreleri olarak seçilmiştir. Kalıp üzerinde ki kaplamanın analizi için tahribatlı muayene uygulanmıştır. Çıkan sonuç ile kaplamanın analizi yapılmıştır. PVD kaplanmış kalıbın belli bir basım adedinden sonra ki aşınma analizi ise yine 3 boyutlu yüzey taraması ile ölçülmüştür. Çalışmanın adımları aşama aşama Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Deneysel çalışma sürecinin şematik gösterimi

Malzemeler

Bu çalışma da Aras Çelik firmasından tedarik edilen 1.2738 Impax plastik takım çeliğine Oerlikon Balzers Kaplama Ltd. Şti. tarafından PVD Ark metodu ile AlCrN bazlı Balinit Alcrona Pro kaplama yapılmıştır. PVD kaplanan kalıp çeliği ile Safic Alcan Kimya San. ve Tic. A.Ş. firmasından tedarik edilen %30 cam elyaf takviyeli PA6 ve %50 cam elyaf

takviyeli PA6 malzeme ile baskı yapılmıştır. Plastik enjeksiyon kalıplama süreci Ataplast Plastik Kalıp San. ve Tic. A.Ş. firmasında gerçekleştirilmiştir.

6.1. Kalıp Çeliği 1.2738

Deneyde kullanılan 1. 2738 Impax plastik kalıp çeliği aşağıda Resim 6.1’de gösterilmiştir. Çeliğin plakasının ölçüleri 3 mm. x 125 mm. x 200 mm. olarak ölçülmüştür.



Resim 6.1. Plastik Enjeksiyon Kalıbı Dişi Plakası

Kalıp yapımında kullanılan takım çeliğinin (40CrMnNiMo8-6-4) (Aras Çelik) kimyasal bileşenleri, ısıtım işlem bilgileri ve mekanik özellikleri sırasıyla Çizelge 6.1, Çizelge 6.2, ve Çizelge 6.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. 2738 Malzeme Kimyasal Bileşenleri

Karbon	Krom	Molibden	Silisyum	Mangan	Nikel
C	Cr	Mo	Si	Mn	Ni
0,40	2,00	0,20	0,30	1,50	1,10

Çizelge 6.2. 2738 Malzeme Isıl İşlem Bilgisi

	Sıcaklık	Ortam	Sertlik
Yumuşatma Tavlaması	710 - 740 °C	Fırın	21-22 HRC
Gerilim Giderme	500 - 550°C	Fırın	
Sertleştirme	830 - 870°C	Yağ - Sıcak Banyo	Menevişleme Eğrisi

Çizelge 6.3. 2738 Malzeme Mekanik Özellikleri

Ön Sertleştirme Sertliği	30 - 33	HRC
--------------------------	---------	-----

6.2. PVD kaplama

Çelikler yüksek yük, mekanik ve ısıl zorlanmalarla üretimde ağır gerilmeler altında kalır. Bu mekanik ve ısıl zorlamaların etkisini azaltmak için çeliklerin üzerine çalıştığı prosese göre çeşitli yüzey işlemleri uygulanır. PVD kaplama metodu da bu yüzey işlemlerinden biridir. Yapılacak AlCrN bazlı PVD kaplama ile hedeflenen, çelik üzerinde ki yüzey sertliğini artırmak ve termal şoklara karşı oluşacak direnç ile aşınma dayanıklılığını artırmaktadır. Ayrıca kalıplanan ürün kalitesine de katkı yapmak ve kalıp ömründe iyileştirme sağlayarak maliyet avantajı yaratmaktır. Yapılacak AlCrN bazlı PVD kaplamanın özellikleri Çizelge 6.4’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.4. Balinit Alcrona Pro kaplama özellikleri [25]

Kaplama malzemesi	AlCrN esaslı
Kaplama yöntemi	Arc
Kaplama rengi	Parlak gri
Kaplama kalınlığı HIT[GPa]*	36 +/-3
Sürtünme katsayısı (kuru) - çelik**	~0.6
İçsel stres [GPa]***	-3 +/-1
Maks. servis sıcaklığı [°C]****	1,100
Kaplama sıcaklığı [°C]	< 500
Verilen tüm veriler yaklaşık değerlerdir, uygulamaya, ortama ve test koşullarına bağlıdır. *Kaplama kalınlığı HIT[GPa] ISO 14577'ye göre nano iz ile ölçülmüştür Çoklu katmanlar için farklı katmanların sertliği değişir. **Sürtünme katsayısı (kuru) – çelik ASTM G99'a göre bir Çelik bilyayla kuru koşulda diskte bilya etstiyle belirlenmiştir. Aıştırma sırasında verilen değerler aşılabılır. ***İç stres [GPa] XRD veya bükme yöntemiyle ölçülür (Stoney denklemi). Hesaplanan termal stres çıkarılmıştır. ****Maks. servis sıcaklığı [°C] olarak belirtilen değerler alan dışı yaklaşık değerlerdir. Termodinamik yasalarından dolayı uygulamada bir basınç bağımlılığı vardır [25].	

Kaplama yapışması ölçüm metodu

Malzeme üzerindeki iz mikroskop altında en az 50 büyütme ile incelenir ve aşağıdaki tabloda verilen resimlere göre kaplamanın yapışma sınıfı tespit edilir (Şekil 6.2). HF1, HF2 ve HF3 yapışma sınıfları kabul edilebilir yapışma sınıflarıdır. HF4, HF5 ve HF6 yapışma sınıfları ise kaplamanın tam anlamıyla yapışmadığını gösteren yapışma sınıflarıdır. Bu yapışma sınıflarına ait görseller kaplanan materyal üzerinde ki görseller ile eşleştirilerek kaplama yapışma sınıfı belirlenir.

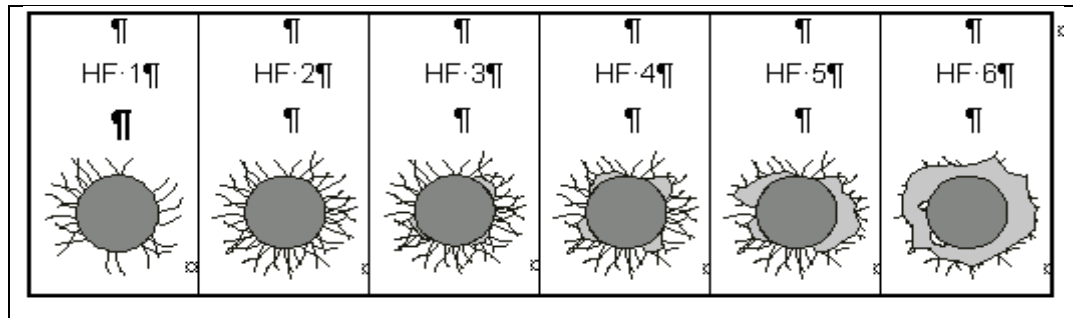
Rockwell testi ile yapışma ölçümü yapabilmek için;

- Sertliği 20-70 HRC olan çelikler için (örneğin HSS uçlar, sertleştirilmiş çelikler vs.)

Rockwell C ölçüm prosedürü yani 1471 N kuvvet kullanılmalıdır.

- Sertliği 60-88 HRA olan çok sert malzemeler için (örneğin karbür uçlar vs.) Rockwell A ölçüm prosedürü yani 588 N kuvvet kullanılmalıdır.

Malzeme üzerindeki iz mikroskop altında en az 50 büyütme ile incelenir.



Şekil 6.2. Kaplama yapışma sınıfları [25]

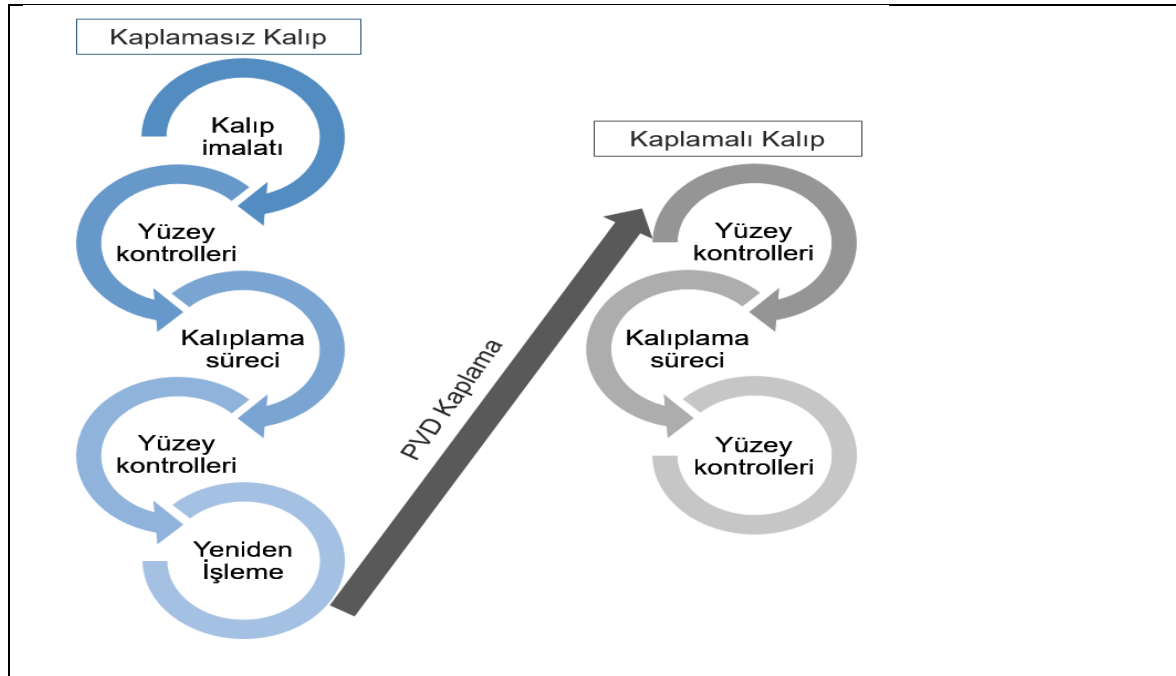
6.3. Kalıplanan Plastik Malzeme

Kalıplama malzemesi olarak %30 cam elyaf takviyeli polyamid 6 (PA6/GF30; Tecomid® NB40 GR30 BK005 IM E) ve %50 cam elyaf takviyeli polyamid 6 (PA6/GF50; Tecomid® NB40 GR50 BK005 IL) malzemeler kullanılmıştır. Kalıplanan termoplastik kompozit malzemelerin bazı özellikleri Çizelge 6.5.'de sunulmuştur. Deneysel çalışmada, kalıbın kaplamasız ve kaplamalı çalışma sürecinde, PA6/GF30 malzemeden 60.000 baskı, PA6/GF50 malzemeden 10.000 baskı yapılmıştır. Böylece kaplamasız kalıbın çalışma şartları ve yüzey durumları toplamda 70.000 baskı sayısı, kaplamalı kalıbın çalışma şartları ve yüzey durumları toplamda 70.000 adet baskı sayısı sonunda kontrol edilmiştir. Baskı, kalıbın bir çevrim çalışması (kalıp kapanması, enjeksiyon, ütüleme, soğutma ve kalıbın

açılıp parçanın çıkartılması) sürecini ifade etmektedir. Yüzey durumu kontrolleri tek kalıp gözü üzerinden yapıldığı için ürün sayısı yerine baskı sayısı ifadesi kullanılmıştır. Tüm deneysel çalışma sürecinde, kalıp üzerinde yapılan işlemler ve sıralamaları Şekil 6.3’de şematize edilmiştir.

Çizelge 6.5. PA6/GF30 ve PA6/GF50 malzemelerin bazı özellikleri

Özellik	PA6/GF30	PA6/GF50
Yoğunluk (g/cm ³)	1,30	1,54
Ergiyik akış hızı (2,16kg, 270 °C) (g/10')	-	-
Nem Alma (50% RH, 23 °C) (%)	1,6	1,4
Ergime sıcaklığı (10 K/min) (°C)	223	223
Yük altında ısıl deformasyon sıcaklığı (0,45 MPa) (°C)	210	220
Enjeksiyon sıcaklığı (°C)	250-270	250-270
Kalıp sıcaklığı (°C)	60-100	60-100
Enjeksiyon hızı	Yüksek	Yüksek



Şekil 6.3. Kalıp üzerinde yapılan işlemler süreci

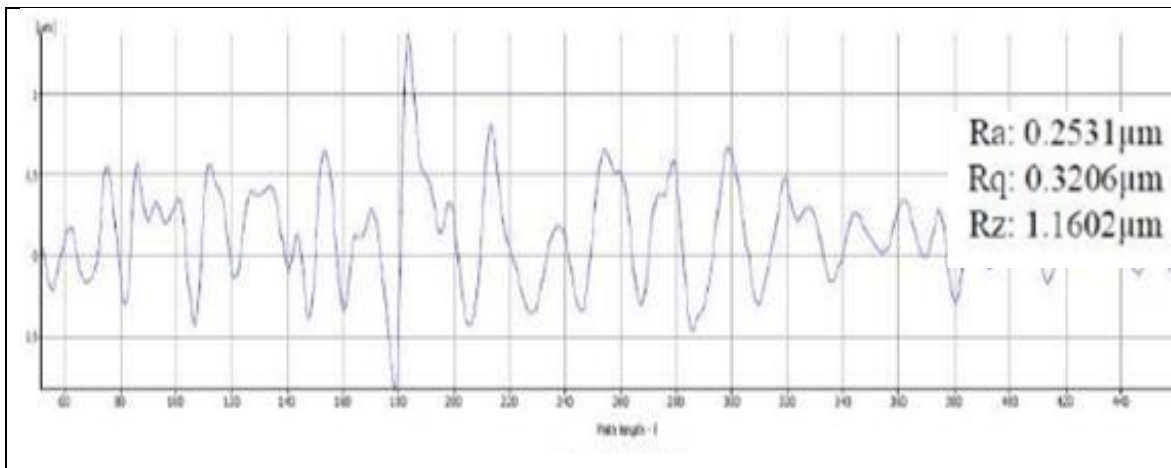
7. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Kalıplama yapılacak plastik kalıp çeliği %30 cam elyafı PA6 malzemeden 60.000 baskı ve % 50 cam elyafı PA6 malzemeden 10.000 baskı gerçekleştirmiştir. Toplamda 70.000 baskı sonrası çeliğin yüzey durumları incelenmiş ve oluşan yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Aynı plastik çeliği revizyona girmiş ve yenilenmiştir. Yenilenmiş plastik kalıp çeliğine PVD yöntemi ile kaplama yapılmış ve kaplamalı plastik kalıp çeliği ile %30 cam elyafı PA6 malzemeden 60.000 baskı ve % 50 cam elyafı PA6 malzeme 10.000 baskı yapılmıştır. Kalıplama sonrası çeliğin yüzey özellikleri tekrar incelenmiş ve oluşan yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Kaplamasız kalıp ile kaplamalı kalıptan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

7.1. Kaplamasız Kalıba Yapılan Testler

Kalıplama Öncesi

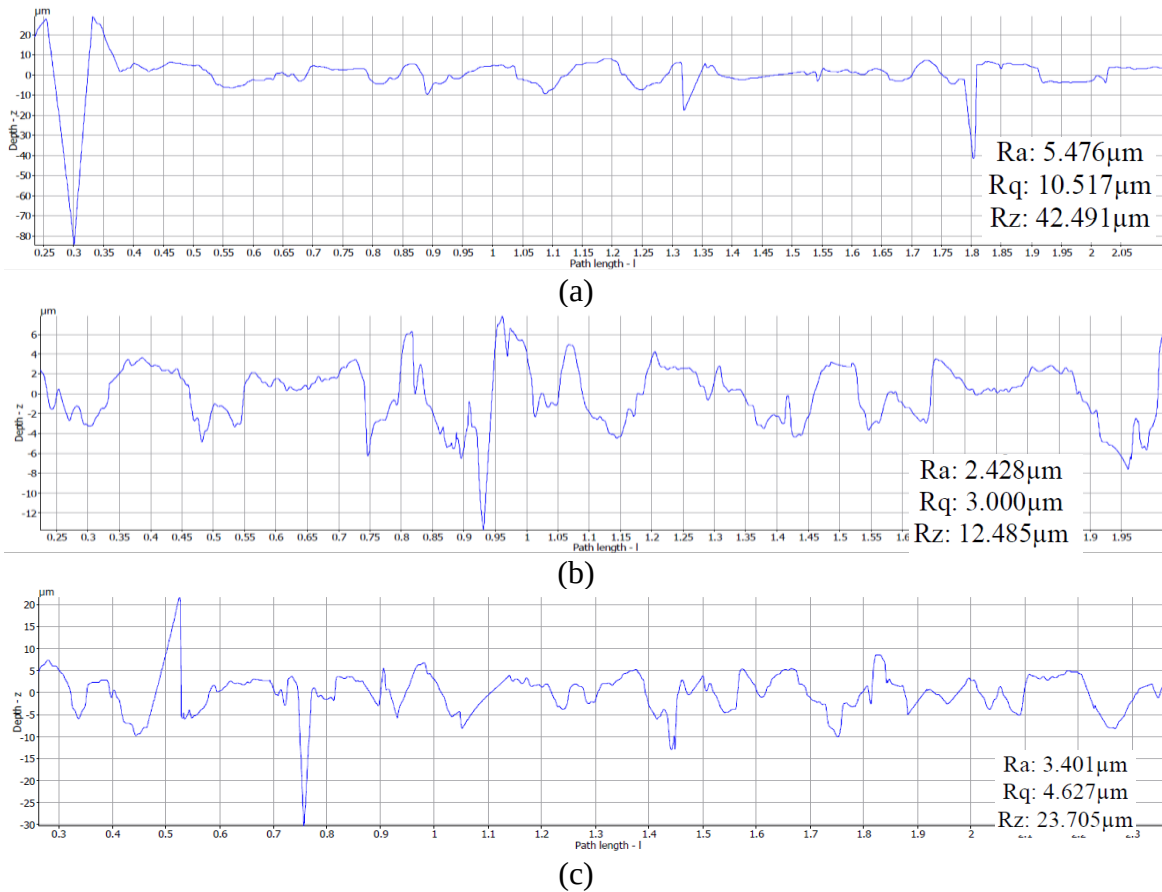
Kalıplama öncesi kalıp yüzeyinin yüzey pürüzlülüğü seyyar yüzey pürüzlülük cihazı (Mahr SD26) ile ölçülmüştür. Kalıbın yüzey durumun maksimum yüzey pürüzlülüğü (Rz); 1,1602 μm olarak ölçülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ise; 0,2531 μm olarak tespit edilmiştir. (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Kalıplama Öncesi Kalıp Yüzey Pürüzlülüğü Değeri

Kalıplama Sonrası Yapılan Testler

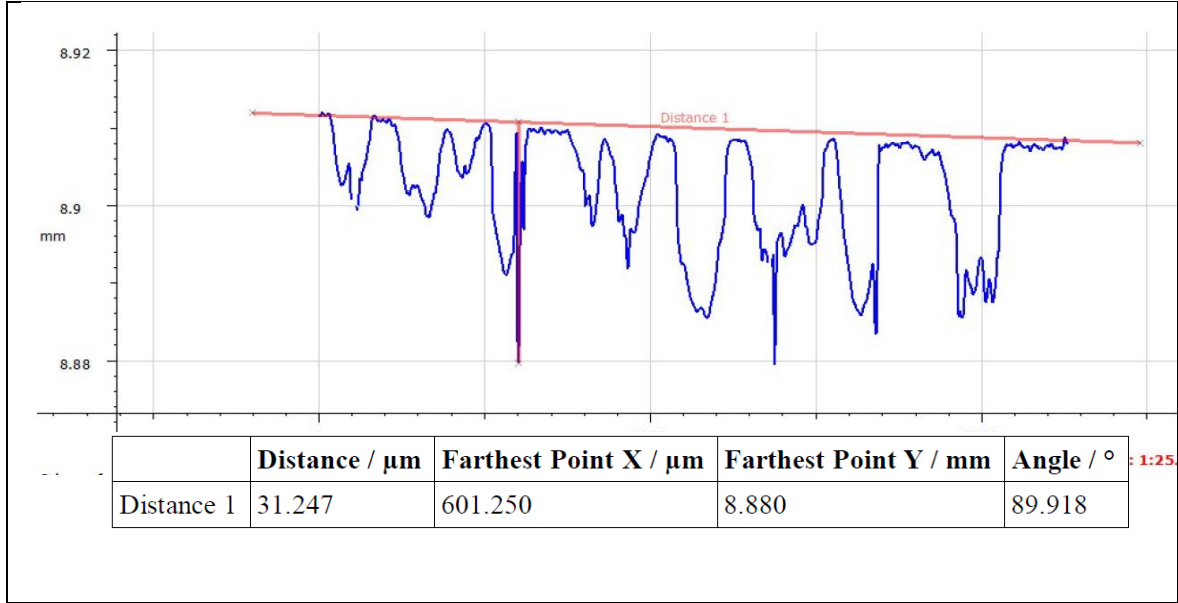
Mevcut kalıplama yapacak kalıbın kaplamasız ve aşınmış halinin yüzey durumları incelenmiştir. Kalıp yüzeyi yüzey pürüzlülüğü seyyar yüzey pürüzlülük cihazı (Mahr SD26) ile ölçülmüştür. Kalıp boşluğu yüzey durumu plastik akış yönüne paralel (Şekil 7.2a), plastik akış yönüne dik (Şekil 7.2b) ve kalıp boşluğu merkezinden noktasal (Şekil 7.2c) ölçümlerle incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 7.1’de her bir ölçüm yönü için ayrı ayrı sunulmuştur. Maksimum yüzey pürüzlülüğü (R_z); akış yönüne paralel ölçümde $42,491\text{ }\mu\text{m}$, akış yönüne dik ölçümde $12,485\text{ }\mu\text{m}$ ve kalıp boşluğu merkezinden noktasal ölçümde $23,345\text{ }\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) ise; akış yönüne paralel ölçümde $5,476\text{ }\mu\text{m}$, akış yönüne dik ölçümde $2,428\text{ }\mu\text{m}$ ve kalıp boşluğu merkezinden noktasal ölçümde $3,401\text{ }\mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7.2. Kaplamasız aşınmış kalıbın yüzey pürüzlülüğü (a) plastik akış yönüne paralel, (b) plastik akış yönüne dik, (c) kalıp boşluğu merkezinden noktasal

Kalıp üzerindeki aşınma

Kalıplama sonrası kaplamasız plastik kalıp çeliği üzerinde (Alicona IF-Edge Master) cihazıyla aşınmanın durumu incelenmiştir. Yüzeydeki aşınma yapılan kontroller sonrasında 31,247 μm ölçülmüştür (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Kalıplama sonrası kaplamasız kalıp üzerindeki aşınma ölçümü

7.2. Kaplanmış Kalıba Kalıplama Öncesi Yapılan Testler

Kaplanacak kalıba hem kaplama öncesi hem de sonrasında sertlik ölçme yapılmıştır. Kaplama öncesi sertlik ölçme işlemi, Rockwell sertlik ölçme metodu ile kalıp malzemesi üzerinden 3 farklı noktadan alınan analiz sonucu olarak ortalama 20,5 HRC sertlik değeri ölçülmüştür.

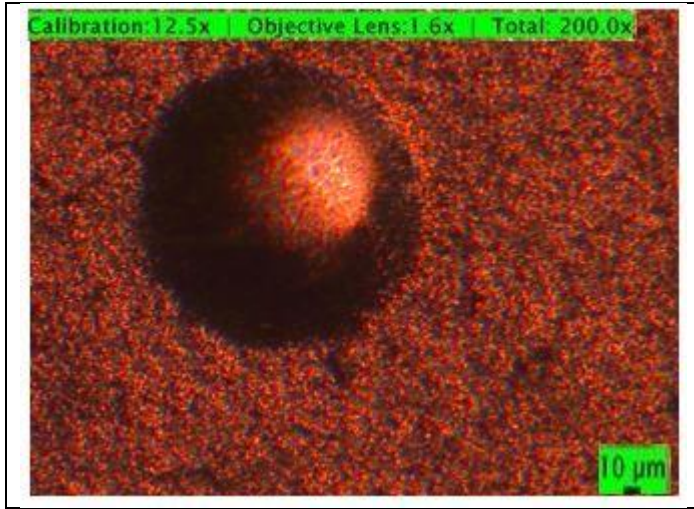
n= 1 d1 = 20,2 HRC

n= 2 d1 = 20,7 HRC

n= 3 d1 = 20,5 HRC

Aynı yöntemle yapılan kaplama sonrası sertlik ölçme işleminde de kaplama sonrası malzeme üzerinden alınan analiz sonucu olarak ortalama 10,7 HRC sertlik değeri ölçülmüştür. Kaplama öncesi yapılan teste kalıp üzerinden alınan kaplama kalınlığı 3,465 μm olarak ölçülmüştür. Yapışma testi için kalıp üzerinde oluşturulan iz stereo mikroskop (Leica DMS 300 serisi) ile incelenmiştir. Yapılan mikroskop incelemesi sonucu malzeme üzerinden en

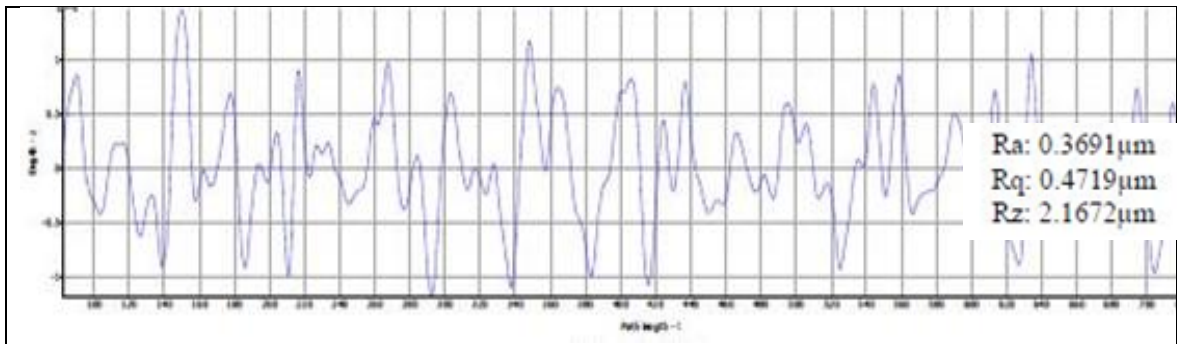
iyi kaplama yapışma sınıfı olan HF1 kaplama yapışma değeri ölçülmüştür. Resim 7.1’de kaplama yapışma ile ilgili görsel gösterilmiştir. Kaplama yapışma sınıfı en iyi yapışma sınıfı olan HF1 olarak ölçülmüştür.



Resim 7.1. Kaplama yapışma görseli

Kaplama sonrası kalıp üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümü

Kaplama işlemi sonrasında kalıp boşluğu üzerinde yapılan yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları, Şekil 7.4’te gösterilmiştir.

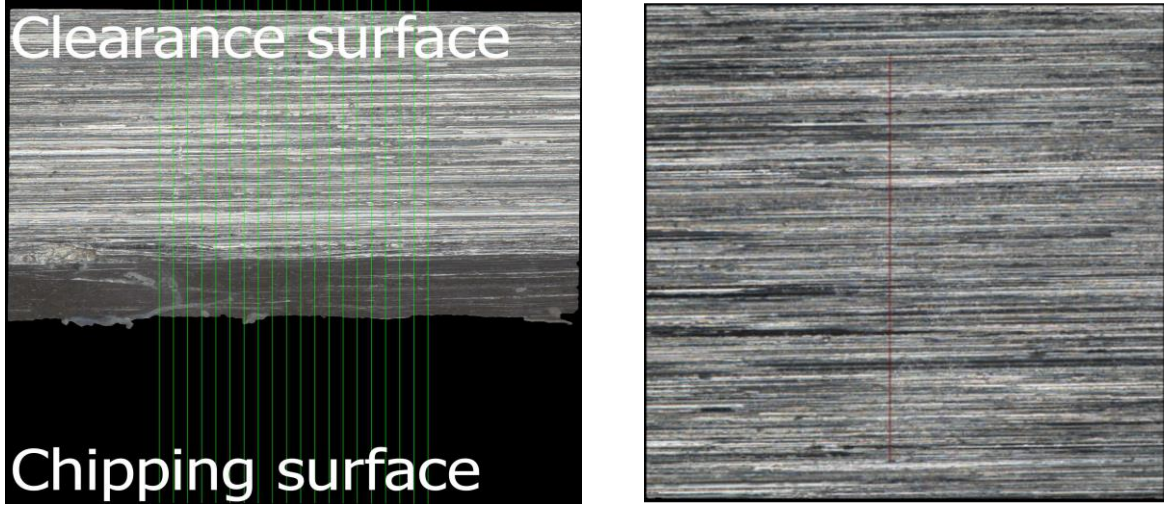


Şekil 7.4. Plastik enjeksiyon kalıbındaki kaplama sonrası yüzey pürüzlülük değerleri

Kalıp yüzey taramasının 3D ölçümü

Kalıp boşluğu yüzey durumu, üç boyutlu ölçüm cihazıyla (Alicona IF-Edge Master) üç boyutlu taranmış ve taranmış yüzeyin görüntüsü Şekil 7.5’te gösterilmiştir. Kaplama sonrası

kalıp yüzeyinde PVD kaplamadan kaynaklı droplet denilen yüzey pürüzlülüğünü düşüren istenilmeyen yüzey bozukluklarını bu şekilde de görebiliyoruz.



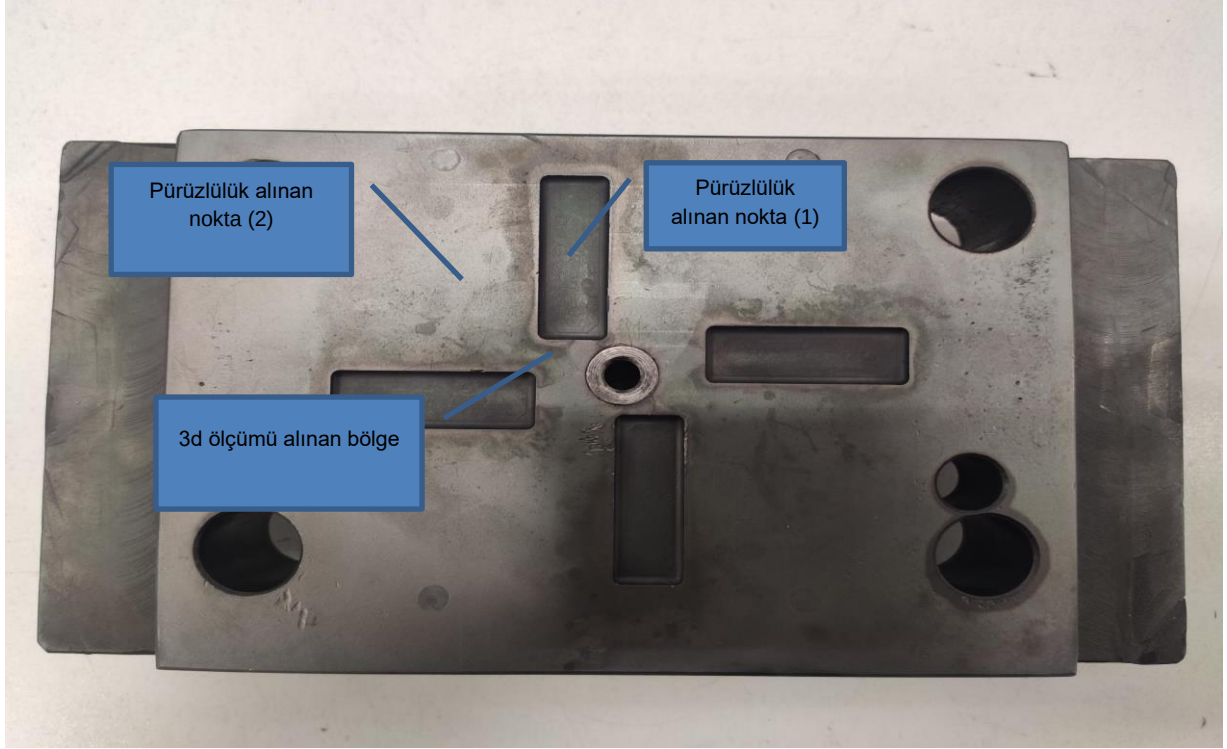
Şekil 7.5. Plastik enjeksiyon kalıbı kalıp boşluğunun yüzey durumu

7.3. Kaplanmış Kalıba Kalıplama Sonrası Yapılan Testler

Plastik kalıp çeliği %30 cam elyafı PA6 malzemeden 60.000 baskı ve % 50 cam elyafı PA6 malzemede 10.000 baskı gerçekleştirmiştir. Kalıplama sonrası kalıp çeliği aşınma karakterizasyonu için tekrar incelenmiştir.

Kalıp üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümü

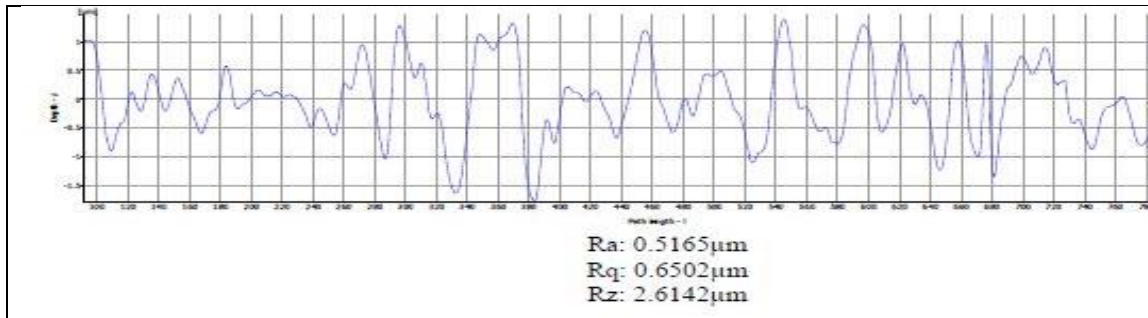
Kalıp üzerinde iki farklı noktadan (Mahr SD26) seyyar yüzey pürüzlülük cihazı ile pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Ölçüm yapılan bölgeler Resim 7.2’de gösterilmiştir. Yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerinde 1. Bölgeden alınan değerler Şekil 7.6a’da gösterilmiştir. Yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerinde 2. Bölgeden alınan değerler Şekil 7.6b’de gösterilmiştir.



Resim 7.2. Kalıplama sonrası dişi kalıp plakasında analiz yapılan bölgeler



(a)

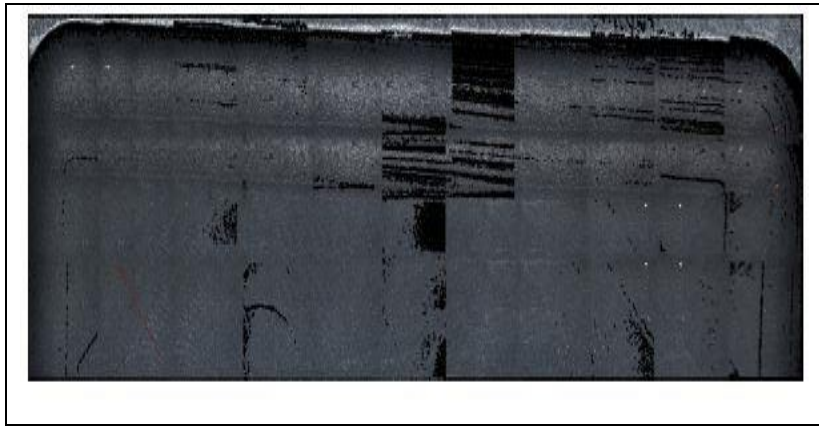


(b)

Şekil 7.6. Kalıplama sonrası yüzey pürüzlülük değeri (a)1. Bölge, (b) 2. Bölge

Kalıplama sonrası yüzey taramasının 3D ölçümü

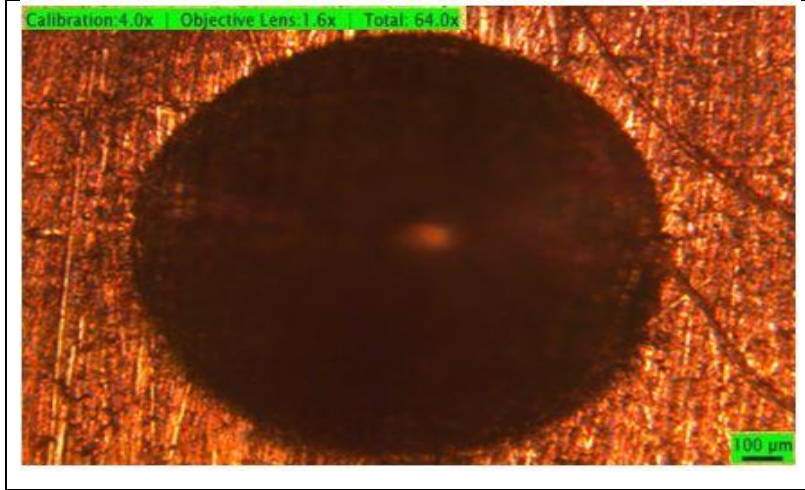
Kalıplama sonrası plastik kalıp çeliği üzerinde (Alicona IF-Edge Master cihazıyla) parçanın Resim 7.2’de belirtilen bölgesinden 3D yüzey görüntüsünün taraması gerçekleştirilmiştir. Taranmış yüzeyin görüntüsü aşağıda Şekil 7.7’de gösterilmiştir. 3 boyutlu yüzeyi taramamızdaki amaçlardan biri de kalıplama sonrası yüzeyde eriyik plastik kalıntılarının olup olmadığını görmektir. Kalıp yüzeyinde oluşabilecek deformasyonu da aynı şekilde 3 boyutlu tarama ile görebiliriz.



Şekil 7.7. Kalıplama sonrası 3D yüzey taraması

Kaplama kalınlık ve yapışma testi

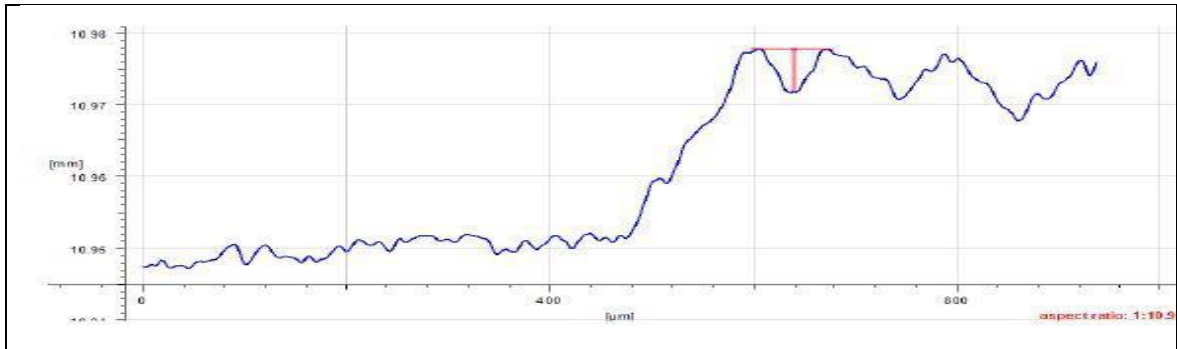
Yapılan mikroskop incelemesi sonucu kalıplanmış çelik üzerinde ki kaplamanın yapışmasında kalıplama öncesi yaptığımız kaplama yapışma arasında bir değişiklik gözlenmemiştir. Çelik üzerinden en iyi kaplama yapışma sınıfı olan HF1 kaplama yapışma değeri ölçülmüştür. Resim 7.3’de kalıplama sonrası çelik üzerinde ki kaplama yapışma ile ilgili görsel gösterilmiştir. Kaplama yapışma sınıfı en iyi yapışma sınıfı olan HF1 olarak ölçülmüştür. Çelik üzerinden ise ortalama 2,849 μm kaplama kalınlığı ölçülmüştür.



Resim 7.3. Kalıplama sonrası kaplama yapışma sınırı

Kalıptaki aşınma

Kaplanmış kalıbın kalıplama sonrası kalıp boşluğundaki aşınma durumu incelenmiştir (Alicona IF-Edge Master). Yüzeydeki aşınma yapılan kontroller sonrasında $0,6036 \mu\text{m}$ ölçülmüştür (Şekil 7.8). Kalıplama öncesinde ki kaplama kalınlığı hedeflenen baskı sayısından sonra $0,6036 \mu\text{m}$ kadar azalmıştır (aşınmıştır). Kalıp yüzeyinde hala kaplama mevcut olup gerek görüldüğünde baskıya devam edilebilir.



Şekil 7.8. Kalıplama sonrası kalıp üzerindeki aşınma ölçümü

Silva ve diğerleri (2013), çok katmanlı PVD kaplamanın kalıp yüzeyinde ki aşınma davranışlarını inceledikleri bir çalışmada, 130.000 baskı sonunda kaplamasız kalıptaki toplam aşınma miktarının kaplamalı kalıba nazaran 58.2 kat daha fazla olduğunu belirtmiştir. Silva' nın çalışmasındaki çıkan sonuçlar ile bu tezdeki çalışmada elde edilen aşınma dayanımı benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada kaplamalı kalıptaki aşınma miktarı, kaplamasız kalıptaki aşınma miktarından 52 kat daha iyi sonuç vermiştir.

Sarıkaya (2011), yaptığı bir çalışma da kalıp yüzeylerine 3 farklı yüzey işlemi uygulamış (CrN kaplama, sert krom kaplama, nitrürleme) ve bunların kalıp yüzeylerinde yarattığı etkiyi aşınma dayanımları açısından deneysel olarak incelemiştir. Aşınma dayanımı olarak en yüksek dayanımını CrN kaplamanın verdiğini belirtmiştir. Çıkan sonuç ile bu çalışma sonucu PVD kaplamaların kalıp yüzeylerinde ki aşınma dayanımını artırması özelliği ile benzerlik göstermektedir. Bu çalışmanın neticesinde kaplamasız kalıba nazaran aşınma dayanımı 52 kat daha iyi sonuç çıkarmıştır.

D'Avico ve diğerleri (2018), yaptıkları bir çalışmada AlTiN ve TiN kimyasal içeriğine sahip 2 farklı kaplamanın kalıp yüzeylerinde ki aşınma ve yüzey durumu özelliklerini incelemiştir. AlTiN içeriğine sahip kaplamanın aşınma dayanımının TiN içeriğine sahip kaplamanın ise yüzey durumu açısından daha olumlu sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Bu çalışmada yaptığımız AlCrN kimyasal içeriğine sahip kaplama aşınma dayanımı olarak güzel sonuçlar verse de yüzey durumu açısından kıyaslayacağımız farklı bir kaplama olmaması sebebi ile yüzey durumunu kaplamasız kalıba nazaran kıyasladık.

Kalıplanmış plastik parçaların karşılaştırılması

Kalıp yüzeyine uygulanan desen aşındıkça plastik parçada parlama ve yüzeyinde akış izleri oluşmaktadır. Bu tür görsel kusurlar ise parçanın kabul edilebilir sınırlar dışında kalmasına neden olmaktadır. Kaplamalı ve kaplamasız kalıp boşlukları üzerinde yapılan yüzey durumu incelemeleri, kalıptan çıkan plastik parçalara da uygulanmış ve görsel açıdan kabul edilebilir ve edilemez parçalar yüzey pürüzlülüğü üzerinden karşılaştırılmıştır (Çizelge 7.1).

Çizelge 7.1. Kaplamasız ve kaplamalı kalıptan 70.000 baskı sonrası alınan ürünlerin yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması

	Kaplamasız Kalıptan Alınan Ürün	Kaplamalı Kalıptan Alınan Ürün
Ra (μm)	1,399	0,993
Rz (μm)	7,470	5,077

Kaplamasız kalıbın yüzey durumu ve kaplamalı kalıbın yüzey durumları incelenmiş ve her iki durumda da yüzey pürüzlülük ve aşınma davranışları incelenmiştir. Kaplamasız ve kaplamalı kalıpların yüzey durumları karşılaştırılmıştır (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2. Kalıp yüzey pürüzlülüğü ve aşınma sonuçlarının karşılaştırılması

	Kaplamasız Kalıp			Kaplmalı Kalıp	
	Kalıplama Öncesi	Kalıplama Sonrası		Kalıplama Öncesi	Kalıplama Sonrası
Ra (μm)	0,2531	3,401		0,3691	1,5192
Rz (μm)	1,1602	23,705		2,1672	7,6295
Aşınma (μm)	-	31,247		-	0,6036

Kaplamasız kalıp ile alınan baskı sonrası yüzey pürüzlülük değerlerinde artışlar gözlemlenmiş olup kalıp yüzeyinde 31,247 μm aşınma oluşmuştur. Kaplamalı kalıp ile alınan baskı sonrası ise yüzey pürüzlülük değerleri kaplaması kalıba nazaran daha yüksek seviyelerdedir. Alınan baskı sonrası ise yüzeyde aşınma gözlemlenmemiş olup kaplama da 0,6036 μm seviyelerinde aşınma oluşmuştur. Bu aşınma kalıp yüzeyine ulaşmamış olup kaplama kalınlığının azalması ile son bulmuştur.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında PVD kaplanmış ve hiçbir kaplama uygulanmamış plastik enjeksiyon kalıplarındaki aşınma davranışları yüzey durumları üzerinden incelenmiştir.

Kaplama işlemi sonrasında uygulanan sıcaklık nedeniyle öngörüldüğü gibi çelikte sertlik kaybı olurken, kaplama yapışma sınıfı HF1 olmuştur. Baskı sonrası kaplamanın yapışmasında bir değişiklik saptanmamıştır. Belirtilen baskı adetlerinden sonra AlCrN kaplamada 0,6036 μm aşınma gözlemlenmiştir. Kalıplama sonrası kaplama yapılan çelikte bir aşınma görülmemiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar kaplamasız kalıbın kaplamalı kalıba göre çok daha yüksek oranlarda (52 kat) aşındığını göstermiştir. Ayrıca, kalıplama sonrası, kaplamasız kalıptaki yüzey pürüzlülük değeri kaplamalı kalıptaki yüzey pürüzlülük değerine nazaran yüksek olmuştur.

Bu çalışmanın daha fazla geliştirilmesi için aşağıdaki çalışmaların yapılması önerilmektedir.

- Yüzey pürüzlülük değerlerinde ki değişim için benzer bir çalışma da polisaj yapılmış bir plastik kalıbında yapılabilir.
- Benzer bir çalışma farklı kaplama tiplerinde yapılarak iki kaplama arasında ki farklar gözlemlenebilir.
- Kaplama sonrası meneviş sıcaklığına bağlı olarak yaşanan sertlik kaybı için çelik üzerinde farklı meneviş sıcaklığı uygulanarak benzer bir çalışma yapılabilir.
- Farklı bir plastik çeliği üzerinde benzer çalışma yapılabilir.
- Aşındırıcı etkisi daha yüksek olan farklı bir kalıplama malzemesi üzerinde benzer çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Akdoğan Eker, A. (2008). *Plastik Enjeksiyon Yöntemi ile İmal Edilen Parçalarda Karşılaşılan Problemler ve Çözümleri*. Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
2. Katmer, Ş. (2010). *Ticari Plastiklerde (Polietilen, Polipropilen, Polistiren) Enjeksiyon Parametrelerinin Artık Gerilmelere Etkisinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
3. Turc, C., C. Cărauşu, and G.Belgiu. (2017, August). *Cost analysis in injectionmoulded plastic parts designing*. in IOP Conference Series: MaterialsScience and Engineering, Vancouver, BC Canada.
4. Bryce, D.M. (1998) *Plastic injection molding: Mold design and construction fundamentals*. (First Edition). Portland: Society of Manufacturing Engineers.
5. Sarıkaya, E. (2011). *Plastik Kalıp Malzemelerinin Özelliklerine Farklı Yüzey İşlemlerinin Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
6. Martinho, R.P., Silva, F.J.G., Alexandre, R.J.D., Baptista, A.P.M.,Andrade M. (2017). Improving the Wear Resistance of Moulds for the Injection of Glass Fibre–Reinforced Plastics Using PVD Coatings: *A Comparative Study*, 7(2), 28.
7. Vencovsky, P. K., Sanchez, R., Branco, J. R. T., Galvano, M. (2002). Structure and corrosion properties of PVD Cr–N coatings. *Journal of Vacuum Science & Technology A* 20, 772.
8. Luigi, D., Ruben, B., Nora, L., Stefano, P. T. (2018). *Corrosion Behavior and Surface Properties of PVD Coatings for Mold Technology Applications*. URL: <https://www.researchgate.net/publication/329900075> son erişim tarihi 14 Mayıs 2022.
9. Cunha, L., Andritschky, M., Pischow, K., Wang, Z., Zarychta, A., Miranda, A. S., Cunha, A.M. (2000). Performance of chromium nitride and titanium nitride coatings during plastic injection moulding. *Surface and Coatings Technology Volume 153*, Issues 2–3, Pages 160-165.
10. Deflorian, F., Rossi, S., Maines, L., Straffelini, G. (2007). Industrial PVD coatings for improving corrosion protection of components for polymeric injection moulding, *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 42:3, 266-271, DOI: 10.1179/174327807X214608.
11. Golabczak, M., Jacquet, P., Nouveau, C., Fliti, R. (2013). Tribological investigations of TiC+a-C:H Coatings Manufactured on X38CrMoV5-1 Steel Using PVD Technology. *Defect and Diffusion Forum, Trans Tech Publications*, 334-335, pp.97-104.

12. Hopmann, CH., Weber, M., Schöngart, M. (2015). *Injection moulding of optical functional micro structures using laser structured, PVDcoated mould inserts*. AIP Conference Proceedings 1664, 110003.
13. Silva, F. J. G., Martinho. R.P., Baptista. A.P.M. (2013). Characterization of laboratory and industrial CrN/CrCN/diamond-like carbon coatings. *International Journal on the Science and Technology of Condensed Matter Films*. 550:278–284 DOI:10.1016/j.tsf.2013.11.042
14. Heinze., M. (1997). Wear resistance of hard coatings in plastics Processing. *ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis* 105 38–44.
15. Jacquet, P., Golabczak, M., Lourdina, P. (2012). *Experimental characterizations of non-seizing solutions for plastic moulding tools*. Applied Surface Science 261 824– 829.
16. Danimarka Teknoloji Enstitüsü’ndeki DTI Triboloji Merkezi.; (1997) *Tribology Centre, Danish Technological Institute, Teknologiparken, 8000 Aarhus C, Denmark*.
17. Bienk, E.J., Mikkelsen, N.J. (1997). *Application of advanced surface treatment technologies in the modern plastics moulding industry*. Wear 207 6–9.
18. İnternet: DEBAK Denizli Bagalit Kalıp San. ve Tic. A.Ş. URL: <https://www.debak.com.tr/teknoloji.asp> son erişim tarihi 1 Şubat 2022.
19. Katmer, Ş. (2010). *Ticari Plastiklerde (Polietilen, Polipropilen, Polistiren) Enjeksiyon Parametrelerinin Artık Gerilmelere Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
20. İnternet: Dirim, A. (2022) *Tasarımdan İmalata Kalıp Makina Mühendislik İmalat Sanayi ve Tic. Ltd. Şti*. URL: <https://www.tasarimdanimalata.com/plastik-kaliplari/> son erişim tarihi 1 Mart 2022.
21. İnternet: Cesur, S. Plastik Kalıp Çeşitleri. (2022) URL: <https://malzemebilimi.net/plastik-kalip-celikleri.html> son erişim tarihi 1 Nisan 2022.
22. MEGEP. (2008). Plastik Teknolojisi Makine Enjeksiyon Kalıpcılığı-2. , 24-30.
23. Sevinç, E. (2019). *Sürekli Elyaf Takviyeli Termoplastik Kompozit Esaslı Çok Katmanlı Piramit Kafes Çekirdekli Çok Hafif Sandviç Plakaların Statik ve Dinamik İncelemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
24. NCB Plastik ve Makine San. Tic. Ltd. Şti. Plastik Kalıpcılığı. URL: <http://ncbplastik.com/sayfalar.asp?LanguageID=1&cid=5&id=66> son erişim tarihi 11 Mart 2022.
25. İnternet: Oerlikon Balzers Kaplama San. Tic. Ltd. Şti. URL: <https://www.oerlikon.com/balzers/global/en>, Son Erişim Tarihi: 16 Şubat 2022.

EKLER

EK-1. PA6 malzeme teknik bilgileri



Technical Data Sheet

Tecomid® NB40 GR50 BK005 IL

PA6, 50% glass fiber reinforced, impact modified, black

Property (dry as molded)	Condition	Value	Unit	Standard
General Properties				
Abbreviation	-	PA6-I GF50	-	ISO 1043
Density	-	1,54	g/cm ³	ISO 1183
Melt Flow Rate	2.16kg, 270 °C	-	g/10'	ISO 1133
Molding Shrinkage	Parallel / Normal	0,2 / 0,9	%	Eurotec
Moisture Content	-	<0,2	%	ISO 960
Moisture Absorption	50% RH, 23 °C	1,4	%	ISO 62
Mechanical Properties				
Stress at Break	+23°C	180	MPa	ISO 527
Strain at Break	+23°C	3,0	%	ISO 527
Tensile Modulus	+23°C	13500	MPa	ISO 527
Yield Strength	+23°C	-	MPa	ISO 527
Izod Impact, notched	+23 °C	20	kJ/m ²	ISO 180/1A
Izod Impact, notched	-30 °C	18	kJ/m ²	ISO 180/1A
Izod Impact, un-notched	+23 °C	NB	kJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, un-notched	-30 °C	NB	kJ/m ²	ISO 180/1U
Thermal Properties				
Melting Temperature	10 K/min	223	°C	ISO 11357
Heat Deformation Temperature	0.45 MPa	220	°C	ISO 75
Heat Deformation Temperature	1.80 MPa	210	°C	ISO 75
Vicat Softening Temperature	50N	210	°C	ISO 306
Electrical Properties & Flammability				
Volume Resistivity	-	1E+15	Ohm.cm	IEC 60093
Surface Resistivity	-	1E+13	Ohm	IEC 60093
Comparative Tracking Index	solution A	500	V	IEC 60112
Glow Wire Flammability Index (GWFI)	2 mm plaque	-	°C	IEC 60695
Glow Wire Ignitability Temperature (GWIT)	2 mm plaque	-	°C	IEC 60695
Flame Rating	0.75 mm	HB	-	UL94
Flame Rating	1.6 mm	HB	-	UL94
Processing Parameters				
Drying*		80 / 2 - 4	°C / hr	
Feed Throat Temperature		60 - 80	°C	
Processing Temperature		250 - 270	°C	
Mold Temperature		60 - 100	°C	
Hold Pressure		50 - 100	MPa	
Back Pressure		Low	-	
Injection Speed		Fast	-	

* Pre-drying is not necessary for materials in moisture proof closed bags.

EK-2. PA6 malzeme teknik bilgileri



TEKNİK BİLGİ FORMU

Ürün	: Tecomid® NB40 GR30 BK005 IM E
Kısaltma	: PA6 – I GF30
Açıklama	: PA6, %30 cam elyaf takviyeli, darbe arttırıcılı
Renk	: Siyah
Şekil	: Silindirik granüller

Özellik	Test Şartları	Değer (kuru)	Birim	Standart
Fiziksel Özellikler				
Yoğunluk		1.30	g/cm ³	ISO 1183
Dolgu/Takviye Oranı		30	%	ISO 3451
MFI (Akışkanlık)	2.16kg, 270 °C	-	g/10'	ISO 1133
RV (Viskozite)	96% H ₂ SO ₄	-	cm ² /g	ISO 307
Kalıp Çekmesi	Paralel	-	%	Eurotec
	Dik	-	%	Eurotec
Nem Oranı		<0.2	%	ISO 960
Nem Alma	50% RH, 23 °C	1.6	%	ISO 62
Mekanik Özellikler				
Çekme Mukavemeti	+23°C	130	MPa	ISO 527
Kopmadaki Uzama	+23°C	4.5	%	ISO 527
Çekme Modülü	+23°C	8000	MPa	ISO 527
Akma Dayanımı	+23°C	-	MPa	ISO 527
Izod Darbe Mukavemeti, çentikli	+23 °C	30	kJ/m ²	ISO 180/1A
	-30 °C	20	kJ/m ²	ISO 180/1A
Charpy Darbe Mukavemeti, çentikli	+23 °C	-	kJ/m ²	ISO 179/1eA
	-30 °C	-	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy Darbe Mukavemeti, çentiksiz	+23 °C	NB	kJ/m ²	ISO 179/1eU
	-30 °C	100	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Isıl Özellikler				
Erime Sıcaklığı	10 K/dak	223	°C	ISO 11357-1/-3
HDT (Yük Altında Eğilme Sıcaklığı)	0.45 MPa	210	°C	ISO 75
	1.80 MPa	195	°C	ISO 75
Vikat Yumuşama Sıcaklığı	50N	-	°C	ISO 306
Elektriksel Özellikler & Yanmazlık				
Hacimsel Özdirenç		10 ¹⁵	Ohm.cm	IEC 60093
Yüzeysel Özdirenç		10 ¹³	Ohm	IEC 60093
CTI (Yüzeysel Kaçak Mukayese İndisi)		-	V	IEC 60112
Kızgın Tel Testi	2 mm plaka	-	°C	IEC 60695
Yanma Sınıfı	1.6 mm	HB		UL94
	3.2 mm	HB		UL94

Eurotec Mühendislik Plastikleri Sanayii ve Ticaret A.Ş

Velimeşe Mevkii Karamehmet Köyü Avrupa Serbest Bölgesi 117 Ada 6 .Parsel 59850 Çorlu Tekirdağ Türkiye

Tel : +90 282 691 12 12 pbx Fax : +90 282 691 12 18 – 691 12 19

1/2

AG.FR.010 Rev:1 10.08.2007

RD:101207

EK-3. PA6 malzeme teknik bilgileri



TEKNİK BİLGİ FORMU

Ürün	: Tecomid® NB40 GR30 BK005 IM E
Kısaltma	: PA6 – I GF30
Açıklama	: PA6, %30 cam elyaf takviyeli, darbe arttırıcı
Renk	: Siyah
Şekil	: Silindirik granüller

İşleme Parametreleri

Kurutma	80 °C, 2 – 4sa (kapalı, nem almayan torbalar için gerekli değildir)
En fazla Nem İçeriği	0.2%
İşleme Sıcaklık Aralığı	250 – 270 °C
Kalıp Sıcaklık Aralığı	60 - 100 °C
Enjeksiyon Basıncı	100 – 150 MPa
Ütölleme Basıncı	50 – 100 MPa
Geri Basınç	Düşük

Paketleme Bilgisi

Paket Tipi	Palet Boyutu WxDxH (mm)	En Fazla İstifleme Yüksekliği (Palet)	Palet Ağırlığı (Net kg)
25 kg nem almayan torba	1000 × 1200 × 120	2	500/1000/1250
25 kg PE torba	1000 × 1200 × 120	2	500/1000/1250
PE tip bariyerli Oktabin	1140 × 1140 × 120	2	1000/1250
PE tip bariyerli Bigbag	1140 × 1140 × 120	1	1000/1250

GÜVENLİK VE DEPOLAMA BİLGİSİ:

Tecomid® Eurotec'in tescilli markasıdır. Tüm ürün paketleri sevkiyat öncesinde Eurotec tarafından sıkıca kapatılmıştır, ve kullanıma kadar UV-ışığından korunarak 50°C'nin altında serin ve kuru ortamda orjinal ambalajında depolanması tavsiye edilmektedir. Termoplastik polimer bileşimi olarak bu özel tip Tecomid® ürününün uygunsuz depolanması koku oluşumuna, renk değişimine ve fiziksel özelliklerinde azalmaya sebep olabilir. Bunlara ek olarak, aşırı ısıya maruz kaldığında ürün bozulmaktadır. Bu nedenle bozulmanın hızlanmaya başladığı 310°C sıcaklığın üzerine çıkılmaması tavsiye edilir. Dökülen granüller üzerinde kayma riskine dikkat edilmeli, sıcak ürün buharı solunmaktan kaçınılmalıdır. Ürünün detaylı güvenlik ve depolama bilgisi malzeme güvenlik bilgi formunda yer almaktadır.

NOT:

Bu teknik bilgi formundaki tüm bilgiler Eurotec'in bugünkü bilgisini ve birikimini yansıtmaktadır. Bu ürün, başka katkı malzemeleriyle birlikte kullanıldığı takdirde burada verilen bilgi geçerliliğini yitirecektir. Buradaki bilginin sadece bahsi geçen ürün için verildiğine ve ürünün kalıplanması sonrası kuru baskıların verilerine ait olduğuna dikkat edilmelidir. Doğası gereği, veriler müşterinin işleme şartlarına göre değişiklik gösterebileceği için belirtilen veriler kesin değerleri garantilememekte, sadece yol gösterici olması için temin edilmektedir ve şartname değerleri ile tasarım temeli oluşturulmamalıdır. Ürünün gerekli uygulamaya ve kullanım yerine uygunluğunu tespit etmek amacıyla müşterilere ürünün kendi işleme şartlarında ve test koşullarında değerlendirmeleri önerilmektedir.

Eurotec Mühendislik Plastikler Sanayii ve Ticaret A.Ş.

Vellimeşe Mevkii Karamehmet Köyü Avrupa Serbest Bölgesi 117 Ada 6 .Parsel 59850 Çorlu Tekirdağ Türkiye

Tel : +90 282 691 12 12 pbx Fax : +90 282 691 12 18 – 691 12 19

2/2

AG.FR.010 Rev:1 10.08.2007

RD:101207



GAZİ GELECEKTİR..