



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**KROM KAPLANMIŞ AKRİLONİTRİL BÜTADİEN STİREN OTOMOTİV
PARÇALARINDAKİ METAL-POLİMER YAPIŞMASINA ÜRETİM
PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUNUS EMRE POLAT

DANIŞMAN: PROF. DR. MUSTAFA ÖKSÜZ

**YALOVA
EYLÜL 2022**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

KROM KAPLANMIŞ AKRİLONİTRİL BÜTADİEN STİREN OTOMOTİV
PARÇALARINDAKİ METAL-POLİMER YAPIŞMASINA ÜRETİM
PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUNUS EMRE POLAT
205101016

DANIŞMAN: PROF. DR. MUSTAFA ÖKSÜZ

YALOVA
EYLÜL 2022

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Yazım Kuralları' na uygun olarak hazırladığım “KROM KAPLANMIŞ AKRİLONİTRİL BÜTADİEN STİREN OTOMOTİV PARÇALARINDAKİ METAL-POLİMER YAPIŞMASINA ÜRETİM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ” başlıklı bu tez çalışmasında; 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 çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Yunus Emre POLAT



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren sayın danışman hocam Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ' e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Öğr. Gör. Aysun EKİNCİ' ye teşekkür ederim.

Bu tezin fikir aşamasından fiil aşamasına kadar benden desteklerini ve rehberliklerini hiçbir zaman esirgemeyen Sn. Kadir ÇETİNKAYA' ya, Sn. Nafiz Arda BAŞARAN' a, Sn. Başaran GÖDEK' e; sahip olduğu tüm imkanları tezimin her aşamasında bana sunan ALBA Plastik Sanayi ve Ticaret A.Ş firmasına ve çalışanlarına; tüm hayatım boyunca destekleri ile şeref duyduğum aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının desteklenmesine olanak sağlayan Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine (2021/YL/0024) teşekkür ederim.

Eylül-2022

Yunus Emre POLAT



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
ÖZET	xxv
ABSTRACT	xxvii
1.GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	17
2.1. Otomotiv Plastikleri	17
2.2. Otomotiv Plastiklerinin Tarihçesi	21
2.3. Neden Plastikler?	22
2.4. ABS' in Yapı ve Özellikleri	24
2.5. Otomotiv Plastiklerini Üretim Yöntemleri	28
2.5.1. Enjeksiyon ile kalıplama	28
2.5.2. Enjeksiyon ile kalıplama parametreleri	30
3. PLASTİKLERİN KROM KAPLANMASI	33
3.1. ABS' in Krom Kaplanması	33
3.1.1. Yüzey işlemleri	33
3.1.2. Kaplama	36
3.2. Krom kaplı ABS'in yüzey morfolojisi	38
4. MATERYAL VE YÖNTEM	39
4.1. ABS Parça Üretimi	40
4.2. Üretilen ABS Parçaların Krom Kaplanması	48
4.3. Testler	62
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	73
5.1. Mikroçatlak Yoğunluğu	73
5.2. Asetik Asit Stres Testi	78



5.3. Kaplama Kalınlığı	82
5.4. Cross-Cut Testi	83
5.5. SEM Analizi.....	93
6. SONUÇLAR	105
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	111





SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

~	: yaklaşık
%	: yüzde
°C	: santigrat derece
Ω	: ohm
E	: Euler sayısı
$\pm$	: Artı-Eksi Tolerans
£	: Pound

KISALTMALAR

PP	: Polipropilen
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinilklorür
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
SAN	: Stiren Akrilo Nitril
AN	: Akrilo Nitril
PA	: Poliamid
PE	: Polietilen
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PC	: Polikarbonat
PPE	: Polifenilen eter
PPO	: Polifenilen oksit
POM	: Polioksimetilen
PMMA	: Polimetil Metaklarat
PBT	: Polibütilen Tereftalat
PET	: Polietilen Tereftalat
ASA	: Akrilonitril Stiren Akrilat
PS	: Polistiren
UV	: Ultraviyole
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
mm	: milimetre
sn	: saniye
mm/sn	: milimetre/saniye
μm	: mikrometre
cm	: santimetre
cm^3	: santimetre küp
h	: ürün yüksekliği ya da derinliği
s	: strok mesafesi
Sn	: Kalay
Cr	: Krom
Cl	: Klor
Pd	: Paladyum
Cu	: Bakır
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
AFM	: Atomik Güç Mikroskobu

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Sabit Parametre Proses Ayar Kartı [17].....	5
Tablo 2.1.	Bir otomobildeki ağırlıkça ort. malzeme bileşenleri (%) [21].....	19
Tablo 2.2.	ABS' in bazı özellikleri [21].....	25
Tablo 2.3.	Bazı polimerlerin eriyik ve kalıp sıcaklıkları [36].....	31
Tablo 4.1.	Kullanılan hammaddenin karakteristik özellikleri.....	39
Tablo 4.2	Seri üretim ile parça elde edilen proses parametre ayar kartı	46
Tablo 5.1.	Deney numunelerinin kaplama kalınlıkları.....	83





ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Düşük ütüleme basıncında zincir oryantasyonu ile stres ilişkisi [14].....	4
Şekil 1.2.	Yüksek ütüleme basıncında zincir oryantasyonu ile stres ilişkisi [14].....	4
Şekil 1.3.	Akış analizi yapılan parça [17]	5
Şekil 1.4.	Birinci Durum’ da dolum sonrası ortaya çıkan stres [17].....	6
Şekil 1.5.	İkinci Durum’ da dolum sonrası ortaya çıkan stres [17].....	6
Şekil 1.6.	Üçüncü Durum’ da dolum sonrası ortaya çıkan stres [17]	7
Şekil 1.7.	Dördüncü Durum’ da dolum sonrası ortaya çıkan stres [17].....	7
Şekil 1.8.	Kalıp içinde eriyik polimerin ilerleyişi [14]	8
Şekil 1.9.	Enjeksiyon esnasında polimer zincirlerinin oryantasyonu [14].....	8
Şekil 1.10.	Enjeksiyon hızının oryantasyona etkisi [13].....	9
Şekil 1.11.	Dolum hızı-kalıp içi bölgesel ABS polimer eriyik akış-eriyik sıcaklığı ilişkisinin zincir oryantasyonuna etkisi [18].....	10
Şekil 1.12.	Kalıp içi bölgesel ABS polimer eriyik akışı ve kalıp sıcaklığının zincir oryantasyonuna etkisi [18]	10
Şekil 1.13.	Kalıp içi bölgesel ABS polimer eriyik akışı ve ütüleme basıncının zincir oryantasyonuna etkisi [18]	11
Şekil 1.14.	İyi aşındırılmış, düşük oryantasyona sahip bir ABS ürünün SEM görüntüsü [13]	11
Şekil 1.15.	İyi bir şekilde aşındırılmamış, yüksek oryantasyona sahip bir ABS ürünün SEM görüntüsü [13]	12
Şekil 1.16.	Enjeksiyon hızı-eriyik sıcaklığı ilişkisinin ABS ürünün çarpılmasına etkisi [13]	13
Şekil 1.17.	Kalıp sıcaklığı-ütüleme basıncı ilişkisinin ABS ürünün çarpılmasına etkisi [13]	14
Şekil 1.18.	Enjeksiyon hızı-eriyik sıcaklığı ilişkisinin kaplamanın ABS polimere yapışma etkisi [13]	14
Şekil 2.1	Bazı markaların otomobillerindeki ağırlıkça ortalama plastik kullanımının yıllara göre artışı [19].....	17
Şekil 2.2.	Yıllara göre otomobillerdeki plastik kullanımının artışı [20].....	18
Şekil 2.3.	Hacimsel kauçuk oranına göre çekme modülünün değişimi [30].....	27



Şekil 2.4.	Enjeksiyon prosesi [32]	29
Şekil 3.1.	Aşındırma prosesi esnasında Bütadienlerin yüzeyden ayrılışı [17].....	34
Şekil 3.2.	Aşındırma evresinde bütadiendeki bağ kırılımı [9].....	34
Şekil 3.3.	Nikelin kaplamaya katılma reaksiyonu [9]	35
Şekil 3.4.	Akımsız Nikel katmanının proseteki yeri [3].....	35
Şekil 3.5.	Bir elektrolit banyodaki kaplamanın şematik gösterimi [41].....	36
Şekil 3.6.	Bakırın kaplamaya katılma reaksiyonu [9]	36
Şekil 3.7.	Farklı metal katmanların optik mikroskopla çekilmiş kesit alanı görüntüsü [32].....	37
Şekil 3.8.	(a) Yuvarlak, iyi dağılmış parçacıklar iyi bir "kilit ve anahtar" modeli mekanik yapışmaya sebep olur. (b) Uzatılmış bütadien parçacıkları ise zayıf bir mekanik yapışmaya neden olmaktadır [44].....	38
Şekil 4.1.	Plastik parçanın üretildiği enjeksiyon makinesi	40
Şekil 4.2.	Hammaddenin kurutulduğu nem alıcı kurutucu	41
Şekil 4.3.	Termoregülatör	42
Şekil 4.4.	Parçanın basıldığı kalıp.....	42
Şekil 4.5.	Parça görüntüsü.....	43
Şekil 4.6.	Robotun parçayı alması	43
Şekil 4.7.	Parçanın konveyöre bırakılması.....	44
Şekil 4.8.	Parçanın konveyörde ilerlemesi.....	44
Şekil 4.9.	Yolluk kesimi.....	45
Şekil 4.10.	Parçaların istiflenişi	45
Şekil 4.11.	Parçalar banyolara girmeden önce baralara (askı platformu) asılır	49
Şekil 4.12.	Parçalar baralara kışkaçlar ile banyolara daldırılıp çıkarılma esnasında kıpırdamayacak şekilde tutturulur.....	50
Şekil 4.13.	Aşındırma + Yıkama banyolarından sonra parçaların baralardan sökülmesi	51
Şekil 4.14.	Aşındırma + Yıkama banyolarından çıkan parça	52
Şekil 4.15.	Aşındırma banyosu, kromik asit + sülfirik asit.....	54
Şekil 4.16.	Krom indirgeme, hidroklorik asit	54
Şekil 4.17.	Aktivatör, hidroklorik asit + kalay (II) klorür.....	55



Şekil 4.18. Hızlandırıcı, floro borik asit.....	56
Şekil 4.19. Kimyasal Nikel, sodyum hipofosfit + nikel klorür + amonyak	56
Şekil 4.20. Ön Nikel, nikel sülfat + nikel klorür + borik asit.....	57
Şekil 4.21. Asitli Bakır, bakır sülfat + sülfirik asit	57
Şekil 4.22. Yarı Parlak Nikel, nikel sülfat + nikel klorür + borik asit	58
Şekil 4.23. Parlak Nikel, nikel klorür + borik asit	58
Şekil 4.24. Henüz dolmamış Parlak Nikel banyosu	59
Şekil 4.25. Parçaların asılı olduğu bara Asit Bakır banyosunda	60
Şekil 4.26. Asit Bakır Yıkama banyosu sonrası.....	60
Şekil 4.27. Mikroçatlak Nikel Yıkama banyosu sonrası.....	61
Şekil 4.28. Krom Aktivasyon banyosu sonrası	61
Şekil 4.29. Krom kaplama prosesi tamamlandıktan sonra parçaların son hali	62
Şekil 4.30. Kullanılan test mikroskobu	63
Şekil 4.31. Soğuk asedik asit havuzu	64
Şekil 4.32. Parçaların soğuk asedik asit havuzuna bırakılışı	65
Şekil 4.33. Parçaların stres testinden sonra su ile yıkandığı.....	65
Şekil 4.34. Parçaların kurulandığı	66
Şekil 4.35. Isıl çevrim testinde kullanılan kabin	67
Şekil 4.36. Cross-Cut ekipmanı	68
Şekil 4.37. Cross-Cut bıçağı	68
Şekil 4.38. Cross-Cut yapıp, bant yapıştırılan 2. deney numunesinin fotoğrafı	69
Şekil 4.39. Kullanılan koloskop	70
Şekil 4.40. Kullanılan elektrolitler	70
Şekil 4.41. Kaplama kalınlıkları ölçülürken	71
Şekil 4.42. Numunelerin SEM cihazında duruşu	71
Şekil 5.1. Birinci deneye ait mikroçatlak görüntüsü	74
Şekil 5.2. İkinci deneye ait mikroçatlak görüntüsü.....	74
Şekil 5.3. Üçüncü deneye ait mikroçatlak görüntüsü.....	75
Şekil 5.4. Dördüncü deneye ait mikroçatlak görüntüsü	75



Şekil 5.5.	Beşinci deneye ait mikroçatlak görüntüsü	76
Şekil 5.6.	Altıncı deneye ait mikroçatlak görüntüsü	76
Şekil 5.7.	Yedinci deneye ait mikroçatlak görüntüsü	77
Şekil 5.8.	Sekizinci deneye ait mikroçatlak görüntüsü	77
Şekil 5.9.	Dokuzuncu deneye ait mikroçatlak görüntüsü.....	78
Şekil 5.10.	Stres testi öncesi 1. deney numunesinin fotoğrafı	79
Şekil 5.11.	Stres testi öncesi 2. deney numunesinin fotoğrafı	79
Şekil 5.12.	Stres testi öncesi 3. deney numunesinin fotoğrafı	79
Şekil 5.13.	Stres testi öncesi 4. deney numunesinin fotoğrafı	79
Şekil 5.14.	Stres testi öncesi 5. deney numunesinin fotoğrafı	80
Şekil 5.15.	Stres testi öncesi 6. deney numunesinin fotoğrafı	80
Şekil 5.16.	Stres testi öncesi 7. deney numunesinin fotoğrafı	80
Şekil 5.17.	Stres testi öncesi 8. deney numunesinin fotoğrafı	80
Şekil 5.18.	Stres testi öncesi 9. deney numunesinin (seri üretim) fotoğrafı.....	80
Şekil 5.19.	Stres testinden sonra 1. deney numunesinin fotoğrafı	81
Şekil 5.20.	Stres testinden sonra 2. deney numunesinin fotoğrafı	81
Şekil 5.21.	Stres testinden sonra 3. deney numunesinin fotoğrafı	81
Şekil 5.22.	Stres testinden sonra 4. deney numunesinin fotoğrafı	81
Şekil 5.23.	Stres testinden sonra 5. deney numunesinin fotoğrafı	81
Şekil 5.24.	Stres testinden sonra 6. deney numunesinin fotoğrafı	81
Şekil 5.25.	Stres testinden sonra 7. deney numunesinin fotoğrafı	82
Şekil 5.26.	Stres testinden sonra 8. deney numunesinin fotoğrafı	82
Şekil 5.27.	Stres testinden sonra 9. Deney (seri üretim) numunesinin fotoğrafı	82
Şekil 5.28.	Cross-Cut yapılıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 1. deney numunesinin fotoğrafı	84
Şekil 5.29.	Cross-Cut yapılıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 2. deney numunesinin fotoğrafı	84
Şekil 5.30.	Cross-Cut yapılıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 3. deney numunesinin fotoğrafı	85
Şekil 5.31.	Cross-Cut yapılıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 4. deney numunesinin fotoğrafı	85



Şekil 5.32.	Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 5. deney numunesinin fotoğrafı	86
Şekil 5.33.	Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 6. deney numunesinin fotoğrafı	86
Şekil 5.34.	Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 7. deney numunesinin fotoğrafı	87
Şekil 5.35.	Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 8. deney numunesinin fotoğrafı	87
Şekil 5.36.	Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 9. deney (seri üretim) numunesinin fotoğrafı	88
Şekil 5.37.	Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 1. deney numunesinin fotoğrafı.....	88
Şekil 5.38.	Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 2. deney numunesinin fotoğrafı.....	89
Şekil 5.39.	Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 3. deney numunesinin fotoğrafı.....	89
Şekil 5.40.	Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 4. deney numunesinin fotoğrafı.....	90
Şekil 5.41.	Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 5. deney numunesinin fotoğrafı.....	90
Şekil 5.42.	Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 6. deney numunesinin fotoğrafı.....	91
Şekil 5.43.	Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 7. deney numunesinin fotoğrafı.....	91
Şekil 5.44.	Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 8. deney numunesinin fotoğrafı.....	92
Şekil 5.45.	Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 9. deney (seri üretim) numunesinin fotoğrafı	92
Şekil 5.46.	Birinci deney numunesine ait SEM görüntüleri.....	95
Şekil 5.47.	İkinci deney numunesine ait SEM görüntüleri	96
Şekil 5.48.	Üçüncü deney numunesine ait SEM görüntüleri	97
Şekil 5.49.	Dördüncü deney numunesine ait SEM görüntüleri.....	98
Şekil 5.50.	Beşinci deney numunesine ait SEM görüntüleri.....	99



Şekil 5.51.	Altıncı deney numunesine ait SEM görüntüleri.....	100
Şekil 5.52.	Yedinci deney numunesine ait SEM görüntüleri	101
Şekil 5.53.	Sekizinci deney numunesine ait SEM görüntüleri.....	102
Şekil 5.54.	Dokuzuncu deney numunesine ait SEM görüntüleri	103





KROM KAPLANMIŞ AKRİLONİTRİL BÜTADİEN STİREN OTOMOTİV PARÇALARINDAKİ METAL-POLİMER YAPIŞMASINA ÜRETİM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

ÖZET

Günümüzde, otomotiv sektöründe daha yüksek kaliteli, ekonomik ve çevre dostu ürün kullanımı yönünde çalışmalar sürdürülmektedir. Özellikle, estetik, hafif ve ekonomik olması gibi avantajları sayesinde plastik dekoratif malzemeler metallere kıyasla daha fazla kullanılmaktadır. Plastikler metal kaplamalarla yüksek mukavemet, metalik yansıtma ve dekoratif özellik sergileyebilmektedir. Otomotiv sektöründe dekoratif plastik parçaların üretiminde genellikle krom kaplama tercih edilmektedir. Bu çalışmada, enjeksiyonla kalıplanmış ABS parçaların üzerine elektro-kaplama yöntemi ile krom kaplama işlemi uygulanmıştır. Hazırlanan parçalardaki metal-polimer adezyonuna enjeksiyon kalıplama proses parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Numuneler kaplanmadan önce stres testine; kaplandıktan sonra Cross-Cut testine ve ısıl çevrime tabi tutulmuştur. Ayrıca kaplanan parçaların mikroçatlak yoğunluğu, kaplama kalınlıkları ve ısıl çevrimden sonra Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enjeksiyon parametresi, ABS, Metal kaplama, Krom, Adezyon



THE EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON METAL-POLYMER ADHESION OF CHROME PLATED ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE AUTOMOTIVE PARTS

ABSTRACT

Nowadays, efforts are being made to use higher quality, economical and environmentally friendly products in the automotive industry. In particular, plastic decorative materials are used more than metals, thanks to their advantages such as being aesthetic, light and economical. Plastics can exhibit high strength, metallic reflection and decorative properties with metal coatings. Chrome plating is generally preferred in the production of decorative plastic parts in the automotive industry. In this study, chrome plating process was applied on injection molded ABS parts by electroplating method. The effect of injection molding process parameters on metal-polymer adhesion in the prepared parts was investigated. Before the samples are coated, stress test; After the coating, it was subjected to the Cross-Cut test and thermal cycling. So, it was examined microcrack density, plating thickness and after the thermal cycle, SEM images.

Keywords: Injection molding parameters, ABS, Metal plated, Chrome, Adhesion



1.GİRİŞ

Plastikler otomotiv, ambalaj, inşaat ve elektrik-elektronik gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe bir aracın logosu, pervazı, tutamakları, panelleri ve düğmeleri gibi birçok parçası hafiflik, düşük maliyet, korozyon direnci, şekil verme kolaylığı ve tokluk gibi özellikleri sayesinde plastiklerden üretilmektedir. Teknolojik gelişmeler ve müşteri istekleri nedeniyle günümüzde plastikler otomotiv parçalarının daha estetik üretilmesine imkan sağlamaktadır. Endüstriyel olarak farklı geometrilerdeki (uzunluk, genişlik, yükseklik, kalınlık ve eğrilik gibi) otomotiv plastiklerine enjeksiyonla kalıplama işleminden sonra elektrokaplama tekniği ile krom kaplanarak dekoratif özellik kazandırılmaktadır. Krom kaplama uygulaması ile plastiklere metal malzeme yüzeyi gibi parlaklık ve görsellik özelliği kazandırılmaktadır.

Enjeksiyonla kalıplanmış plastikler elektrokaplama işleminde bir dizi proses aşamasından geçirilir [1]. Elektrokaplama prosesinde Akrilonitril bütadien stiren (ABS) oldukça yaygın kullanılmaktadır [2-4]. ABS yüzeyinde aşındırma işlemi yapılarak yüzeyinde küçük mikroskobik boşluklar oluşturulmaktadır. Bu işlemde oluşturulan küçük boşluklar metal tabakanın plastik yüzeyine yapışmasını sağlamaktadır. Elektrokaplama uygulamalarında yapısı gereği ABS'in yüzeyinde homojen dağılmış bütadien bölmelerinin oluşturulması iyi bir metal-polimer yapışması sağlama potansiyeli oluşturmaktadır [1]. Seo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, elektrokaplanmış ABS'in üzerinde küçük delikler oluşturulmuş ve metal tabaka ile kaplanmıştır. Çalışma sonucunda, ABS yüzeyindeki delik derinliklerinin metal kaplama performansı açısından önemli olduğu raporlanmıştır [3].

Krom kaplı plastiklerin performansı, mekanik kilitleme, elektrostatik, difüzyon, adsorpsiyon ve kimyasal yapıştırmanın yanında plastiklerin yapısal-fiziksel özelliklerine ve proses parametrelerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Farklı enjeksiyon parametreleri (enjeksiyon basıncı, eriyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon süresi) plastik parçanın yüzey özelliklerini ve metal-polimer yapışmasını doğrudan etkilemektedir [1, 5]. Kurek ve diğerleri tarafından [4], krom parçaların üretiminde polivinil klorür (PVC) ve PVC/ABS karışım parçaları enjeksiyon işlemi ile üretilmiş ve daha sonra geleneksel yöntemle krom kaplanmıştır. Numune yüzeyleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM),

pürüzlülük ve temas açısı ile analiz edilmiş ve ABS yüzeyi ile karşılaştırılmıştır. Pürüzlülüğün, metal tabakanın yapışmasını doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Karabeyoğlu ve diğerleri [6], enjeksiyon kalıplama ile üretilen ABS numunelerin aşınma davranışına kaplama ve test kuvvetlerinin etkisi araştırmışlardır. ABS numunelerini enjeksiyonla kalıpladıktan sonra Cu-Ni-Cr ile kaplamışlardır. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri profilometre ile ölçülmüştür. Bu çalışma sonucunda ortalama sürtünme katsayısı ve sürtünme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma seviyesi belirlenmiştir. Çok katmanlı Cu-Ni-Cr kaplamanın, sürtünme kuvvetlerini ve ortalama sürtünme katsayısı değerlerini önemli ölçüde etkilediğini tespit etmişlerdir. Sreedhara ve diğerleri [7], plastik enjeksiyon ile kalıplama ve metal kaplama aşamalarının girdi değişkenlerinin kaynak çizgisi, çarpılma ve çeşitli metal kaplama kalınlıkları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. ABS malzemeden yapılmış bir otomotiv dış trim parçası imalatının enjeksiyon kalıplama optimizasyonu, gerçek zamanlı endüstriyel veriler ile elde edilmiştir [7]. Enjeksiyonla kalıplanmış bir plastik parçadaki büzülme ve çarpılma gibi proses hataları parçanın son işlem ölçümlerini tanımlamada önemlidir. Genellikle parçanın özelliklerine etki eden doldurma süresi, kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, ütüleme basıncı ve ütüleme süresi gibi parametreler enjeksiyon ile kalıplamada kullanılan parametrelerdir. Özçelik ve diğerleri [8], enjeksiyon ile kalıplama işlemi sırasında otomotiv parçalarında bir ABS bileşeninin büzülme hızına etki eden enjeksiyon basıncının ve soğutma sisteminin etkisini araştırmışlardır. İşlem parametrelerinin ayarı optimize edilmediğinde ABS bileşeninde büzülme gibi kusurlar olacağını raporlamışlardır. Oliveira ve diğerleri [9], enjeksiyonla kalıplanmış ABS parçaların yüzey morfolojisini, pürüzlülüğünü ve parlaklığını işleme parametreleriyle ilişkili olarak değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada; yüzey özelliklerinin, kalıplama parametrelerinden kalıp sıcaklığı, enjeksiyon sıcaklığı ve tutma basıncından etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Genel olarak, bu parametrelerin daha yüksek değerlerinin, çok düzgün yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünü azalttığını ve diğer yüzeylerde ters etkiye neden olduğunu raporlamışlardır. Schiffersa ve diğerleri [10], ABS ve PC/ABS parçalarında aşındırma sonrasında ortaya çıkan yüzey özelliklerinin anlaşılmasını artırmak için plastikler üzerine elektrokaplama işlemi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda; yüksek büzülme potansiyelinin, aşındırma süreci ve katman sistemi için kalite belirleyici olduğunu gözlemlemişlerdir. Monterde ve diğerleri [11], enjeksiyonla kalıplanmış ABS köpüklerin yüzey pürüzlülüğüne proses parametrelerinin

etkisini incelemişlerdir. Kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızının ABS köpüklerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Kalıplama işlemi, kaplama yapışmasını ve son ürün performansını doğrudan etkilemektedir. Parça yüzeyindeki yüksek artık gerilimler yapışmayı azaltmakta ve kaplanmış parçada çatlamaya, kabarmaya ve bükülmeye neden olmaktadır. Yüzey gerilimlerini en aza indirmek için, polimer eriyiği yüksek kalıp sıcaklıklarında, yüksek eriyik sıcaklıklarında ve yavaş enjeksiyon hızlarında kalıplanmaktadır. Doğru kurutma prosesi ise neme bağlı olarak kaplamadan sonra daha kötü görünebilecek yüzey kusurlarını önlemektedir [12]. Genel olarak, mevcut olan herhangi bir nem, elektrolizle kaplanmış parça yüzeyinde lekelenmelere yol açabileceğinden dolayı hammadde kalıplanmadan önce yeterince kurutulmalıdır. ABS için nem içeriği maksimum %0,02 olmalıdır. Mümkünse kırma hammadde kullanımından kaçınılmalıdır. Eğer kullanılacaksa yeterince kurutulmalı ve kullanımı kütlege maksimum %10 ile sınırlandırılmalıdır [13].

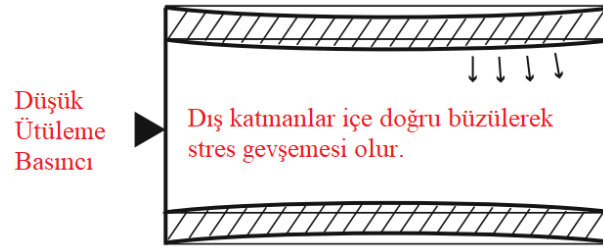
Uygun kalıplama parametrelerini seçmek, uygun bir elektrokaplama sınıfı ABS veya PC/ABS seçmek kadar önemlidir. Her bir parça, tasarımı nedeniyle en iyi performansla sonuçlanacak benzersiz kalıplama parametrelerine sahiptir. Geçmiş deneyimler bizlere işleme için bir başlangıç noktası sağlamaktadır. Ancak yalnızca deneme yanılma yoluyla belirli bir üründe kullanılacak en iyi enjeksiyon kalıplama işlemini belirleyebiliriz.

Malzeme seçiminden sonra, kalıplanmış bir parçanın nihai özelliklerini belirleyen en önemli dört özelliği; polimer oryantasyonu, polimer bozunması, serbest hacim (moleküler paketlenme ve relaksasyon) ve artık stresdir. Enjeksiyonla kalıplanmış parçaların boyutsal kararlılığını ve ısı çevrim performansını etkileyen bu özelliklerdir.

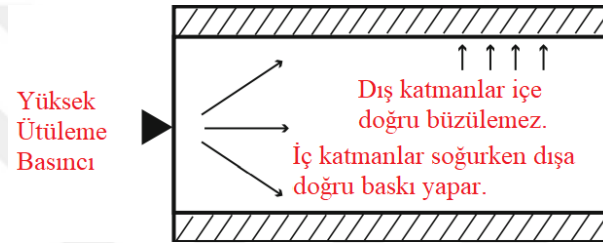
Polimerler, çok yüksek eriyik sıcaklıklarına maruz kaldığında bozunabilmektedir. Bazen yüksek kesme hızları da polimerin bozunmasına neden olabilir. Plastik eriyiğin bozunması, ürünün yetersiz yüzey aşınması nedeniyle metal katmanların zayıf bir şekilde yapışması gibi elektrokaplama sorunlarına neden olabilir.

Çevrim esnasında ütüleme basıncının miktarı moleküler paketlenmeyi ve relaksasyonu etkileyebilmektedir. Polimer zincirlerinin, enjeksiyon çevriminde yer alan soğuma sırasında gevşeyebilmesi önemlidir. Eğer zincirler relaksasyona uğramazsa yüksek

sıcaklıklarda boyutsal kararlılık bundan olumsuz etkilenmektedir ve bu ısıl çevrim testinde kötü sonuçlar doğurabilmektedir.



Şekil 1.1. Düşük ütöleme basıncında zincir oryantasyonu ile stres ilişkisi [14]



Şekil 1.2. Yüksek ütöleme basıncında zincir oryantasyonu ile stres ilişkisi [14]

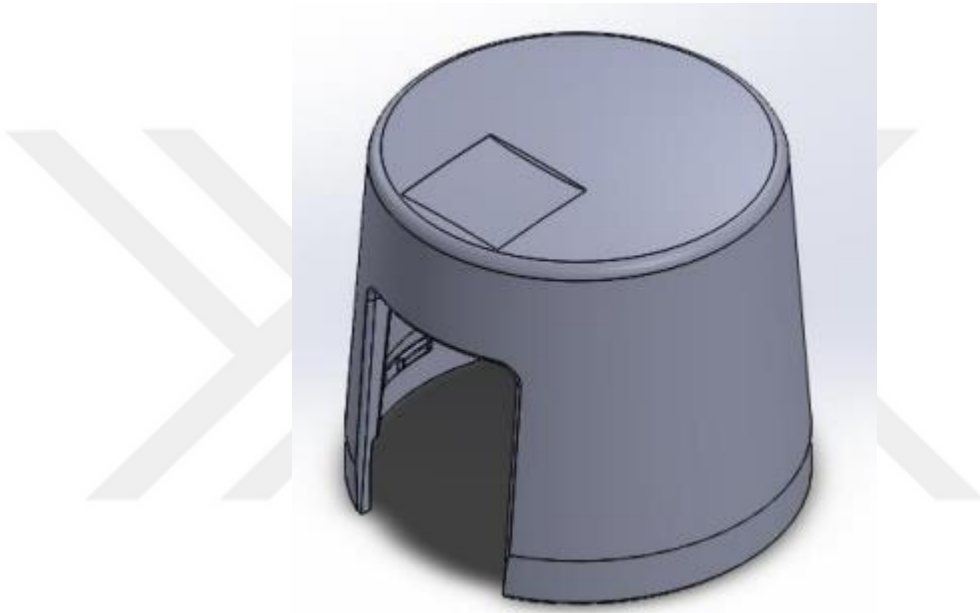
Polimer oryantasyonu genellikle hatalı olarak ‘stres’ olarak adlandırılmaktadır. Stres, polimer oryantasyonundan farklıdır ve karıştırılmamalıdır. Stres, uygun olmayan enjeksiyon veya ütöleme safhalarından sonra kalıptaki heterojen soğumadan kaynaklanmaktadır. Oryantasyon ise polimer zincirlerinin gergin olup olmaması değil, basitçe hizalanması olarak tanımlanabilmektedir. Polimer zincirlerinin gevşemesine izin verildiğinde zincirler, bir tahta parçasındaki damarlara benzer şekilde hizalanmalarının aksine daha küresel bir şekil almaktadırlar. Kalıplama sonrası parçada biriken ve krom kaplamalı ABS ürünlerde çatlama ve soyulmaya yani zayıf polimer-metal adezyonuna sebep olan strese ise ‘artık stres’ denir. İkiye ayrılır:

A) Akış Kaynaklı Artık Gerilim: Akış kaynaklı gerilim, dolum sırasında ve işlemin dolum sonrası aşamalarında eriyiğin viskoelastik akışı nedeniyle oluşmaktadır. Kalıp yüzeyi yakınındaki polimer, kalıp yüzeyi ile temas ettikten hemen sonra donmaya başlar. Bu stres, makromoleküllerin oryantasyonuna karşılık gelmektedir [15].

B) Isı Kaynaklı Artık Gerilim: Bu gerilim, hem kalıbın içinde hem de soğuma safhasındaki büzülme nedeniyle oluşmaktadır. Merkezde sıcak ve akışkan bir çekirdek

ve kalıp duvarlarının yanında donmuş katmanlar ile eşit olmayan bir sıcaklık alanı mevcuttur. Bu sıcaklık alanı, malzemenin farklı zamanlarda cam geçiş sıcaklığının üzerinden, altına doğru soğumasına neden olur. Bu stres nedeniyle krom kaplanmış parçada çarpılma ve çatlama meydana gelmektedir [16].

Başka bir çalışmada Regita Bendikiene, bilgisayarda Solidworks 2015 akış analizi simülasyonu programında parçada strese neden olan enjeksiyon parametrelerini incelemiştir. Parça, aşağıda gösterildiği gibi tasarlanmış olup, kullanılan malzeme ise ABS (POLYLAC PA727)' dir.



Şekil 1.3. Akış analizi yapılan parça [17]

Simülasyon için endüstriyel olarak en çok kullanılan sabit parametreler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

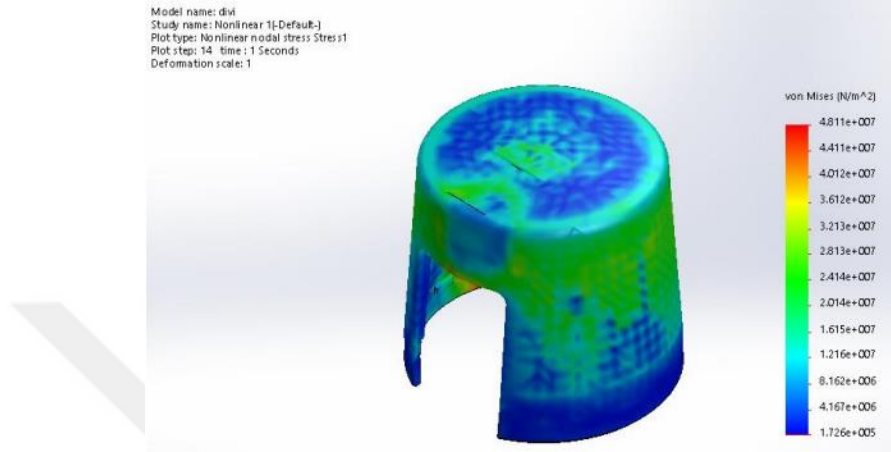
Tablo 1.1. Sabit Parametre Proses Ayar Kartı [17]

PARAMETRELER	DEĞER
Eriyik Sıcaklığı	240 °C
Kalıp Sıcaklığı	60 °C
Dolum Süresi	1sn
Ütüleme Süresi	15sn
Soğuma Süresi	25sn
Ütüleme Basıncı Oranı	%80
Parçanın Kalıptan Çıkma Sıcaklığı	90 °C

Yukarıdaki parametreler haricindeki diğer tüm proses parametreleri tüm durumlar için sabittir. Yukarıdaki proses parametrelerini değiştirerek toplamda 4 farklı simülasyon yapılmış, artık stresler incelenmiştir.

1. Durum

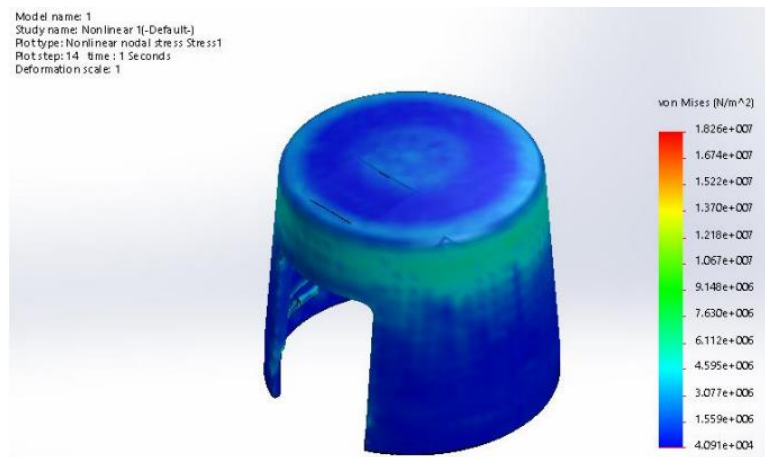
Bu simülasyonda Tablo 1.1’ de yer alan değerler kullanılmıştır.



Şekil 1.4. Birinci Durum’ da dolum sonrası ortaya çıkan stres [17]

2. Durum

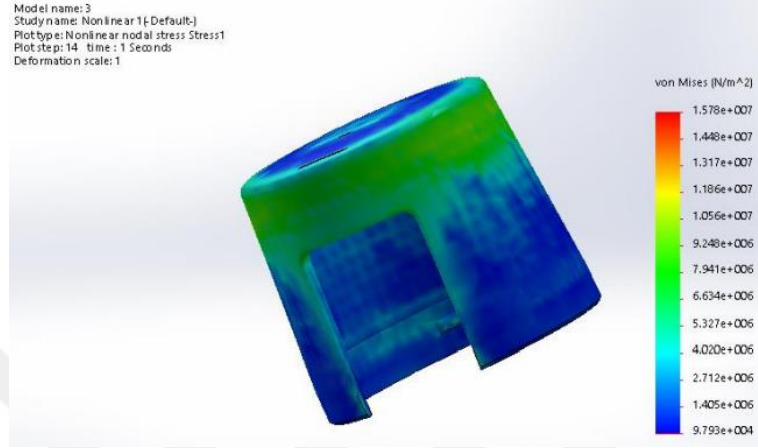
Bu simülasyonda Tablo 1.1’ deki parametre değerlerinden olan ütüleme süresi 15sn’ den 20sn’ ye ve soğuma süresi 25sn’ den 30sn’ ye yükseltilmiştir. Diğer parametreler aynı tutulmuştur.



Şekil 1.5. İkinci Durum’ da dolum sonrası ortaya çıkan stres [17]

3. Durum

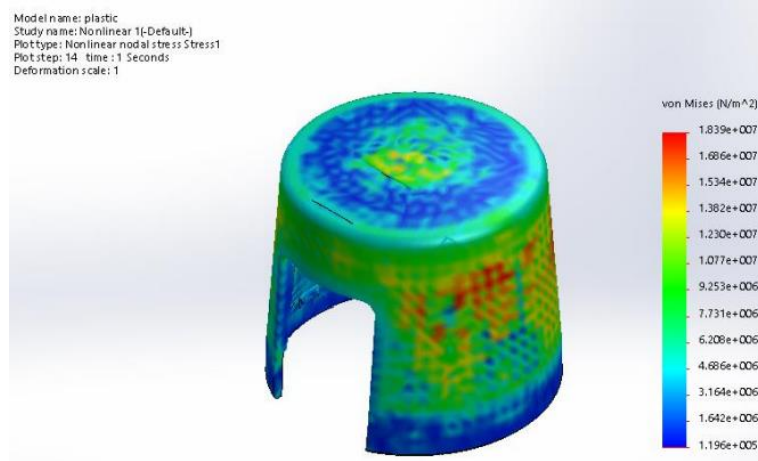
Bu simülasyonda Tablo 1.1’ daki parametre değerlerinden olan ütüleme süresi 15sn’ den 20sn’ ye, soğuma süresi 25sn’ den 30sn’ ye ve kalıp sıcaklığı 60°C’ den 70°C’ ye yükseltilmiştir. Diğer parametreler aynı tutulmuştur.



Şekil 1.6. Üçüncü Durum’ da dolum sonrası ortaya çıkan stres [17]

4. Durum

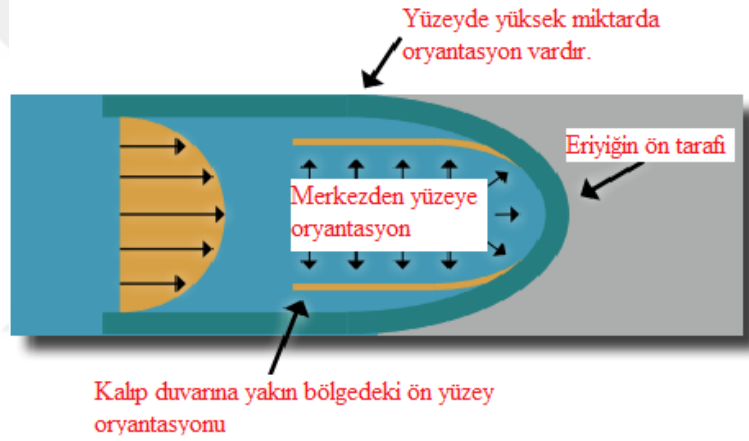
Bu simülasyonda Tablo 1.1’ deki parametre değerlerinden olan ütüleme süresi 15sn’ den 20sn’ ye, soğuma süresi 25sn’ den 30sn’ ye yükseltilmiş ve kalıp sıcaklığı 60°C’ den 50°C’ ye düşürülmüştür. Diğer parametreler aynı tutulmuştur.



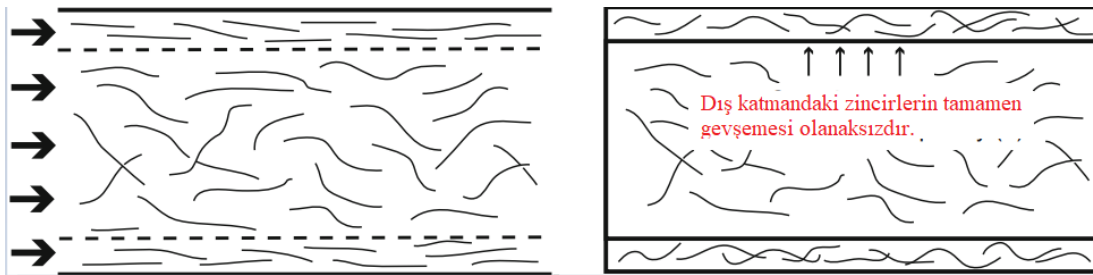
Şekil 1.7. Dördüncü Durum’ da dolum sonrası ortaya çıkan stres [17]

Yukarıdaki simülasyon sonuçları incelendiğinde görülmüştür ki; ütüleme süresi ve soğuma süresini arttırmak ABS parçadaki iç stresi azaltırken kalıp sıcaklığını düşürmek ise ABS parçadaki iç stresin artmasına neden olmuştur [17].

Polimer bir enjeksiyon kalıbına enjekte edildiğinde, kalıp boşluğunun daha soğuk olan yüzeyinde donmaktadır ve eriyik kalıp boşluğu boyunca ilerledikçe polimer zincirlerini geren ve yönlendiren alt eriyik akışına neden olmaktadır. Boşluk doldurulduktan sonra ütüleme ve soğuma gerçekleşmektedir. Zincirlerdeki gerilme, kayma dağılımında değişime ve parça boyunca çeşitli derecelerde zincir gevşemesine (relaksasyon) neden olmaktadır. Oryantasyon; enjeksiyon sırasında kalıp içinde üretilen bu relaksasyon (gevşeme) ile ütüleme ve soğutma aşaması sırasında eriyik polimer zincirlerinin maruz kaldığı relaksasyon miktarı arasındaki farktır.



Şekil 1.8. Kalıp içinde eriyik polimerin ilerleyişi [14]



Şekil 1.9. Enjeksiyon esnasında polimer zincirlerinin oryantasyonu [14]

Plastiğin kalıp boşluğuna enjekte edildiği hız, bir parçadaki oryantasyon miktarını büyük ölçüde etkilemektedir. Hızlı bir doldurma, parçanın yüzeyinde daha fazla, yüzeye uzak yerlerde ise daha az oryantasyon sağlamaktadır. Daha yavaş bir doldurma hızı, kalıbın eriyiği boşluktan akarken soğutmak için daha fazla zamanı olduğundan yüzey oryantasyonunu en aza indirmektedir [14]. Enjeksiyon hızı çok yavaş, tipik

olarak 0,75 inç/saniyenin altında, olmalıdır. Zayıf metal-polimer yapışmasına yol açan yüzey oryantasyonunu ve yüzey gerilimlerini en aza indirmek için yavaş enjeksiyon hızı gereklidir. Enjeksiyon hızı, oryantasyonun parça kesitinde nerede bulunduğunu belirlemektedir. Genel olarak, ısıtılma çevrim testini geçmek için daha düşük doldurma hızı avantajlıdır.

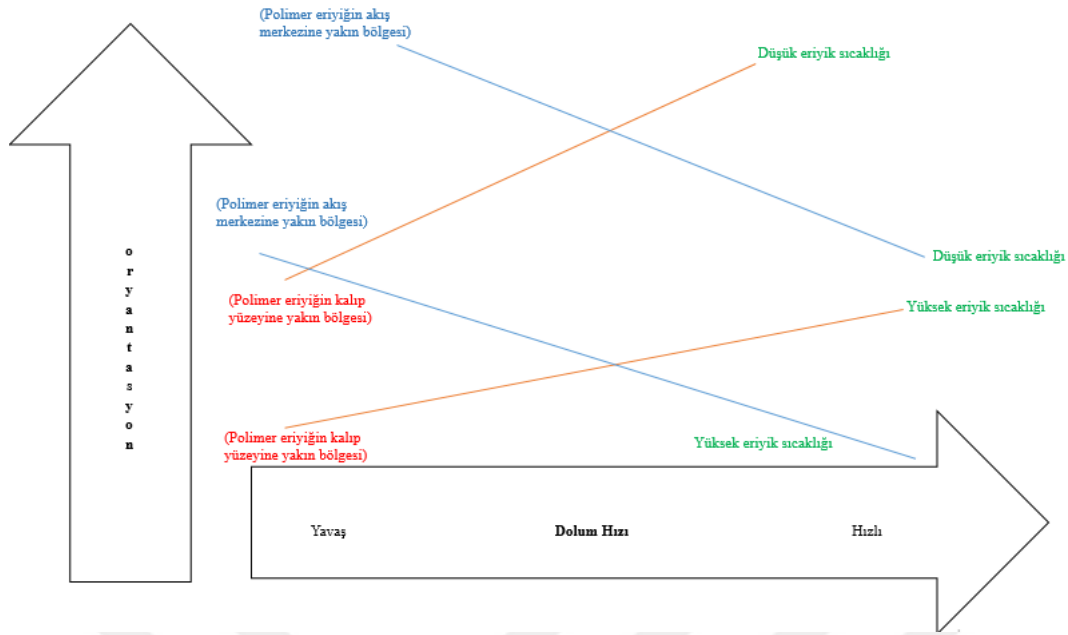


Şekil 1.10. Enjeksiyon hızının oryantasyona etkisi [13]

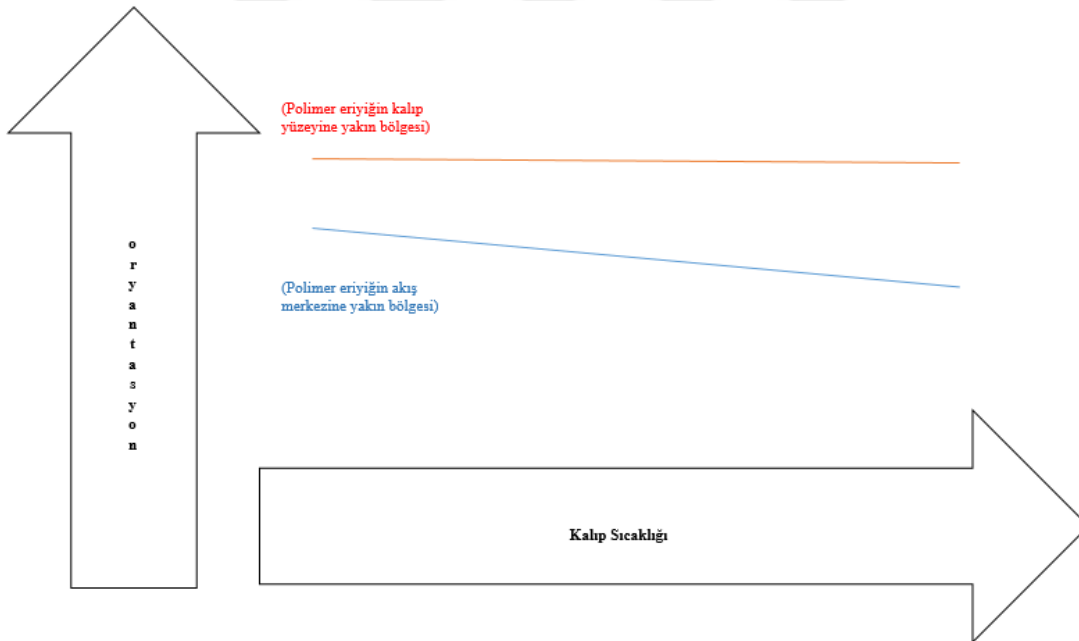
Polimerlerin oryantasyonunu etkileyen bir diğer faktör ise eriyik sıcaklığıdır. Daha sıcak eriyik daha az oryantasyona sebep olmaktadır. Daha sıcak eriyik daha az viskoz olduğundan, oryantasyona neden olan germe ve kesme kuvvetlerini azaltmaktadır. Daha sıcak eriyikler de daha yavaş soğumaktadır. Bu da çevrim sonunda daha fazla zincir gevşemesi ile sonuçlanmaktadır. Eriyik sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı, önerilen aralığın üstünde olmalıdır. Bu durum, malzemenin kalıba daha kolay akmasına yardımcı olmaktadır. Böylelikle daha düşük oryantasyon ve gerilimlerle karşılaşmaktadır.

Kalıp yüzey sıcaklığının polimer oryantasyonu üzerinde, doldurma hızı veya eriyik sıcaklığından daha az etkiye sahip olduğu söylenebilmektedir. Daha sıcak bir kalıpta daha yavaş eriyik soğuması olacağından dolayı (ki bu durum polimer zincirlerinin daha fazla gevşemesine sebep olur) kalıp çekirdeğine yakın bölgelerde daha az oryantasyon olmaktadır.

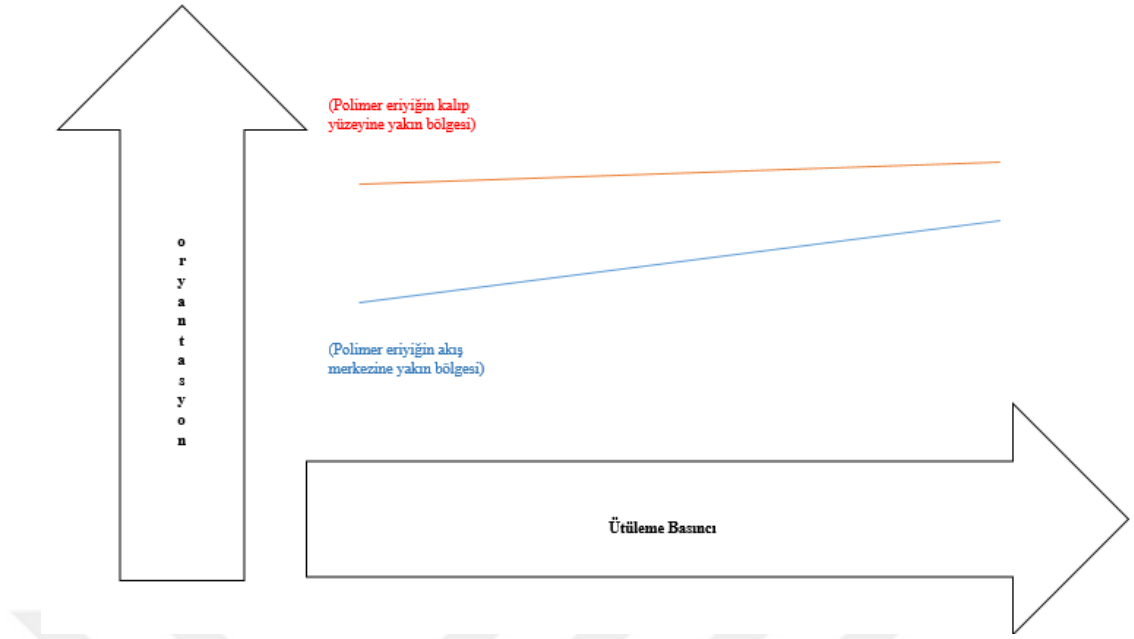
Ütüleme basıncının artırılması, polimerlerin soğuma safhasında daha fazla gevşemesine izin verilmediği için genellikle oryantasyonu arttırmaktadır. Yüksek artık gerilimleri en aza indirmek için enjeksiyon ve ütüleme basınçları minimumda tutulmalıdır [13].



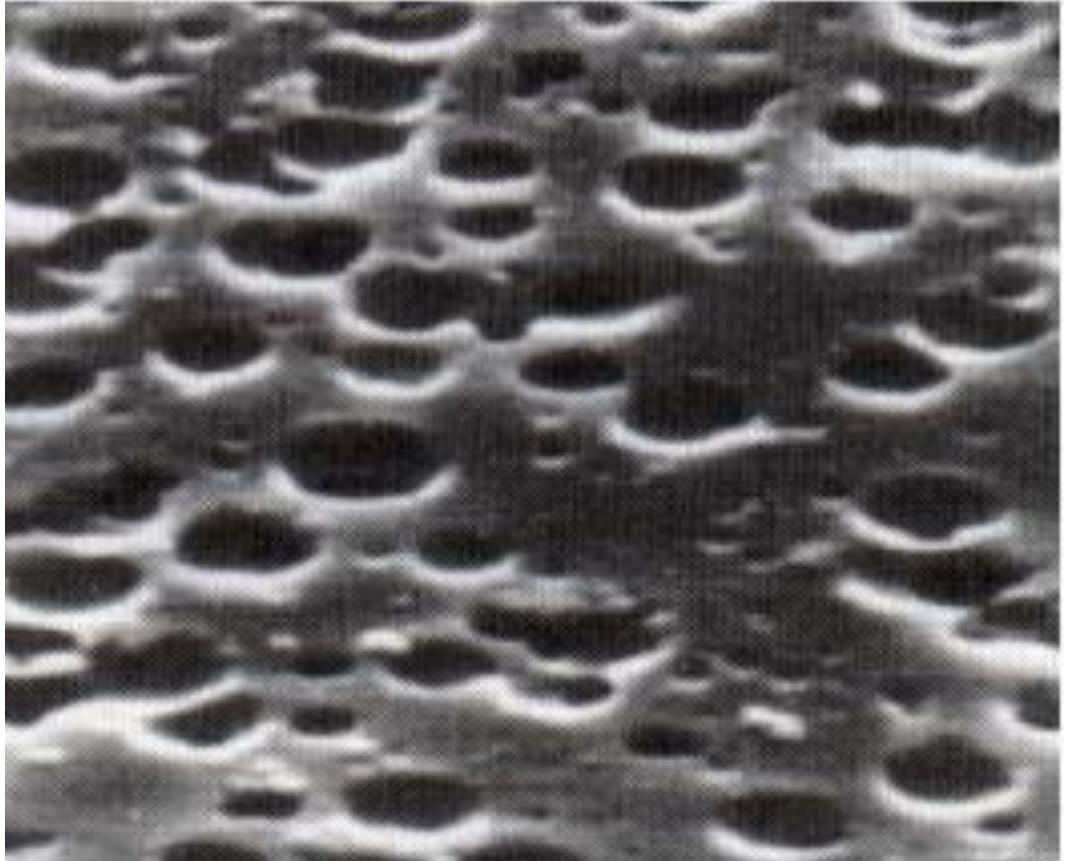
Şekil 1.11. Dolum hızı-kalıp içi bölgesel ABS polimer eriyik akış-eriyik sıcaklığı ilişkisinin zincir oryantasyonuna etkisi [18]



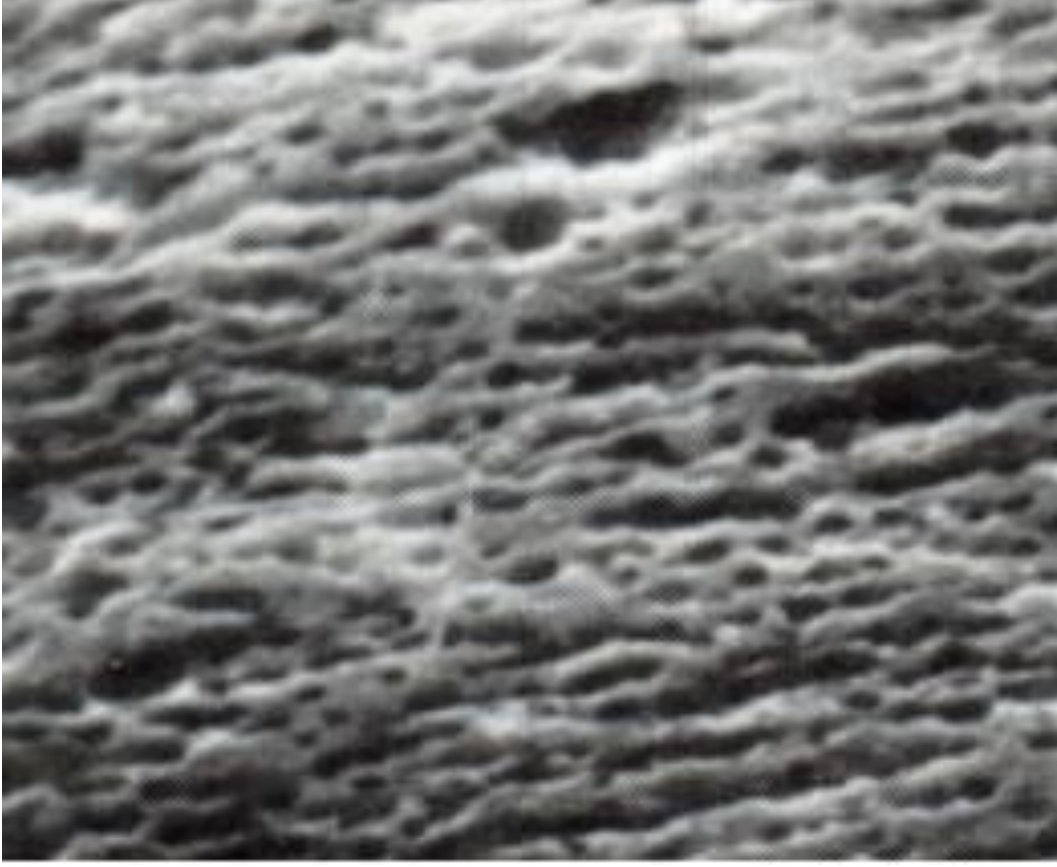
Şekil 1.12. Kalıp içi bölgesel ABS polimer eriyik akışı ve kalıp sıcaklığının zincir oryantasyonuna etkisi [18]



Şekil 1.13. Kalıp içi bölgesel ABS polimer eriyik akışı ve ütöleme basıncının zincir oryantasyonuna etkisi [18]



Şekil 1.14. İyi aşındırılmış, düşük oryantasyona sahip bir ABS ürünün SEM görüntüsü [13]



Şekil 1.15. İyi bir şekilde aşındırılmamış, yüksek oryantasyona sahip bir ABS ürünün SEM görüntüsü [13]

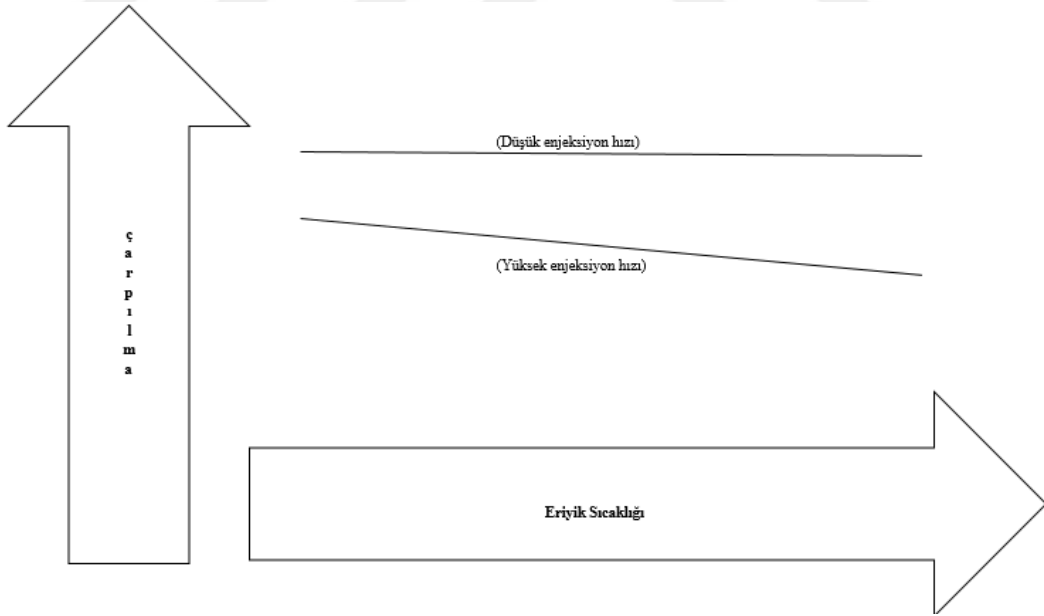
Bir diğer önemli konu, parçaların yüksek sıcaklıklarda çarpılma eğilimidir. Bu eğilim, bazen ısıl çevrim testlerinde olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Bir parça, parçanın yüzeyden uzak yani iç kısımlarındaki oryantasyonunu ve soğuma gerilimlerini oluşturan kalıplama koşulları altında işlendiğinde çarpılabilir. Daha yüksek bir eriyik sıcaklığı ve daha hızlı bir doldurma, oryantasyonu azaltmaktadır ve böylece parçadaki çarpılma azalmaktadır.

Daha soğuk bir kalıp sıcaklığı ile polimer oryantasyonu daha kısa bir relaksasyon zamanına sahip olmakta ve böylece eriyiğin hızlıca soğuması parçada soğuma stresine neden olmaktadır.

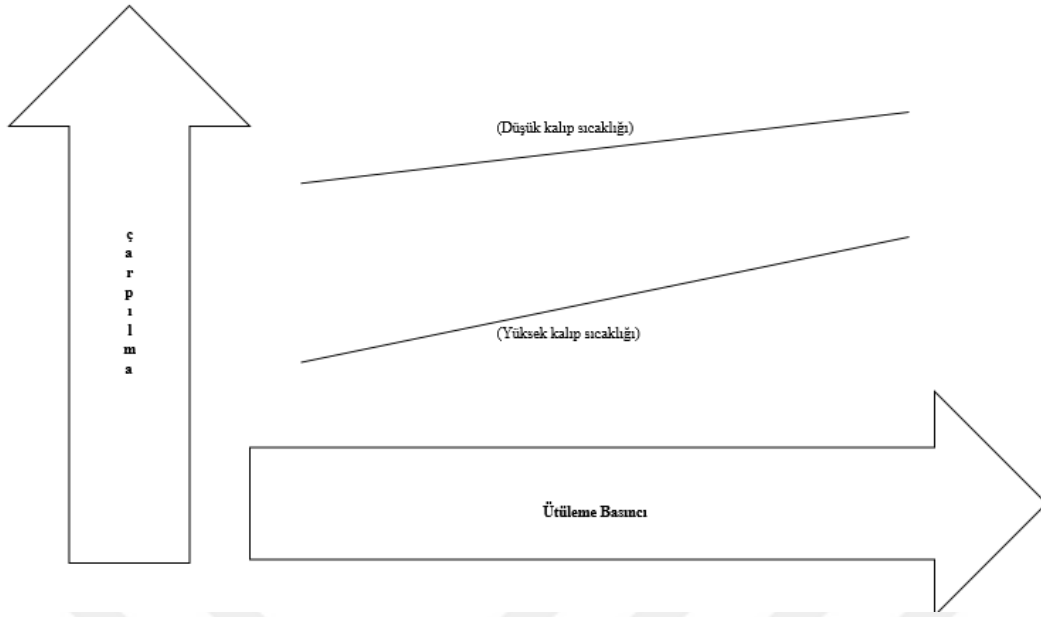
Elektrokaplama için enjeksiyon kalıplama, boyama prosesi içeren veya dekoratif olmayan parçalar için kalıplamadan daha zordur. Yüzey görünümü, boyutsal kararlılık ve nihai metal yapışması eşit derecede önemlidir. Enjeksiyon ile kalıplama

parametreleri hem gerekli ısı çevrim testini geçebilecek hem de mümkün olan en iyi görünüme sahip parçayı elde etmek için yapılan bir uzlaşma gibidir. Normalde krom kaplama prosesindeki yapışma kusurları, parça yüzeydeki ince üst tabaka ile bu ince yüzey tabakasının hemen altındaki plastik tabaka arasında meydana gelmektedir. Bir parçanın bu alanı, sınır tabakası olarak adlandırılmaktadır.

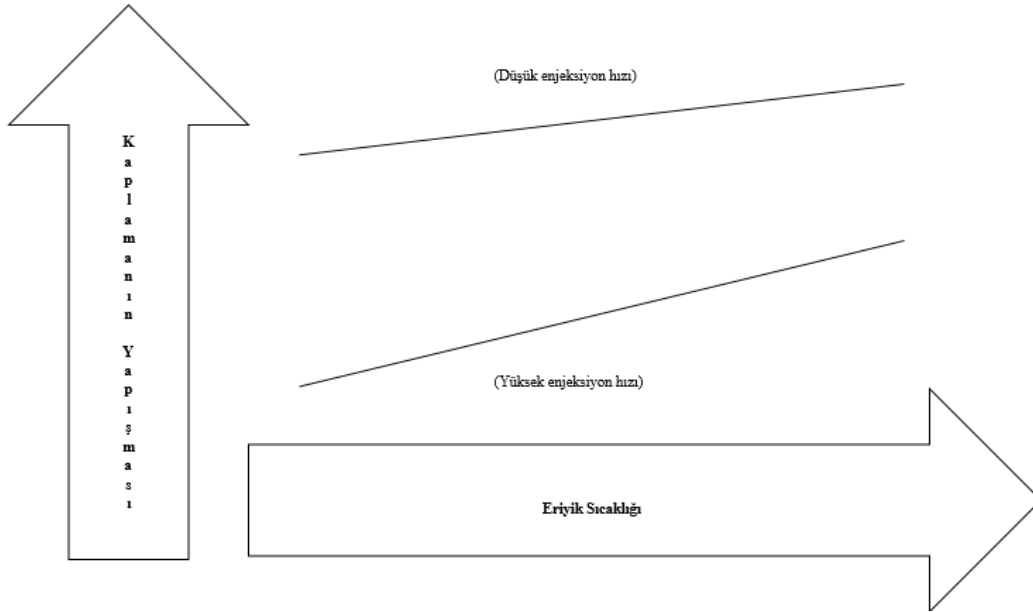
Bu sınır tabakasının yapışma gücü, kalıp yüzeyi boyunca eriyik akışı sırasında oluşan oryantasyon ile belirlenmektedir. Bu alandaki oryantasyon en aza indirilirse, yapışma en üst düzeye çıkmaktadır. Bir kez daha söylemek gerekirse bu oryantasyona katkıda bulunan iki faktör eriyik sıcaklığı ve enjeksiyon hızıdır. Daha yavaş doldurma oranları yüzey oryantasyonunu düşürmektedir ve kaplamanın ABS ürüne daha iyi yapıştığı, daha güçlü bir sınır tabakası oluşturmaktadır. Daha yüksek eriyik sıcaklıkları, özellikle daha yavaş doldurma sırasında polimer zincirlerinin daha fazla gevşemesine izin vermektedir. Bu da daha güçlü yapışmaya sebep olmaktadır. Ek bilgi olarak paylaşmak gerekirse silikon bazlı kalıp ayırıcıları aşındırma aşamasında plastik parçadan kimyasal olarak ayırmak çok zor olduğu için bu tür kalıp ayırıcıları kullanmak ise metal-polimer arasındaki yapışmayı zayıflatmaktadır [18].



Şekil 1.16. Enjeksiyon hızı-eriyik sıcaklığı ilişkisinin ABS ürünün çarpılmasına etkisi [13]



Şekil 1.17. Kalıp sıcaklığı-ütüleme basıncı ilişkisinin ABS ürünün çarpılmasına etkisi [13]



Şekil 1.18. Enjeksiyon hızı-eriyik sıcaklığı ilişkisinin kaplamanın ABS ürüne yapışma etkisi [13]

Bu çalışmada, deneysel üretim uygulamaları ile krom kaplı dekoratif otomotiv parçalarındaki polimer-metal yapışmasına enjeksiyonla kalıplama parametrelerinin etkisi incelenecektir. tleme basıncı, soğutma süresi, kalıp ve sıcaklığı gibi enjeksiyon parametre ayarları optimize edilerek kaplama işlemi için en uygun parametreler belirlenecektir. ABS plastikler üzerine endüstriyel elektrokaplama işlemi ile krom kaplanacaktır. ABS numunelerin yüzey yapısı ve topolojisi analiz edilecektir. ABS numunelerinin yüzeyi SEM ile analiz edilerek metal-polimer yapışma özellikleri incelenecektir.

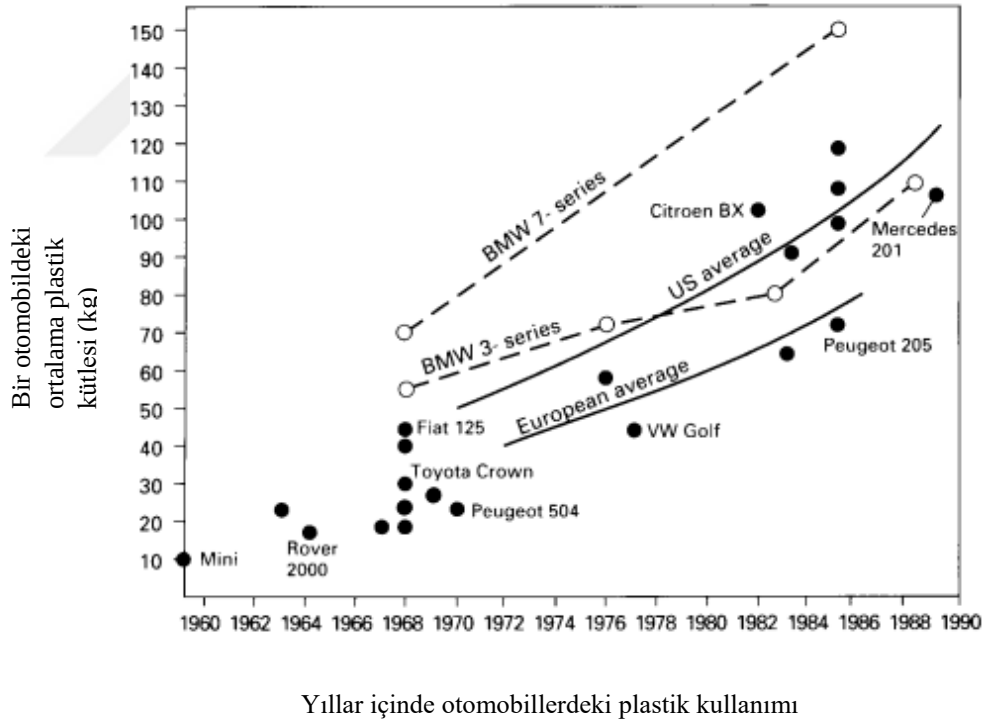




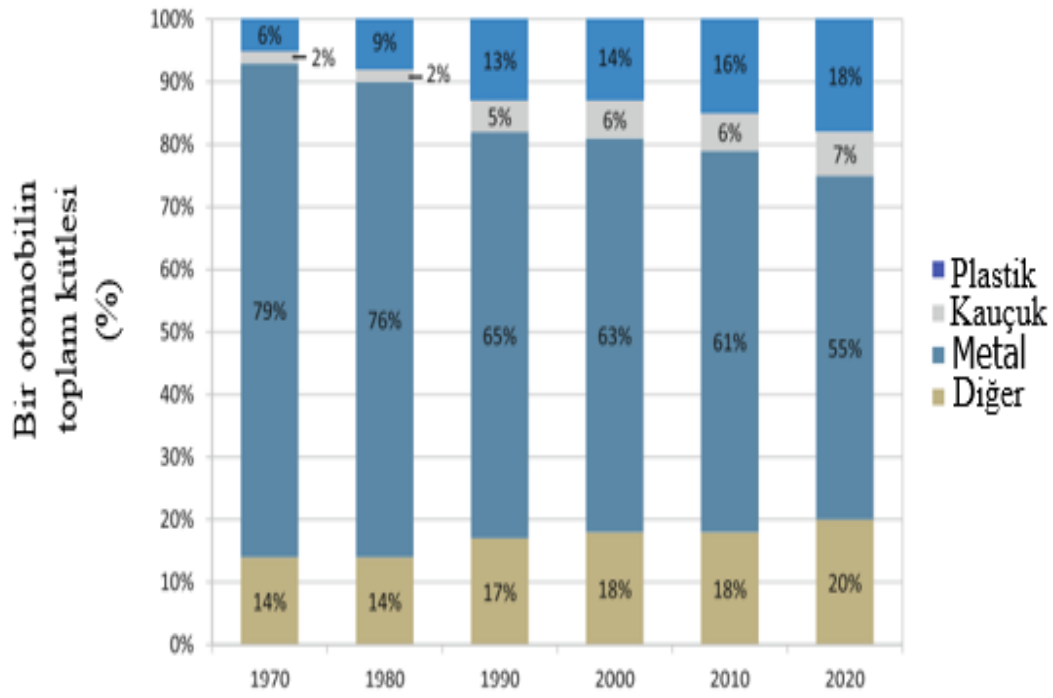
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Otomotiv Plastikleri

1993' te bir araba, toplam ağırlığının %11' ini oluşturan yaklaşık 100 kg plastik içermektedir. Küresel olarak bu, değeri 5 milyar £ (Pound)' dan fazla olan 4 milyon tonun üzerinde plastikten oluşan bir pazarı temsil etmektedir. Otomobillerde plastik kullanımı 1950' lerden beri istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Ortalama araba ağırlıkları, 1973 (petrol maliyetinin otomotiv tasarımında ilk kez önemli bir faktör haline geldiği) ile 1980' lerin sonu arasında %15' ten fazla düşmüştür. Otomotiv plastiklerinde en yüksek büyüme bu dönemde gerçekleşmiştir. Petrol bazlı plastiklerin tedarikinden kaynaklanan herhangi bir yeni problemin, plastik bazlı tasarım değişikliklerinden ve ağırlık tasarrufu tekniklerinden kaynaklanan yakıt ekonomileri ile fazlasıyla telafi edilebileceği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, daha fazla maliyet bilinci, plastiklerin bileşen konsolidasyonu ve basitleştirilmiş montajdaki potansiyel avantajlarını vurgulamıştır.



Şekil 2.1. Bazı markaların otomobillerindeki ağırlıkça ortalama plastik kullanımının yıllara göre artışı [19]



Şekil 2.2. Yıllara göre otomobillerdeki plastik kullanımının artışı [20]

Otomotiv sektöründeki plastik kullanımının durdurulamaz büyümesi için geçmişte bazı abartılı tahminler yapılmıştır. Ancak şimdi büyüme eğrisinin düzleşmeye başladığına dair net işaretler vardır. Aşırı ağırlık azaltma, kabul edilemez kullanım özelliklerine yol açacaktır. Ancak daha güçlü gövde yapılarına yönelik mevcut eğilim, otomobillerin ortalama ağırlığını bir kez daha artırmaktadır. Artan rekabet ve uzun süreli durgunluk, tüm malzemelerin maliyet ve performansının soğukkanlı bir şekilde değerlendirilmesini teşvik etmektedir.

Tablo 2.1. Bir otomobildeki ağırlıkça ortalama malzeme bileşenleri (%) [21]

Malzeme Adı	Ağırlıkça ortalama malzeme bileşenleri (%)
Çelik Tabakalar	55
Dökme Demir	10
Plastikler	10
Yalıtkan Metaller	7
Sıvılar	5
Elastomerler	4
Cam	3
Tekstil ve Selülozik Malzemeler	2
Yalıtkan Malzemeler	2
Boya ve Yapıştırıcılar	2
Polipropilen (PP)	23
Poliüretan (PU)	21
Polivinilklorür (PVC)	12
Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS)	10
Termoset Polimerler	8
Poliamidler (PA)	8
Polietilen (PE)	5
Polikarbonat (PC) ve blendleri	4
Polifenilen eter/oksit (PPE/PPO) ve blendleri	3
Poliformaldehit (POM, asetal)	2
Polimetil Metaklarat (PMMA)	2
Termoplastik Poliesterler (PET, PBT)	1
Diğer	1

Bir araba modelinde başlıca 13 farklı polimer kullanılabilsede, bir arabada kullanılan toplam plastiğin yaklaşık %66' sını sadece üç tip plastik oluşturmaktadır: polipropilen (%32), poliüretan (%17) ve PVC (%16) [21].

PP: Polipropilen kimyasal olarak son derece dirençlidir ve neredeyse tamamen su geçirmezdir. Siyahı çok iyi UV(ultraviyole) direncine sahiptir.

PU: Poliüretan malzemeler, yüksek esnekliğe sahip esnek köpük yuvalar, sert köpük yalıtım panelleri, mikro hücreli köpük contalar ve contalar, dayanıklı elastomerik tekerlekler ve lastikler, otomotiv süspansiyon burçları, elektrikli saksı bileşikleri, sert plastik parçalarda (elektronik aletler gibi) yaygın olarak kullanılmaktadır.

PVC: Polivinilklorür, kimyasal ve solvent maruziyetine karşı iyi bir dirence sahiptir. Vinil içeriği ona iyi bir gerilme mukavemeti vermektedir. Renkli veya şeffaf versiyonları mevcuttur.

ABS: Akrilonitril Bütadien Stiren, hava koşullarına ve bazı kimyasallara dayanıklı, vakumla şekillendirilmiş bileşenler için popüler olan dayanıklı bir termoplastiktir. İyi bir darbe direnci sağlayan kauçuk benzeri özelliklere sahip sert bir plastiktir. Araçlarda krom kaplı halde kullanımı yaygındır.

PA: Poliamidler aşınmaya karşı yüksek dirence, düşük sürtünme özelliklerine ve iyi kimyasal dirence sahiptir. Ayrıca suyu kolayca emerler. Islak veya nemli koşullarda bileşenleri genişlediği için bu durum boyutsal stabilitenin gerekli olduğu uygulamalarda kullanılmalarını engellemektedir.

PS: Polistiren çok popülerdir, üretimi kolaydır. Ancak UV ışığına karşı direnci zayıftır.

PE: Polietilen iyi kimyasal dirence sahiptir.

POM: Polioksümetilen (poliasetal veya poliformaldehit olarak da bilinir). Düşük sıcaklıklarda da stabil olan yüksek sertliğe ve mükemmel verime sahiptir. Çok iyi kimyasal ve yakıt direncine sahiptir.

PC: Polikarbonat, kötü hava koşullarına karşı dirence ve UV direncine sahiptir. Şeffaflık seviyeleri neredeyse akrilik kadar iyidir.

PMMA: Polimetil Metaklarat, akrilik camdan daha şeffaftır. Makul bir gerilme mukavemetine (kırılmaya karşı dayanıklı kalitedeki versiyonları mevcuttur), kötü hava koşullarına ve UV direncine, yüksek optik kaliteye ve geniş bir renk yelpazesinde yüzey kalitesine sahiptir.

PBT: Polibütilen Tereftalat, iyi kimyasal dirence ve elektriksel özelliklere sahiptir. Serttir ve su emme özelliğine, dinamik strese karşı çok iyi dirence, termal ve boyutsal kararlılığa sahiptir.

PET: Polietilen Tereftalat, PBT ile benzer koşullara, iyi termal stabiliteye, iyi elektriksel özelliklere, çok düşük su absorpsiyonuna ve mükemmel yüzey özelliklerine sahiptir.

ASA: Akrilonitril Stiren Akrilat, yüksek tokluğa ve sertliğe, iyi kimyasal dirence ve termal stabiliteye, hava koşullarına, yaşlanmaya ve sararmaya karşı olağanüstü dirence ve yüksek parlaklığa sahiptir [22].

2.2. Otomotiv Plastiklerinin Tarihçesi

Motor endüstrisinde, İkinci Dünya Savaşı'ndan çok önce, elektrikli bileşenler ve iç donanımlar gibi ürünlerde plastik kullanılmış olup plastikler, geleneksel malzemelere uygun, düşük maliyetli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Plastiğin temel değerler etrafında yeniden tasarlanması kavramı, dünya sahnesindeki bazı temel değişikliklerden çok daha sonra gelmiştir.

İlk büyük değişiklik, savaş sonrası yıllarda ucuz plastikler için güvenilir ve kendisinden tutarlı bir hammadde elde edilebilen düşük maliyetli petrolün geliştirilmesiydi. Ham plastik fiyatları savaştan sonra düşmüştür ve 1950'lerde, 1960'ların çoğunda düşmeye devam etmiştir. İkinci büyük faktör, aynı dönemde heyecan verici yeni materyallerin akışının ortaya çıkmasıydı. Günümüzde mühendislik plastikleri olarak sınıflandırılan malzemelerin çoğu, 1960'ların başında üretimdeydi. 1970'lerin başından bu yana plastik pazarındaki olağanüstü büyüme ise, yeni plastiklerin keşfinden çok mevcut olanların rafine edilmesi ve geliştirilmesinden kaynaklanmıştır.

2.3. Neden Plastikler?

Plastiklerin otomotiv endüstrisindeki kullanım nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Maliyet
- b) Ağırlık Azaltma
- c) Estetik Potansiyel
- d) Fonksiyonel Tasarım
- e) Azaltılmış Bakım İhtiyacı
- f) Korozyon Direnci

a) Maliyet

'Makro' fiyat faktörleri, metallere kıyasla plastikleri tercih etme eğilimindedir. Üretim ve dönüşüme dahil olan enerji daha düşüktür ve plastik fiyatları, dalgalanan petrol fiyatları zamanlarında dikkate değer ölçüde sabit kalma eğiliminde olmuştur. Ancak hammadde fiyatı toplam maliyetin sadece bir kısmıdır. Bir otomotiv tasarımcısının nazarında kritik parametre 'parça' maliyetidir. Bu, elbette birkaç faktörden kaynaklanmaktadır:

- Hammadde Maliyeti
- Teçhizat Maliyeti
- Parça Başına Doğrudan Dönüştürme Maliyeti
- Toplam Parça Sayısı
- Alt Montaj Maliyeti
- Montaj Hattı Maliyetleri

b) Ağırlık Azaltma

Ağırlık tasarrufu, otomobil üreticisini doğrudan ilgilendirmez. Ancak yakıt ekonomisi hem müşterilerin hem de otomobil üreticilerinin ilgisini çekmektedir. 1973 petrol krizinden sonra otomobil üreticilerine ABD'deki muazzam yakıt tüketimini azaltmanın bir yolu olarak ciddi maliyet cezaları uygulanmıştır. Plastiklere doğrudan atfedilebilen otomotiv ağırlık azaltmalarının %5 yakıt tasarrufu sağladığı hesaplanmıştır. Küresel olarak bu, yılda 15 milyon tonun üzerinde bir tasarruf anlamına gelebilmektedir.

Bazı metaller ile yer değiştirme uygulamalarında ağırlık tasarrufu olağanüstüdür. Örneğin yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) bir yakıt deposu, yaklaşık %40' lık bir ağırlık tasarrufunu temsil etmektedir. Pil kutularında bu oran %70' e kadar çıkabilmektedir. Sertliği korumak için duvar kalınlıkları artırılmış olsa bile, plastiklerde sık sık yeniden tasarım yapılması yine de ağırlıktan tasarruf sağlamaktadır.

c) Estetik Potansiyel

Plastiklerin şekillendirme açısından faydaları kolayca ölçülemez. Gerçek şu ki, plastikler otomobil görünümünün neredeyse her yönünü değiştirmiştir. İyi bir tasarımda, elbette stil ve işlev bir bütündür. Örneğin aerodinamik olarak tasarlanmış ve renk uyumlu, modern, ayarlanabilir, kapıya monte ayna, selefinden çok daha pratik bir nesnedir.

Geleneksel araba tamponlarının sofistike değişimi, plastiklerin çok yönlülüğü ve neredeyse sınırsız şekillendirme potansiyeli ile her adımda kolaylaştırılmıştır. Şekillendirmenin; enerji emilimi, sürünme direnci, boyutsal kararlılık, kimyasal ve aşınma direnci, sıcaklık ve UV performansı ve boyanabilirlik gibi göz korkutucu bir nitelikler listesiyle uyumlu olması, dikkat edilmesi gereken en önemli faktördür.

d) Fonksiyonel Tasarım

Plastiğin tasarım için yapabilecekleri, şekillendirmenin çok ötesine geçebilmektedir. Muhtemelen plastiklerin sağladığı en önemli tekil özellik, mevcut alana uyacak şekilde değişen şekiller ve (hepsinden önemlisi) bileşen konsolidasyonu olanakları açısından tasarım özgürlüğüdür. Yakıt deposu, birincisine mükemmel bir örnektir. Modern şişirme ile kalıplama teknikleri, ekleri dahil etme ve duvar kalınlığını kontrol etme yeteneğini kaybetmeden, şiddetli giriş açlarına sahip oldukça asimetric formların

tasarımına izin verebilmektedir. Bir diğer örnek yirmiden fazla çelik şekillendirme işlemi içeren bir montaj, tek bir plastik parça ile değiştirilebilmektedir. Otomobillerdeki seçimin dayanıklılık ve sağlamlık gereksinimlerine, tasarımın doğasında bulunan israfa ve model çalışma süresinin uzunluğuna bağlı olduğu unutulmamalıdır.

e) Azaltılmış Bakım İhtiyacı

Araçların çok daha fazla güvenilirliği ve daha rahat bakım programları, büyük ölçüde son kırk yılın plastik devriminden kaynaklanmaktadır. Esasen bu devrimin merkezinde yer alan, yağlama ve yük yayma özellikleridir. En çok ilgilenilen malzemeler, uygun bir sertlik ve esneklik dengesine sahip, aşınmaya, sıcaklığa ve yorulmaya karşı faydalı direnç gösteren mühendislik plastikleridir.

Plastiklerin otomotiv uygulamaları, çok çeşitli hareketli parçaları da kapsamaktadır; dişliler, kamlar, yataklar, mandallar, sürgüler ve valf yuvaları sadece bunlara birkaç örnektir. Azaltılmış bakımın ötesinde, birçok durumda titreşim sönümleme, güç azaltma ve sessizlik gibi ikincil faydaları da vardır.

f) Korozyon Direnci

Her polimerin kendine özgü kimyasal yapısı vardır. Bazıları yakıtlardan ve yağlayıcılardan etkilenmektedir. Bazıları ise akü asidinden ve hava koşullarından bir dereceye kadar görsel olarak etkilenmektedir. Ancak hiçbiri, korumasız çelik saclara çok fazla zarar verebilecek asit yağmuru, deniz spreyi ve yol tuzu gibi faktörlere karşı hassas değildir ve otomotiv endüstrisinin korozyon koruması için büyük meblağlar harcamasını gerektirmez [1].

2.4. ABS' in Yapı ve Özellikleri

Akrilonitril-bütadien-stiren (ABS) polimerleri [23, 24] mükemmel tokluk, iyi boyutsal kararlılık ve iyi kimyasal direnç sergileyen ürünler üretmek için kullanılan, kolayca işlenebilir reçinelerin çok yönlü bir ailesidir. Şeffaflık, benzersiz renklendirme ve krom kaplama efektleri, daha yüksek ısı performansı ve alev geciktirme gibi özel ürün özellikleri de elde edilebilmektedir. ABS, stiren ve akrilonitril kopolimerinden (SAN) oluşan bir termoplastik matris içinde dağılmış, genellikle polibütadien veya bir bütadien kopolimeri olan partikül haldeki kauçuktan oluşmaktadır [25, 26]. Elastomerik partiküllere kimyasal olarak eklenmiş veya "aşılanmış" SAN' ın varlığı,

kauçuğu SAN bileşeni ile uyumlu hale getirmektedir. Yapısal ve bileşimsel parametrelerin değiştirilmesi, belirli ürün gereksinimlerini karşılamak için özelliklerin uyarlanmasında önemli ölçüde çok yönlülük sağlamaktadır.

Piyasada bulunan bazı ABS malzemelerinin tipik mekanik özellikleri aşağıda listelenmiştir. ABS malzemeleri için çok çeşitli mekanik ve darbe özelliklerinin elde edilebileceği de belirtilmektedir.

Tablo 2.2. ABS'in bazı özellikleri [21]

Özellik	Değer	Birim
Yoğunluk	1.04	g/ cm ³
Kalıpsal Çekme Değeri	0.0035	‰
Su Emilimi (23 °C' de)	1	%
Young Modülü	2300	MPa
Çekme Dayanımı (23 °C' de)	45	MPa
Çekme Uzaması (23 °C' de)	2.6	%
Esneklik Modülü (23 °C' de)	2300	MPa
Notched Izod Dayanımı (23 °C' de)	300	J/m
Hacimsel Elektrik Direnci	1.0E+13	Ω.cm

A) Fiziksel Özellikleri

Bu özellik varyasyonları, komonomerler, katkı maddeleri yoluyla veya şunlar gibi yapısal değişiklikler yapılarak elde edilir: kauçuk içeriği, kauçuk çapraz bağlanma derecesi, kauçuk partikül boyutu ve dağılımı, aşılınmış SAN seviyesi ve bileşimi, bileşimin ve moleküler ağırlığın bileşimi, moleküler ağırlığı, matris. Polimerizasyon tekniğine bağlı olarak SAN, sürekli faz olarak, kauçuk parçacıklarına eklenmiş aşılı polimer olarak ve kauçuk parçacıklarının içinde bulunan tıkanıklıklar olarak değişen seviyelerde kontrol edilebilmektedir. Böylece, hem kauçuk içeriği hem de "kauçuk fazı" (tıkanmış SAN içerebilen kauçuk olarak tanımlanır) belirli bir kauçuk-ağırlık fraksiyonundaki hacim oranı bağımsız olarak kontrol edilebilir. Özellik geliştirmeleri için bu tür yapısal ve bileşim parametrelerini değiştirme yeteneği nedeniyle ABS, çok çeşitli mekanik ve akış özellikleri sağlamak üzere özelleştirilebilen çok yönlü bir mühendislik termoplastiğidir.

B) Yapısal ve Bileşimsel Etkiler

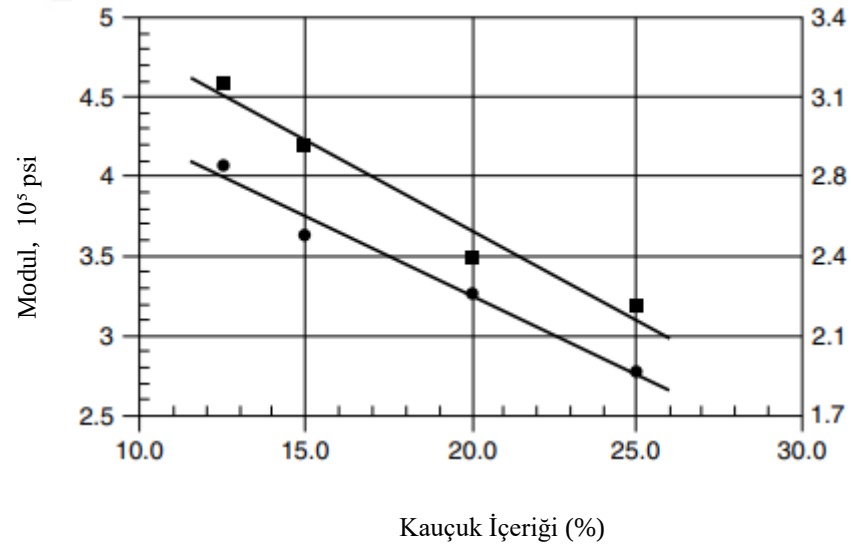
Çok fazlı bir polimer karışımı olduğundan, ABS' deki bileşimsel ve yapısal özelliklerin etkileri karmaşık ve birbirine bağlıdır. Kauçuk faz tokluğa, stiren bileşeni sertlik ve işlenebilirliğe, akrilonitril (AN) fazı ise kimyasal dirence katkıda bulunur.

Matrise Dağılmış Kauçuk Fazın Etkisi: ABS'in darbe tokluğu; kauçuk fazın hacimsel oranı, parçacık boyutu, boyut dağılımı ve yapısından etkilenen birçok özellikten biridir. Tek başına Stiren Akrilonitril (SAN) oldukça kırılgandır. ABS, reçinelerinde gözlenen sünekliği eşit olarak dağılmış (boyut olarak 50nm-2000nm aralığındadır)kauçuk faz vermektedir. Kauçuk parçacıklarının SAN fazında mikroskobik ölçekte çatlak ve kayma akması şeklinde plastik deformasyona neden olduğu (çoğu durumda) kauçuk boşluğunun eşlik ettiği yaygın olarak bildirilmektedir [27, 28]. Mikro deformasyon sürecine, ilgili deformasyon oranlarında kayma akması hakim olduğunda, darbe enerjisinde bir maksimum değer meydana geliyor gibi görünmektedir. ABS'in darbe mukavemeti, kauçuk faz içeriğinin genellikle ağırlıkça yaklaşık %30 kauçuk içermesiyle artmaktadır. Çoğu ticari ABS reçinesi, ağırlıkça %10-35 aralığında bir kauçuk içeriğine sahiptir. Belirli bir kauçuk seviyesindeki kauçuk fazının hacimsel oranı, kütle polimerizasyonu ile üretilen ürünler için (veya bazen "yığın ABS" olarak adlandırılır) emülsiyon sürecine kıyasla çok daha yüksek olabilmektedir.

Kauçuk faz boyutu ve boyut dağılımı da üretim sürecinden etkilenmektedir. Tipik olarak kauçuk fazının boyutu, bir emülsiyon işlemiyle üretilen reçine için ortalama ~200–400 nm ve kütle polimerizasyonu ile üretilen reçine için ~1000–2000 nm' dir. Kauçuk parçacıklarının boyut dağılımı çok geniş, dar tek modlu veya iki modlu olabilmektedir. ABS'in darbe tokluğunun kauçuk faz partikül boyutuna ve boyut dağılımına bağlılığı, aşırı ara yüzü ile etkileşimleri nedeniyle karmaşık bir yapıya sahip olabilmektedir. %25 AN içeren SAN matrisi için yaklaşık 300 nm' lik bir ortalama kauçuk parçacık boyutunun, emülsiyon ile üretilmiş ABS için maksimum bir etkiye neden olduğu rapor edilmiştir [27].

Kütle veya emülsiyon polimerizasyonu ile hazırlanan ABS reçinelerinin elastik modülünün, dağılmış faz hacim fraksiyonu ile tek bir ilişki ile temsil edilebileceği bildirilmiştir [29]. Bu, dağılmış küresel parçacıklarla bir araya getirilmiş polimer modülünün sadece hacim fraksiyonuna ve parçacıkların matris fazına modül oranına

bağlı olduğu teorisiyle uyumludur. Kauçuğun modülü, SAN matrisinin modülünden neredeyse 1000 kat daha küçük olduğu için tek başına kauçuk partikülünün hacimsel oranı, ABS reçinelerinin modül değerlerini kontrol eden en önemli parametredir. Yüksek oklüzyon seviyesi içeren kauçuk partiküller için bile kütle polimerizasyonu ile üretilen ABS'de olduğu gibi kompozit partikülün modülü, saf kauçuk sebebiyle değişmeden kalmaktadır. Bu da modül ile dağılmış fazın hacimsel oranı arasında benzersiz bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ayrıca malzemenin modülü, bir tür elastik gerinim özelliğidir ve ABS'deki parçacık boyutundan bağımsızdır. Kauçuk içeriğinin modül üzerindeki, çekme ve esneme akması gerilimi üzerindeki etkileri emülsiyonla üretilen bir ABS için aşağıda gösterilmektedir. Gösterildiği gibi çekme ve esneme akması gerilimi değerleri de (modülün aksine) kauçuk parçacık boyutundan bağımsız olmamasına rağmen kauçuğun hacimsel fraksiyonundan güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Kauçuğun belirli bir hacimsel fraksiyonunda, parçacık çapındaki bir artışla çekme akması geriliminin azaldığı bilinmektedir. Bu davranış, kauçuk parçacıklarının yakınında daha yüksek stres altında artan bir SAN matrisi hacmine sahip olması temelinde açıklanmaktadır.



Şekil 2.3. Hacimsel kauçuk oranına göre çekme modülünün değişimi [30]

2.5. Otomotiv Plastiklerinin Üretim Yöntemleri

2.5.1 Enjeksiyon ile kalıplama

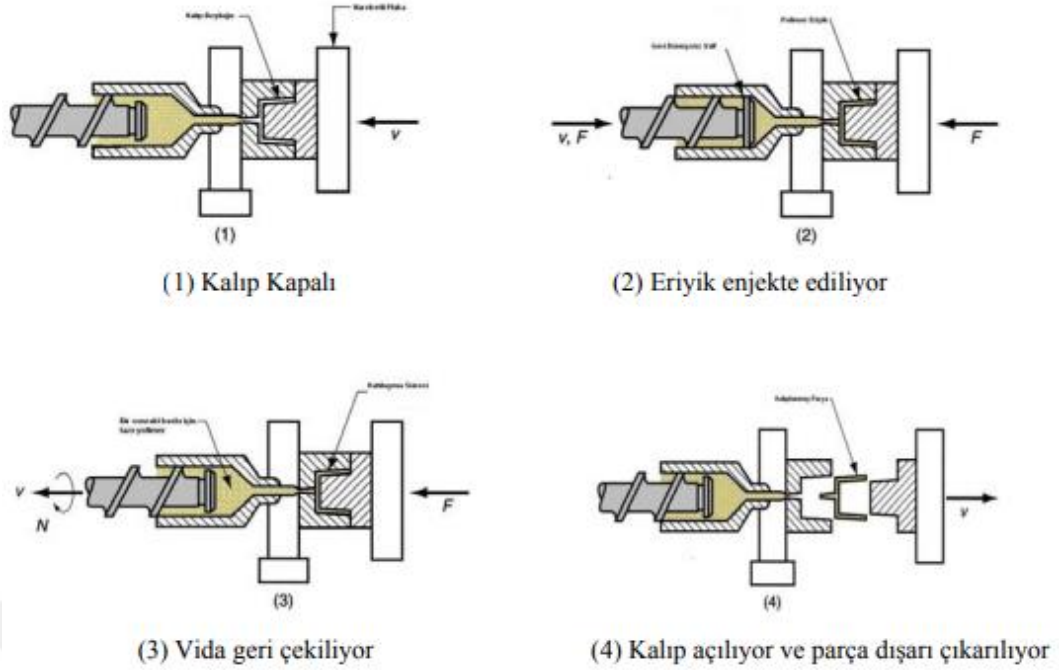
Enjeksiyonla kalıplama yönteminin esası; kalıplanacak plastik malzemeyi homojen olarak kalıplama sıcaklığına kadar ısıtmak ve piston yardımı ile meme ve yolluk sisteminden geçirerek ısıtılmış kalıp boşluğuna basınçla enjekte etmektir. Bu yöntem tüm plastik malzemelere uygulanabilmektedir. Enjeksiyonla kalıplama yöntemi; toz veya granül haldeki plastik malzemeyi, homojen olarak ısıtan, çeşitli katıkları homojen olarak karıştıran ve istenen biçime getiren en hızlı kalıplama yöntemidir. Bu nedenle parça halindeki mamullerin imalinde en çok plastik enjeksiyonla kalıplama yöntemi kullanılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama yöntemi her biri kısmi olarak bir sonraki safhayı da giren çeşitli aşamalardan oluşmuştur. Yöntemin nasıl işlediğini ve her safhanın parça kalitesini nasıl etkilediğini anlamak için bu safhalar kısaca anlatılmıştır [31].

A) Çevrim kalıbın kapanması ile başlar.

B) Makinenin plastik ünitesi lüle kalıbın yolluk burcuna dayanana kadar ileri doğru hareket eder. Bu safha sıcak yolluk sistemli kalıplarda atlanabilir. Konvansiyonel yolluk sistemlerinde ise makine enjeksiyon lülesi kalıbı ısıtmaması için enjeksiyon işlemi bittikten sonra geriye çekilmelidir.

C) Makine enjeksiyon vidası ile yolluk burcunun teması sağlanır sağlanmaz plastik ünitesi basıncı arttırmaya başlar ve artık enjeksiyon işlemi başlayabilir. Bu safha parça boyutuna ve işlem sırasına göre birkaç saniye kadar devam edebilir. Enjeksiyon safhası süresince oluşan koşullar kalite açısından parçanın bazı önemli karakteristiklerini etkiler.

D) Tutma (ütüleme) basıncı safhası enjeksiyon safhasını takip eder. İşlemin bu safhası boyunca plastik ünitesi vidasının eksenel hareketi, kavite içinde soğumadan dolayı meydana gelen çekmeyi azaltmak için yeteri kadar malzemeyi kavitede tutabilmek amacıyla yavaş gerçekleşir. Bu safha parçanın ağırlığını, boyut hassasiyetini ve içyapısını etkilemesi açısından yöntemin en önemli safhalarından biridir. Enjeksiyon ve tutma safhalarında plastik ünitesi kalıp ile temas halindedir.



Şekil 2.4. Enjeksiyon prosesi [32]

D) Tutma basıncı safhasından sonra makine vidası geriye çekilir. Plastik ünitesi geri geldikten sonra bir sonraki çevrim için plastikleşme işlemi başlar. Ancak bu durum makine vidasının plastik ünitesi geri geldikten sonra kapanabilir tip olması durumunda mümkündür. Eğer vida açık tip bir vida ise, plastikleşme süreci vida, yolluk burcuna temas edince başlar. Uygun seçilmiş olan bir makinede plastikleşme safhası kalıbın soğuması tamamlanmadan önce biter. Pratikte bu faz parçaların cidar kalınlığına ve plastikleştirilecek malzemeye bağlı olarak tamamlanır. Eğer makinenin plastikleşme performansı yeterli değilse çevrim zamanı plastikleşme zamanı tarafından belirlenir ve üretim maliyeti artar. Plastikleşme safhasını takiben parça yeterli mekanik kararlılığa ulaşana kadar soğutulur.

E) Enjeksiyon kalıplama çevriminin en son safhasında kalıp açılır ve parça kalıptan çıkartılır. Bundan sonra artık bir sonraki çevrim başlar. Tüm safhaların zamanları toplamından oluşan çevrim zamanı parça maliyeti açısından kritik bir önem taşır. Tüm safhaların sürelerinin mümkün olduğu kadar kısaltılabilmesi için belirli bir çaba gereklidir ve tüm makine ve kalıp hareketleri mümkün olduğu kadar kısa sürelerde gerçekleştirilmelidir [33].

2.5.2 Enjeksiyon ile kalıplama parametreleri

A) Enjeksiyon Zamanı

Enjeksiyon zamanı, kalıba malzemenin dolmaya başladığı zamanla tutma basınçlarının uygulanmaya başladığı zaman arasındaki safhadır. Bu zaman aralığı özellikle çevrim süresi açısından çok önemlidir [21].

B) Enjeksiyon Hızı

Vida piston gibi hareket ettiğinde, enjeksiyon kalıbının dolma hızıdır.

C) Enjeksiyon Basıncı

Kalıbı doldurma esnasında yüksek hızla kalıbı doldurmak için yüksek basınca ihtiyaç duyulur. Hızdan basınca geçiş noktasındaki değişimler [34]:

- 1- Vida pozisyonu
- 2- Hidrolik basınç (hat basıncı olarak da bilinir)
- 3- Nozzle (meme) basıncı (erimiş plastik basıncı olarak da bilinir)
- 4- Kalıp boşluğu (ütüleme) basıncı
- 5- Kalıp açma gücü
- 6- Kalıp açma pozisyonu

D) Ütüleme Basıncı ve Zamanı

Enjeksiyon basıncından hemen sonra, enjeksiyon memesi kalıpla temas halindeyken uygulanan basınca denilmektedir [35]. Ütüleme basınçları soğumaya başlayan malzemede çekmeden dolayı meydana gelmesi muhtemel hava boşluğu ve kanal izlerine, kasılma ve çarpıklıklara engel olmaktadır.

Tutma basınçları safhası, basınç kontrollü olarak gerçekleştirilir. Enjeksiyondan tutma basınçları safhasına geçiş, ani basınç değişimleri olmaması ve dolayısıyla kalıbın aniden aşırı yüklenmemesi açısından büyük önem taşımaktadır [31].

E) Eriyik Sıcaklığı

Eriyik sıcaklıkları, parçaların yüzey görünümü üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Çoğu üretici, materyallerin her biri için uygun bir sıcaklık aralığını belirtmektedir. Genellikle eriyik sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, kalıp sıcaklığı o kadar yüksek ve yüzey parlaklığı o derece iyi olmaktadır [35].

F) Kalıp Sıcaklığı

Kalıp cidarı sıcaklığı, parça kalitesi işlemin ekonomikliği ve boyut hassasiyeti için çok daha önemlidir. Bu sıcaklık malzemenin ısısal karakteristiğinden başka soğuma zamanını da belirlemektedir. Eriyik merkezindeki sıcak eriyiğin kalınlığının artması, kalıp yüzeyinin soğuma etkisinden kaynaklanabilmektedir [31]. Eriyik haldeki plastik malzeme basınçla kalıp boşluğunun içine enjekte edilerek istenen ürün elde edilmiş olmaktadır. Ürünün kalıptan çıkabilmesi için itici sisteminin uyguladığı itme kuvvetine karşı yeterli dayanımı göstermesi ve deformasyona uğramadan kalıbı terk etmesi gerekmektedir.

Tablo 2.3. Bazı polimerlerin eriyik ve kalıp sıcaklıkları [36]

Malzeme	Enjeksiyon Sıcaklığı(°C)	Kalıp Sıcaklığı(°C)
Polietilen (PE)	170-320	0-70
Polistiren (PS)	200-250	0-60
Poliamid (PA)	240-320	40-120
Akrilonitril Stiren (AN)	230-260	50-80
Polikarbonat (PC)	280-310	85-140
Poliasetal	180-230	70-130
Polipropilen	180-280	0-80
ABS	180-240	50-120

G) Sıcak Yolluk Sıcaklıkları

Sıcak yolluk sisteminde eriyik haldeki malzeme, enjeksiyon silindirinden kalıp gözüne kadar olan mesafede sıcaklık ve basınç kaybı olmadan ve hasara uğramadan iletilmektedir. Bu süre boyunca plastik malzemenin; içinde eriyik olarak kaldığı ve böylece giriş memesine kadar uzandığı plakaya manifold (dağıtıcı plaka) denir. Plastiğin manifold içinde eriyik halde kalmasının sağlanması için, manifoldun ısıtıcılar vasıtasıyla eriyik sıcaklığına kadar ısıtılması ve sürekli bu sıcaklıkta kalmasının temin edilmesi gerekmektedir. Bu ısı kontrolü termokupllar kullanılarak sağlanmaktadır [36].

H) Mengene Basıncı

Enjeksiyon olayının sürekli bir işlem olmaması, kalıbın ürünün çıkması için açılmasını ve sonraki baskı için tekrar kapanmasını gerektirmektedir. İşte mengene ünitesi bu işi yapmaktadır. Plastiğin çok yüksek basınçlarda kalıba enjekte edilmesi sebebiyle mengene ünitesi kalıbı enjeksiyon ve tutma basınçları safhasında sıkıca kapalı tutmalı, kalıbın açılıp çapak yapmasını önlemelidir [31].

I) İtici Sistemler

Plastik ürün kalıp boşluğunda soğuduktan ve kalıp açıldıktan sonra kalıptan çıkarılmasını sağlayan sistemlerdir [37].



3. PLASTİKLERİN KROM KAPLANMASI

3.1. ABS' in Krom Kaplanması

Plastik bileşenlerin elektroliz ile kaplanması, ızgaralar ve sis lambası çevreleri gibi otomotiv uygulamaları, musluk ve kulplar gibi mutfak ve banyo ürünleri, kapaklar ve düğmeler gibi çeşitli endüstrilerde uzun yıllardır kullanılan bir tekniktir. Bu uygulamalar için en yaygın olarak kullanılan polimer, bütadien elastomerinin aşılınmış partikül fazıyla bir stiren ve akrilonitril kopolimer (SAN) matrisinden oluşan ABS' dir.

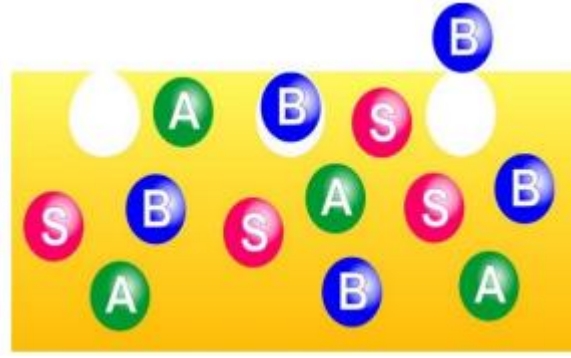
Otomotiv ızgaraları gibi büyük, yüksek kaliteli elektrolizle kaplanmış parçalar üretmek, küçük parçalardan daha büyük zorluklar barındırmaktadır. Elektrolizle kaplanmış parçaların boyutu arttıkça, plastik ve metalin mekanik ve termal özellikleri arasındaki uyumsuzluk şiddetlenir. Karmaşık geometrilere sahip daha büyük kalıplanmış parçaların, stres miktarlarının artması ve metal kalınlıkları bile kaplanmasını daha zor hale getirmektedir [38, 39].

Polimer parçalarının ince metal katmanlarla kaplanması, termal genişleme katsayılarındaki büyük farklılıklar ve polimer ile metal arasındaki diğer doğal özellik farklılıkları ve ayrıca elektrokaplama banyolarında karmaşık geometriler tarafından oluşturulan karmaşık alanlar nedeniyle kolay bir iş değildir. Tüm bu farklılıklar nedeniyle, plastiklerin elektrokaplama işlemi, aşağıda açıklanan birçok adımdan oluşan karmaşık bir işlemdir [40].

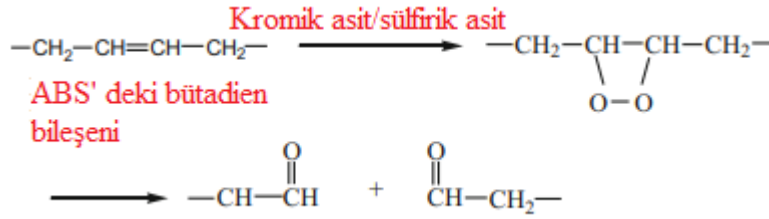
3.1.1. Yüzey işlemleri

A) Aşındırma

Bütadien kauçuk fazını oksitlemek ve uzaklaştırmak için bir kromik-sülfürik asit banyosu kullanılmaktadır. Bu banyo polimerde daha hidrofilik hale gelen gözenekli bir yüzey oluşturur. Banyo genellikle 67-77 °C civarındadır. Parçalar 6-8 dakika boyunca aşındırılır. Banyo kimyasının kontrolünü değerlendirmek için üç değerlikli krom konsantrasyonları izlenmelidir.



Şekil 3.1. Aşındırma prosesi esnasında bütadienlerin yüzeyden ayrılışı [17]



Şekil 3.2. Aşındırma evresinde bütadiendeki bağ kırılımı [9]

B) Nötralizasyon

Aşındırma banyosundaki altı değerlikli krom, üç değerlikli duruma düşürülür.

C) Aktivasyon

Sulu bir paladyum-kalay kolloid (SnCl₂ ile çevrili Pd partikülleri) kabuğu aşındırma ile oluşturulan mikroskobik deliklerde biriktirilir. Bu adım, elektroliz katmanının büyümesi için katalitik bölgeler oluşturur [32].

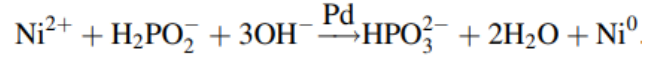
D) Hızlandırıcı

Bu adımda bir sonraki adım için katalizör olarak aşındırma bölgelerinde 1-2 nm Pd partikülleri bırakarak, aktivatör koloidinin kalay klorür kabuğu çıkarılır. Bu adım, SnCl₂ kabuğunun oksitlenmesini önlemek için aktivasyondan hemen sonra yapılmalıdır. Bu adım ayrıca aşındırma adımından kalan her türlü altı değerlikli kromun çıkarılmasına da yardımcı olur.

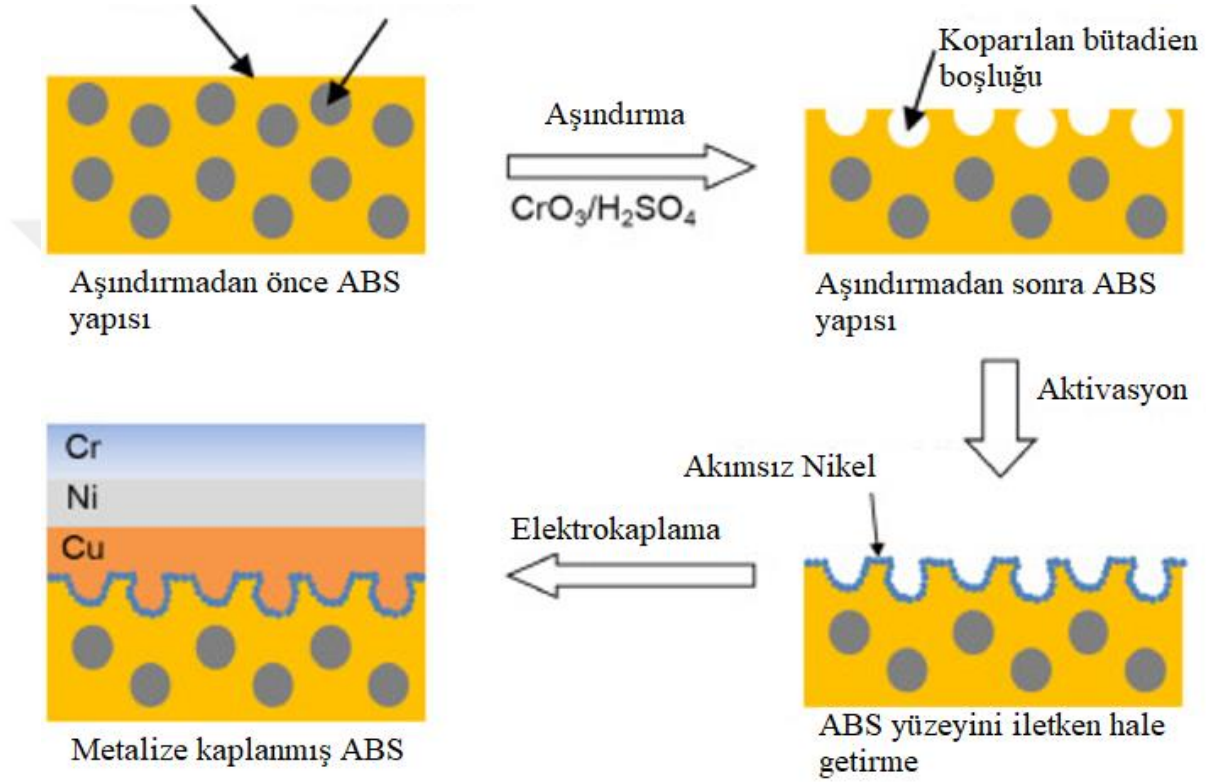
E) Akımsız Nikel

Kimyasal indirgeme ile parçanın yüzeyinde ince, yapışkan bir metalik film oluşur. Bu katman, yüzeyi bir sonra elektrokaplama işlemleri için iletken hale getirir. Esnekliği

nedeniyle daha büyük parçalar için akımsız bakır tercih edilir bu banyoda. Ancak banyo kimyasını kontrol etmek akımsız nikelden daha zordur.

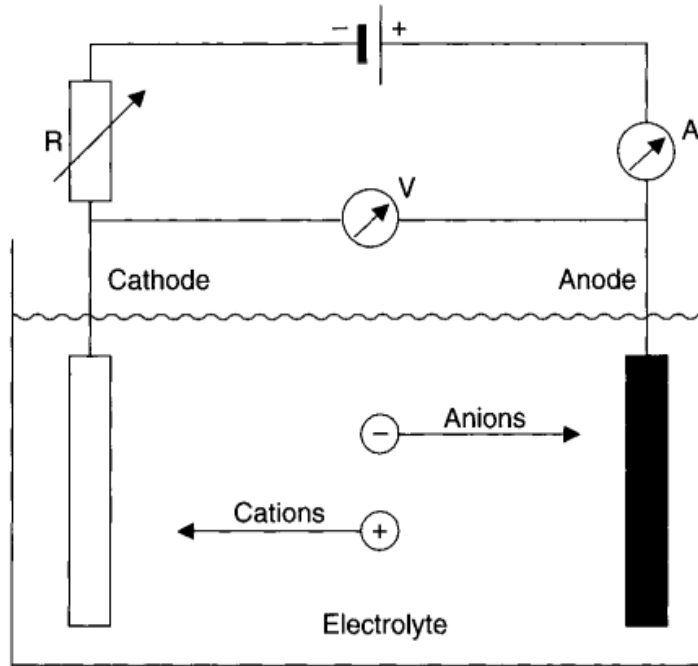


Şekil 3.3. Nikelin kaplamaya katılma reaksiyonu [9]



Şekil 3.4. Akımsız Nikel katmanının prosesdeki yeri [3]

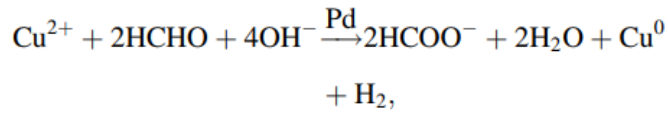
3.1.2. Kaplama



Şekil 3.5. Bir elektrolit banyodaki kaplamanın şematik gösterimi [41]

A) Bakır Sıyırma

Parça ile bara (kaplanacak plastik parçaların asıldığı aparat) arasında bir tedbir olarak daha iletken ve parçanın yanmasını önleyen akımsız katman oluşur. Bu her zaman tercih edilen bir adım değildir.



Şekil 3.6. Bakırın kaplamaya katılma reaksiyonu [9]

B) Asidik Bakır

İyileştirilmiş termal çevrim performansı ve daha yüksek darbe direnci için parlaklık sağlayan ana bakır katman bu adımda oluşturulur. Banyoda elektrik akımı vardır.

C) Bakır Aktivasyon

Asidik bakır tabakasını daha yüksek oranda kaplanabilmesi için hazırlar.

D) Yarı Parlak Nikel

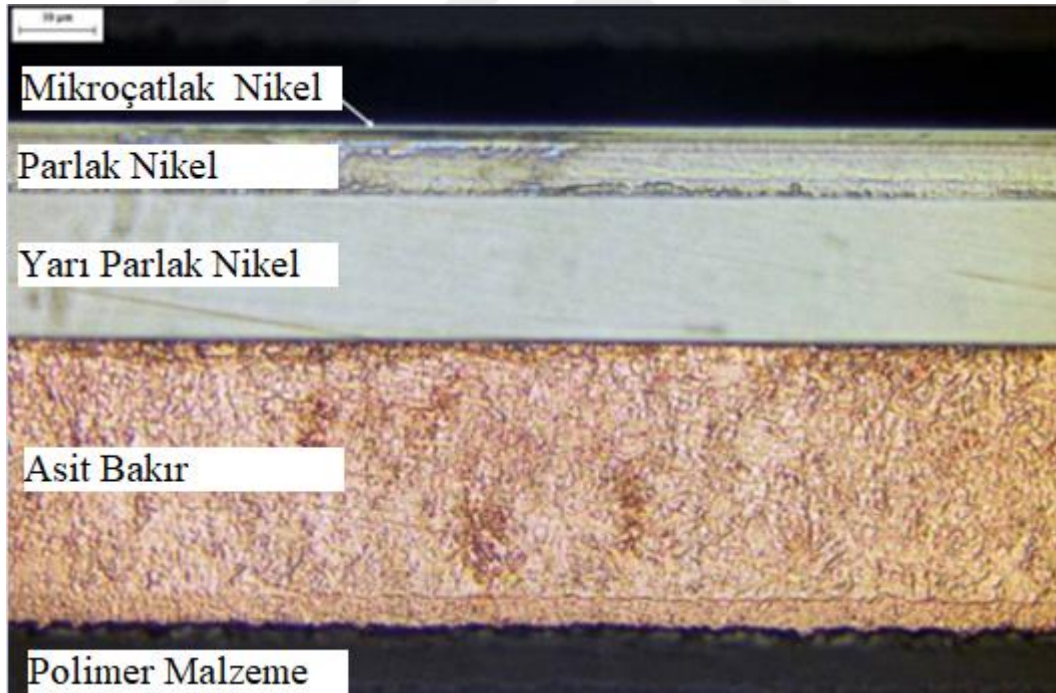
Tipik olarak çift katmanlı nikel yapısının 2/3'ünü oluşturur. Nikel katmanları sütunlu, daha sünek, aynı zamanda daha az aktiftir. Ayrıca daha fazla korozyon kontrolü sağlar. Banyoda elektrik akımı vardır.

E) Parlak Nikel

Nihai üründe görülen parlaklık ve parlaklığın çoğunu sağlayan laminar olan çiftli nikel yapısının kalan 1/3'üdür. Diğer katmanlardan daha sert, daha az sünek ve yarı parlak nikelden kimyasal olarak daha aktiftir. Banyoda elektrik akımı vardır.

D) Mikroçatlak Nikel

Parlak nikel tabakasından daha az aktiftir. Bu tabaka, korozyon akımının birçok küçük hücreye yayılmasına yardımcı olmaktadır ve parlak nikel katmanlarındaki herhangi bir korozyonu, bulanıklığa neden olabilecek büyük, yanal yarıklar yerine ince dikey sütunlara yönlendirmektedir.



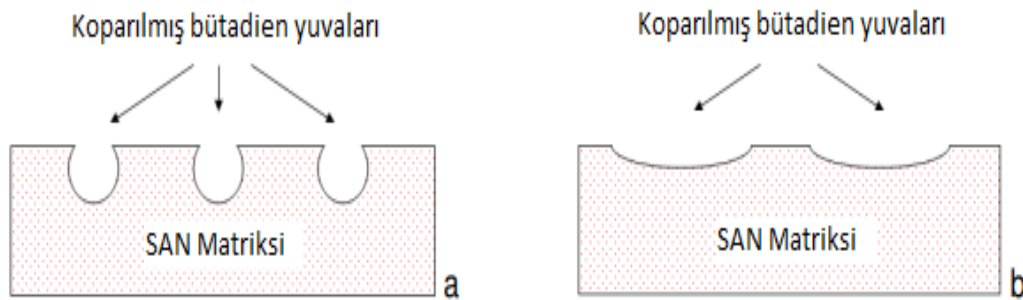
Şekil 3.7. Farklı metal katmanların optik mikroskopla çekilmiş kesit alanı görüntüsü [32]

E) Krom

Bu katman diğerlerine göre çok incedir (genellikle 0,8 µm'den daha fazla). Metalize plastiklerin "mavi" renginin kaynağıdır. Ayrıca çizilmeye karşı koruma sağlar. Nikel tabakalarının oksidasyonunu engeller. Banyoda elektrik akımı vardır.

3.2. Krom Kaplı ABS' in Yüzey Morfolojisi

Metal kaplı ABS'deki yapışma kuvvetinin temel nedeni, uzmanların güncel tartışma konusudur. Ancak genel fikir birliği, yapışmanın kimyasal olanın aksine mekanik bir bağdan kaynaklandığıdır [32]. ABS'deki bütadien, mekanik bağlanma için yerleri oluşturan, aşındırma aşaması sırasında uzaklaştırılan ayrı bir kauçuk faz olarak bulunmaktadır. Bütadien bölgelerinin şekli, miktarı ve dağılımı, polimer formülasyonu, işleme ve kalıp geometrisi tarafından belirlenmektedir [42, 43, 44]. En iyi yapışma kabiliyeti için, yüzeydeki bütadien kauçuğu yuvarlak ve polimer yüzeyine homojen dağılmış olmalıdır. Bu durum bütadien çıkarıldığında akımsız bakır tabaka ile kurulabilecek en sağlam mekanik bağ için "kilit ve anahtar" bölgeleri sağlamaktadır [45].



Şekil 3.8. (a) Yuvarlak, iyi dağılmış parçacıklar iyi bir "kilit ve anahtar" modeli mekanik yapışmaya sebep olur.

(b) Uzatılmış bütadien parçacıkları ise zayıf bir mekanik yapışmaya neden olmaktadır [45]

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Kullanılan hammaddenin özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Tablo 4.1. Kullanılan hammaddenin karakteristik özellikleri

INEOS Styrolution/ Novodur P2MC/Plating Grade ABS	
Malzeme Yapısı	Amorf
Fiber Takviyesi	Yok
Kalıp Yüzey Sıcaklığı	60 °C -80 °C
Eriyik Sıcaklığı	230 °C-260 °C
Kalıptan Çıkma Sıcaklığı	96 °C
Max. Kayma Gerilimi	0.3 MPa
Max. Kayma Oranı	50000 1/s
Camsı Geçiş Sıcaklığı	101 °C
Eriyik Akış İndeksi (220 °C de 10kg yük altında)	25 g/10dk
Eriyik Yoğunluğu	0.91 g/cm ³
Katı Yoğunluğu	1.03 g/cm ³
Elastik Modül	2012 MPa
Nem Oranı	%0.05
Görünür Viskozite (240.7 °C' de)	56.58 Pa.s
Isıl İletkenlik (232 °C' de)	0.187 W/m.°C
Çekme Oranı	%0.6

Krom kaplanmış ABS plastiklerin nihai ürün kalitesi ve proses verimliği enjeksiyon kalıplama üretim parametrelerinden etkilenmektedir. Bu çalışmada, enjeksiyonla kalıplama sonrasında krom kaplanmış ABS esaslı dekoratif otomotiv parçalarında metal-polimer yapışma kabiliyetinin enjeksiyon proses parametreleri ile iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, temelde krom kaplanmış dekoratif otomotiv parçalarının deneysel üretimi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Aşağıda çalışmanın aşamaları listelenmiştir:

1. ABS parçanın üretilmesi
2. Üretilen ABS parçaların krom kaplanması
3. Karakterizasyon

4.1 ABS Parça Üretimi

ABS parça üretimi için seri üretimi devam eden ticari bir minibüsün ön ızgara çerçevesi seçilmiştir. İlgili parça Haitian JU13000III marka ve modeldeki enjeksiyon makinesi ve INEOS Styrolution Europe, Novodur P2MC kodlu hammadde kullanılarak üretilmiştir. İlgili hammadde MOTON Luxor S 80 marka ve modeldeki nem alıcı kurutucuda 4 saat boyunca 90 °C de kurutulmuştur. Parçanın kalıptan alınması robot yardımıyla gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1. Plastik parçanın üretildiği enjeksiyon makinesi



Şekil 4.2. Hammaddenin kurutulduğu nem alıcı kurutucu

Parçamızın basıldığı kalıp A ve B yarımı 1.2343 türünde çelikten üretilmiştir. 8 adet sıralı sıcak yolluğa ve hidrolik itici sisteme sahiptir. Kalıp 2 gözlüdür. Frigel marka Turbogel model termoregülatör ile kanallarındaki su soğutulmuştur.



Şekil 4.3. Termoregülatör



Şekil 4.4. Parçanın basıldığı kalıp

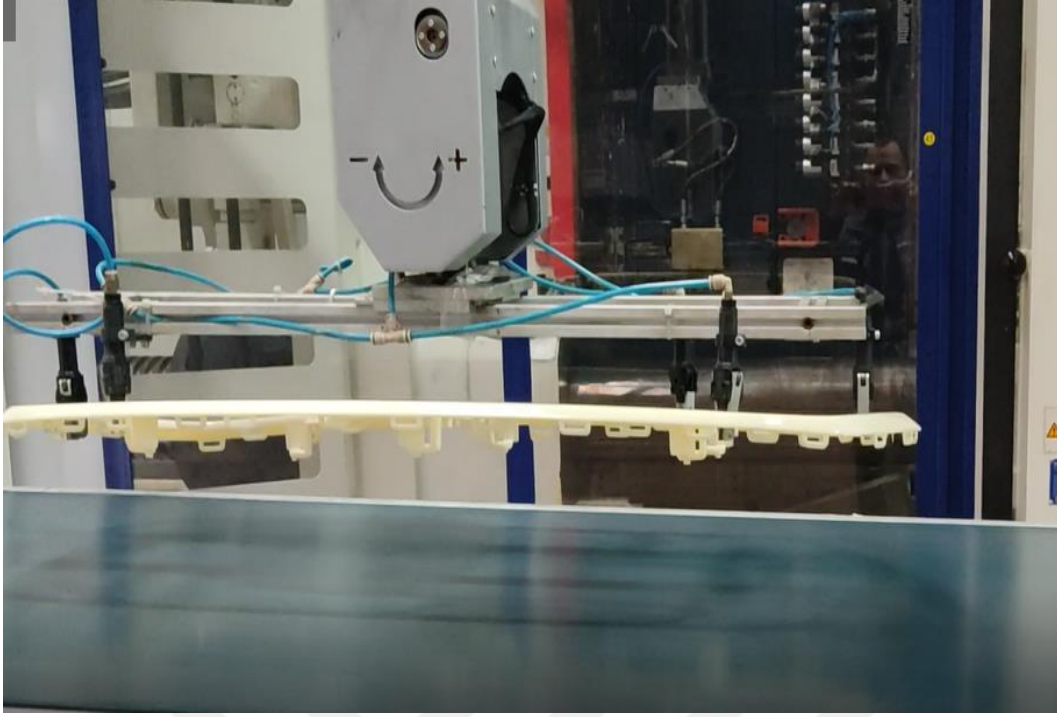
Parça, enjeksiyon sonra kalıptan iticiler yardımıyla kalıp yüzeyinden dışarı doğru itildikten sonra robot, kalıbın her iki yarımı arasına girmiş ve parçayı alarak konveyör banda bırakmıştır.



Şekil 4.5. Parça görüntüsü



Şekil 4.6. Robotun parçayı alması

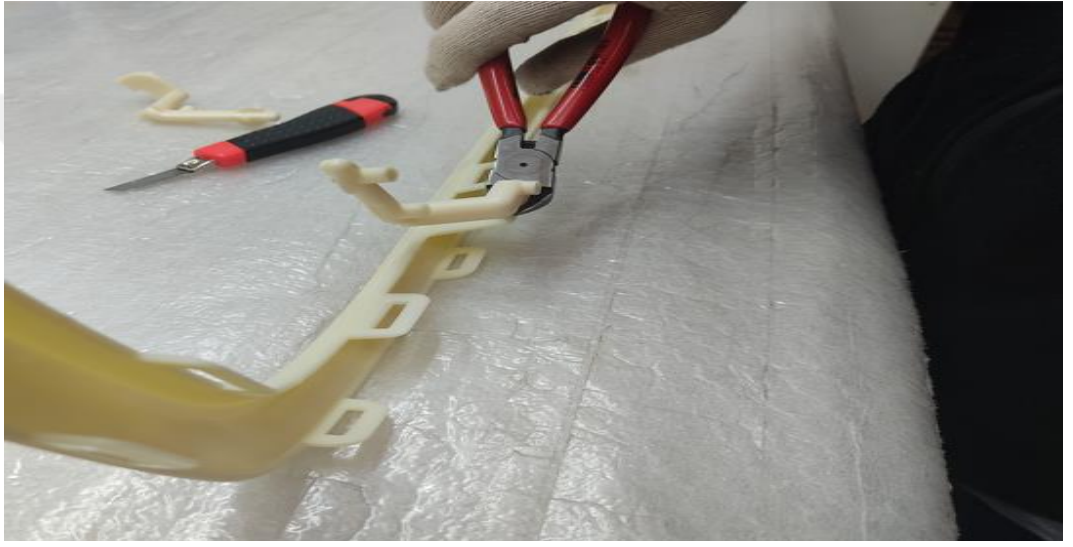


Şekil 4.7. Parçanın konveyöre bırakılması



Şekil 4.8. Parçanın konveyörde ilerlemesi

Daha sonra robotun konveyöre parçayı bırakması ile kopmayan toplam 8 soğuk yolluktan 6 tanesi görevli operatörler tarafından kesilerek alınmıştır. Parçanın görsel kontrolleri yapılmış ve ardından eğilip bükülmeyecek ve yüzeyleri çizilmeyecek şekilde kasalara konulmuştur. Tüm kasalar yapılan deney baskıları ile adlandırılarak istiflenmiştir. Parçalar üretilirken toplam 9 farklı deney baskısı yapılmıştır. Bu baskılardan 1 tanesinde seri üretimde kullanılan proses parametrelerinden faydalanılmıştır. Daha sonra her deneyde sadece 1 tane proses parametresi değiştirilmiştir. Aşağıda mevcut seri üretime ait proses parametre ayar kartı (Tablo 4.1.1) verilmiştir.



Şekil 4.9. Yolluk kesimi



Şekil 4.10. Parçaların istiflenişi

Tablo 4.2. Seri üretim ile parça elde edilen proses parametre ayar kartı

Ocak Isıları (Genel Tolerans ± 10°C)															
Bölgeler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ayar Değeri (°C)	230	230	230	225	220	220	210	210							
Sıcak Yolluk Isıları (Genel tolerans ± 10°C)															
Birim (°C)	270°C (Toplam 27 bölge mevcuttur.)														
Mengene											Kalıp Su Sıcaklıkları(°C)				
	Birim	TOL.	Kalıp Koruma Mesafesi	Kilitleme Basıncı (Bar)	Kalıp Açma Mesafesi (mm) (±10)	ROBOT		Hareketli:	60						
						V	Y								
						A	O								
						R	K								
Yol	mm	±5	60	990	745	+		Sabit:	70						
Basınç	Bar	±5	50					Zaman Değerleri							
Hız	mm/sn	±5	45					Toplam Mal Alma Zamanı (sn)							
Mal Alma											11,2 (±3)				
	Birim	TOL.	1	2	3	4	5	6	Geri Basınç (Bar):	Toplam Enjeksiyon Zamanı (sn)					
										4,8 (±1)					
										Toplam Ütülleme Zamanı (sn)					
										9 (±2)					
Enjeksiyon											Toplam Soğuma Zamanı (sn)				
	Birim	TOL.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	29 (±3)			
Yol	mm	±5	100	75	65	55	46					Ütülleme Geçiş Yolu (mm)			
Basınç	bar	±10	140	140	140	130	130	130				40 (±3)			
Hız	mm/sn	±5	45	22	22	20	15	10				Malzeme Yastıklama (mm)			
Ütülleme											29,7 (±5)				
	Birim	TOL.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Çevrim Süresi (sn)			
Basınç	bar	±5	110	100	100							62			
Hız	mm/sn	±3	13	10	10										
Zaman	sn	±2	3	3	3										
İtici Değerleri											Sıralı Enjeksiyon Şeması (mm/sn)				
İtici	Çalışma Pozisyonu (mm)	Basınç (bar)	Hız (mm/sn)	Meme No	Enjeksiyon		Ütülleme								
					Aç	Kapa	Aç		Kapa						
İçeri	745	55	45	1	45	-	-		15						
				2	40	-	-		15						
Dışarı	745	70	45	3	30	-	-		15						
				4	40	-	-		15						
***				5	55	-	-		15						
				6	68	-	-		15						
				7	200	-	-		6						
				8	65	-	-		15						

1. DENEY: Bu deneyde seri üretim proses ayar kartında yer alan değerlerden sadece sabit yarımın kalıp sıcaklığı değiştirilerek sıcaklık 70 °C' den 85 °C' ye yükseltilmiştir.

2. DENEY: Bu deneyde seri üretim proses ayar kartında yer alan değerlerden sadece sabit yarımın kalıp sıcaklığı değiştirilerek sıcaklık 70 °C' den 55 °C' ye düşürülmüştür.

3.DENEY: Bu deneyde seri üretim proses ayar kartında yer alan değerlerden sadece ütüleme basınçları değiştirilmiştir. Seri üretimde 3 kademe olarak verilen basınçlar sırasıyla 110 bar-100 bar- 100 bar dan; 130 bar-120 bar- 120 bar değerlerine yükseltilmiştir.

4.DENEY: Bu deneyde seri üretim proses ayar kartında yer alan değerlerden sadece ütüleme basınçları değiştirilmiştir. Seri üretimde 3 kademe olarak verilen basınçlar sırasıyla 110 bar-100 bar- 100 bar değerlerinden; 90 bar-80 bar- 80 bar değerlerine düşürülmüştür.

5.DENEY: Bu deneyde seri üretim proses ayar kartında yer alan değerlerden sadece enjeksiyon hızları değiştirilmiştir. Seri üretimde 6 kademe olarak verilen hızlar sırasıyla 45 mm/sn-22 mm/sn-22 mm/sn-20 mm/sn-15 mm/sn-10 mm/sn değerlerinden; 40 mm/sn, 17 mm/sn, 17 mm/sn, 15 mm/sn, 10 mm/sn, 5 mm/sn değerlerine düşürülmüştür. Böylelikle toplam enjeksiyon zamanı 4,8sn' den 5,9sn' ye yükselmiştir. Toplam çevrim süresi ise 62sn' den 63,1sn' ye yükselmiştir.

6.DENEY: Bu deneyde seri üretim proses ayar kartında yer alan değerlerden sadece enjeksiyon hızları değiştirilmiştir. Seri üretimde 6 kademe olarak verilen hızlar sırasıyla 45 mm/sn-22 mm/sn-22 mm/sn-20 mm/sn-15 mm/sn-10 mm/sn değerlerinden; 50 mm/sn, 27 mm/sn, 27 mm/sn, 25 mm/sn, 20 mm/sn, 15 mm/sn değerlerine yükseltilmiştir. Böylelikle toplam enjeksiyon zamanı 4,8sn' den 4,6sn' ye düşmüştür. Toplam çevrim süresi ise 62sn' den 61,8sn' ye düşmüştür.

7.DENEY: Bu deneyde seri üretim proses ayar kartında yer alan değerlerden sadece soğuma süresi değiştirilmiştir. Soğuma süresi 25sn' den 32sn' ye yükseltilmiştir. Böylelikle toplam çevrim süresi 62sn' den 69sn' ye yükselmiştir.

8.DENEY: Bu deneyde seri üretim proses ayar kartında yer alan değerlerden sadece soğuma süresi değiştirilmiştir. Soğuma süresi 25sn' den 18sn' ye düşürülmüştür. Böylelikle toplam çevrim süresi 62sn' den 55sn' ye düşmüştür.

9.DENEY: Bu deneyde seri üretim parametreleri kullanılarak parçalar elde edilmiştir.

4.2 Üretilen ABS Parçaların Krom Kaplanması

Enjeksiyon ile 9 deneyin her birinden 15 adet numune alınmıştır. Her deney numunelerinden 1 er adet parça sadece aşındırma ve yıkama (saf su) banyolarına girmiştir (Böylelikle hangi deney numunesinin ne kadar aşındığı görüntülenebilmiştir.). Ardından numuneler saf su ile yıkanmıştır. Aşındırma banyosundan çıkan parçaların bütadienlerini kaybettikleri için parlaklıklarını da kaybettiği gözlemlenmiştir.





Şekil 4.11. Parçalar banyolara girmeden önce baralara (askı platformu) asılır



Şekil 4.12. Parçalar baralara kısıkaçlar ile banyolara daldırılıp çıkarılma esnasında kıpırdamayacak şekilde tutturulur



Şekil 4.13. Aşındırma + Yıkama banyolarından sonra parçaların baralardan sökülmesi



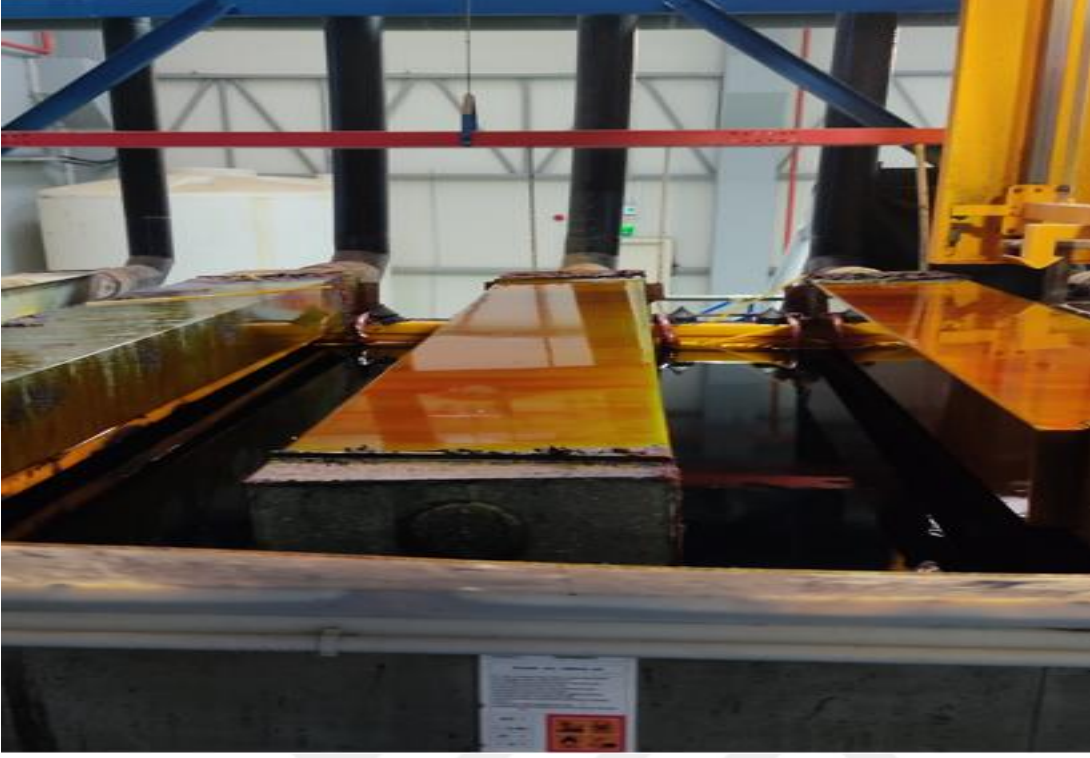
Şekil 4.14. Aşındırma + Yıkama banyolarından çıkan parça

Elde edilen 9 farklı deney numuneleri toplamda 71 banyoya girerek krom kaplandı.
Bu banyolar sırasıyla:

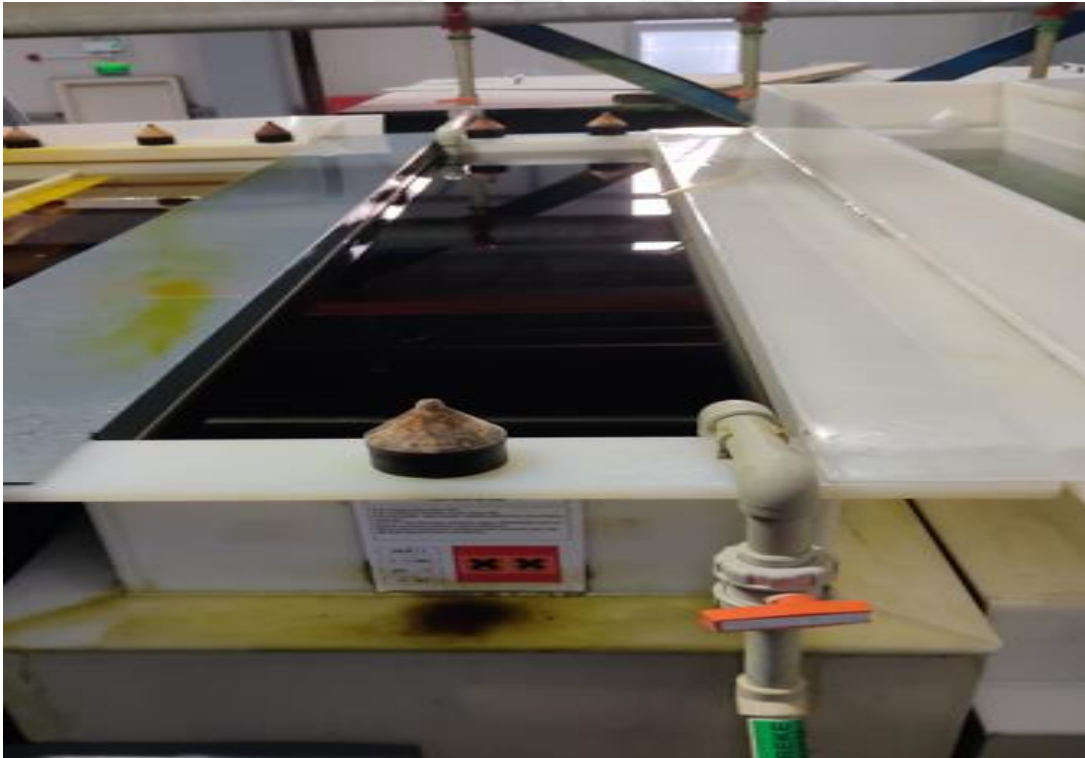
1. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
- 2-5. Aşındırma
- 6-8. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
9. Krom İndirgeme (Krom +6, Krom +3 e indirgenir.)
10. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
11. İyon Değiştirme Suyu (İDS) (şebeke suyu)
12. Ön Daldırma
- 13-14. Aktivatör
- 15-16. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
17. İDS

18. Hızlandırıcı
- 19-20. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
21. İDS
- 22-25 Akımsız Nikel
- 26-27 Yıkama (Saf Su) (25 °C)
28. İDS
- 29-30. Ön Nikel (Banyoya elektrik akımı verilir.)
- 31-32. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
33. İDS
- 34-41. Asitli Bakır (Banyoya elektrik akımı verilir.)
- 42-43. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
44. İDS
45. Bakır Aktivasyon
- 46-47. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
48. İDS
- 49-51. Yarı Parlak Nikel (Banyoya elektrik akımı verilir.)
- 52-54. Parlak Nikel (Banyoya elektrik akımı verilir.)
- 55-56. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
57. İDS
58. Mikroçatlak Nikel (Banyoya elektrik akımı verilir.)
- 59-60. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
61. Krom Aktivasyon (Banyoya elektrik akımı verilir.)
- 62-63. Krom Banyosu
- 63-68. Yıkama (Saf Su) (25 °C)
- 69-70. İDS
71. Yıkama (Saf Su) (85 °C)

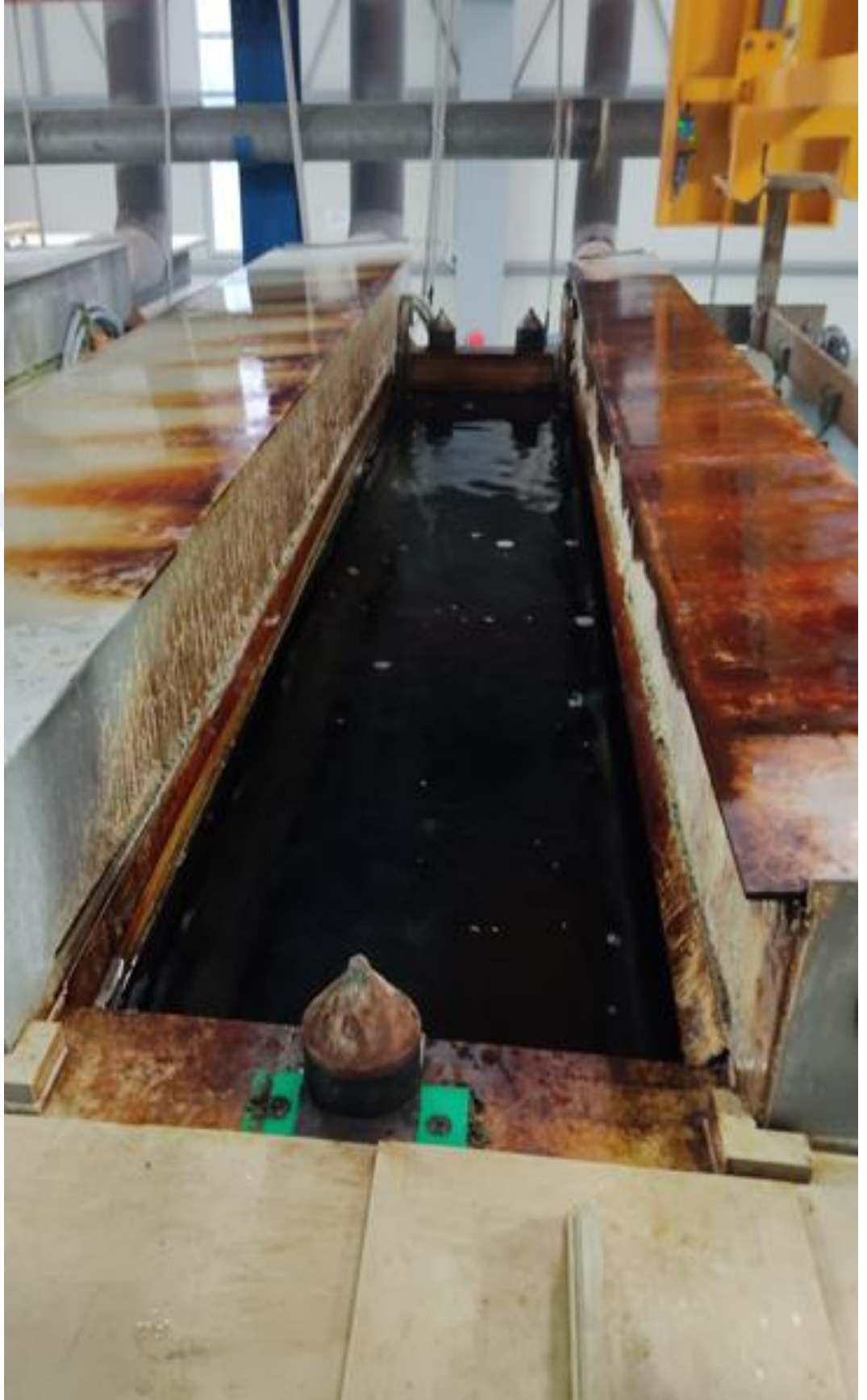
Bazı banyoların fotoğrafları aşağıda verilmiştir.



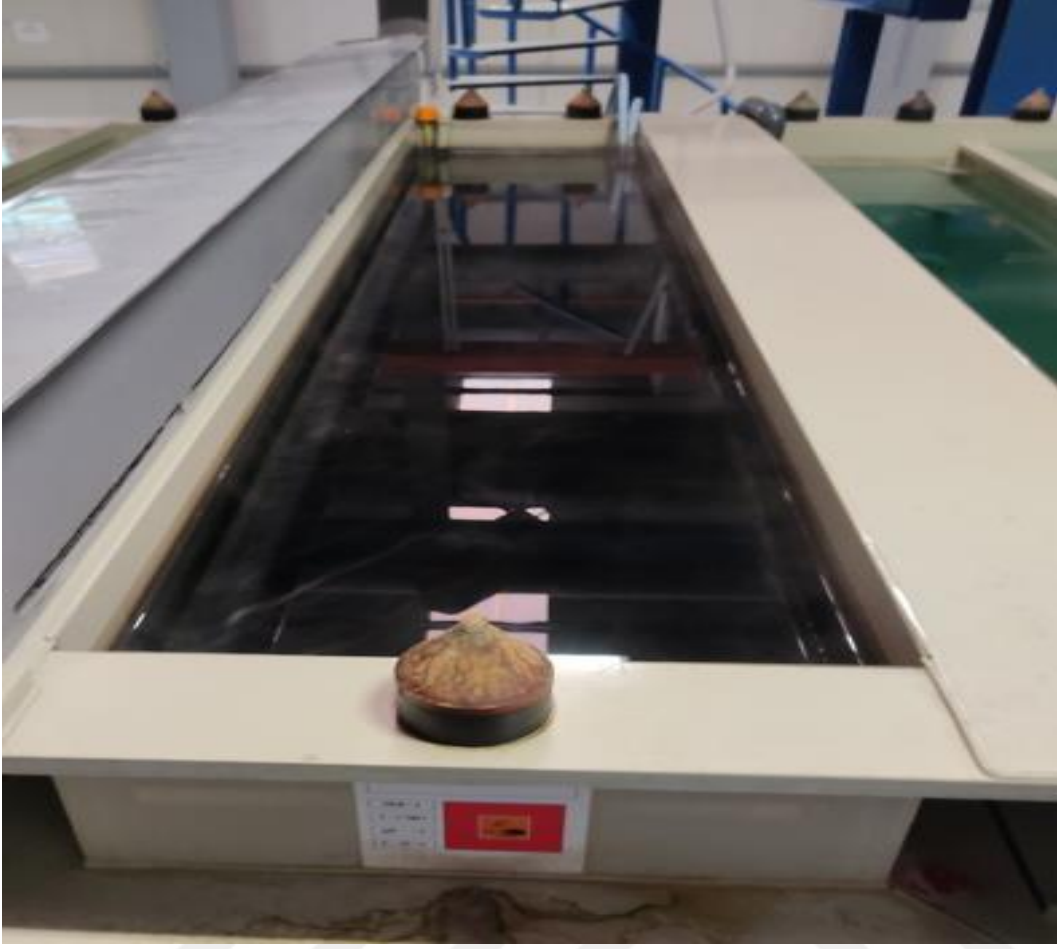
Şekil 4.15. Aşındırma banyosu, kromik asit + sülfirik asit



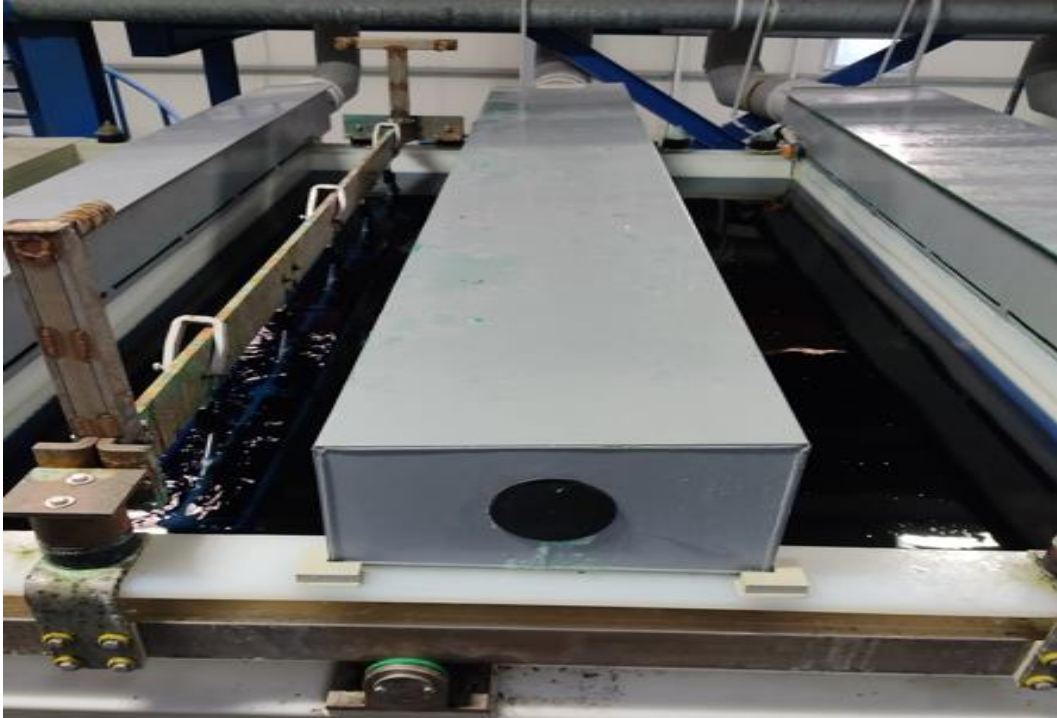
Şekil 4.16. Krom indirgeme, hidroklorik asit



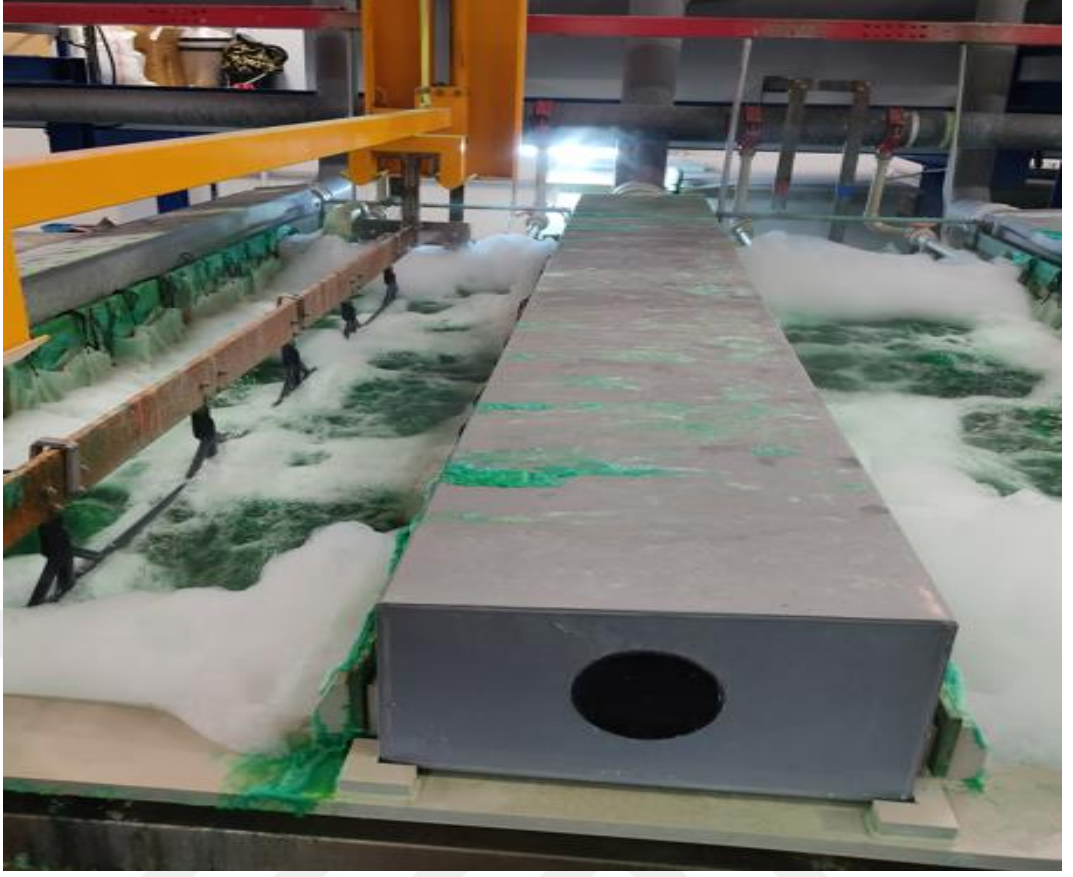
Şekil 4.17. Aktivatör, hidroklorik asit + kalay (II) klorür



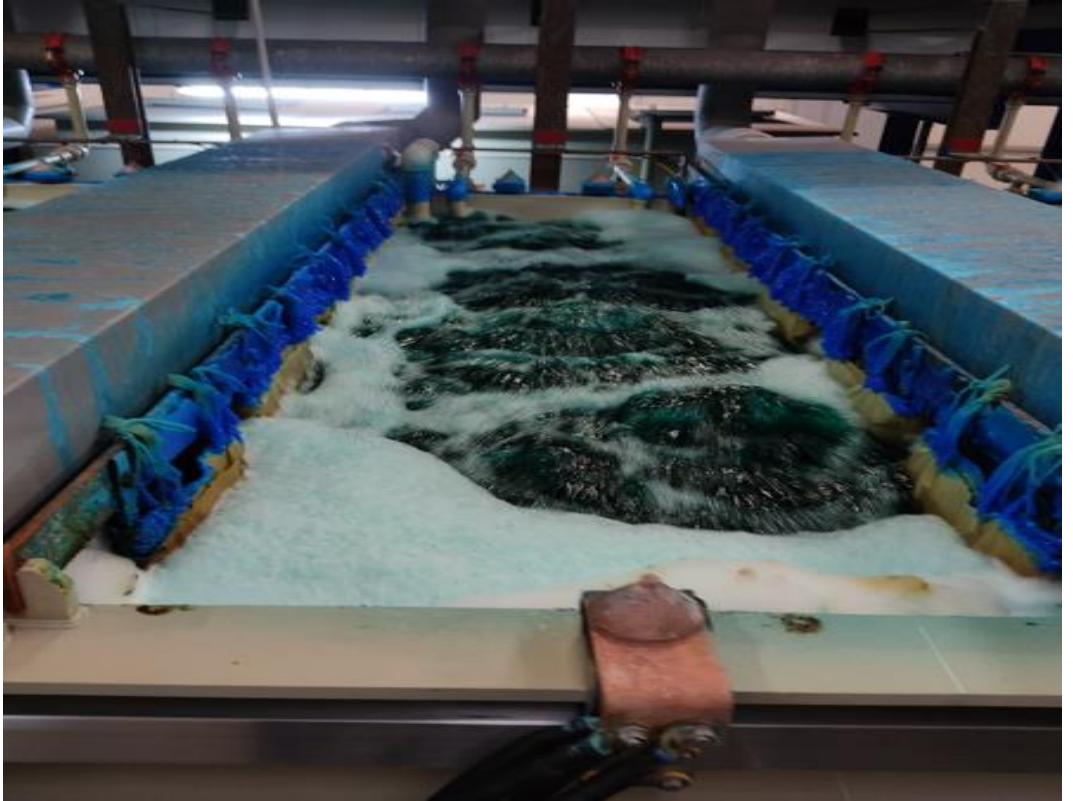
Şekil 4.18. Hızlandırıcı, floro borik asit



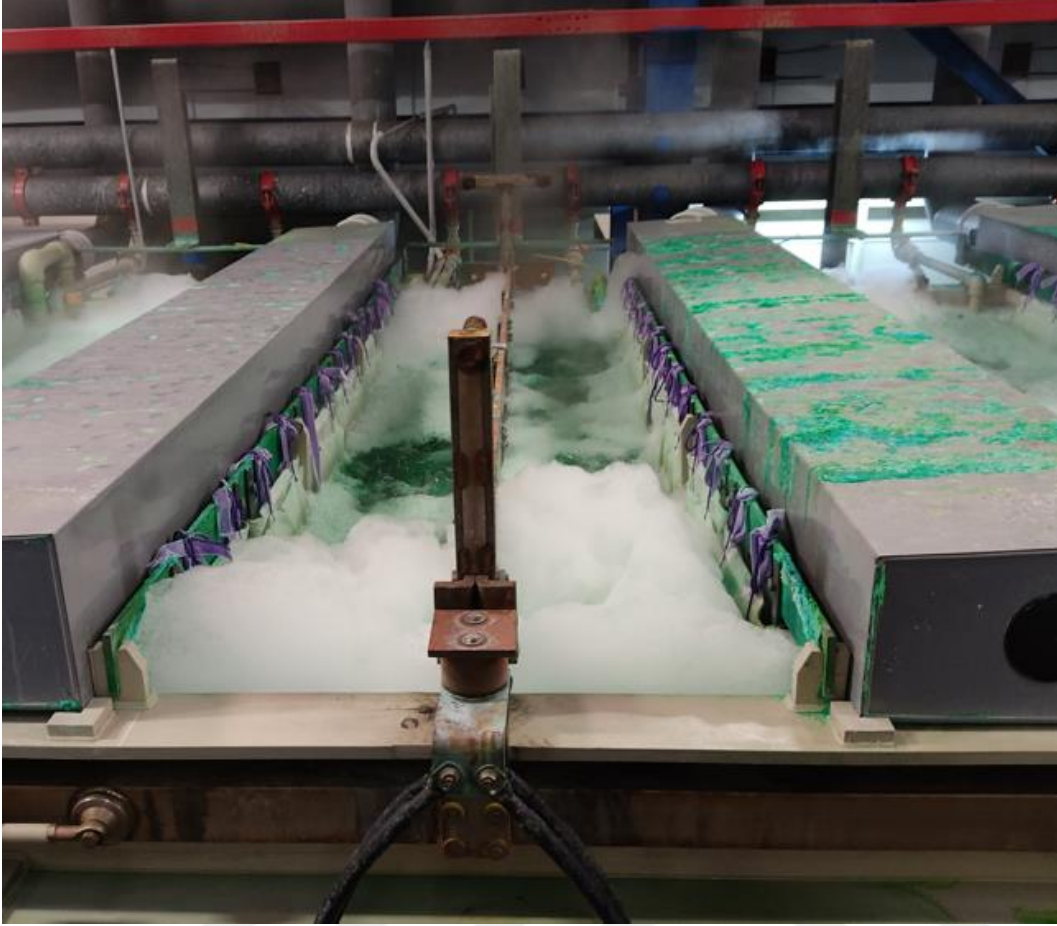
Şekil 4.19. Kimyasal Nikel, sodyum hipofosfit + nikel klorür + amonyak



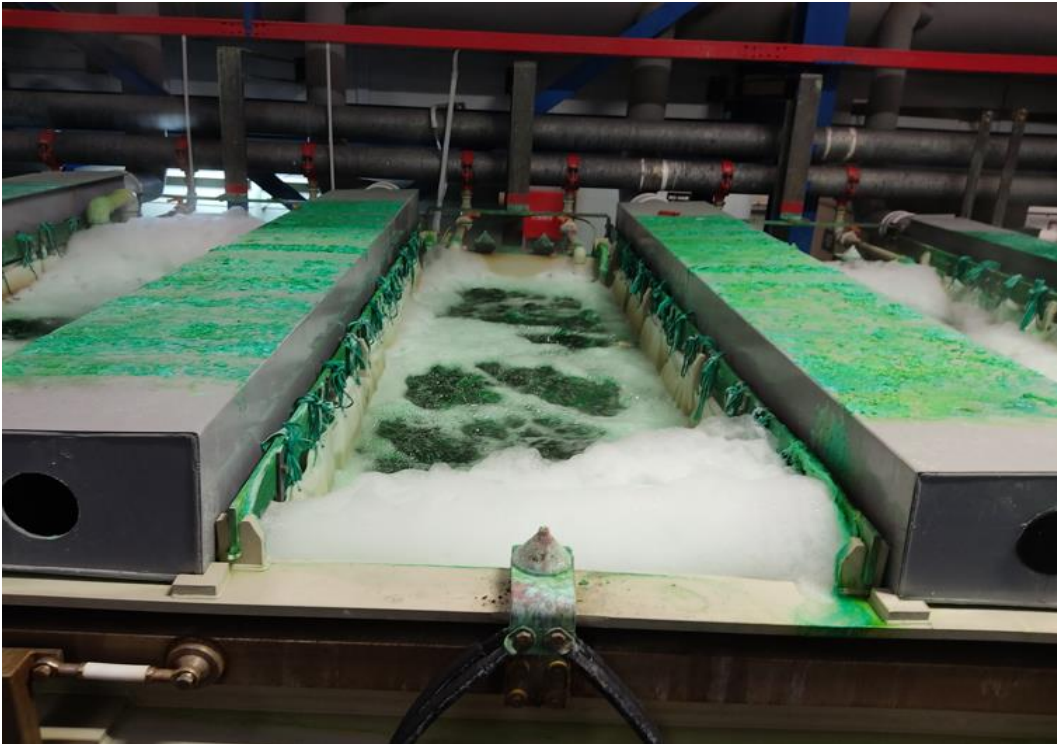
Şekil 4.20. Ön Nikel, nikel sülfat + nikel klorür + borik asit



Şekil 4.21. Asitli Bakır, bakır sülfat + sülfirik asit



Şekil 4.22. Yarı Parlak Nikel, nikel sülfat + nikel klorür + borik asit



Şekil 4.23. Parlak Nikel, nikel klorür + borik asit



Şekil 4.24. Henüz dolmamış Parlak Nikel banyosu



Şekil 4.25. Parçaların asılı olduğu bara Asit Bakır banyosunda



Şekil 4.26. Asit Bakır Yıkama banyosu sonrası



Şekil 4.27. Mikroçatlak Nikel Yıkama banyosu sonrası



Şekil 4.28. Krom Aktivasyon banyosu sonrası



Şekil 4.29. Krom kaplama prosesi tamamlandıktan sonra parçaların son hali

4.3 Testler

A) Mikroçatlak Görüntüleme

Bu testte krom kaplanmamış plastik parçaların yüzeyleri ZEIZZ, AX10 marka ve modeldeki ışık mikroskopu ile görüntülenmiştir. Bu görüntüleme sonucunda bir bilgisayar yazılımı aracılığı ile mikroskoptan bilgisayara gönderilen görüntüler üzerine yaklaşık 500 μm uzunluğunda doğrular çizilmiştir. Bu doğrular üzerine denk gelen çatlak sayıları hesaplanmıştır [46]. En fazla mikroçatlağa sahip yüzeyler korozyona karşı daha dayanıklıdır. Aşağıda verilen görüntülerde yapılan deneylere ait mikroçatlak görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.30. Kullanılan test mikroskobu

B) Stres Testi

Bu test ile kaplanmamış ABS plastik parçada birikmiş stresin varlığı sorgulanmaktadır. Eğer parçada artık stres varsa parça yüzeyinde beyazlıklar oluşmaktadır. Artık stresin olduğu bölgelere kaplama metalleri çok zor tutunur veya tutunamaz.

Test, parçaların soğuk asedik asit içerisinde bekletilip, su ile yıkanmasından ibarettir. Bu testte Carlo Erba, UN 2789 marka ve modeldeki soğuk asedik asit (%99 saflıkta) kullanılmıştır.

Parçaların test standartları, parçanın ait olduğu otomotiv markasının şartnamesine göre belirlenmiştir [47]. Parçalar öncelikle soğuk asedik asit havuzuna bırakılmış ve 30 sn bekletilmiştir. Ardından su ile yıkanmış ve da şartlarında kurulanmıştır. Tekrar soğuk asedik asit havuzuna konulup 120 sn bekletilmiş, ardından su ile yıkanmış ve oda şartlarında kurulanmıştır. Parçalar testten önce ve testten sonra fotoğraflanmıştır. Tamamı testten başarı ile geçmiştir. Hiçbir numunede artık stres gözlemlenmemiştir. Parçaların yüzeyinde beyazlaşma, özellikle de homojen olmayan bir beyazlaşma meydana gelseydi bu, yüzey oryantasyonunun bir göstergesi olacaktı [13].



Şekil 4.31. Soğuk asedik asit havuzu



Şekil 4.32. Parçaların soğuk asedik asit havuzuna bırakılışı



Şekil 4.33. Parçaların stres testinden sonra su ile yıkınışı



Şekil 4.34. Parçaların kurulanışı

D) Isıl Çevrim Testi

Bu testte Nükleon, NKT-900 marka ve modelde ısıl kabin kullanılmıştır. Parçaların test standartları, parçanın ait olduğu otomotiv markasının şartnamesine göre belirlenmiştir. Parçalar 3'er 3'er kabine konulmuş ve toplamda 3 grup oluşturulmuştur. Her grup aynı şartlarda teste tabi tutulmuştur. Parçalar kabine konulduktan sonra 1 çevrimde parçalar $-40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat, hemen sonra $82^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat bekletilmiştir. Her gruba 10 adet çevrim uygulanmıştır. Üç grubun toplam test süresi 30 saat sürmüş ve çıkan parçalara Cross-Cut testi uygulanmıştır.



Şekil 4.35. Isıl çevrim testinde kullanılan kabin

E) Cross-Cut Testi

Bu testte TQC sheen, SP1691 marka ve modelde Cross-Cut ekipmanı kullanılmıştır. Bu ekipman ile önce yatay çizikler atılmış, ardından yatay çiziklerin üstüne dikey çizikler atılmıştır. Bant, çizilen bölgeye sağlam bir şekilde yapıştırılıp, ardından çekilmiştir [48]. Test sonunda soyulma davranışları fotoğraflanmıştır. Test, hem kaplama prosesi sonunda çıkan numunelere, hem de kaplama prosesinden sonra yapılan ısıl çevrim testinden çıkan parçalara yapılmıştır.



Şekil 4.36. Cross-Cut ekipmanı



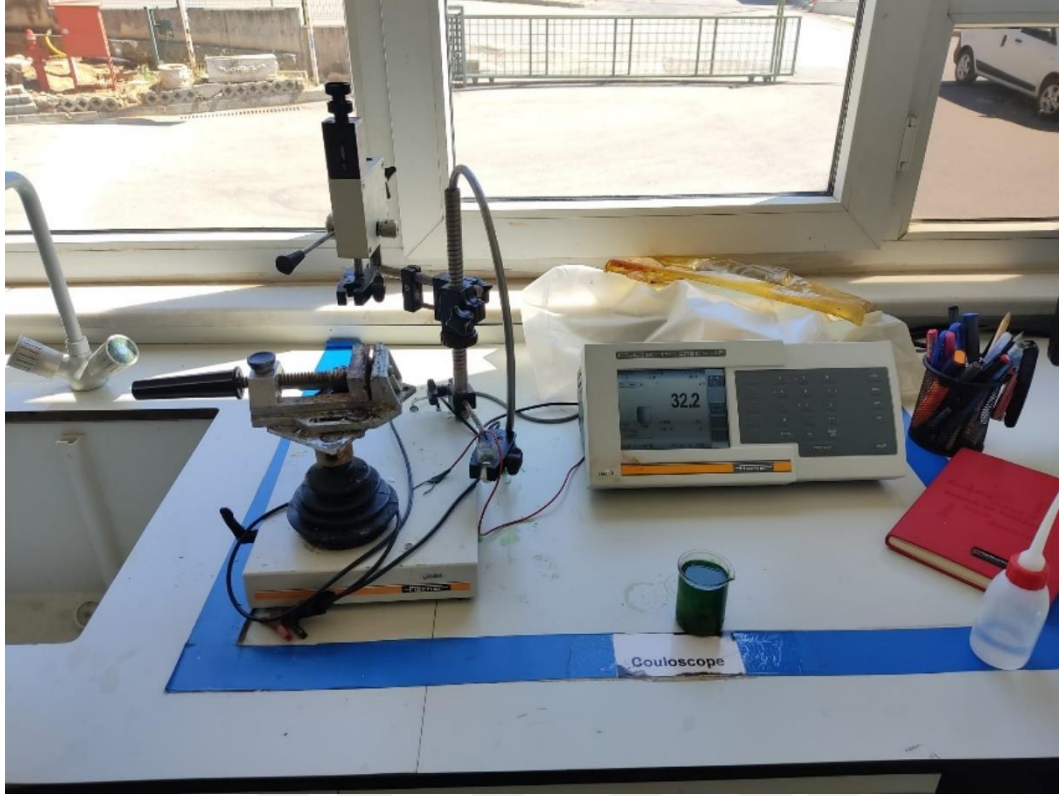
Şekil 4.37. Cross-Cut bıçağı



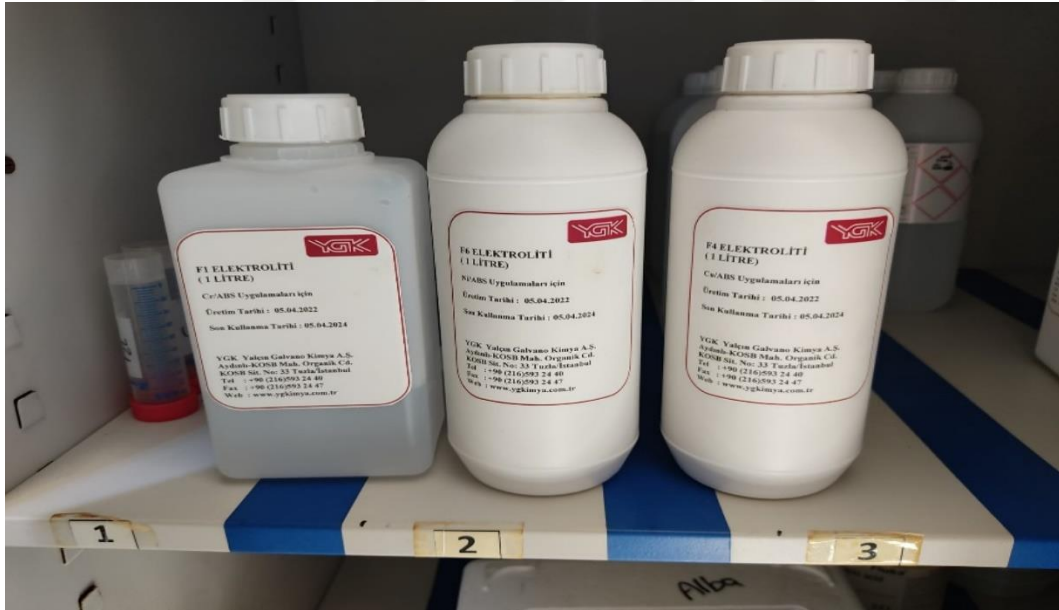
Şekil 4.38. Cross-Cut yapıp, bant yapıştırılan 2. deney numunesinin fotoğrafı

F) Kaplama Kalınlıkları Ölçümü

Plastiklerin, kaplama prosesinden hemen sonra ısı çevrim testine girmeden önce Fisher/CMS2 Step koloskobu ile kaplama kalınlıkları ölçülmüştür. Kaplama kalınlıklarının ölçülebilmesi için kaplanmış parçaların üzerlerine 3 farklı elektrot damlatılmıştır. Bakır kalınlığı ölçülürken Yalçın Galvano Kimya A.Ş tarafından üretilen F4 elektroliti, Nikel kalınlığı ölçülürken Yalçın Galvano Kimya A.Ş tarafından üretilen F6 elektroliti, Krom kalınlığı ölçülürken Yalçın Galvano Kimya A.Ş tarafından üretilen F1 elektroliti kullanılmıştır. Toplamda 9 farklı deney numunesinin bakır, krom ve nikel kalınlıkları ölçülmüştür [49, 50].



Şekil 4.39. Kullanılan koloskop



Şekil 4.40. Kullanılan elektrolitler



Şekil 4.41. Kaplama kalınlıları ölçülürken

G) SEM Görüntülemeleri

Kaplanan parçalar ısıtıl çevrim testinden sonra SEM (taramalı elektron mikroskobu) cihazı ile görüntülenmiştir.



Şekil 4.42. Numunelerin SEM cihazında duruşu



5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1 Mikroçatlak Yoğunluğu

Mikroçatlak yoğunluğu, sert krom elektrokaplama yöntemi için temel bir parametredir. Bu kaplamanın kimyasal ve mekanik özellikleri, büyük ölçüde mikro çatlak yoğunluğuna bağlıdır. Kaplanmış ABS bileşeninin korozyon davranışını mikroçatlak yoğunluğunu belirlemektedir. Bu amaçla, krom kaplama üzerinde görüntü analizi prosedürü gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada bahsedildiği üzere 9 farklı enjeksiyon parametre ayar kartı kullanılarak ABS plastik parçalar üretilmiştir. 9.deneyde seri üretim proses ayar kartı kullanılarak baskılar alınmıştır. Fakat diğer 8 deney kendi içinde parametre türleri olarak 4 farklı gruba ayrılıp her bir ikili, birbiri ile mukayese edilmiştir.

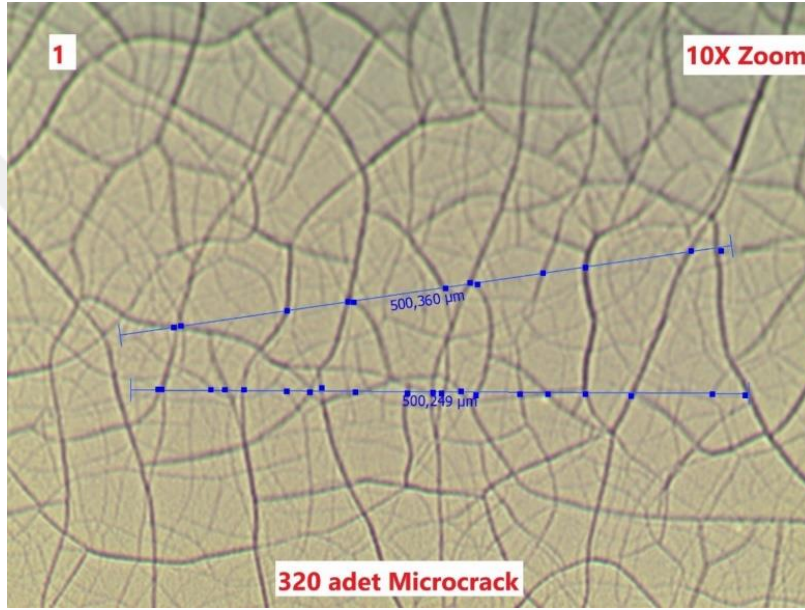
2. deneyde kalıbın sabit yarım sıcaklığını 15 °C düşürdüğümüz durumdaki mikroçatlak sayısı; 1. deneyde kalıbın sabit yarım sıcaklığını 15 °C yükselttiğimiz durumdaki mikroçatlak sayısından fazladır. Kalıbın sabit yarım sıcaklığını yükseltmenin mikroçatlak sayındaki artışa fayda sağladığı gözlemlenmiştir.

3. deneyde ütüleme basıncını her kademede (Toplam 3 kademe ütüleme basıncı kullanılmıştır.) 20 bar attırdığımız durumdaki mikroçatlak sayısı; 2.deneyde ütüleme basıncını her kademede (Toplam 3 kademe ütüleme basıncı kullanılmıştır.) 20bar düşürdüğümüz durumdaki mikroçatlak sayısından fazladır. Ütüleme basıncını arttırmanın mikroçatlak sayındaki artışa fayda sağladığı gözlemlenmiştir.

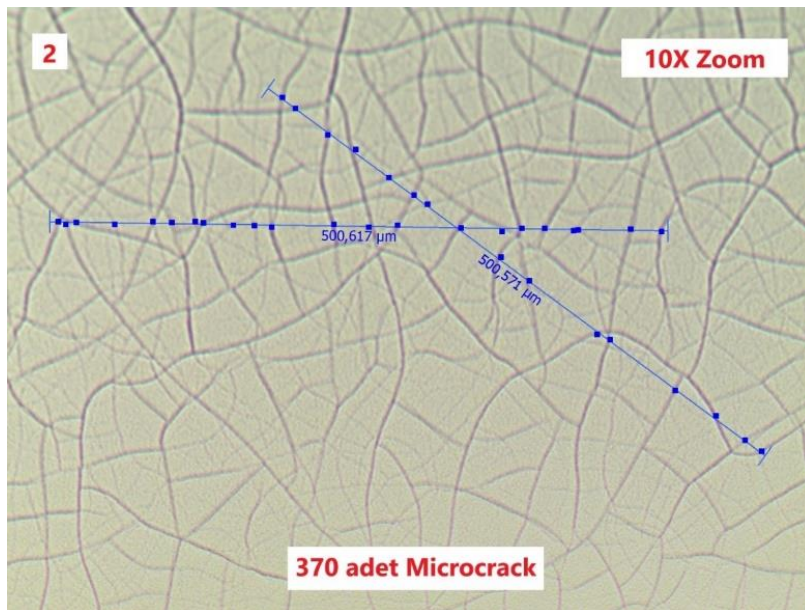
6. deneyde enjeksiyon hızlarını her kademede (Toplam 6 kademe vardır.) 5mm/sn arttırdığımız durumdaki mikroçatlak sayısı; 5. deneyde enjeksiyon hızlarını her kademede (Toplam 6 kademe vardır.) 5mm/sn düşürdüğümüz durumdaki mikroçatlak sayısından fazladır. Enjeksiyon hızlarını düşürmenin mikroçatlak sayındaki artışa fayda sağladığı gözlemlenmiştir.

8.deneyde soğuma süresini 7sn düşürdüğümüz durumdaki mikroçatlak sayısı; 7.deneyde soğuma süresini 7sn arttırdığımız durumdaki mikroçatlak sayısından fazladır. Soğuma süresini düşürmenin mikroçatlak sayındaki artışa fayda sağladığı gözlemlenmiştir.

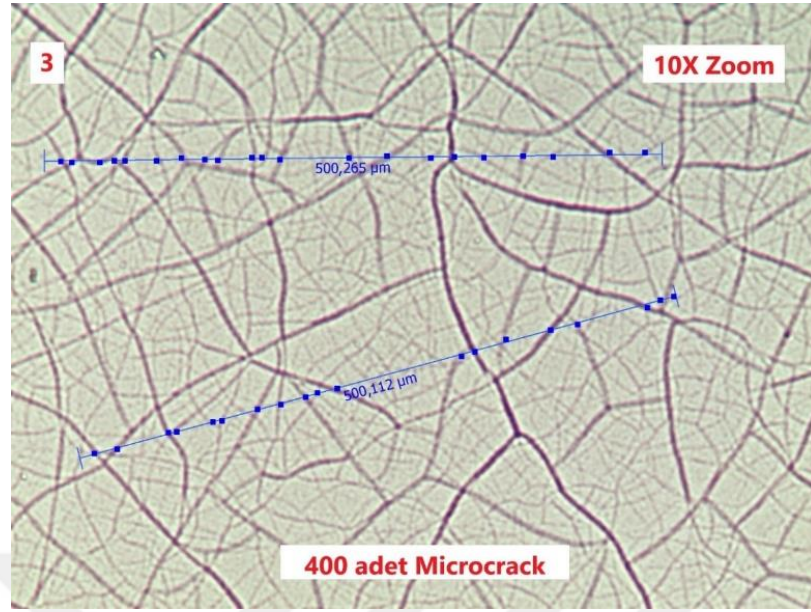
Yapılan mikroçatlak gözlemlerinden anlaşılmıştır ki; ABS plastik parçanın artık stresinin fazla olduğu durumlarda, mikroçatlak sayısının artışına fayda sağlanmıştır. Krom kaplı ABS ürünlerde mikroçatlak sayısının fazla olması, o parçanın korozyon direncini olumlu yönde etkilemektedir. Ancak dikkat edilmesi gereken husus mikroçatlak sayısını arttırmak için enjeksiyon kalıplama parametreleri kullanılırsa parçada artık stres olacaktır. Bu durumda da kaplama tabakası ABS plastik yüzeye yapışması olumsuz etkilenecektir. Çözüm olarak mikroçatlak sayısındaki artış, elektrokaplama proses parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmelidir.



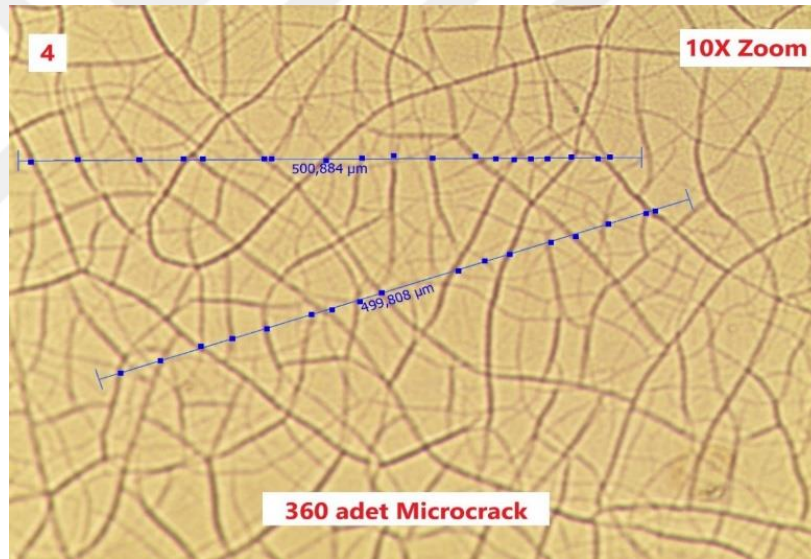
Şekil 5.1. Birinci deneye ait mikroçatlak görüntüsü



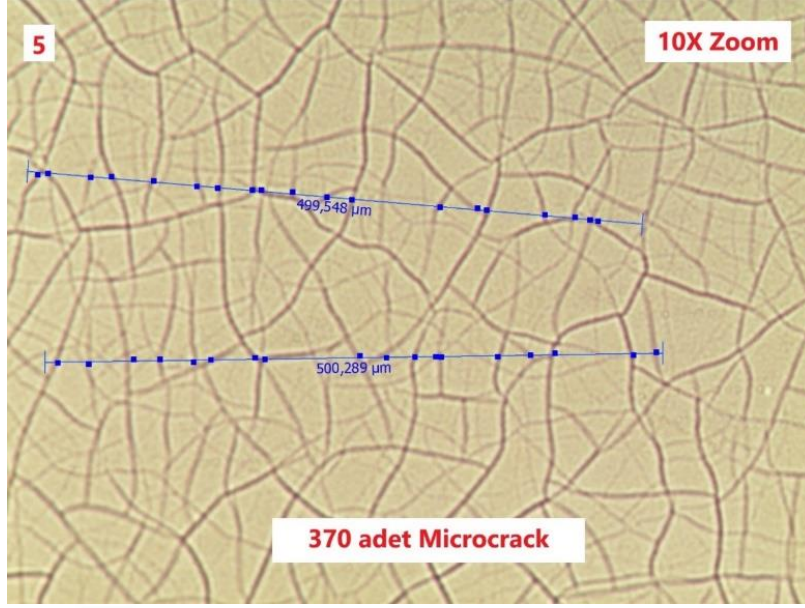
Şekil 5.2. İkinci deneye ait mikroçatlak görüntüsü



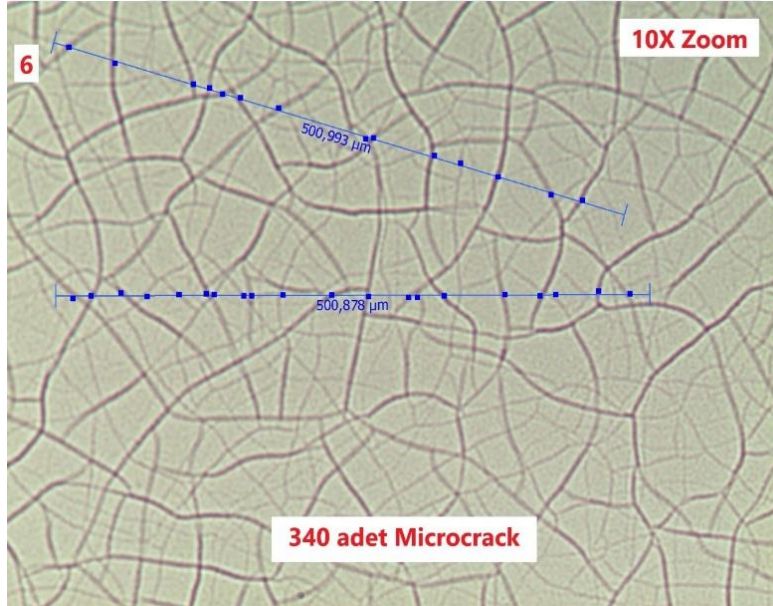
Şekil 5.3. Üçüncü deneye ait mikroçatlak görüntüsü



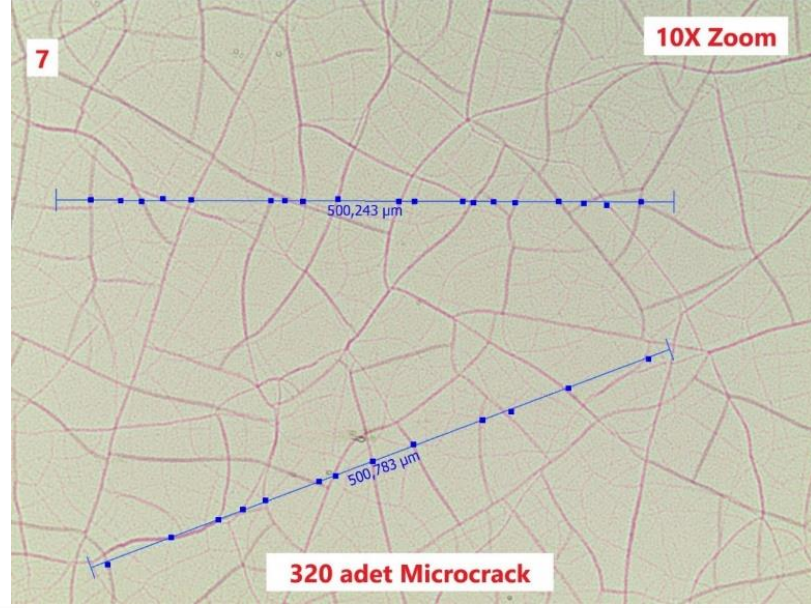
Şekil 5.4. Dördüncü deneye ait mikroçatlak görüntüsü



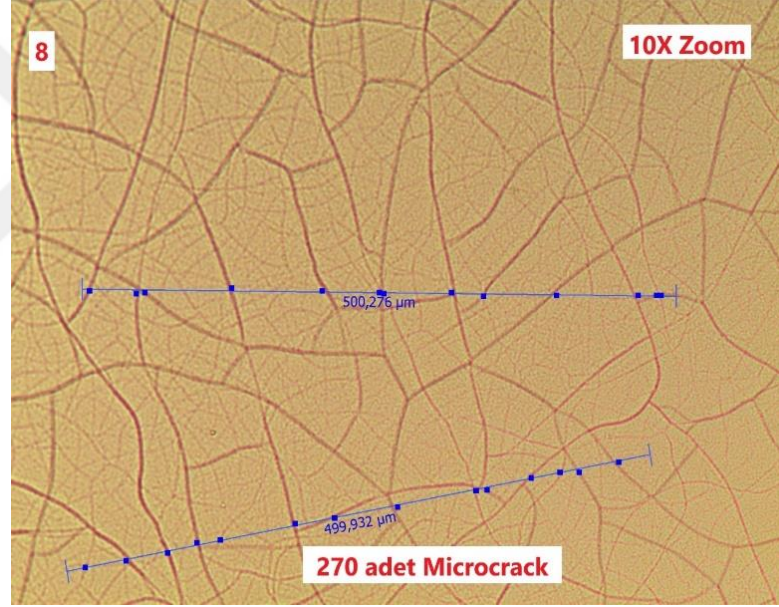
Şekil 5.5. Beşinci deneye ait mikroçatlak görüntüsü



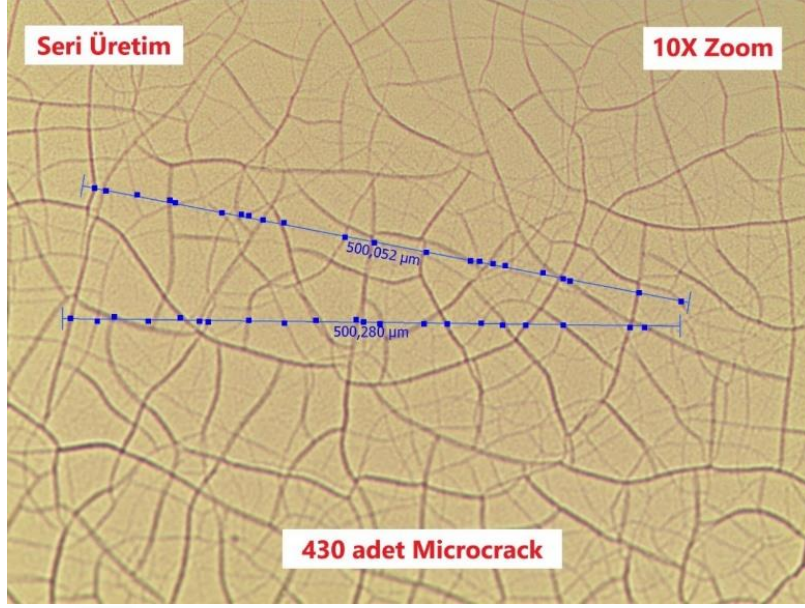
Şekil 5.6. Altıncı deneye ait mikroçatlak görüntüsü



Şekil 5.7. Yedinci deneye ait mikroçatlak görüntüsü



Şekil 5.8. Sekizinci deneye ait mikroçatlak görüntüsü



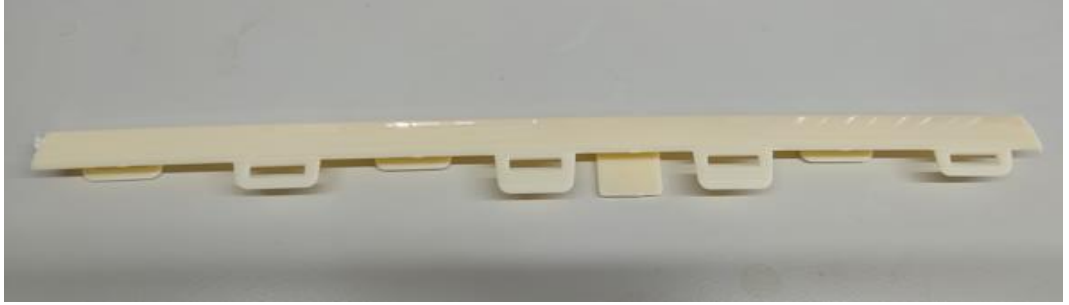
Şekil 5.9. Dokuzuncu deneye ait mikroçatlak görüntüsü

5.2 Asetik Asit Stres Testi

ABS'in enjeksiyonla kalıplanma sırasında karmaşık olan proses aşamalarındaki sıcaklık ve basınç gibi etkilerin nedenlerinden dolayı plastik yüzeyinde artık gerilmeler meydana gelebilmektedir. Artık gerilmeler, enjeksiyon ile kalıplanan parçaların kalitesini ve performansını doğrudan etkilemektedir. ABS parçalarda artık gerilmeler söz konusu olursa, eğilmeler, çatlaklar, kırılmalar ve çift kırılma gibi bazı sorunlar meydana gelebilmektedir.

Numune yüzeyleri, oda sıcaklığında 2 dakika boyunca buzlu asetik asit ile muamele edildikten sonra elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir. Asitle muameleden sonra enjeksiyon parametrelerinin yüzey morfolojisi üzerindeki etkisinin tanımlanması sağlanmıştır. Görüntüleme sonucunda elde edilen veriler ile yüzey artık gerilmeleri, her değişken enjeksiyon proses parametresi için yorumlanmıştır.. Enjeksiyon kalıplama prosesinden kaynaklanan yüzey artık gerilmelerini belirlemek için kullanılan yöntem, parça yüzeyinde ağarmanın yokluğu veya varlığı üzerine deneysel olarak belirlenmiştir. Asetik asit testi sonucunda, numune yüzeyinde ağarma olması, numune yüzeyinde artık gerilimin varlığının bir göstergesidir. Tüm numunelere

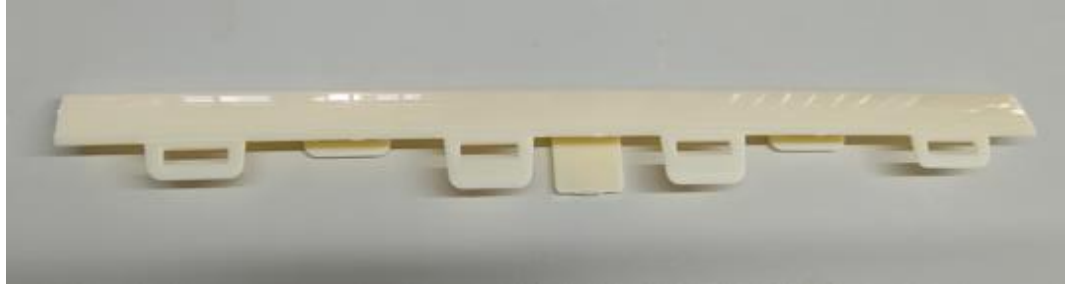
uygulanan buzlu asedik asit testi sonrasındaki incelemelerde, asite daldırılmamış örnek ile asite daldırılmış örnek kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, parçaların yüzeyinde beyazlama (ağarma) görülmediği için numune yüzeylerinde artık gerilimin söz konusu olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.10. Stres testi öncesi 1. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.11. Stres testi öncesi 2. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.12. Stres testi öncesi 3. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.13. Stres testi öncesi 4. deney numunesinin fotoğrafı



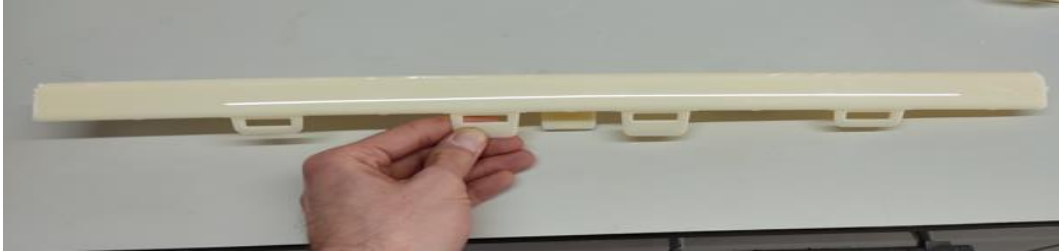
Şekil 5.14. Stres testi öncesi 5. deney numunesinin fotoğrafı



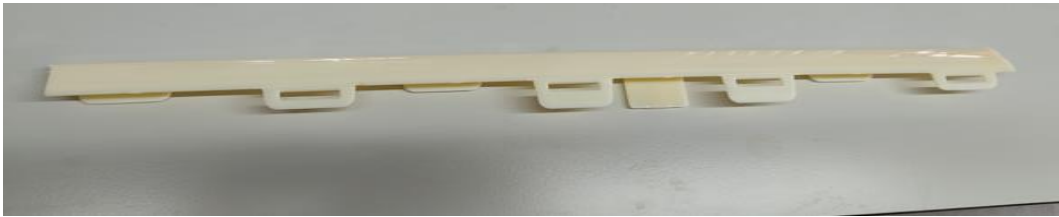
Şekil 5.15. Stres testi öncesi 6. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.16. Stres testi öncesi 7. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.17. Stres testi öncesi 8. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.18. Stres testi öncesi 9. deney numunesinin (seri üretim) fotoğrafı



Şekil 5.19. Stres testinden sonra 1. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.20. Stres testinden sonra 2. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.21. Stres testinden sonra 3. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.22. Stres testinden sonra 4. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.23. Stres testinden sonra 5. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.24. Stres testinden sonra 6. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.25. Stres testinden sonra 7. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.26. Stres testinden sonra 8. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.27. Stres testinden sonra 9. deney (seri üretim) numunesinin fotoğrafı

5.3 Kaplama Kalınlığı

ABS parçalarda bakır, nikel ve krom tabakalarının kaplama kalınlıkları ayrı ayrı ölçülerek ABS parçadaki toplam kaplama kalınlığı tespit edilmiştir. Elektrokaplama proses parametrelerinin sabit tutulmasına rağmen kaplama kalınlıklarının tolere edilebilir oranda değiştiği görülmektedir. Numunelerin bakır katmanına, nikel katmanına ve krom katmanına ait kalınlık değerlerinin yaklaşık olarak birbirleriyle aynı değerde olduğunu görülmektedir. Bu kalınlık değerleri, elektrolizle kaplanmış deney 6, 7, 8 ve 9 numaralı deneylere ait numunelerin toplam kaplama kalınlıkları aynı kalınlık aralığındadır.

Tablo 5.1. Deney numunelerinin kaplama kalınlıkları

Deney Numunesi	Krom Kalınlığı (μm)	Nikel Kalınlığı (μm)	Bakır Kalınlığı (μm)	Kaplama kalınlığı (μm)
1	1,7	21,6	24,3	47,6
2	2,1	17,9	23	43
3	1,9	21,3	24,7	47,9
4	1,4	19,2	21,5	42,1
5	1,8	23,3	23,5	48,6
6	1,5	21,5	23,6	46,6
7	1,5	20,7	24,1	46,3
8	1,7	20,8	23,4	45,9
9	1,3	23,7	21	46

5.4 Cross-Cut Testi

Krom kaplama prosesinden hemen sonra yapılan cross-cut testinin ve ısı çevrim testinden sonra Cross-Cut yapılan parçaların fotoğrafları aşağıda verilmiştir.

Deney 1’ de kalıbın sabit yarım sıcaklığını 15 °C yükseltmenin ve Deney 4’ te ütüleme basınçlarını her kademe için (Toplamda 3 kademe ütüleme basıncı kullanılmıştır.) 20 bar düşürmek, artık stresi azaltmasına rağmen parça yüzeyinde oldukça minimal düzeyde çöküntülere sebep olduğu için Cross-Cut testinde Deney 2 ve Deney 3 numunelerine kıyasla daha kötü sonuçlara neden olmuştur.

Deney 6’ da enjeksiyon hızını her kademede (Toplamda 6 kademe kullanılmıştır.) 5er mm/sn arttırmak parça yüzeyinde moleküler oryantasyonu ve artık stresi arttırdığı için Deney 6 numunesinin sonuçları, Deney 5 numunesine kıyasla daha kötü sonuçlanmıştır.

Deney 8’ de soğuma süresini 7sn düşürmek parça yüzeyindeki artık stresi arttırdığı için Deney 8 numunesinin sonuçları, Deney 7 numunesine kıyasla daha kötü sonuçlanmıştır.



Şekil 5.28. Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 1. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.29. Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 2. deney numunesinin fotoğrafı



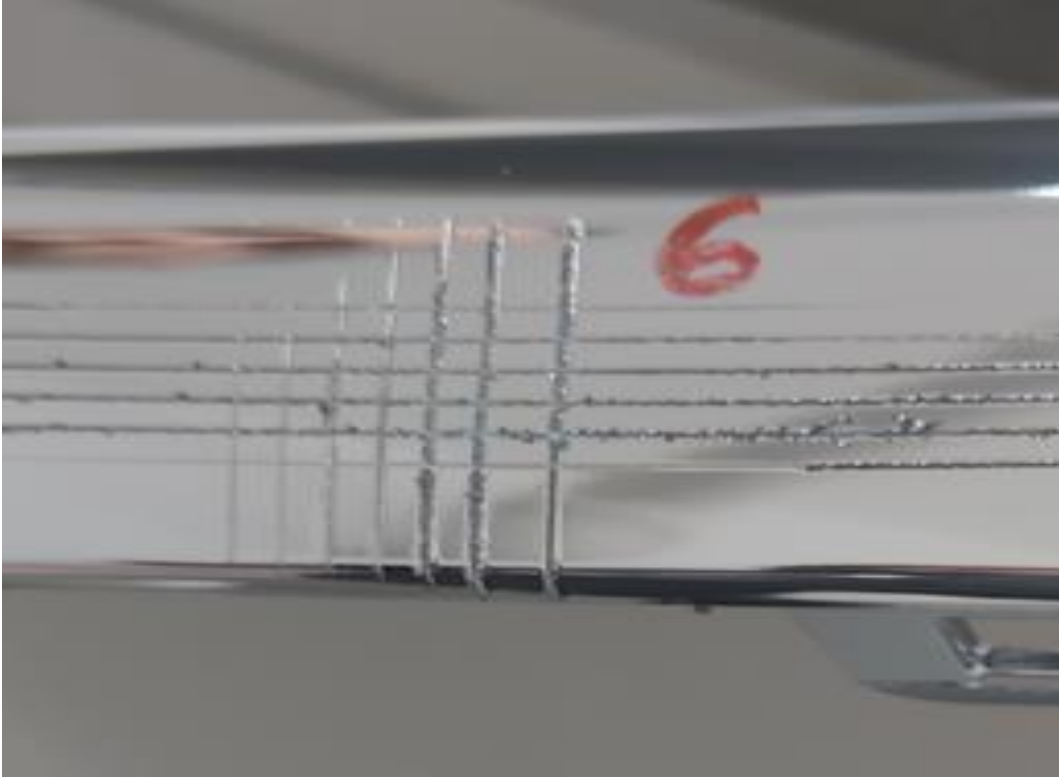
Şekil 5.30. Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 3. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.31. Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 4. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.32. Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 5. deney numunesinin fotoğrafı



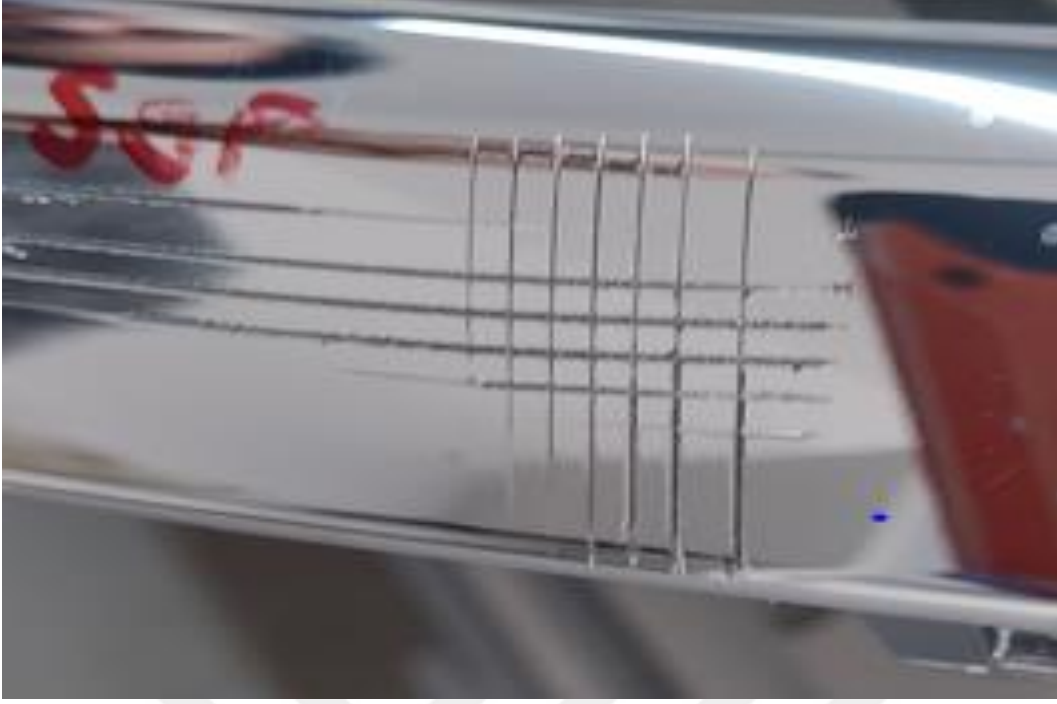
Şekil 5.33. Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 6. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.34. Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 7. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.35. Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 8. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.36. Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 9. deney (seri üretim) numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.37. Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 1. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.38. Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 2. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.39. Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 3. deney numunesinin fotoğrafı



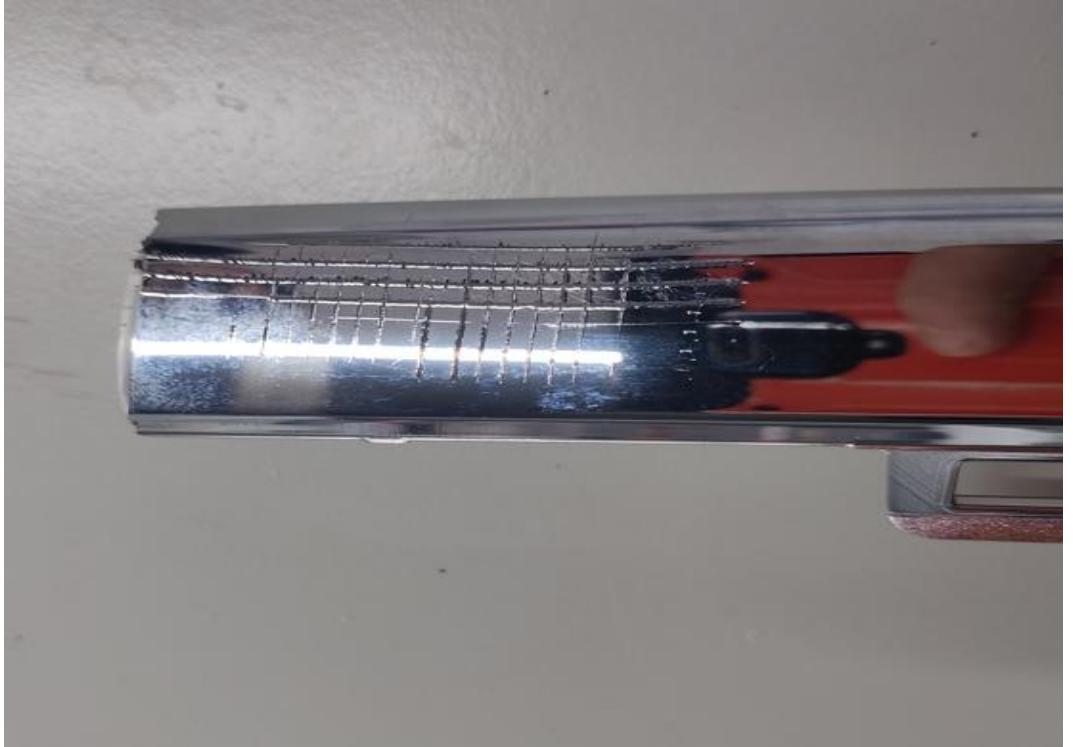
Şekil 5.40. Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapılıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 4. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.41. Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapılıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 5. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.42. Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapılp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 6. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.43. Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapılp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 7. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.44. Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 8. deney numunesinin fotoğrafı



Şekil 5.45. Isıl Çevrim testinin ardından Cross-Cut yapıp, yapıştırılan bandın çekilmesinden hemen sonra 9. deney (seri üretim) numunesinin fotoğrafı

5.5 SEM Analizi

Enjeksiyonla kalıplandıktan sonra krom ile kaplanan ABS parçalarında metal-polimer yapışmasına enjeksiyon parametrelerinin etkisi SEM analizi ile incelenmiştir. SEM mikrografları, krom kaplanmış ABS parçaların enine kesitini göstermektedir. SEM mikrograflarında, iyi bir yapışma ve çatlak olmayan kaplamanın elde edildiği numuneler için belirlenen enjeksiyon parametreleri iyi bir metal-polimer yapışması için optimum proses parametrelerini ifade etmektedir.

Deney 1 numunesinin elektrolizle kaplanmış katman arasındaki arayüzde polimer ve kaplama arasında boşluk olmadığı görülmektedir.

Deney 2 numunesinin elektrolizle kaplanmış katman arasındaki arayüzde polimer ve kaplama arasında bazı yarıkların olduğu görülmektedir.

Deney 3 numunesinin SEM mikrograflarında arayüzde polimer ve kaplama arasında boşluk olmadığı görülmektedir. Buna rağmen, kaplama tabakasında çatlaklar ve polimerin dış yüzeyinde oryantasyon oluşmuştur.

Deney 4 numunesinin SEM mikrograflarında, ABS ile krom kaplama tabakası arasında mikro çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir. Ancak kaplama yüzeyine hiçbir çatlak iletilmemiştir.

Deney 5 numunesinin SEM mikrograflarında ABS ile krom kaplama arasındaki arayüzde polimer ve kaplama arasında bazı bölgelerde polimer-kaplama arasında yarıklar görülmektedir.

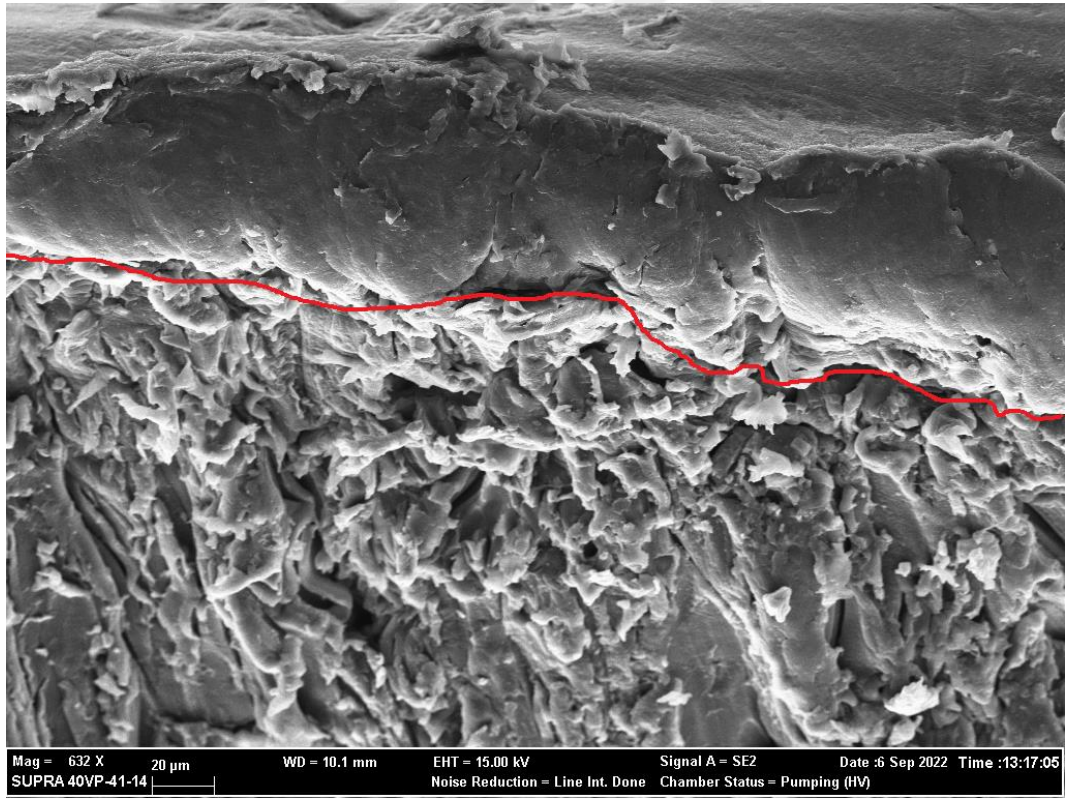
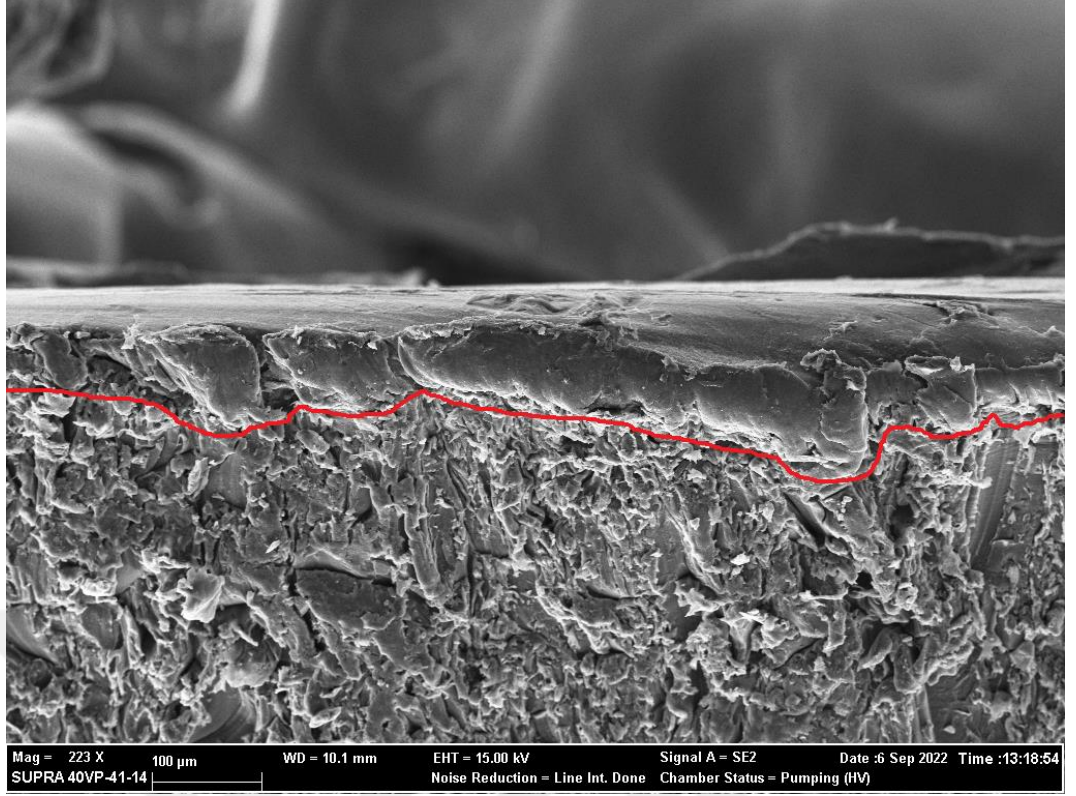
Deney 6 numunesinin SEM mikrograflarında ABS ile krom kaplama arasındaki arayüzde polimer ve kaplama arasında boşluk olmadığı görülmektedir.

Deney 7 numunesinin SEM mikrograflarında, ABS ile krom kaplama tabakası arasında boşluk olmadığı görülmektedir. Buna rağmen, kaplama tabakasında mikro çatlaklar oluşmuştur. Kaplama-polimer uyumu oldukça iyidir.

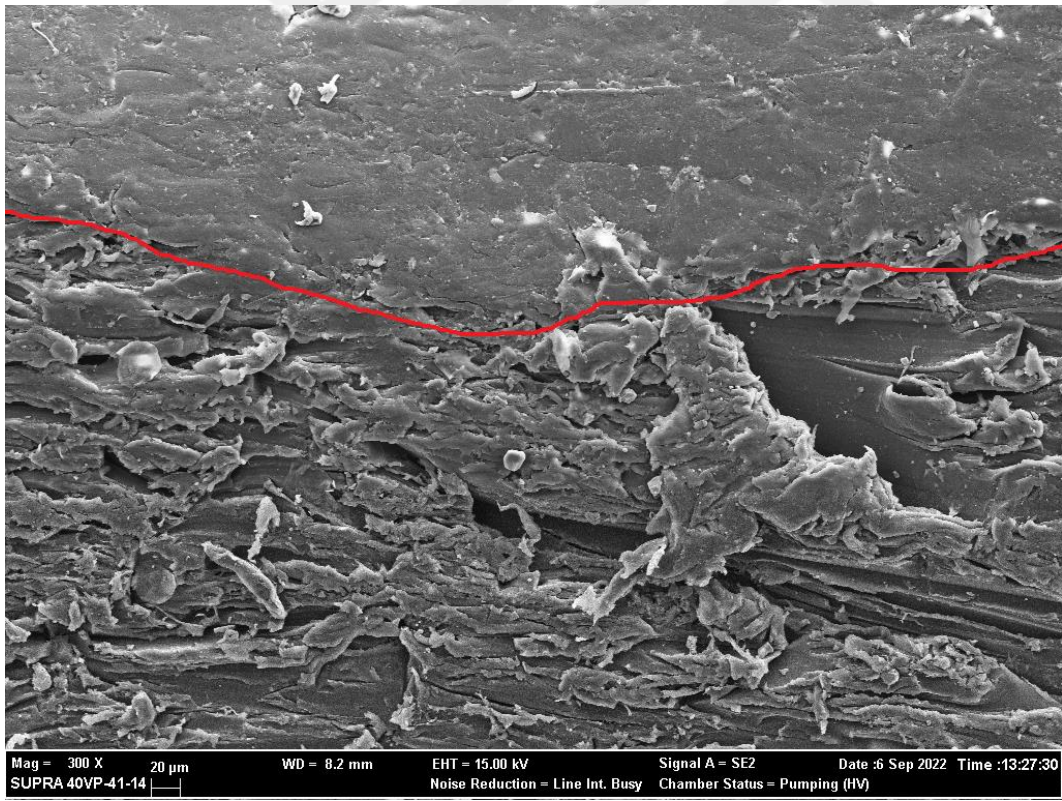
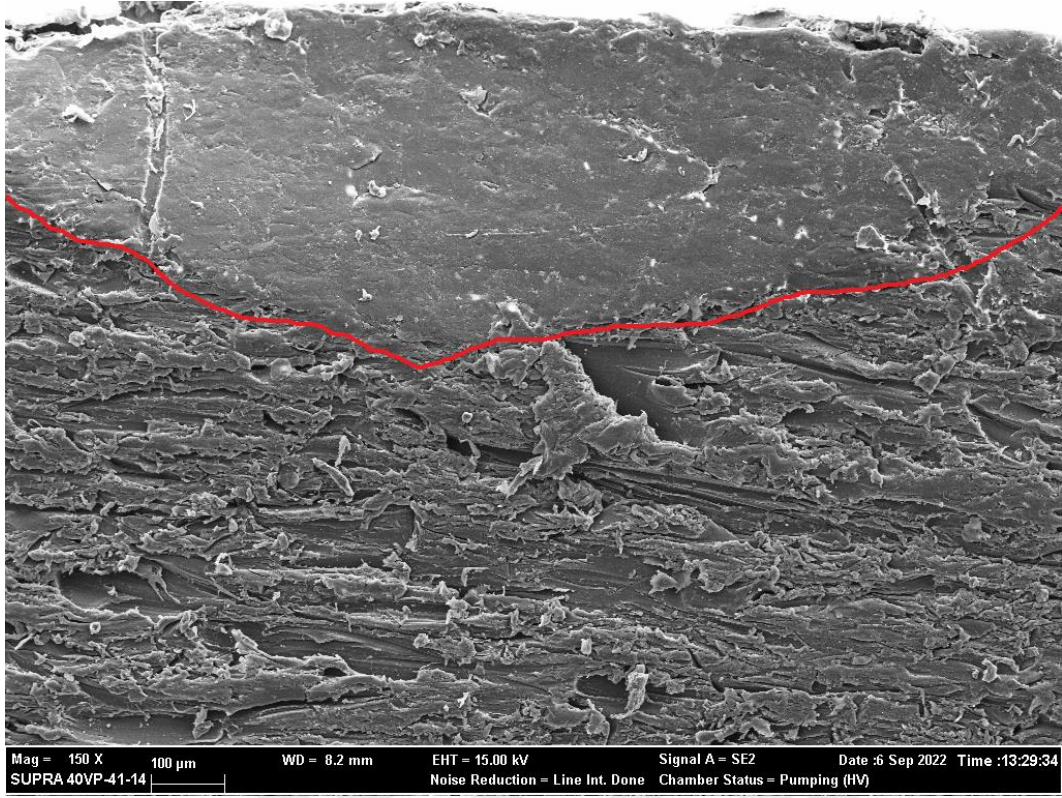
Deney 8 numunesinin SEM mikrograflarında, ABS ile krom katman arasındaki arayüzde polimer ve kaplama arasında boşluk olduğu görülmektedir. Pürüzlü bir kaplama tabakası sergilemektedir. Bu durum enjeksiyon parametresinin iyi bir polimer-metal yapışması için uygun olmadığını göstermektedir.

Deney 9 numunesinin SEM mikrograflarında, metal-polimer arasında boşluk yoktur. Krom kaplama tabakasında mikro çatlaklar gözlemlenmiştir. Kplama yüzeyine çatlak ilerlemesi söz konusudur.

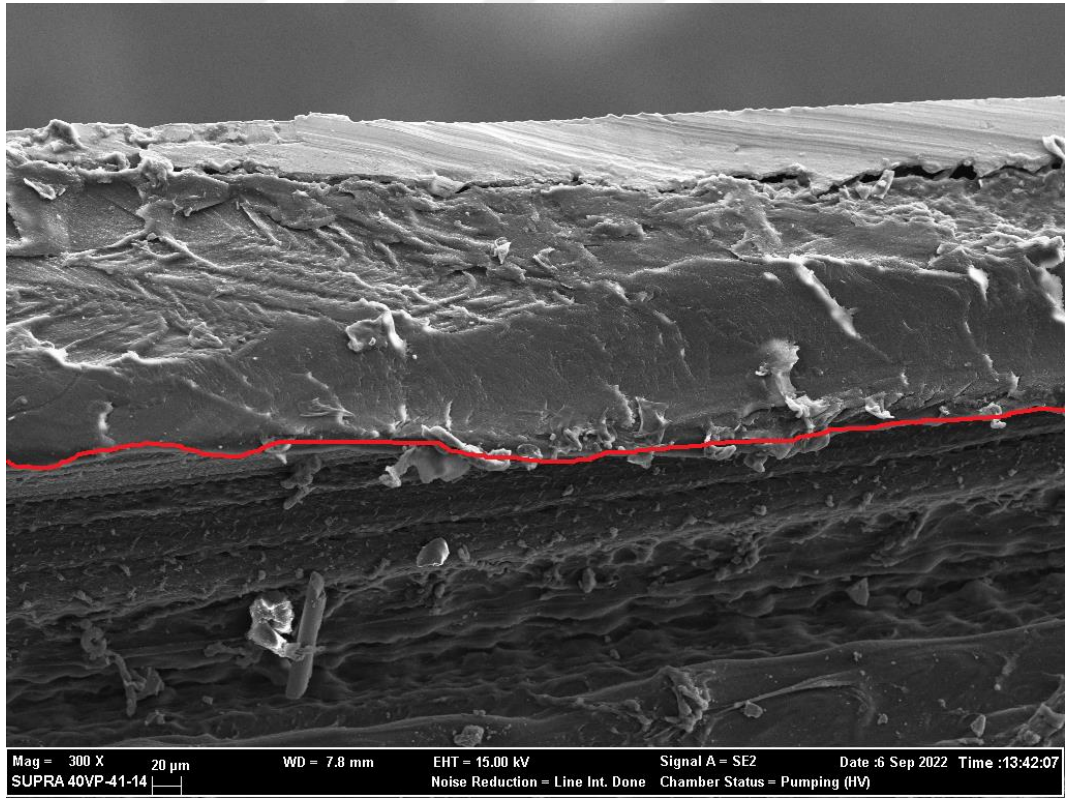
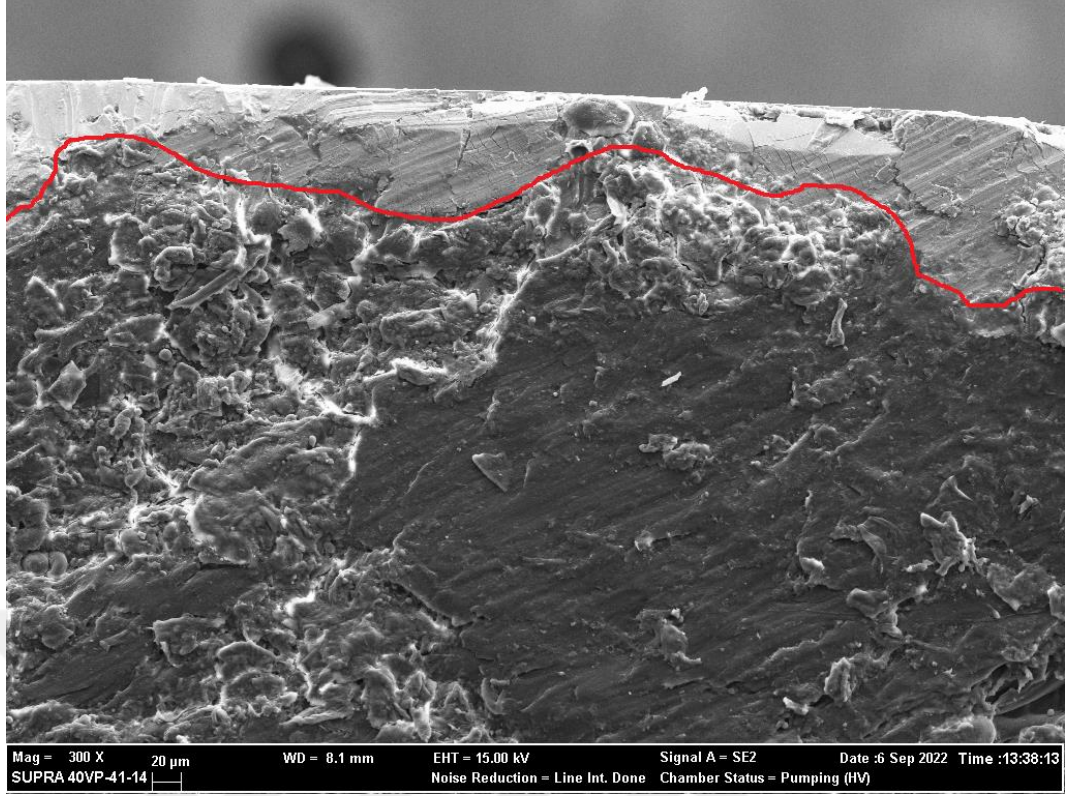




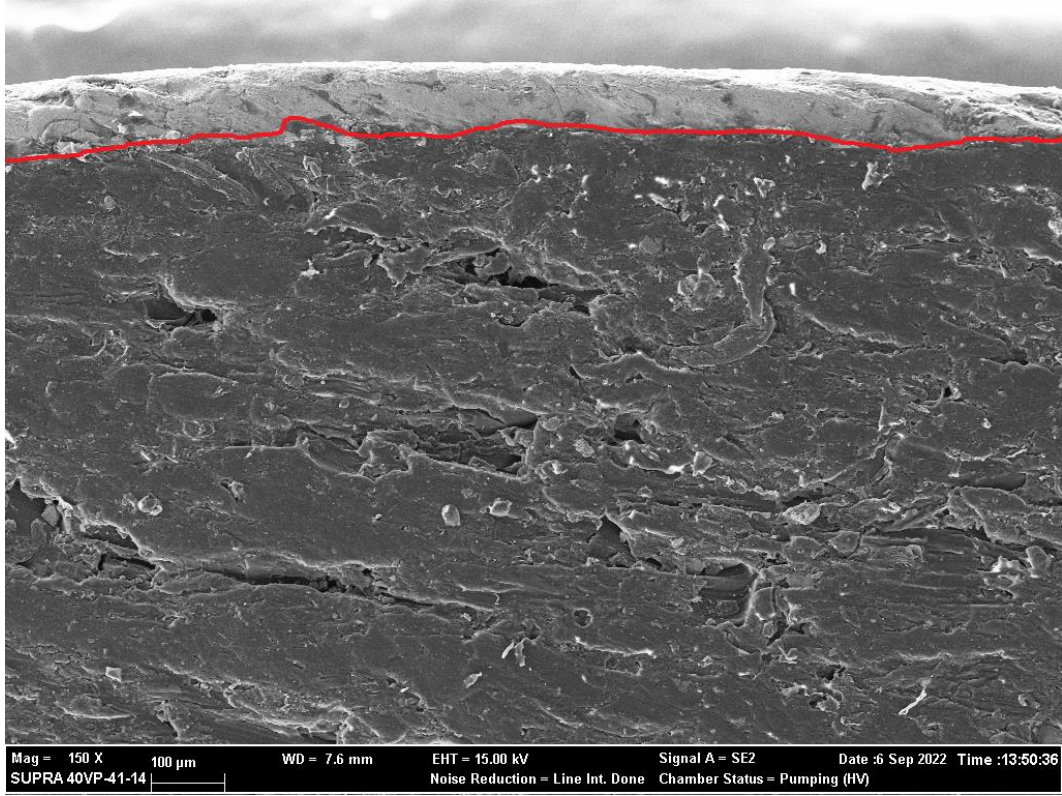
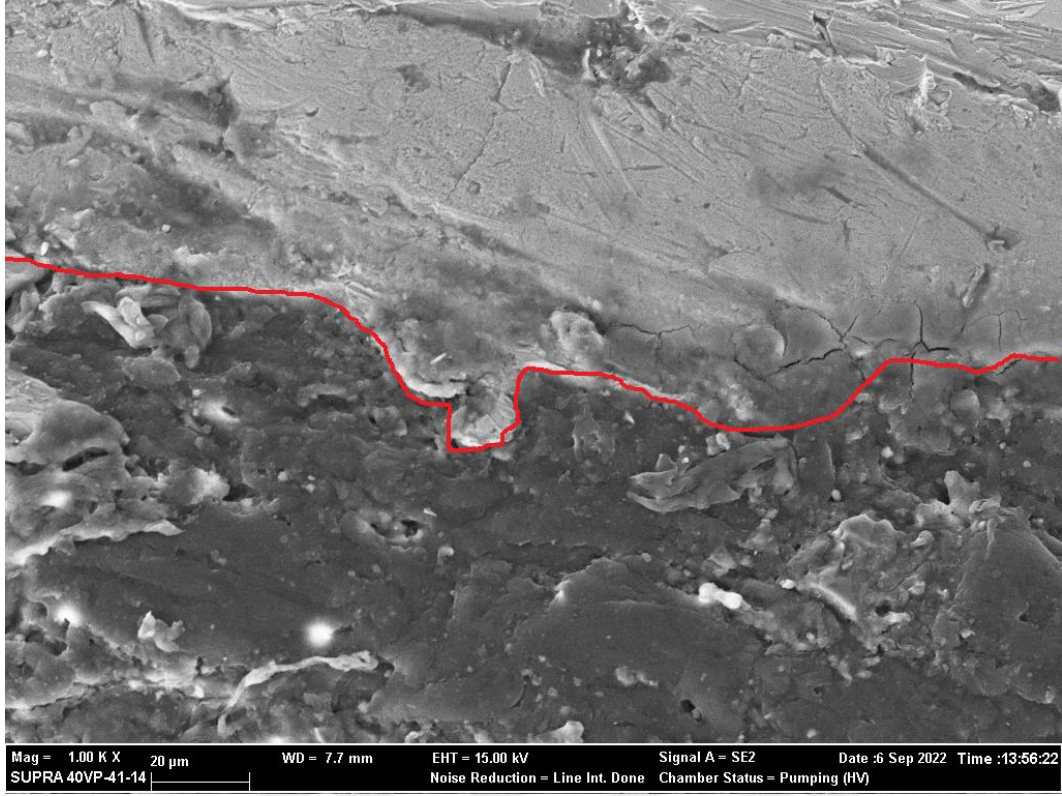
Şekil 5.46. Birinci deney numunesine ait SEM görüntüleri



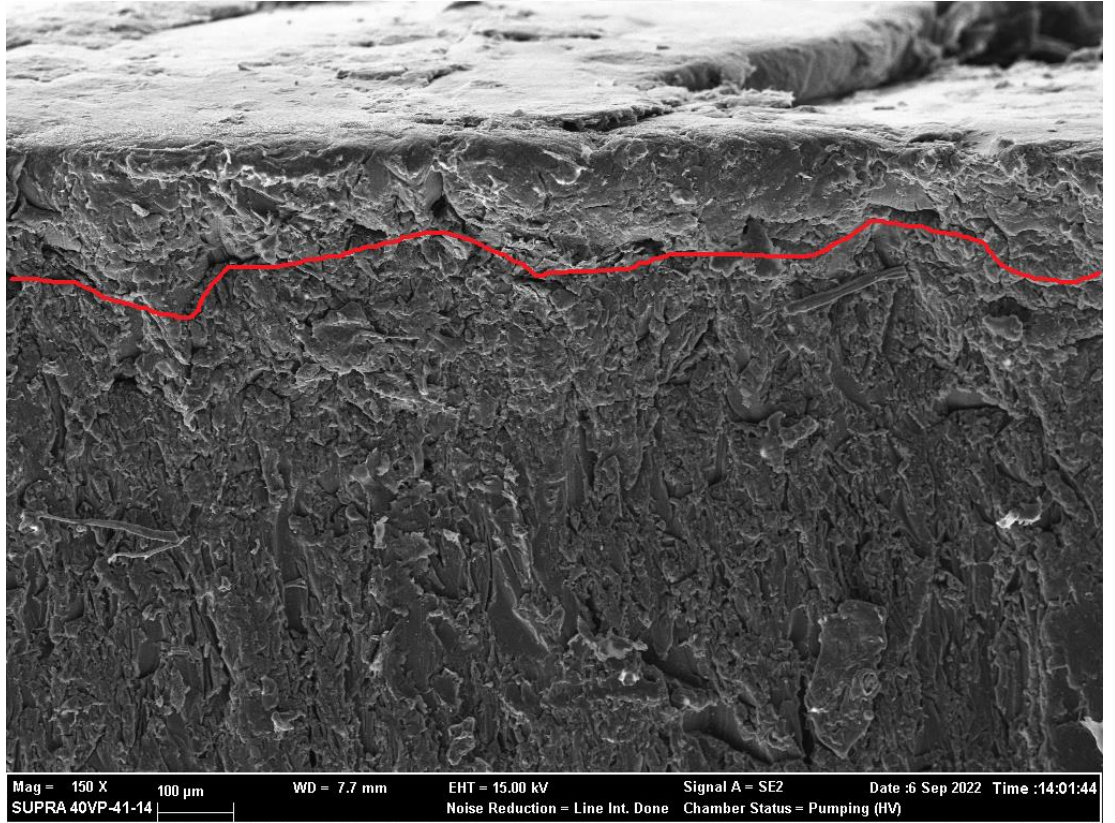
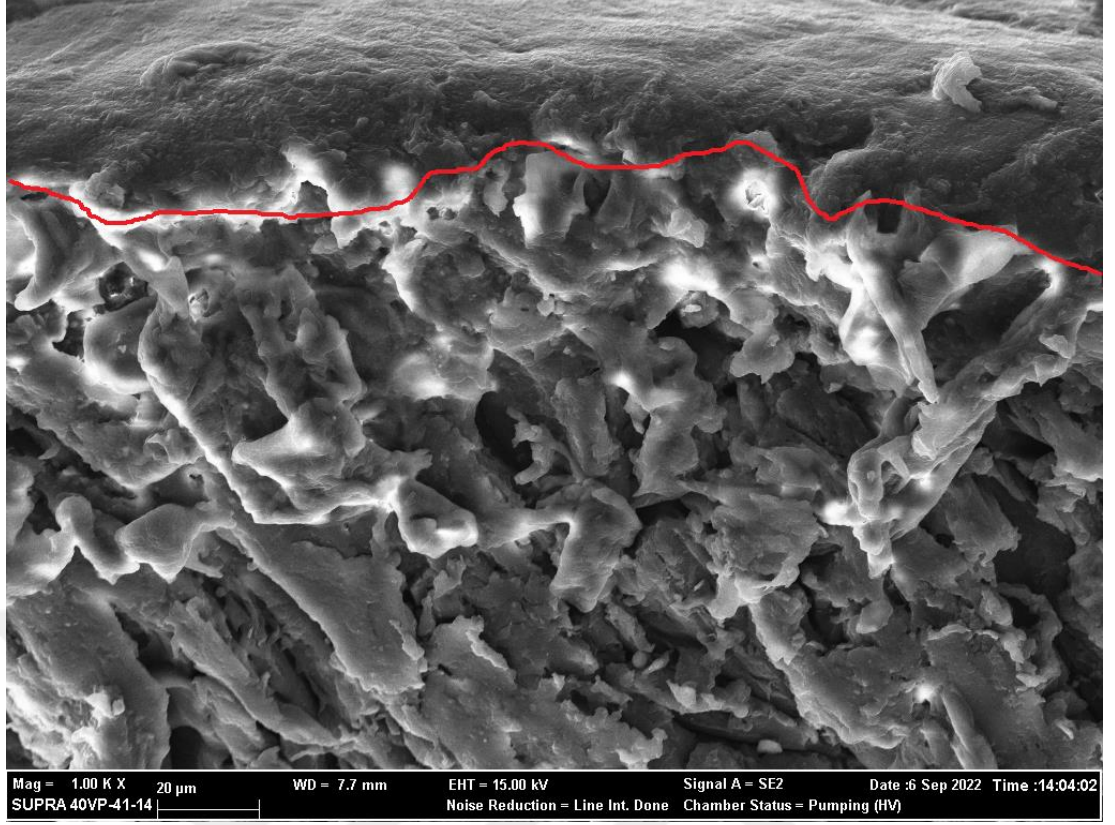
Şekil 5.47. İkinci deney numunesine ait SEM görüntüleri



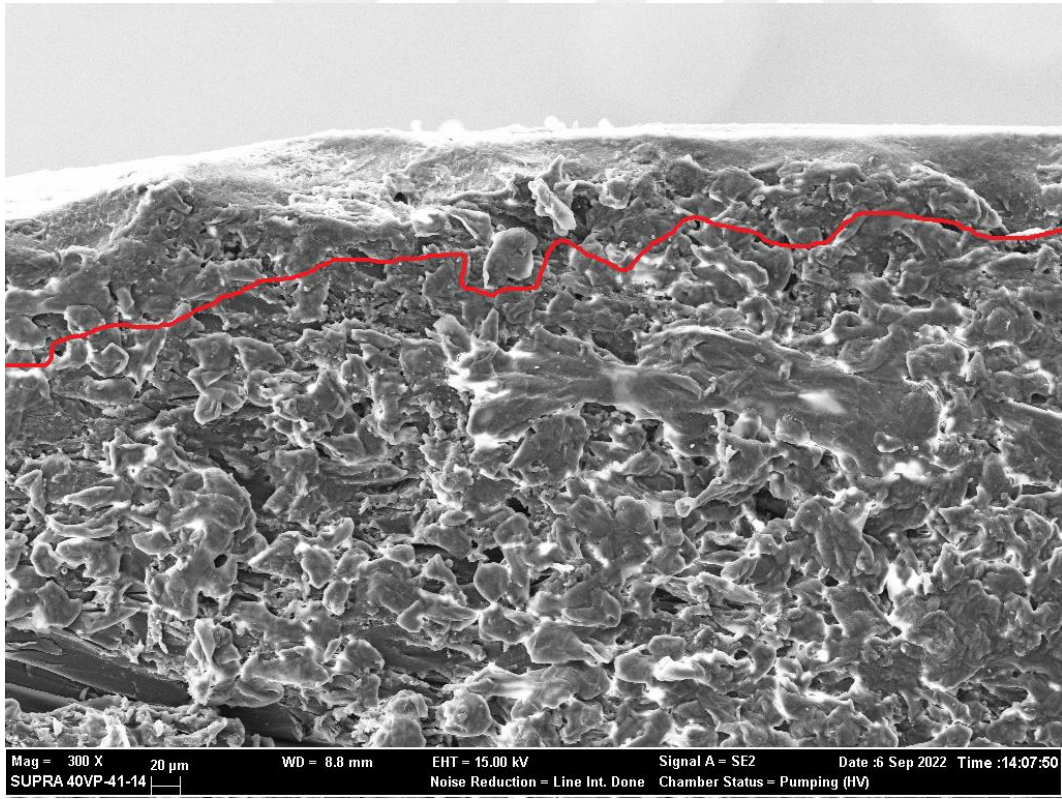
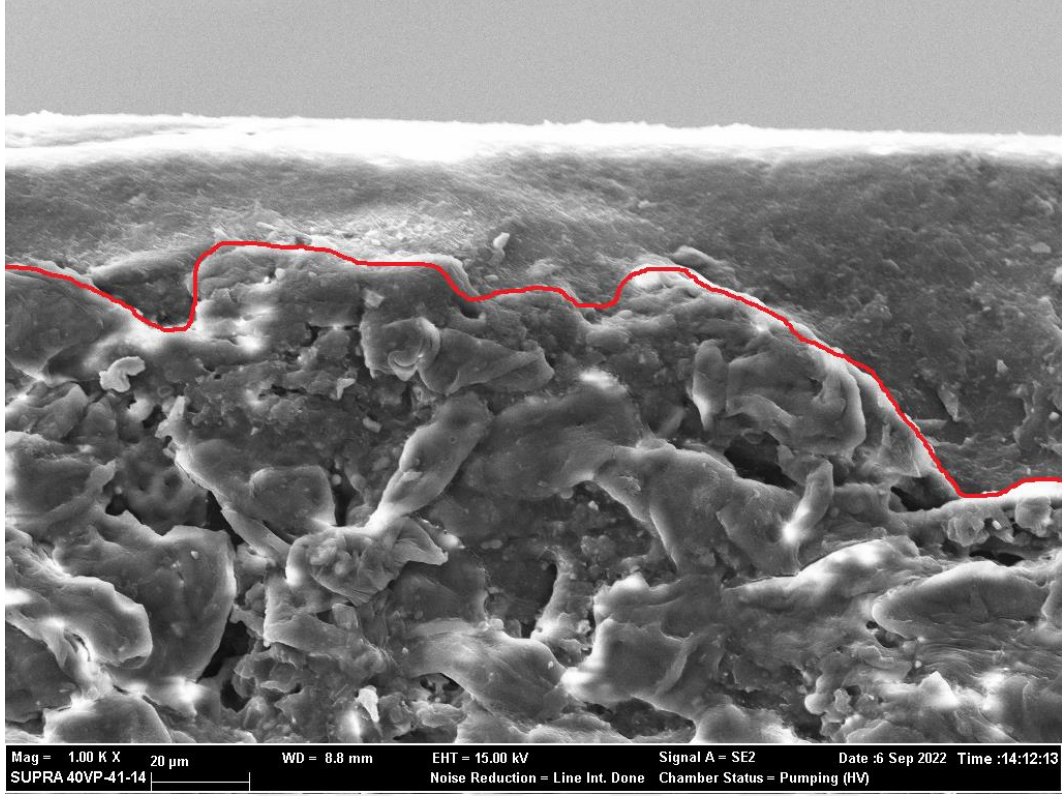
Şekil 5.48. Üçüncü deney numunesine ait SEM görüntüleri



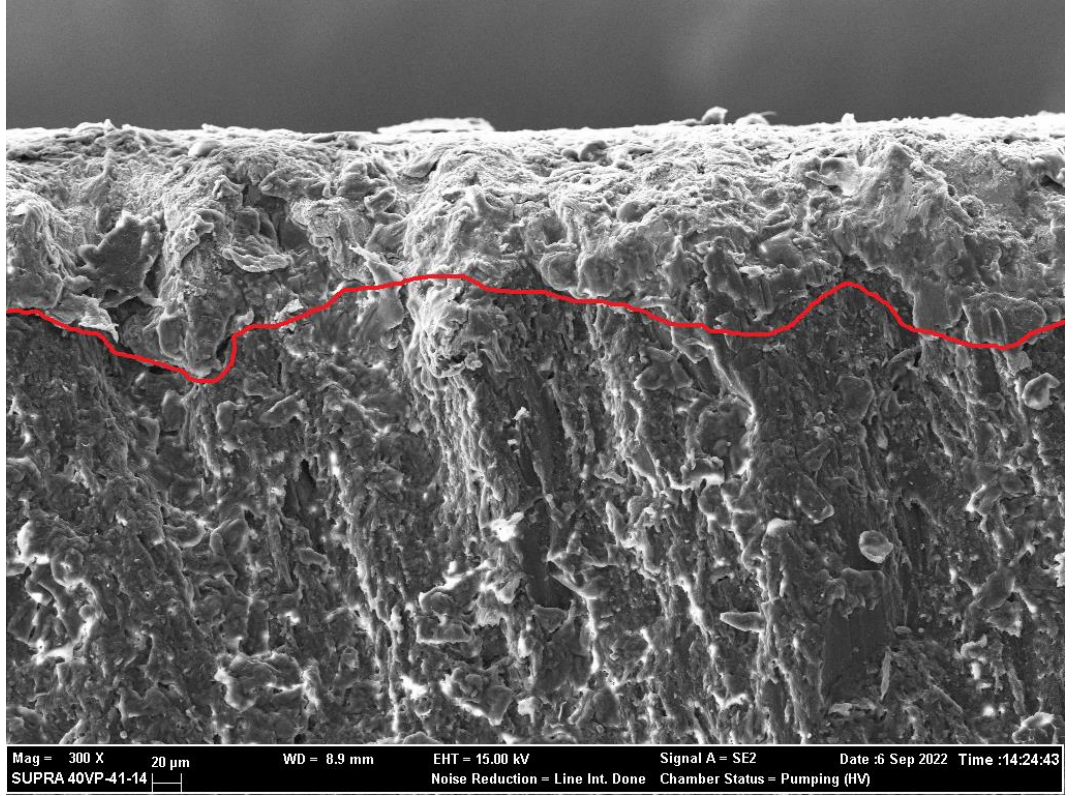
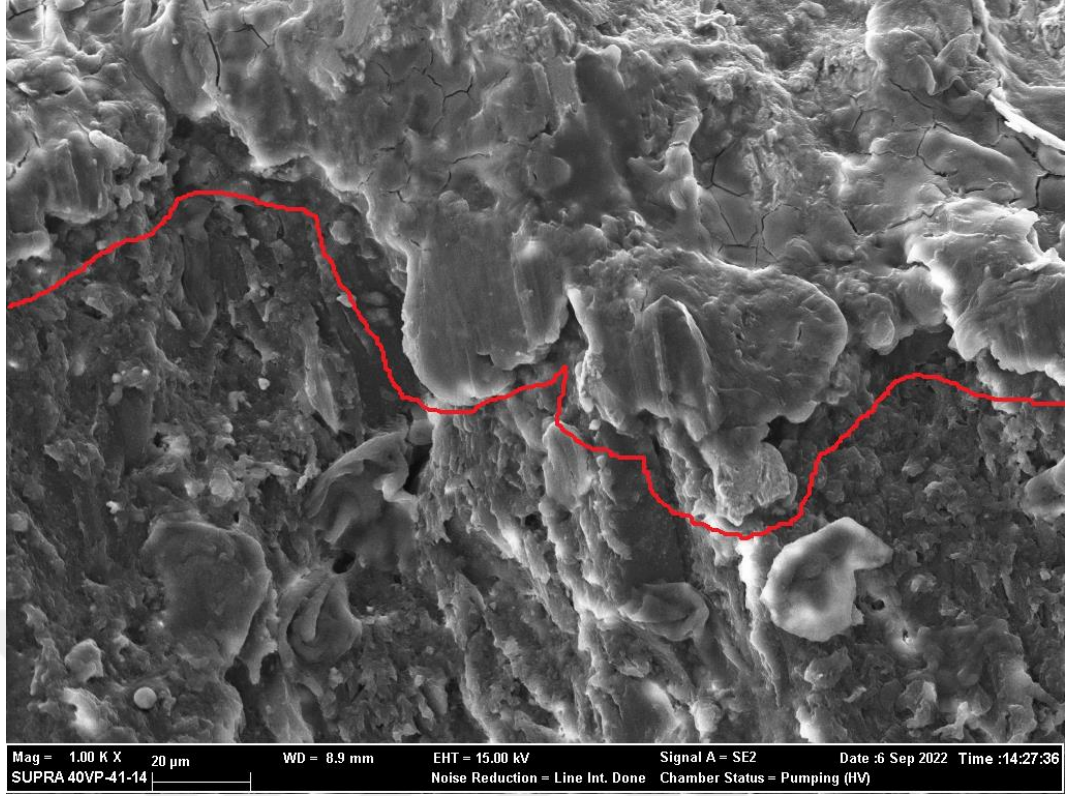
Şekil 5.49. Dördüncü deney numunesine ait SEM görüntüleri



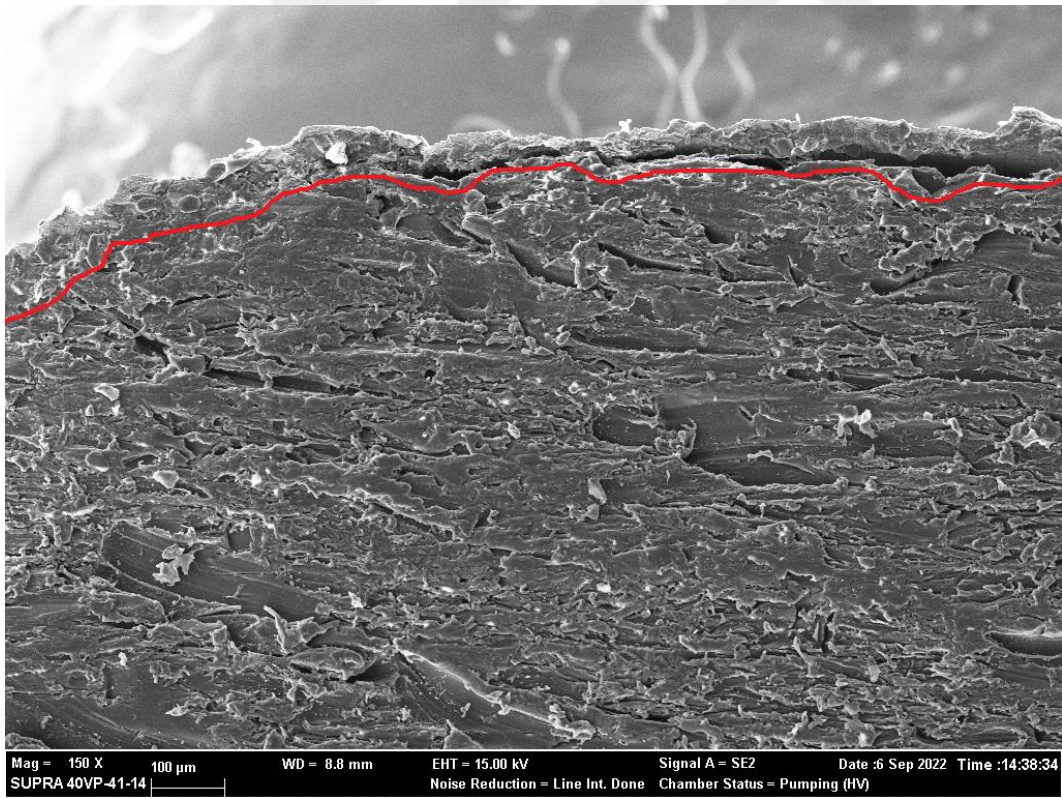
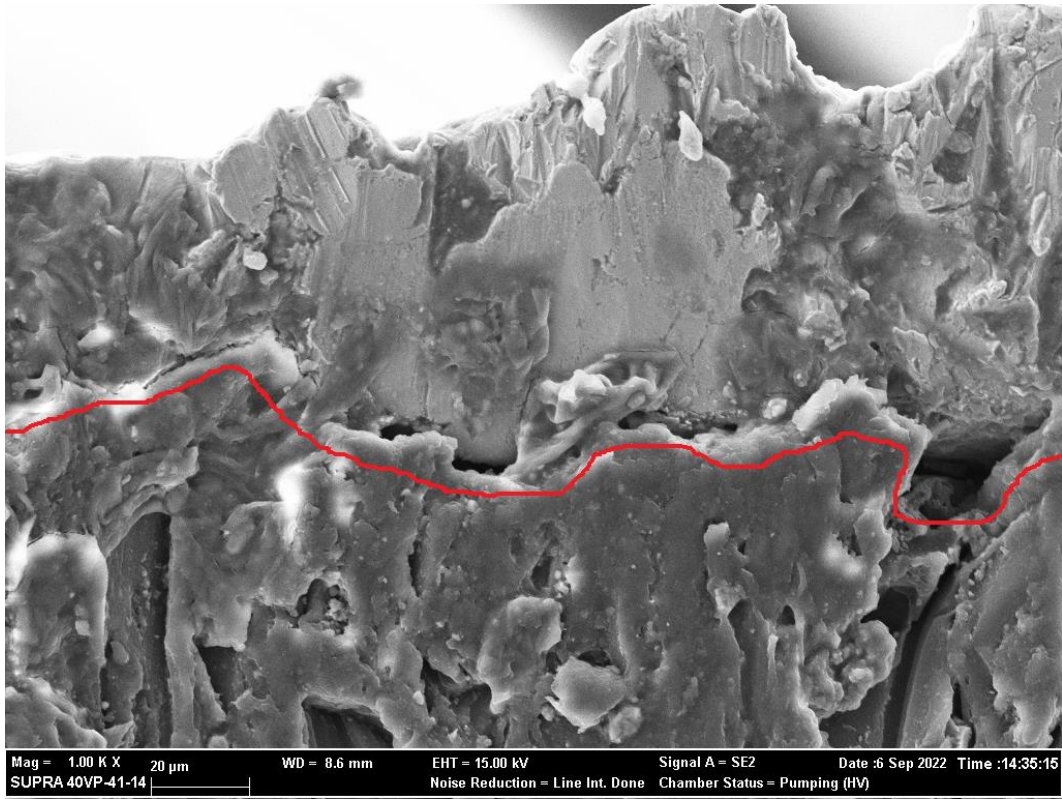
Şekil 5.50. Beşinci deney numunesine ait SEM görüntüleri



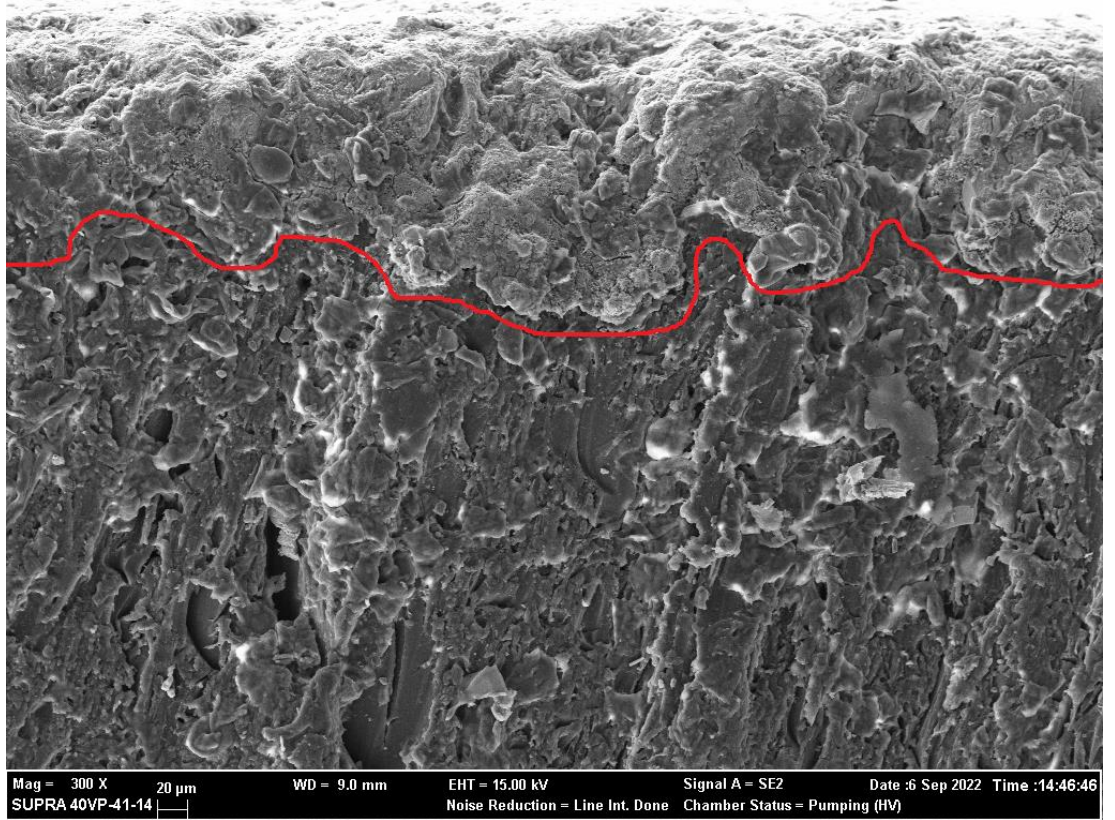
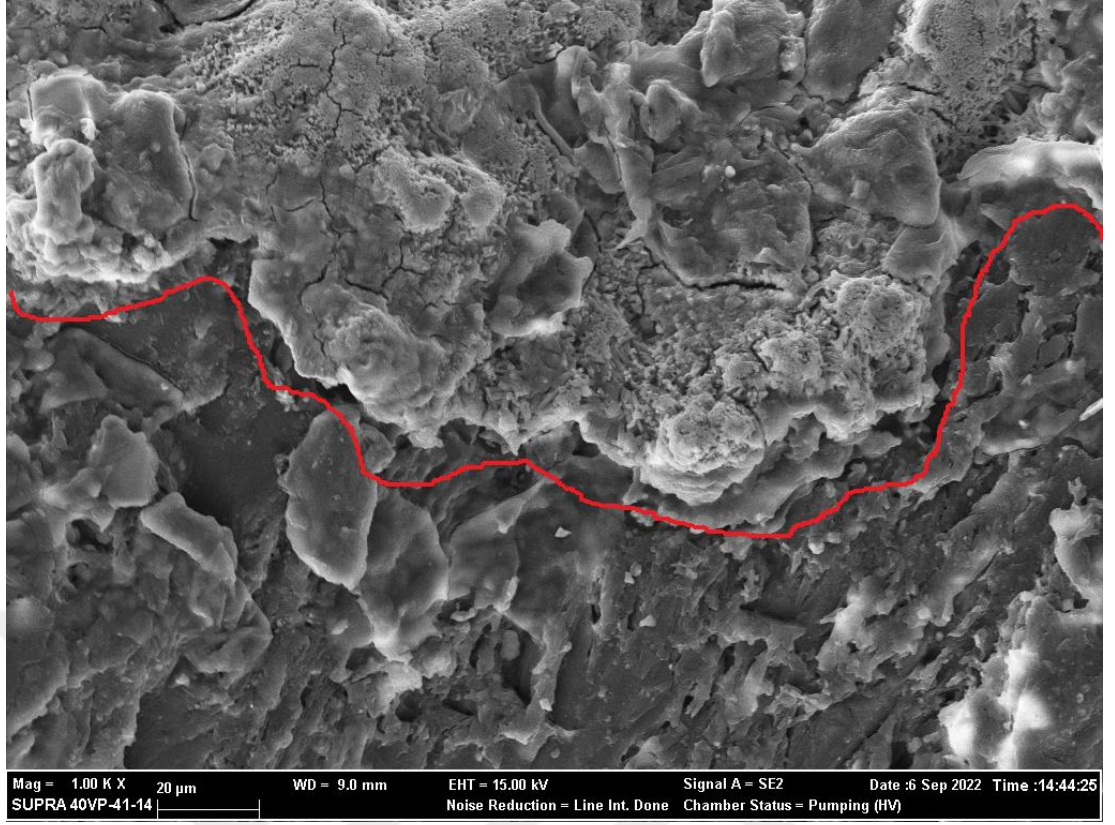
Şekil 5.51. Altıncı deney numunesine ait SEM görüntüleri



Şekil 5.52. Yedinci deney numunesine ait SEM görüntüleri



Şekil 5.53. Sekizinci deney numunesine ait SEM görüntüleri



Şekil 5.54. Dokuzuncu deney numunesine ait SEM görüntüleri



6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, krom kaplı dekoratif otomotiv parçalarındaki polimer-metal yapışmasına enjeksiyonla kalıplama parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Enjeksiyon parametreleri ayarı optimize edilerek ve kaplama işlemi için en uygun parametreler belirlenmiştir. ABS plastikler üzerine endüstriyel elektrokaplama işlemi ile krom kaplanmıştır. Daha sonra, metal-polimer yapışma özellikleri incelenmiştir.

Kalıp sabit yarımının sıcaklığını 70 °C' den 85 °C' ye yükseltmek kaplamanın yapışma kabiliyetini arttırmış ve yüzey özellikleri iyileştirilmiştir.

Kalıp sabit yarımının sıcaklığını 70 °C' den 65 °C' ye düşürmenin kaplamanın yapışmasına etkisi negatiftir ve yüzey özellikleri kötüleşmiştir.

Ütöleme basınçlarını sırasıyla 110 bar - 100 bar - 100 bar değerlerinden, 130 bar - 120 bar - 120 bar seviyelerine yükseltmek yüzey oryantasyonuna sebep olduğu için yapışma kabiliyetini azaltmıştır.

Ütöleme basınçlarını sırasıyla 110 bar - 100 bar - 100 bar değerlerinden, 90 bar – 80 bar – 80 bar seviyelerine düşürmek kaplamanın polimere yapışma kabiliyetini azaltmıştır.

Enjeksiyon hızlarını sırasıyla 45 mm/sn - 22 mm/sn - 22 mm/sn - 20 mm/sn - 15 mm/sn-10 mm/sn değerlerinden 40 mm/sn - 17 mm/sn - 17 mm/sn - 15 mm/sn - 10 mm/sn - 5 mm/sn değerlerine düşürmek kaplamanın yapışma kabiliyetine pozitif etki yapmıştır. Fakat yüzey özellikleri kötüleşmiştir.

Enjeksiyon hızlarını sırasıyla 45 mm/sn - 22 mm/sn - 22 mm/sn - 20 mm/sn - 15 mm/sn - 10 mm/sn değerlerinden 50 mm/sn - 27 mm/sn - 27 mm/sn - 25 mm/sn - 20 mm/sn - 15 mm/sn değerlerine yükseltmek kaplamanın yapışma kabiliyetine negatif etki yapmıştır.

Soğuma süresini 25sn' den 32sn' ye yükseltmek kaplamanın yapışma mukavemetini arttırmıştır.

Soğuma süresini 25sn' den 18sn' ye düşürmek kaplamanın yapışma mukavemetini düşürmüştür. Kaplama mukavemetinin en zayıf olduğu durumdur.



KAYNAKLAR

- [1] Yazıcı H., Vollaſtonit dolgulu poliamitin krom kaplama sürecinin iyileſtirilmesi ve termal çevrim dayanımının değerlendirilmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kocaeli, 2019.
- [2] Müftüoęlu E.E., Kanber B., Krom Kaplama Yapılmış Poliamid Malzemelerin Sıcaklık Yüğü Altındaki Gerilme Dağılımlarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, *ISAS 2018- Winter*, Samsun, Turkey, 2018.
- [3] Seo J.S., Jeon H.T., Han H.T., Peeling Mechanism of Interlocked Interface Between Etched Acrylonitrile-butadiene-styrene and Electroplated Metal Layer, *Surfaces and Interfaces*, 2021.
- [4] Kurek A.P., Dotto M.E.R., De Araújo P.H.H., Sellin N., Evaluation of The Etching and Chrome Plating on The ABS, PVC, and PVC/ABS Blends Surface, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2017.
- [5] Han S., Son I., Seo J.S., Jung W.C., Yoon S., Effect of Etching Time and Temperature on Plating Adhesion of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)-Based Material, *J. Nanosci. Nanotechnology*, pp. 4282-4286, 2019.
- [6] Karabeyoğlu S. S., Ergene B., Bolat Ç., An Experimental Study on Wear Performance of Electrolytic Multilayer Cu-Ni-Cr Coated ABS Under Different Test Forces, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, pp. 666-674, 2021.
- [7] Sreedharan J., Jeevanantham A.K., Rajeshkannan A., Multi-Objective Optimization for Multi-stage Sequential Plastic Injection Molding with Plating Process Using RSM and PCA-based Weighted-GRA, *J. Mechanical Engineering Science*, 2019.
- [8] Ozcelik B., Ozbay A., Demirbas E., Influence of Injection Parameters and Mold Materials on Mechanical Properties of ABS in Plastic Injection Molding, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, pp. 1359–1365, 2010.

- [9] Oliveira M. J., Brito A. M., Costa M. C., Costa M. F., Gloss and Surface Topography of ABS: A study on The Influence of The Injection Molding Parameters, *Polymer Engineering and Science*, pp. 1394–1401, 2006.
- [10] Schiffersa R., Janßena M., Siepmanna J.P., Wortberga J., Heinzlerb F. A., Using 3D Injection Molding Simulation to Explain Emerging Two- and Three-Dimensional Surface Structures of ABS and PC/ABS Parts within The Process of Electroplating on Plastics, *AIP Conference Proceedings*, 2019.
- [11] Monterde, J.G., Soto, M.G., Maspoch, M.L., Influence of Injection Molding Parameters on The Morphology Mechanical and Surface Properties of ABS Foams, *Advanced Polymer Technology*, pp. 2707-2720, 2018.
- [12] Lanxess, *Engineering Plastics: Part and Mold Design*, pp. 111, 2007.
- [13] Entec Polymers, *Injection Molding Thermoplastics For Electroplating*, pp. 4-6, USA, 2022.
- [14] A. Guevara Morales, U. Figueroa-Lopez; Residual Stresses in Injection Molded Products, pp. 3, 2013.
- [15] Liou, M. J., & Suh, N. P., Reducing Residual Stresses in Molded Parts, *Polymer Engineering & Science*, vol. 29, pp. 441-447, 1989.
- [16] Chen, X., Lam, Y. C., & Li, D. Q., Analysis of Thermal Residual Stress in Plastic Injection Molding, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 101, pp. 275-280, 2000.
- [17] Ajaykumar Narayampalliyalil Ravikumar, *Chrome Plating On ABS Plastics*, Kaunas University Of Technology Mechanical Engineering And Design Faculty, pp. 30-35, 2015.
- [18] David M. Rudder, *Effect of Part Design on Injection-Molding and Plating-on-Plastic Processing*, pp. 13-14, 2008.
- [19] Maxwell, J., *Plastics in The Automotive Industry*, pp. 1-8, 1994.
- [20] David Schönmayr, *Automotive Recycling, Plastics, and Sustainability*, Switzerland, pp. 57, 2007.
- [21] <http://www.plasticsconverters.eu/organisation/division/automotive>, 2010.

- [22] <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv20/07-0451-W.pdf>, 2010.
- [23] G. E. Molau, Polym. Lett., 1964.
- [24] M. Ghaemy and G. Scott, Polym. Degrad. Stab. 3, 1981.
- [25] Donald M. Kulich, S. K. Gaggar, V. Lowry, R. Stepien, Acrylonitrile–Butadiene–Styrene (ABS) Polymers, pp. 414-425, 2003.
- [26] E. Priebe, P. Simak, and G. Stange, Kunststoffe, 1972.
- [27] D. J. Buckley, Toughening Mechanisms in the High Strain Rate Deformation of Rubber Modified Polymer Glasses, PhD. Thesis, Cornell University, 1993.
- [28] A. Lazzeri and C. B. Bucknall, J. Mater. Sci. 28, 1993.
- [29] G. F. Giaconi and co-workers, Polymer 39, 1998.
- [30] A. Donald and E. J. Kramer, J. Mater. Sci., 1982.
- [31] Akyüz, Ö. F., “Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş”, *Pagev Yayınları*, İstanbul, 2001.
- [32] Groover M. P., “Fundamentals of Modern Manufacturing 2/e”, 2002.
- [33] Esenlik, M., “Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2001.
- [34] Turaçlı, H., “Enjeksiyoncunun El Kitabı”, *Pagev Yayınları*, İstanbul, 2003.
- [35] Uyaroglu, R., “Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Parça Üstünde Oluşan Kaynak Yeri Probleminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 2003.
- [36] Karataş, Ç., Karasungur, H., “Sıcak Yolluk Sistemlerinde Manifold Kullanımı”, *Pagev Yayınları*, pp. 124-128, 2003.
- [37] Bucaklıgil, C., “Plastik Kalıp Tasarım Esasları ve Uygulamalı Kalıp Tasarım Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1999.
- [38] Marlene G. Rosato, D.V. Rosato, Concise Encyclopedia of Plastics, 2000.
- [39] Leszek A. Utracki, “Polymer Blends Handbook”, vol. 1-2, 2002.
- [40] Dearborn, MI, MacDermid, Electroplating Fundamentals, Presented at Ford Motor Company, 2008.

- [41] Nasser Kanani, *Electroplating; Basic Principles, Processes and Practice*, pp. 97, 2004.
- [42] Takahashi, T., W. Wu, et al. "Elongational viscosity of ABS polymer melts with soft or hard butadiene particles" *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, pp. 259-269, 1997.
- [43] Utracki, L. A. , *Commercial Polymer Blends*, Springer Science & Business Media, 1998.
- [44] Choi, H. J., S. H. Park, et al. , "Effects of acrylonitrile content on PC/ABS alloy systems with a flame retardant", *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 75, pp. 417-423, 2000.
- [45] Kato, K., "Electron microscope studies on the etching of ABS mouldings for electroplating", pp. 419-424, 1968.
- [46] ASTM B604, X4.
- [47] ASTM D 1939–84.
- [48] ASTM D3359.
- [49] ASTM B487.
- [50] ASTM B504-90.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve ortaöğrenimini Bursa’ da tamamladı. Yalova Üniversitesi Polimer Mühendisliği bölümünden Ocak-2020 tarihinde mezun oldu. 2020 tarihinden beri Polimer Mühendisi olarak çalışmaktadır. Şu an Gebze/KOCAELİ’ nde ikamet etmektedir.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN ve ESERLER

Yunus Emre POLAT, Mustafa ÖKSÜZ; “*Plastik Enjeksiyon Proses Parametrelerinin Krom Kaplanmış Akrilonitril Bütadien Stiren Otomotiv Parçalarındaki Metal-Polimer Arasındaki Yapışma Kabiliyetine Etkileri*”; Uluslararası Fen Bilimleri Kongresi (IMASCON; 10.12.2021; Kocaeli/TÜRKİYE

