



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANTLARDA KAPLAMA İŞLEMİ İÇİN YÜZEY HAZIRLAMA SÜREÇLERİNİN OPTİMİZASYONU

Yüksek Lisans Tezi

Tuğçe Büşra ATAGÜR

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2022

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANTLARDA
KAPLAMA İŞLEMİ İÇİN YÜZEY HAZIRLAMA
SÜREÇLERİNİN OPTİMİZASYONU**

Tuğçe Büşra ATAGÜR

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ege Anıl DİLER

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Yüksek Lisans
Programı

İzmir
2022

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “A356 Alüminyum Alaşımli Jantlarda Kaplama İşlemi İçin Yüzey Hazırlama Süreçlerinin Optimizasyonu” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

12 / 09 / 2022

İmzası

Tuğçe Büşra ATAGÜR

ÖZET**A356 ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANTLARDA KAPLAMA İŞLEMİ İÇİN
YÜZEY HAZIRLAMA SÜREÇLERİNİN OPTİMİZASYONU**

ATAGÜR, Tuğçe Büşra

Yüksek Lisans Tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ege Anıl DİLER

Eylül 2022, 70 sayfa

Alüminyum alaşımlı jantlara uygulanan boya kaplama ve yüzey hazırlama prosesleri jantların korozyona karşı dirençli olmaları sağlayan en önemli işlemlerdir. Bu tez kapsamında, A356 alüminyum alaşımlı jantlar için yüzey hazırlama sürecinin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Yüzey hazırlama süreci, kullanılan kimyasalların optimum çalışma koşullarının araştırılması şeklinde gerçekleştirilirken, etkinliğinin değerlendirilmesi ise çeşitli boya test performanslarına göre yapılmıştır. Bu amaçla, jant yüzeyinin boyama sürecine hazırlanması için uygulanan kimyasalların etkileri incelenmiş ve optimum süreç parametreleri belirlenmiştir. Yüzey hazırlama prosesi 1 (YHP-1) ve yüzey hazırlama prosesi 2 (YHP-2) olmak üzere iki farklı prosesin etkileri çalışılmıştır. Proses sonrası numunelerde kaplamaların yüzeye tutunma kabiliyetlerinin belirlenmesi amacıyla yapışma, taş darbe, sıcak suya daldırma ve termal çevrim testleri uygulanmıştır. Numunelerin korozyon dirençleri ise filiform, tuzlu sis ve kimyasal dayanım testleri ile belirlenmiştir. Hem YHP-1 hem de YHP-2 prosesi; yapışma, sıcak suya daldırma ve termal çevrim testlerine göre, A356 alüminyum alaşımlı jantlarda kaplamaların yüzeye tutunma kabiliyetlerinin, kimyasal dayanım testine göre de korozyon dirençlerinin iyileşmesinde olumlu ve benzer etkilere sahip olmuşlardır. Taş darbe testi sonuçlarına göre, YHP-1 ile karşılaştırıldığında, YHP-2 prosesi yüzeye tutunma özelliğine bağlı kaplama dayanımını %50 oranında artırırken, filiform korozyon ve tuzlu sis testlerinde elde edilen sonuçlara göre, YHP-2 prosesi sayesinde A356 alüminyum alaşımlı jantların korozyon direnci üzerinde sırasıyla %47 ve %67 oranlarında daha fazla iyileşme sağlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Alüminyum Alaşımlı Jant, Yüzey Hazırlama Prosesi, Filiform Korozyon, Tuzlu Sis Testi, Taş Darbe Testi.



ABSTRACT**OPTIMIZATION OF SURFACE TREATMENT PROCESSES FOR COATING
OPERATION OF A356 ALUMINUM WHEELS**

ATAGÜR, Tuğçe Büşra

MSc in Interdisciplinary Division of Materials Science and Engineering.

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ege Anıl DİLER

September 2022, 70 pages

The most significant processes that make aluminum alloy wheels corrosion resistant are the paint coating and surface preparation processes. This thesis investigated the assessment and enhancement of the surface preparation procedure for A356 aluminum alloy wheels. While the surface preparation procedure was carried out by determining the optimal working conditions of the chemicals utilized, its efficacy was evaluated using various paint test results. The effects of the chemicals used to prepare the rim surface for the painting process were investigated for this purpose, and optimum process parameters were identified. The impacts of two different methods were investigated: surface preparation process 1 (YHP-1) and surface preparation process 2 (YHP-2). The adhesion ability of the coatings to the surface in the post-process samples was determined using adhesion, stone impact, hot water immersion, and thermal cycling tests. Filiform, salt fog, and chemical resistance tests were used to measure the corrosion resistance of the samples. Both the YHP-1 and YHP-2 methods improved the adhesive capabilities of the coatings on the A356 aluminum alloy wheels according to adhesion, hot water immersion, and thermal cycling tests, as well as the corrosion resistance according to the chemical resistance test. According to the results of the stone impact test, compared to the YHP-1, the YHP-2 process increased the coating strength due to surface adhesion by 50%, while according to the results obtained in the filiform corrosion and salt fog tests, the YHP-2 process achieved greater improvement in the corrosion resistance of A356 aluminum alloy wheels by 47% and 67%, respectively.

Keywords: Aluminum Alloy Wheel, Surface Preparation Process, Filiform Corrosion, Salt Spray Test, Stone Impact Test.



ÖNSÖZ

Otomobil endüstrisinde performans ve güvenlik özelliklerinin yanında araçların yakıt ekonomisini iyileştirmek için hafif malzemelerin tercih ediliyor olmasıyla birlikte, bir araçtaki her bir bileşenin ağırlığının azaltılması önem taşımakta ve jantlar da bu temel bileşenlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Alüminyum ve magnezyum gibi hafif alaşımlardan yapılmış jantlar bu nedenle binek otomobil gibi araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak korozif ya da aşındırıcı koşullar altında bu malzemeler sahip oldukları bazı özelliklerini kaybedebilmektedirler. Bu olumsuzlukları en aza indirmek için yüzey hazırlama işlemleri uygulanarak jantlara kaplama işlemi uygulanmaktadır. Bu çalışmada, A356 alüminyum alaşımlı jantlara iki alternatif yüzey hazırlama işlemi uygulanmış ve bunların korozyon direncine ve kaplamanın ana malzemeye yapışma kabiliyetine etkileri araştırılmıştır.

Sektörel ve akademik açıdan böylesine değerli olan bir konuda çalışma yürütmüş olmaktan mutluluk duymakta, çalışmalarım boyunca edindiğim bilgi, tecrübe ve birikimlerin beni geliştirdiğine ve çalışmamın gelecek çalışmalara da ışık tutacağına inanmaktayım.

İZMİR

12/09/2022

Tuğçe Büşra ATAGÜR



İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|---|
| KABUL ONAY SAYFASI | Hata! Yer işareti tanımlanmamış. |
| ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI..... | iv |
| ÖZET | vi |
| ABSTRACT | viii |
| ÖNSÖZ..... | x |
| İÇİNDEKİLER..... | xii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xvi |
| TABLolar DİZİNİ..... | xx |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI..... | 3 |
| 2.1. Alüminyum..... | 3 |
| 2.2. Alüminyum Alaşımaları..... | 4 |
| 2.2.1. Alüminyum alaşımları sınıflandırılması..... | 5 |
| 2.3. Alüminyum Alaşımı Üretim Yöntemleri | 7 |
| 3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANTLAR | 9 |
| 3.1. Alüminyum Alaşımlı Jantların Üretilmesi | 10 |
| 3.1.1. Soğuk şekillendirme yöntemi ile jant üretimi | 10 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | Sayfa |
|--|-------|
| 3.1.2. Döküm Yöntemi ile Jant Üretimi | 13 |
| 3.1.3. Üretim sonrası işlemler..... | 14 |
| 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... | 21 |
| 4.1. A356 Alüminyum Alaşımı Jant Üretimi | 21 |
| 4.1.1. Döküm işlemi | 21 |
| 4.1.2. Talaşlı imalat işlemi | 23 |
| 4.1.3. Yüzey hazırlama işlemi | 24 |
| 4.1.4. Boyama işlemi | 28 |
| 4.2. Üretilen Jantların Karakterizasyonu | 29 |
| 4.2.1. Kimyasal ve mikroyapı analizi | 29 |
| 4.2.2. Uygulanan testler | 30 |
| 5. BULGULAR VE TARTIŞMA | 37 |
| 5.1. Spektrometre Analizi..... | 37 |
| 5.2. Optik Mikroskop ile İnceleme..... | 37 |
| 5.3. SEM ve EDX Analizi | 38 |
| 5.4. XRD Analizi..... | 42 |
| 5.5. Yapışma Testi..... | 42 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | Sayfa |
|--------------------------------------|-------|
| 5.6. Sıcak Suya Daldırma Testi | 44 |
| 5.7. Termal Çevrim Testi | 46 |
| 5.8. Taş Darbe Testi | 47 |
| 5.9. Tuzlu Sis Testi..... | 50 |
| 5.10. Filiform Testi..... | 51 |
| 5.11. Kimyasal Dayanım Testi | 56 |
| 6. SONUÇ..... | 58 |
| 7. KAYNAKLAR DİZİNİ..... | 61 |
| TEŞEKKÜR | 67 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 69 |



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1 Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının dünya genelindeki dağılımı, üretim yöntemlerinin dağılımı ve son ürünlerin sınıflandırılması..... | 8 |
| Şekil 3.1 Kaynak ile kasnak ve göbek montajının yapılması..... | 11 |
| Şekil 3.2 Döküm ve dövme jant yorulma ömür eğrileri..... | 11 |
| Şekil 3.3 Dövme yöntemi ile jant üretim prosesi için alüminyum blokları. | 12 |
| Şekil 3.4 Dövme prosesi uygulaması. | 12 |
| Şekil 3.5 Alçak basınçlı döküm yöntem..... | 14 |
| Şekil 3.6 Jant işleme yüzeylerinin şematik gösterimi. | 15 |
| Şekil 3.7 Yüzeyden parçacık uzaklaştırma mekanizması. | 17 |
| Şekil 3.8 Yüzeyden yağ arındırma mekanizması. | 17 |
| Şekil 3.9 SAM grupları oluşum mekanizması. | 19 |
| Şekil 4.1 Jant üretim akışı. | 21 |
| Şekil 4.2 Talaşlı imalat süreci. | 23 |
| Şekil 4.3 YHP 1 ve YHP 2 akış şemaları. | 25 |
| Şekil 4.4 Toz boya püskürtme işleminin şematik gösterimi. | 28 |
| Şekil 4.5 Toz boya uygulama prosesi..... | 28 |
| Şekil 4.6 Sıvı boya ve sıvı vernik uygulaması. | 29 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 4.7 Spektrometre analiz cihazı. | 30 |
| Şekil 4.8 Boya yapışma testi. | 31 |
| Şekil 4.9 ASTM D3359-17 standardına göre uygunluk durumu (görseli)alan. | 31 |
| Şekil 4.10 Kalan boya filmlerine ait örneklemeler..... | 32 |
| Şekil 4.11 Termal çevrim testinde uygulanan parametreler ve değerleri..... | 33 |
| Şekil 4.12 Kırılmış çelik bilyeler, Erichsen VDA 508 test cihazı..... | 34 |
| Şekil 4.13 Görsel kontrol şematik gösterimi..... | 34 |
| Şekil 4.14 Olfa P-450 bıçakla çapraz çizgilerinin yapılışı..... | 35 |
| Şekil 4.15 Olfa P-450 test bıçağı ve bıçağın numunede bıraktığı iz..... | 35 |
| Şekil 4.16 Test aşamaları..... | 36 |
| Şekil 5.1 YHP-1 uygulanmış A1, A2 ve A3 ve YHP-2 uygulanmış B1, B2 ve B3 numunelerin kesitlerine ait optik mikroyapı görüntüleri..... | 38 |
| Şekil 5.2 YHP-1 uygulanmış A1, A2 ve A3 ve YHP-2 uygulanmış B1, B2 ve B3 numunelerin kesitlerine ait SEM görüntüleri..... | 39 |
| Şekil 5.3 Yüzey hazırlama prosesi uygulanmış numune kesiti SEM görüntüsü..... | 40 |
| Şekil 5.4 Esas metal (AlSi7Mg) kesitine ait EDS analizi (spot 1)..... | 40 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

| | | |
|------------|---|----|
| Şekil 5.5 | Boya kaplama ve metal birleşme bölgesi kesitine ait EDS analizi (selected area 1). | 41 |
| Şekil 5.6 | Boya kaplama uygulanmış kesit yüzeyine ait EDS analizi (spot 2)..... | 41 |
| Şekil 5.7 | Boya kaplama uygulanmış kesit yüzeyine ait EDS analizi (spot 3)..... | 41 |
| Şekil 5.8 | YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numunelere ait XRD analizleri. | 42 |
| Şekil 5.9 | ASTM D3359 standart, yapışma testi sınıflandırılması..... | 43 |
| Şekil 5.10 | YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan yapışma testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller. | 44 |
| Şekil 5.11 | YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan sıcak suya daldırma testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller. | 45 |
| Şekil 5.12 | YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan termal çevrim testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller. | 46 |
| Şekil 5.13 | DIN EN ISO 20567-1 standardına göre taş izlerinin görsel derece ve % etki alanı olarak değerlendirilmesi..... | 47 |
| Şekil 5.14 | YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan taş darbe testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller. | 48 |
| Şekil 5.15 | Taş darbe izlerinin etkilerinin Image J programı ile analizi. | 49 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

- Şekil 5.16** YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan tuzlu sis testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller.50
- Şekil 5.17** Filiform korozyon dallanmaları.52
- Şekil 5.18** Ekstrüzyon yönünü takip eden alüminyum üzerinde ipliksi korozyonu görüntüsü.52
- Şekil 5.19** YHP-1 ve YHP-2 işlemleri görmüş numunelere uygulanan filiform testi sonrasında numune yüzeylerinde oluşan korozyon ilerleme miktarı (uzunluğu)..54
- Şekil 5.20** YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan filiform testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller.55
- Şekil 5.21** YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan kimyasal dayanım testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller.57

TABLULAR DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|-------|
| Tablo 2.1 Alüminyum fiziksel özellikleri..... | 4 |
| Tablo 2.2 Alüminyum dövme alaşımları gösterimi..... | 5 |
| Tablo 2.3 Alüminyum döküm alaşımları gösterimi. | 6 |
| Tablo 2.4 Alüminyum alaşımları için temper seri numaralarının tanımları. | 6 |
| Tablo 4.1 Jantlara uygulanan ısı işlem parametreleri. | 23 |
| Tablo 4.2 YHP 1 ve YHP 2 proses parametreleri..... | 24 |
| Tablo 4.3 DIN EN ISO 20567-1 standardı test metotları ve parametreleri. | 33 |
| Tablo 4.4 Numunelere uygulanan filiform test koşulu..... | 35 |
| Tablo 5.1 Optimize edilmiş yüzey hazırlama banyo 1 ve 2 süreçlerine tabi tutulmuş numunelerin spektrometre analiz sonuçları. | 37 |



1. GİRİŞ

Günümüzde alüminyum yüzeyde boyanın yapışma ve korozyon direncinin artırılması hedeflenerek yüzey hazırlama prosesi uygulaması yapılmaktadır. Alüminyum yüzeyden yağ ve kir uzaklaştırılmasıyla başlayan süreç, yüzeydeki oksit tabakasının kaldırılması sonrası yüzey ile boya arasında yapışmanın geliştirilmesi amaçla yapılan kaplama işlemi ile son bulmaktadır. Temel olarak yüzeyin hazırlama süreci yukarıdaki gibi olsa da çeşitlenen ihtiyaçların karşılanması için farklı koruma ajanlarının geliştirilmesiyle yapılan dönüşüm kaplamaları ya da aşındırma ajanları ile değişkenlik gösteren uygulamalar yapılmaktadır. Boyama öncesi yüzeyin homojen ve temiz olması da önemli noktalardandır. Homojen uygulama yapılması ile stabil görüntü ve kirliliklerden uzaklaştırılmış yüzey her zaman dikkat çekmekte ve ihtiyaçları karşılamaya yöneliktir (Polini and Sorrentino, 2007; Wang et al., 2021; Zhang et al., 2021).

Alüminyum alaşımlı jantlara bakıldığında ise standart ön işlem basamakları, yüzeyin en uygun şekilde hazırlanması için sırasıyla; ön temizlik (isteğe bağlı), yağ alma, deoksidasyon ve pasivasyon işlemlerini içermektedir. Yüzey hazırlama prosesini oluşturan banyo adımlarını amaçlarına göre sınıflara ayırmak mümkündür. Yağ alma prosesi, önceki süreç olan, talaşlı imalattan gelen jantların bor yağ, talaş ve kir kalıntılarında kurtulması amacıyla uygulanır. Durulama, kimyasalları arındırmak amacıyla yapılan işlemlerdir. Deoksidasyon prosesi ise parça yüzeyinde aşındırma işlemi yaparak oluşabilecek oksit tabakasını engelleyen ve yüzeyi pürüzlendirerek kaplamanın daha iyi tutunmasını sağlamlaştırmak için yapılır. Pasivasyon prosesi, parça yüzeyine ince bir film tabakası oluşturmak amacıyla boyanın daha kolay yapışması için yapılan yüzey aşındırma işlemidir. Kendiliğinden biriken moleküller (SAM) prosesi ise parçaların boya tutunma yüzeyini artırmak, korozyon direnci ve pürüzsüz bir yüzey elde etmek için yapılan işlemdir (De Souza et al., 2011; Ota and Kojima, 2017; Savas and Earthman, 2008).

7075-T-73 alüminyum numuneleri için anodik kaplama yapılarak yüzey karakterizasyonun ele alındığı çalışmada, farklı çözeltilerin ve uygulama sürelerinin korozyon hasarına etkileri incelenmiştir. Yüzey hazırlama çözeltileri; sıvı yağ alma, dağlama yapmayan alkali temizleyiciler, dağlama ile temizleyiciler, düşük PH içeren asit tabanlı deoksidasyon son olarak düşük pH'lı sülfürik ve kromik asitler olarak kategorize edilmiştir. Oyukcuk korozyon

mekanizmaları, parçacıkların matris fazına göre asil olduğu durumlarda ve anodik olduklarında seçici çözünme ile çevresel olarak tanımlandı (Savas and Earthman, 2008). 7475-T761 alüminyum alaşımının korozyon koruması için kendiliğinden oluşan moleküllere dayalı nano yapılı yüzey ön işlem çalışmasında, alkan difosfonatların kendiliğinden birleşen moleküllerinin AA7072 ile kaplanmış AA7475-T761'in korozyon direnci üzerindeki etkisi, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve katodik ve anodik polarizasyon eğrileri ile araştırılmıştır. Korozyon deneyleri tuz püskürtme olarak yapılmıştır. Sonuçlar, SAM'ın dahil edilmesiyle alüminyum oksit katmanının geliştirilmesinin, test edilen alüminyum alaşımının korozyon direncine faydalı olduğunu göstermiştir (De Souza et al., 2011).

Alüminyum alaşımlı otomobiller için yüzey işlem teknolojileri çalışmasında Yosuke OTA ve Tetsuya KOJIMA, Titanyum/zirkonyum (Ti/Zr) işleminin otomotiv alüminyum malzemelerinin yapışma dayanıklılığını iyileştirdiğini açıklamıştır (Ota and Kojima, 2017).

Sharifi Golrua, M.M. Attar, B. Ramezanzadeh Epoksi kaplama yapılmış 1050 alüminyum alaşımının farklı yüzey temizleme prosedürlerinin yüzeysel morfoloji ve yapışma mukavemeti üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuçlar, alüminyum alaşımının alkali aşındırma ile yüzey temizliğinin ardından asitle temizleme yönteminin, diğer temizleme prosedürlerine kıyasla alüminyum yüzeyinden oksit tabakasını çıkarmak için en etkili prosedür olduğunu ortaya koymuştur. Bu yüzey temizleme prosedürü kullanılarak epoksi kaplamanın alüminyum yüzeye yüzey pürüzlülüğü, yüzey serbest enerjisi, elektrokimyasal aktivitesi ve yapışma mukavemeti önemli ölçüde arttırılmıştır (Sharifi Golru et al., 2015).

2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. Alüminyum

Tüm dünyada eskilerden beri en çok tercih edilen demir esaslı malzemelerden sonra özellikle sahip olduğu hafiflik ve yeterli mekanik dayanım sebebiyle en çok tercih edilen ve kullanılan ikinci malzeme alüminyumdur. Alüminyum, hafiflik ve mekanik dayanımının yanı sıra sahip olduğu farklı birçok özellik sayesinde maliyet ve kullanılabilirlik açısından ideal bir malzemedir. Alüminyumun belli başlı özellikleri ise şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Alaşımlarının dayanım ve esneklik olarak büyük bir çeşitliliğe sahip olması,
- 2- Elektriksel ve ısı iletkenliğinin yüksek olması,
- 3- Tutuşma ve alev almaya karşı dirençli olması,
- 4- Geri dönüşüm işleminin kolay ve ucuz olması,
- 5- Manyetik olarak nötr özelliğe sahip olması,
- 6- Şekil alabilirlik özelliklerinin kolay ve göreceli ucuz olması,
- 7- Enerji absorblama özelliğinin yüksek olması,
- 8- Kimyasal ve korozyon maddelere karşı dayanıma sahip olması,

Farklı uygulamalar için çok çeşitli yüzey işlemlerinin uygulanabilir olması gibi özellikleri sebebiyle günümüzde kullanımı yaygınlaşmış ve her geçen gün farklı birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Başer, 2012; Dündar and Güngör, 2015; Matsuda et al., 1991).

Yer kabuğunun %8'ini oluşturan alüminyum ferromanyetik olmayan ve çoğunluğu kayalarda, bitki örtüsünde ve hayvanlarda bulunan, bir kimyasal elementtir. Metal olarak sadece boksit olarak adlandırılan minerallerden çıkarılır ve ilk olarak Bayer prosesi ile alüminyuma dönüştürülmesi sonrasında elektroliz yöntemi ile alüminyum metaline dönüştürülür. Bu malzeme, düşük yoğunluk sebebi (2.700 kg/m^3) ve aşınmaya karşı yüksek

direnç gösterme gibi davranışları sebebiyle yaygın kullanım alanına sahiptir. Alüminyumun fiziksel özelliklerinin yer aldığı Tablo 2.1 aşağıdadır (Çakanyıldırım and Gürü, 2020).

Tablo 2.1 Alüminyum fiziksel özellikleri.

| Özellikler | Değer |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Renk | Beyaz |
| Kristalografik yapı | FCC Yüzeyde yoğunlaşmış kübik |
| Yoğunluk | (20 °C) 2,69 g/cm ³ |
| Katılma sırasında hacimsel değişiklik | 6,70% |
| Yanma ısı | 200 kcal/(atm g) |
| Ergime Noktası | 660,2 °C |
| Özgül ısı | 930 J |

Saf alüminyumda ise, ısı ve elektrik iletkenliğinin yüksek olması ve hafif olması öne çıkan fiziksel özelliklerin başlıcalarındandır. Alüminyum yoğunluğu ise 2,7 g/cm³'dür, bu da çeliğin üçte birine tekabül etmektedir. (çelik 7,83 g/cm³), bu durum da toplam kütlelenin azalması ağırlıkça hafif parça yapımına olanak sağlar (Gürü and Yalçın, 2012). Yüzey merkezli kristal kafe yapısı nedeniyle dövülebilirliğinin yanı sıra sünekliğinin iyi olmasıdır. Malzemenin şekil değiştirebilme özelliği ise atomların yer değiştirebilme kabiliyetinin yüksek olması sağlar (Kaw, 2014; Uzun, 2012).

Kimyasal özellikleri olarak alüminyum ele alındığında ise, aktif bir metaldir. Bu durum ise alüminyumun oksijen ile temasında hızlıca oksitlenme reaksiyonu meydana gelmesinin sebebidir. Elektromotor kuvvet serisinde belirtildiği gibi kimyasal olarak aktif bir metaldir, yani oksijenin alüminyum ile teması ile hızlıca oksitlenebilir.

Yüzeyde bir kez oksitlenme olduğunda bu bir zırh gibi sert ve sıkı olur ve böylece oksitlenmenin içeriye taşınmasını engeller. Bu alümina (alüminyum oksit) (Al₂O₃) tabakanın koruma kapasitesinden faydalanılarak, anotlanmış (eloksal) koruma sistemleri geliştirilmiştir, dış şartlara dayanıklılığı artırmak için daha kalın ve daha sıkı bir oksit tabakası oluşturmak için alüminyum parçalar kontrollü oksitlendirilir (Demiral, 2015).

2.2. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikro yapısına bağlı olarak değişir. Alüminyum yumuşak ve sünek bir metal olduğundan, mekanik dayanıklılığın ve bazı uygulamalarda sertlik gibi bazı özelliklerinin iyileştirilmesi

gerektiğinden, alüminyum alaşımları bu metal ile diğer elementler birleştirilerek elde edilir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur. Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Dövme alaşımlarının, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum dövme ve döküm alaşımlarının büyük bir kısmına ısıl işlem uygulanabilmektedir.

2.2.1. Alüminyum alaşımları sınıflandırılması

Kullanım yapılacak olan yer göre ve imal yöntemine göre alüminyum döküm alaşımları farklı sınıflandırmanın yer aldığı aile grubundan seçilirler. Uluslararası isimlendirme olarak kabul görmüş olan alüminyum alaşım sınıflandırması, Avrupa Alüminyum Birliği tarafınca yapılmıştır. Avrupa Alüminyum Birliği bu sınıflandırmayı kimyasal bileşenlerin alt ve üst limit kayıtlarına ilaveten uluslararası alüminyum tanımlamaları üzerinde çalışmalar yaparak döküm alaşımlarını ifade etmek için gösterim sistemini oluşturmuştur (Cobden and Banbury, 1994). Alüminyum dövme alaşımları için oluşturulmuş olan gösterim sistemi, Tablo 2.2’de yer almaktadır.

Tablo 2.2 Alüminyum dövme alaşımları gösterimi (Cobden and Banbury, 1994).

| Alaşım | 1. Alaşım elementi |
|--------|--------------------|
| 1XXX | Al |
| 2XXX | Cu |
| 3XXX | Mn |
| 4XXX | Si |
| 5XXX | Mg |
| 6XXX | Mg/Si |
| 7XXX | Zn |
| 8XXX | Li |

Birinci rakam, dövme alaşımındaki birinci alaşım elementini ifade etmektedir. Hemen arkasında yer alan rakam ise orijinal alaşımında meydana gelen değişimi tanımlama amacıyla kullanılmasının yanı sıra orijinal alaşımında yer alan bu rakam 0’dır. Alüminyum dövme alaşımı gösteriminde bulunan son iki rakam ise 1XXX serisi alaşımları için alüminyum saflığını tanımlamaktadır. Diğer tüm serilerde ise son iki rakam çeşitli özelliklerdeki alaşımları tanımlamaktadır (Erdoğan, 2008). Ana alaşım elementine göre alüminyum dökme alaşımların sınıflandırması olduğu gibi döküm alaşımlarına ait sınıflandırma sistemi de oluşturulmuştur. Tablo 2.3’te yer almaktadır.

Sınıflandırma tablosuna baktığımızda alaşımın saflık için ifade ettiği oran, 1xx.x sınıfı için ikinci ve üçüncü basamaklardan anlaşılır. Son basamağın ise 1 olması külçe, 0 olması dökümü ifade etmektedir (Jacobs, 1999).

Tablo 2.3 Alüminyum döküm alaşımları gösterimi (Jacobs, 1999).

| Alaşım | 1. Alaşım elementi |
|--------|--------------------|
| 1XX.X | Al |
| 2XX.X | Cu |
| 3XX.X | Si, Cu, Mg |
| 4XX.X | Si |
| 5XX.X | Mg |
| 6XX.X | - |
| 7XX.X | Zn |
| 8XX.X | Li |

Mekanik özelliklerde ilerleme alaşımlara uygulanan soğuk ve sıcak işlemler ile sağlanabilmektedir. Temper tanımlamasındaki T ve H gösterimi alaşımın ısı işlem görebilir ve sertleştirilebilir olmasına göre mukavimleşme derecesini ifade eder. Alaşımın tavllanması, çözündürme uygulanması veya üretilmesi ise sırasıyla O, W, F harfleri ile temsil edilmektedir. Alaşıma uygulanan işlemlerde sertleşme miktarı, ısı işlem türü veya özel üretim durumu T ve H takip eden numaralar ile belirtilmektedir (European Aluminium Association, 2002). Alüminyum alaşımları için temper seri numaralarının tanımları Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4 Alüminyum alaşımları için temper seri numaralarının tanımları (Başer, 2012).

| Temper no | Açıklama |
|------------|--|
| F | İmal edildiği şekilde |
| 0 | Tavllanmış (Mümkün olan en yumuşak şartlarda) |
| H | Soğuk şekillendirilmiş |
| H1X | Sadece soğuk şekillendirilmiş (x soğuk şekillendirme miktarına ve mukavemetlendirmeye işaret eder) |
| H12 | Soğuk şekillendirme, 0 ve H14 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar |
| H14 | Soğuk şekillendirme, 0 ve H18 temperleri arasında bir çekme dayanımı sağlar |
| H16 | Soğuk şekillendirme, H14 ve H18 temperleri arasında ortalarda bir çekme dayanımı sağlar |
| H18 | Soğuk şekillendirme, yaklaşık %75 azalma sağlar |
| H19 | Soğuk şekillendirme, H18 temperleme ile elde edilen çekme dayanımından 2000 psi fazla dayanım sağlar |
| H2X | Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavllanmış |
| H3X | Düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş |
| W | Çözelti ısı işlemi görmüş |
| T | Yaşlandırılmış |
| T1 | İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış |
| T2 | İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış |
| T3 | Çözelti ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış |
| T4 | Çözelti ısı işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış |
| T5 | Yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işleminden ve soğuduktan sonra yapay yaşlandırılmış |
| T6 | Çözelti ısı işlemi görmüş ve yapay yaşlandırılmış |

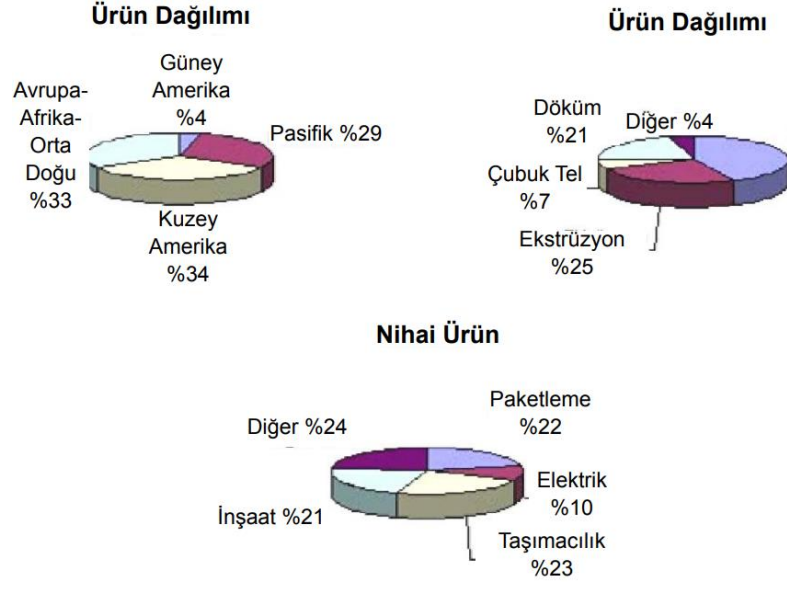
| | |
|------------|---|
| T7 | Çözelti ısıt işlemleri görmüş ve kararlaştırılmış |
| T8 | Çözelti ısıt işlemleri uygulanmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış |
| T9 | Çözelti ısıt işlemleri uygulanmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş |
| T10 | İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış |

2.3. Alüminyum Alaşımı Üretim Yöntemleri

Alüminyum alaşımları üretim metotları esas alınarak dövme ve döküm olmak üzere iki ana alt gruba ayrılmaktadır. Bu durum imal yöntemlerinin birbirinden farklı olarak meydana gelen ihtiyaçlar olmasından kaynaklanmaktadır. Dövme alaşımları plastik deformasyon yöntemi ile şekillendirilmektedir. Plastik deformasyon yöntemi ile şekil kazandırma ise dövme alaşımlarına, diğer alaşım türünden tamamen farklı olan kimyasal bileşim ve mikro yapı özelliği kazandırmaktadır (Başer, 2012). Döküm yöntemi ile alüminyum alaşımı elde edilmesinde, modern ekipmanlar ve sıkı kalite kontrol yöntemleri ile alüminyum çeşitli elementler ile karıştırılır. Tanklardaki sıvı alüminyumun saflığı ve eklenen metallerin kontrolü az değişkenlik gösteren kimyasal bileşimlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Metalin temizliği, son üründe gaz, oksit ve diğer empürite tiplerinin olmamasını sağlamaktadır. Bu etap tortu giderme, gaz giderme, cüruf giderme ve ocaklarda ve döküm sırasında filtreleme operasyonlarını içermektedir. Metal sıcaklığı, debi ve soğutma gibi döküm parametreleri otomatik ekipmanlarla ayarlanır ve kontrol edilir bu da düzgün bir metalografik yapı sağlar. Döküm prosesi temizleme (kumlama), ambalajlama, markalama ve depolama operasyonları ile tamamlanır.

Çoğunlukla %11,7 Si miktarına sahip bu alaşımlar ötektik bileşimde bulunma sebebiyle döküm özellikleri konusunda çok iyi performansa sahiptir. Kaynak kabiliyeti ve korozyon direnci özelliği de üstün özelliklerindedir. Döküm alaşımlarına eklenen çeşitli elementlerden bakır ve magnezyum etkisi ise, bakırın talaşlı imalat yöntemine uygun özellik olarak talaş kaldırma kabiliyeti kazandırması yanı sıra korozyon direncinde azalmaya neden olmaktadır. Alaşıma magnezyum katılmasıyla çökeltme sertleşmesi ve deniz suyundaki korozif etkiye karşı dirençli olmayı sağlar. Alüminyum günlük hayatta da karşımıza çıkmaktadır, özellikle de gıda ürünlerinde (paketlerde). Alüminyum insan hayatını iyileştirmede önemli bir rol oynamaktadır. Günlük hayatın normal bir parçası olan ürünlerin birçoğu az veya çok bu metale dayanmaktadır.

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının dünya genelindeki dağılımı, üretim yöntemlerinin dağılımı ve son ürünlerin sınıflandırılması ile ilgili grafik Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının dünya genelindeki dağılımı, üretim yöntemlerinin dağılımı ve son ürünlerin sınıflandırılması (Başer, 2012).

3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLI JANTLAR

Alüminyum jantlar başlangıçta genellikle isteğe bağlı eklentiler olarak veya daha pahalı bir donanım paketinin parçası olarak pazarlanıyordu. Ancak günümüzde alüminyum jantlar, standart donanım olarak giderek daha fazla otomobil modelinde kullanılır hale gelmiştir. Binek araçlarda alüminyum jantlar, öncelikle bir hafifletme amacı olarak kullanılmaktan ziyade üst sınıf veya amiral gemisi modellerine ayırt edici bir kişisel dokunuş katmak için şekillendirme amacıyla piyasaya sürülmüştür. Dövme alüminyum jant, 1948'de ALCOA tarafından icat edildi. Avrupa'da, alüminyum jantın başarı öyküsü, 1962'de Porsche 911'in geliştirilmesiyle başladı. Porsche, olağanüstü niteliklere sahip ve aynı zamanda görsel olarak da yeni boyutlar sunan özel bir tekerlek aradı. OTTO FUCHS'un dövme alüminyum jantı çekici bir görünüm sundu. Ek olarak, düşük ağırlığı ve dolayısıyla yaysız kütle azalması, üstün bir sürüş kalitesi de sağladı. 1970'lerde, dökme alüminyum jantlar, seri üretilen arabalara fabrikada takılmaya başladı. Jantlarda alüminyum kullanımı, 2000 yılında Avrupa araçları için yaklaşık %30-%35 aralığındaydı, bu oran ABD ve Japonya'da ise %50'den fazlaydı. Bugün, dünya çapında üretilen araçların yaklaşık %50'si alüminyum jantlar kullanıyor, yani jantlar, binek otomobiller ve hafif kamyonlardaki ortalama alüminyum içeriğinin yaklaşık %15'ini temsil etmektedir.

Bazı otomobil üreticileri, üretimlerinin %80'inden fazlasını alüminyum jantlarla sağlamaktadır. Kuzey Amerika'da alüminyum jantların pazar payı %70'e, Japonya'da yaklaşık %60'a ve Avrupa'da yaklaşık %50'ye yaklaşmaktadır. Günümüzde alüminyum jant pazarının büyüme hızı yavaşlamasına rağmen pazar hacmi hala artmaya devam etmektedir.

Alüminyum jantların üretimlerinin neredeyse tamamı için en çok kullanılan üretim yöntemleri döküm ve dövmedir. Performansları, kullanılan üretim tekniğinin doğrudan bir sonucudur. Şekillendirme, döküm çözümleri için ana motivasyon iken, dövme tekerlekler genellikle daha hafif ve daha güçlüdür, ancak aynı zamanda döküm tekerleklerden daha pahalıdır. Bununla birlikte, malzeme kalitesine ve işlem kontrolüne gereken özen gösterilerek, dökme alüminyum jantlar yüksek standartlarda yapılabilir ve uzun yıllar iyi hizmet sağlanabilmektedir.

Bugün, dökme alüminyum jantlar, Kuzey Amerika'da %80'den fazla, Avrupa'da %90'dan fazla ve Japonya'da %100'e yakın bir pazar payıyla en yaygın olanıdır. Kuzey Amerika'da dövme jantların payı yaklaşık %15, Avrupa'da sadece %5'tir. Artan ağırlık azaltma

gereksinimleri, yüksek fiyatlarına rağmen dövme alüminyum jantların daha da büyümesi için iyi bir şans sunmaktadır. Öte yandan, hafifletme trendi, daha sofistike döküm yöntemlerinin geliştirilmesine ve uygulanmasına ve ayrıca tabakalar ve/veya ekstrüzyonlar kullanılarak yapılan fabrikasyon çözümlerin dikkate alınmasına da yol açmıştır. Birçok yeni geliştirme, mevcut alüminyum jantların ağırlığını, stil avantajlarından ödün vermeden daha da azaltılmasına olanak sağlamaktadır (Başer, 2012; Özcömert, 2006; Tarkun, 2015).

3.1. Alüminyum Alaşımli Jantların Üretimi

3.1.1. Soğuk şekillendirme yöntemi ile jant üretimi

Soğuk şekillendirme yöntemi ile jant üretim yöntemi malzemeleri arasında en çok tercih edileni çelik sac malzemesidir. Çelik sac malzemenin kullanımıyla yapılan soğuk şekillendirme yöntemi ile jant üretimi iş makinalarının, forklift, kamyon, treyler gibi büyük ebatlarda jantların üretilmesinde kullanılmaktadır. Küçük ebatta jantların üretim yöntemlerinde ise seri üretim yönteminde daha iyi performans sağlaması ve kullanılan hammaddenin alüminyum ve titanyum alaşımları olması nedeniyle döküm yöntemi öne çıkmıştır. Soğuk şekillendirme yöntemi ile sac malzemedeki jant üretiminde sıvama yöntemi en yaygın olan yöntemdir. Sıvama yöntemi ile jant üretiminin diğer üretim yöntemlerine göre avantajı, ürünün merkezi eksen boyunca simetrik olarak oluşturulmasıdır. İlâveten sıvama yöntemi ile jant üretiminde yüzey kalitesinin üst düzeyde olması ve ölçüsel değerlerin sağlanmasıdır.

Sıvama yöntemiyle jant üretiminde işe aşamalardan ilki giyotin ile kesim yapılmasıdır. Kıvrırma ve yakma alın kaynağı arkasından çaparlardan arındırma işlemine tabi tutulur. İlk ve ikinci sıvama işlem adımları ile tamamlanır. Sıvama yönteminde parçalı jant imalatı gerçekleştirmek için uygun yöntem olarak bilinir. Kaynak alma işlemi sonrasında sac plaka hammaddesinden kasnak üretim aşaması uygulanır (Şekil 3.1). Yuvarlak şekle getirilmiş olan malzeme, iççice geçirilerek yoğun miktarda akım ile ısıtılırken, ayrılma olmaması amacıyla uçlarından puntalama yapılır. Çapak sıyırma işleminde ise yüksek akımdan dolayı ergimmiş haldeki metalin sıyırılarak alınması ve sıyırma yapılan bölgenin düzeltilmesi yapılır. Kasnak kenarları düzeltme işlemi için taşlama işlemi yapılır. İstenilen ölçülere ulaşmak için kalibrasyon işlemi yapılır. Kalibre edilen kasnak sıvama işlemi ile üretim süreci tamamlanır (Biro, 2011; Oytaç, 2006; Tarkun, 2015).



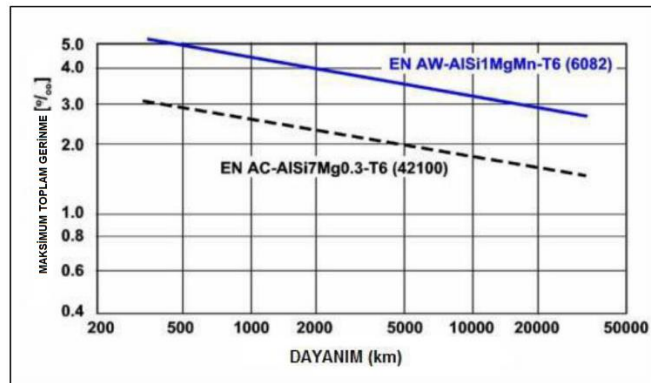
Şekil 3.1 Kaynak ile kasnak ve göbek montajının yapılması (Oytaç, 2006).

3.1.1.1. Dövme yöntemi ile jant üretimi

Jant şeklinin kazandırılması amacıyla yapılan dövme işlemi alüminyumun moleküller yapısında yeniden şekillenme oluşturur. Jant mukavemet değerinin yüksek olması gereken kamyon treyler gibi araçlarda genellikle dövme alüminyum jant kullanımı yaygındır. Son yıllarda ise döküm yöntemi ile üretimle kıyaslandığında daha fazla maliyet gerektiren dövme yönteminin azaldığı gözlemlenmiştir (Şirin, 2017; Tarkun, 2015).

Dövme yöntemi ile üretilen jantlar döküm yöntemi ile üretilen jantlara kıyasla %25 daha hafif olmaktadır. Üretim yöntemi açısından her ne kadar döküm üretim tekniğine göre daha fazla maliyetli olsa da mekanik özellikler ele alındığında ise dövme yöntemi ile jant üretimi öne çıkmaktadır. Dövme yöntemi ile jant üretim yönteminde porozite, döküm boşluğu ya da kalıp kaynaklı hataların görülmemesi bu yöntemin diğer avantajlarından.

Yapılan çalışmalara göre dövme yöntemi ile jant üretim yönteminin diğer jant üretim tekniklerine göre daha yüksek yorulma ömrüne sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Döküm ve dövme jant yorulma ömür eğrileri (European Aluminium Association, 2002).

Her iki prosesin benzerlik gösterdiği adımlar olsa da hammaddenin hazırlanması aşamasında farklılıklar içerir. Döküm yöntemi ile jant üretiminde, eriyik halde potada bulunan hammadde şarj olarak adlandırılır. Hazır olan şarjdan yapılan jant üretiminde ise jant geometrisine bağlı olmakla birlikte yaklaşık 15-20 adet döküm işle jant üretim işlemi gerçekleşir. Dövme yöntemi ile jant üretiminde ise süreç alüminyum bloğu (Şekil 3.3) ile başlamaktadır (Erdoğdu, 2019).



Şekil 3.3 Dövme yöntemi ile jant üretim prosesi için alüminyum blokları (Tarkun, 2015).

Ardından 8000 ton değerindeki dövme presi uygulaması (Şekil 3.4) ile jant geometrisi kazandırılmaktadır. Dövme uygulamasını takiben ısıl işleme uygulanmaktadır. Isıl işleme amacı döküm yöntemi ile jant üretim yöntemine benzer olarak mekanik dayanım özelliğinin yükseltilmesidir.



Şekil 3.4 Dövme prosesi uygulaması (Tarkun, 2015).

Dövme yöntemi ile jant üretiminde jant geometrisi ile alüminyum moleküler doku akışının aynı yönlende olması sağlanmış olur. Uygulama sonrasında elde edilen ürünün homojen dayanıma sahip olması gerekliliği sağlanmış olur. Ürünün kullanılan araçlarda balans bozukluğuna sebebiyet vermemesi amacıyla ve dairesel bütünlüğün oluşturulması için hassas üretim işlemi gerçekleştirilir. Jantın montajlanması ve akış sağlandığı havalandırma delikleri

oluşturulur. Ardından yüzey işleme prosesi sonrasında ürün kullanıcı isteklerine uygun halde hazır hale getirilir (Kuhlman, 2013; Quan and Ren, 2014).

3.1.2. Döküm Yöntemi ile Jant Üretimi

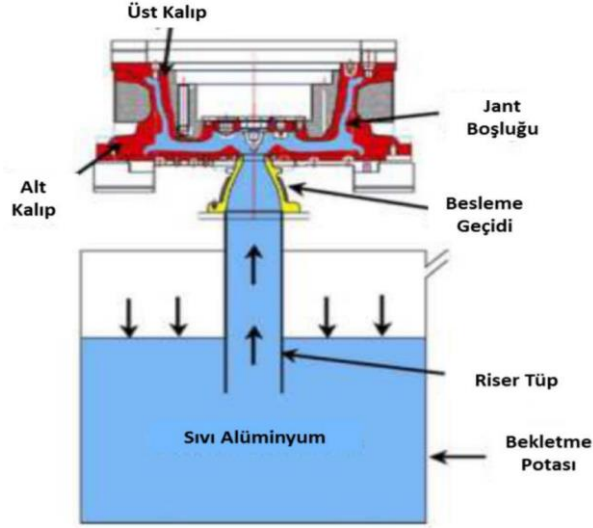
Gravite döküm, alçak basınçlı döküm, yüksek basınçlı döküm alüminyum alaşımlı jantların üretilmesinde kullanılan başlıca döküm teknikleridir. Döküm yöntemleri birbiri arasında karşılaştırıldığında ise alçak basınçlı döküm yöntem, sürdürülebilirlik, yüzeyin kalitesi, kalıp maliyetlerinin diğer üretim yöntemlerine göre az olması, tasarım çeşitleri için uygun olması özellikleri nedeniyle alüminyum alaşımlı jant üretimi için en çok tercih edilen yöntemdir (Erdoğan, 2019).

Döküm yöntemlerinden bir diğeri olan gravite yöntemi ise alçak basınçlı döküm yönteminde olduğu gibi potanın temiz kısmından alaşım almaya izin vermez. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ise küçük ve karmaşık şekilli parçaların imalatında kullanılır. Alçak basınçlı üretim yöntemine göre detaylı olan yüksek basınçlı döküm yöntemi ise jant üretiminde bu sebeplerle tercih edilmez (Aran, 2007).

3.1.2.1. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile jant üretimi

Alüminyum alaşımlı jantların alçak basınçlı döküm yöntemi, ergimiş halde bulunan metal alaşımının hava ile kalıp içerisine doldurulması mekanizmasına dayanır. Bu üretim yönteminde ergimiş metal alaşımı kalıcı kalıbın içerisine doldurulur. Kullanılan kalıcı kalıp maliyetli olması yanı sıra seri üretim koşulu için uygundur. Alçak basınçlı döküm yöntemi öncesinde kullanılan gravite yönteminin jant yüzey gereksinimleri ve mekanik özellikleri konularında eksik kalmasıyla beraber bu ihtiyaçlar alçak basınçlı döküm yöntemi ile karşılanmıştır (Dispınar et al., 2012). Ergimiş metalin hava ile temas etmemesini sağlaması da alçak basınçlı döküm yöntemiyle jant üretimine olan yönelimi arttırmıştır (Yılmaz, 2019).

Alçak basınçlı döküm yönteminde (Şekil 3.5); potada bulunan alaşımın en üst katmanında oluşan ametalleri ve cürufu almadığı gibi, potanın en altına çökmüş olan ağır metalleri de almaz. Bu durumda yükseltici tüp yardımı ile ergimiş olan alüminyum alaşımının potadaki en temiz bölgesi kullanılır (Topçuoğlu vd., 2014).



Şekil 3.5 Alçak basınçlı döküm yöntemi (Topçuoğlu vd., 2014).

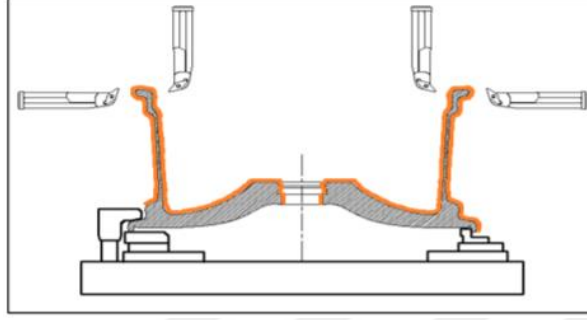
Alçak basınçlı jant üretim yöntemi öncesinde ön hazırlık adımları tamamlanarak üretim yapılır. Bu hazırlık aşamaları ise hammaddenin giriş kalite kontrolünün yapılmasıyla başlar. Giriş kalite kontrolü sonrasında hammaddenin potada ergitilmesi adımında, istenen mekanik ve metalürjik özellikler (tane inceltme vs.) için alaşımlama yapılır. Ardından gaz giderme işlemi uygulanır. Alçak basınçlı jant üretim yönteminde mühendislik analizleri ve simülasyon çalışmaları ile üretim öncesinde prosesleri tamamlanan kalıplar döküm tezgahına bağlanır. Döküm işlemi sonrası ısıl işlem, talaşlı imalat prosesi ve boyahane süreci sonrası jant hazır hale getirilir (Ou et al., 2020; Özaydın, 2019).

3.1.3. Üretim sonrası işlemler

3.1.3.1. Talaş alma

Birçok mekanik parçanın son olarak şekillendirilmesi talaşlı işlemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Talaşlı imalat, 200 yılı aşan tarihi ile yoğun bir şekilde araştırılmakta olup 19.yy'ın ortalarında, işlemenin fiziksel mekaniği çalışılmaya başlanmıştır. 1940-1950 yılları arası, işleme araştırmalarının “Altın Çağı” olarak bilinmektedir ve metal kesme mekaniği temelini talaş olduğu bilgisinin geliştiği dönemdir. Döküm, dövme, haddeleme, sıcak şekillendirme ve soğuk şekillendirme gibi yöntemlerle üretilmiş mühendislik malzemelerinin şekil, boyut ve yüzey kalitesi bakımında hazır ve son haline getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat yöntemleri ile talaş kaldırma işlemleri uygulanmaktadır. En yaygın kesme işlemleri tornalama, frezeleme, delik delme ve bunları takiben honlama, broşlama, form kesme gibi özel

işlemlerdir. Tüm metal kesme işlemlerinin mekanik prensipleri aynı olmakla birlikte bunların geometri ve kinematikleri birbirilerinden farklı olabilir. Talaşlı imalat işleminde, iş parçasını istenilen geometriye/forma getirmek için, parça üzerindeki fazlalıklar uygun 27 takım tezgahı ve kesici takım kullanılarak istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır (Kurt, 2019). Şekil 3.6'da jant işleme yüzeylerinin şematik gösterimi verilmiştir (Aybarc ve Kara, 2016).



Şekil 3.6 Jant işleme yüzeylerinin şematik gösterimi (Aybarc ve Kara, 2016).

3.1.3.2. Yüzey hazırlama

Alüminyum alaşımlı jantlar için standart ön işlem basamakları, yüzeyin en uygun şekilde hazırlanması için sırasıyla; ön temizlik (isteğe bağlı), yağ alma, deoksidasyon ve pasivasyon işlemlerini içerir. Yüzey hazırlama banyoları amaçlarına göre aşağıdaki gibi sınıflara ayırmak mümkündür;

Yağ Alma: Talaşlı imalattan gelen jantların bor yağ, talaş ve kir kalıntılarından kurtulması amacıyla yapılır

Durulama: Kimyasalları arındırmak amacıyla yapılan işlemlerdir

Deoksidasyon: Parça yüzeyinde aşındırma işlemi yaparak oluşabilecek oksit tabakasını engelleyen ve yüzeyi pürüzlendirerek kaplamanın daha iyi tutunmasını sağlamlaştırmak için yapılır

De iyonize su ile Durulama: Aşındırma banyo süreçleri sonrası ürünlerin üzerinde kalan kimyasalların temizlenmesi için yapılan işlemdir

Pasivasyon: Parça yüzeyine ince bir film tabakası oluşturmak amacıyla boyanın daha kolay yapışması için yapılan yüzey aşındırma işlemidir

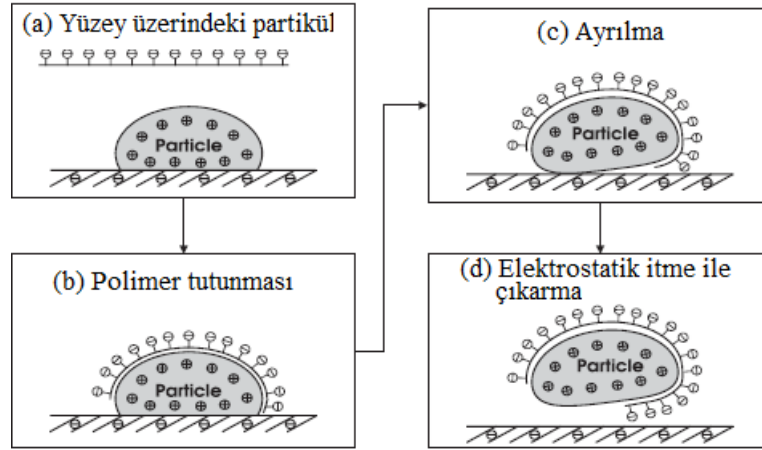
Kendiliğinden biriken moleküller (SAM): Parçaların boya tutunma yüzeyini artırmak, korozyon direnci ve pürüzsüz bir yüzey elde etmek için yapılan işlemdir

Yağ alma basamağının uygulanmasının amacı, uygulanan yüzeyde oluşmuş olan kirliliklerin ortadan kaldırılması ve bu işlem sırasında yüzeye gelen fazla yağ çözücü kimyasalın durulanması ile yüzeyde su kırmayan reaktif bir yüzey oluşturmaktır.

Alkali yağ gidericiler, inorganik tuzlardan, "yapıcı" ve "yüzey aktif maddeler" olan organik bileşiklerden meydana gelmektedir. Yapıcı olarak adlandırılmış olan yağ gidericinin temel görevi, metal taneciklerini, kaynak boncuklarını yani inorganik ve pigment kirleticileri ayırarak uzaklaştırmaktır. Yüzey aktif maddenin görevi ise, her türlü yağı, kayganlaştırıcıları, sabunları ve diğer organik kirleticileri çıkararak yüzeyden uzaklaştırmaktır. Alkali yağ gidericiler için kullanılan başlıca yapıcı maddeler aşağıdaki gibidir:

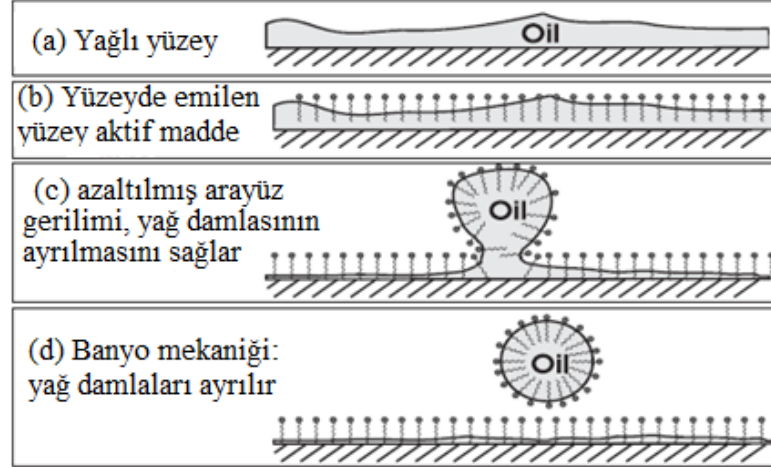
- NaOH, KOH, Na₂CO₃, K₂CO₃ → alkalitenin korunması
- Silikatlar → partikül giderme, inhibisyon, tamponlama
- Ortofosfatlar → yağ giderme
- Yoğunlaştırılmış fosfatlar → yağ giderme, kompleks oluşturma
- Kompleks yapıcı ajanlar → kompleks oluşturma.

Yüzey aktif maddeler bir hidrofilik grup, yani uzun bir etoksi (EO) zinciri ve / veya propoksi (PO) molekülleri zinciri ve tipik olarak bir uzun zincirli alkil olan bir hidrofobik grup içermektedir. Yüzey aktif maddeler; anyonik, katyonik, non iyonik ve amfoterik olarak sınıflandırılmaktadır. Yağ gidermede, tipik olarak non iyonik yüzey aktif maddeler, daha iyi çevresel uyumları nedeniyle günümüzde kullanılmaktadır. Yüzeylerden partikül uzaklaştırma mekanizması Şekil 3.7'de gösterilmektedir (Streitberger and Dossel, 2008).



Şekil 3.7 Yüzeyden parçacık uzaklaştırma mekanizması (Streitberger and Dossel, 2008).

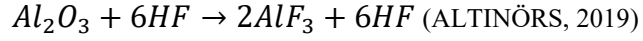
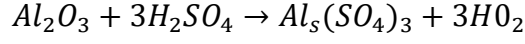
Çözeltilerdeki yüzey aktif maddeler, amfifilik özelliklerinden dolayı ara yüzey gerilimlerini azaltır, katı ara yüzlerde adsorbe olur ve miseller oluşturur. Yüzeylerden yağ çıkarma mekanizması Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Yüzey aktif maddeler önce yağ yüzeyine adsorbe olur ve ardından yüzey gerilimini azaltır ve yağı içeren ayrılmış damlacıkları yüzeyden uzaklaştırır.



Şekil 3.8 Yüzeyden yağ arındırma mekanizması (Streitberger and Dossel, 2008).

Yağ alma işlemi, şehir suyu ilavesiyle seviyesi sabit tutulan yağ alma banyolarının yapılmaktadır. Yağ alma banyoları çoğunlukla titrasyon yöntemi ile kontrol edilir. Onun dışında; serbest alkalinite, toplam alkalinite, iletkenlik ve pH gibi parametreler yağ alma banyolarında önem arz eden parametrelerdir. Deoksidasyon işleminde kullanılan kimyasallar, redoks tepkimeleri ile alüminyum oksidin alüminyum altlıktan uzaklaştırılmasını

sağlamaktadır. Alüminyum için deoksidasyon kimyasal hidroflorik, sülfürik veya nitrik asitlerin bir karışımı olmalıdır (Altınörs, 2019). Deoksidasyonun hedefi: alkali ortamda çözünmeyen metallerin uzaklaştırılması (Si, Cu, Zn, Fe vb.), yüzeyin nötralizasyonu ve yüzeyden oksitlerin uzaklaştırılması olarak açıklanabilir. Genellikle hidroflorik asit ve sülfürik asitten oluşur. Reaksiyon mekanizması aşağıdaki gibidir.

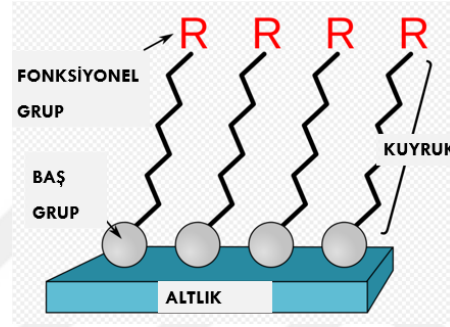


Alüminyumun korozyon direncini arttırmak için, dönüşüm tabakasına kromsuz bir çözelti ile pasivasyon yapılabilir. İyileştirilmiş korozyon korumasının etkisinin, çözülmeyen bileşiklerin çökeltilmesiyle gözenek boyutunun küçültülmesi ve ikincil fosfat kristallerinin asidik pasifleştirici ajanın çözeltisi tarafından yüzeyden uzaklaştırılmasıyla ilişkili olduğu kabul edilmektedir. Günümüzde altı değerlikli krom, krom VI bileşiklerinin toksik tehlikesi nedeniyle yerini zirkonyum bazlı solüsyona bırakmıştır.

SAM olarak adlandırılan kendiliğinden bileşen molekül grubu ise buhar veya sıvı fazdan (Schreiber, 2000a; Schwartz, 2003) bir altlık üzerine baş gruplarının kimyasal olarak emilmesi olarak bilinen kemisorpsiyon ardından kuyruk gruplarının yavaş bir organizasyonu ile oluşturulur. Şekil 3.9'da SAM grupları için oluşum mekanizması gösterilmiştir (Wnek and Bowlin, 2008). Diğer bir tanımla, önceden var olan, farklı bileşenlerini içeren tersine çevrilebilir süreç olarak ifade edilmektedir (Fialkowski et al., 2006). Başlangıçta, yüzeydeki küçük moleküller yoğunlukta iken, adsorbe molekülleri ya düzensiz bir molekül kütlesi oluşturur ya da düzenli bir iki boyutlu uzanma fazı oluşturur (Schwartz, 2003), ve daha yüksek moleküller alana ulaştığında altlık yüzeyinde üç boyutlu kristalin veya yarı kristalin yapılar oluşturmaya başlar (Vos et al., 2003). Baş grupları altlık üzerinde bir araya gelirken, kuyruk grupları altlıktan uzakta toplanır. Sıkı paketlenmiş moleküllerin alanları çekirdeklenir ve altlığın yüzeyi tek bir katmanla kaplanana kadar büyür (Love et al., 2005).

Absorban molekülleri, altlığın yüzey serbest enerjisini düşürdükleri için kolayca adsorbe olurlar ve "baş gruplarının" güçlü kemisorpsiyonundan dolayı stabildirler. Bu bağlar, Langmuir-Blodgett filmlerinin fiziksel olarak soğurulmuş bağlarından daha kararlı olan tek tabakalar oluşturmaktadır (Kaifer and Gómez-Kaifer, 2007; Madou, 2018). Örneğin bir

Perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS) molekülünde bulunan bir Triklorosilan bazlı baş grup, bir altlık üzerindeki bir hidroksil grubu ile reaksiyona girer ve çok kararlı kovalent bağ [R-Si-O-altlık] oluşturur. Tiyol-metal bağları çözücülerde ve potansiyellerde oldukça kararlı hale getirir (Başer, 2012). Tek tabaka, Van der Waals etkileşimleri nedeniyle sıkıca paketlenir (Kaifer and Gómez-Kaifer, 2007; Love et al., 2005), böylece kendi serbest enerjisini azaltır (Love et al., 2005). Yanal etkileşimler ihmal edilirse, adsorpsiyon Langmuir adsorpsiyon izotermi ile tanımlanabilir. İhmal edilemezlerse, adsorpsiyon Frumkin izotermiyle daha iyi tanımlanır.



Şekil 3.9 SAM grupları oluşum mekanizması (Wnek and Bowlin, 2008).

3.1.3.3. Boyama

Boya sürecinde amaç, janta estetik görünüm kazandırmak, korozif etkilerinden korumak ve jant ömrünü özel kaplamalar ile uzatmaktır. Boyama prosesinde jantlar sırasıyla yüzey hazırlama, toz boya, sıvı boya ve vernik ünitelerinde işlem görürler. Yüzey hazırlama ünitesinde, boya sürecinde görsel olarak uygunsuzluklar oluşmaması için çeşitli banyolardan geçirilerek yüzey hazırlama işlemi uygulanır. Toz boya tesisinde amaç sıvı boya öncesinde parça yüzeyini pürüzsüz hale getirmektir.

Toz boya çözücü içermeyen bir tür kaplama işlemidir. Elektronik toz boya tabancaları kullanılarak jant yüzeyi kaplanır. Jant üretim prosesinde, boya istenmeyen bölgeler (bijon delik bölgesi, kapak bölgesi gibi) operasyon öncesi maskeleme aparatı ile kapatılarak, o bölgelere boya gelmesi engellenir. Toz boyama sonrası ise boya henüz toz halde olup kürlenme fırınlarından geçmemiş iken ofset yüzeyi bazı tasarımlı jant modelleri için göbek delik bölgesi operasyon sonrası robot yardımıyla ya da manuel olarak fırçalama işlemi yapılarak temizlenir. Böylece boya atımının engellenemediği ama fonksiyonel olarak boya uygulaması istenmeyen bölgeler için bu işlem ile ilgili bölgelere temizleme yapılmış olunur.

Toz boya/vernik uygulamalarında konveyör topraklanırken boya negatif yükle yüklenerek boyanın jant yüzeyine tutunması sağlanır. Toz boya uygulaması, boya jant üzerinde hava ile taşındığı için büyük hacimlerde hava içerir. Bu hava, eritme sırasında ve çapraz bağlamadan önce çıkarılmalıdır. Benzoin ve türevleri bu amaç için katkı maddesi olarak uygundur. Kaplama uygulandıktan sonra jantlar, kaplamanın kürlendiği kür fırınına aktarılır. Kürlenme, organik bir kaplama filminin polimerizasyon reaksiyonları sonucunda termoset karakterli sert bir filme dönüştürülmesi işlemidir. Toz boyanın kürlenmesi için toz boya fırınında bekletilen jantlar, daha sonra soğutma tünellerine sevk edilir. Toz boyanın ardından sıvı boya uygulaması yapılır. Sıvı boya ünitesinde sıvı boya uygulanan jantlar, boya içindeki çözücülerin uçurulması için üniteye belli bir süre tutulmaktadır. Sıvı boya prosesinde tabancı sistemi HVLP, evobell gibi farklı uygulama sistemlerine tabi olabilir. Sıvı boya / vernik kabinlerinde aşırı sprej sonucu oluşan boya çamurlarını kabinden uzaklaştırmak üzere çamur alma sistemi kullanılır. Bu sistem yardımıyla kabin içerisinde akan suyun temizlenmesi ve boyadan ayrıştırması işlemi gerçekleştirilir. Sıvı boya çözücülerinin uçurulması sonrası janta vernik uygulaması gerçekleştirilir. Uygulama sonrası jantlar pişirme fırını ve soğutma tünellerinden geçirilir. Bu işlem sonrası boyama süreci tamamlanmış olur (Işık, 2020; Tarkun, 2015).

3.1.3.4. Son kontrol

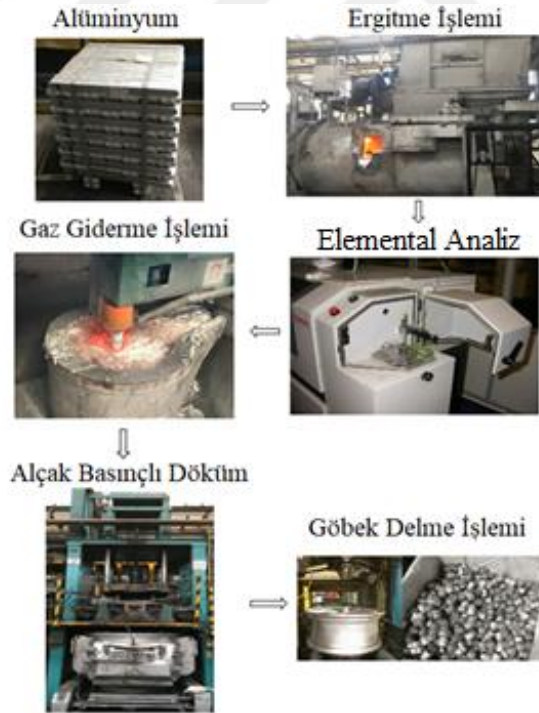
Bu süreçte uygulamalarını tamamlayan ürünler için nihai ürün kontrolleri yapılır. İlk olarak jantın üretim hattı boyunca görsel kontrolü yapılır. Temel olarak 3 ana kontrol bölgesi yer almaktadır. Ön yüzey kontrolü, jantta göbek bölgesi feder kolları ve flanş bölgesi kontrolü olarak geçen, ikinci kontrol bölgesi ise iç yüzey kontrolünde off-set bölgesi kontrolü, lastik iç yüzey kontrolü yapılırken üçüncü kontrol olarak lastik dış yüzeyi kontrolü yapılır. Kontrollerde, kozmetik hata oluşumu, renk farkı, gölgelenme, açma, kabarcıklanma gibi; döküm hataları olarak adlandırılan, döküm boşluğu, oksit, çekinti, porozite, çatlak, batma tam dolmama hataları ve talaşlı imalat kaynaklı oluşan hatalar ve taşıma hataları kontrolü yapılır (Işık, 2020).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. A356 Alüminyum Alaşımı Jant Üretimi

4.1.1. Döküm işlemi

Hafif jantların üretiminde genellikle AlSi7Mg ve AlSi11Mg alaşımları tercih edilmekle birlikte, AlSi11Mg alaşımı, içeriğindeki silisyumun oranının daha yüksek olmasına bağlı olarak döküm işleminin daha kolay ve katılaşmanın daha kısa sürede tamamlanması gibi avantajlara sahip olmasına rağmen, ısıl işleme uygun olmamasından dolayı da önemli bir dezavantajla karşılaşmaktadır (Tarkun, 2015). Bu tez çalışması kapsamında ise, jant üretiminde, katılaşma süresinin uygunluğu, soğutma kontrolünün yapılabilmesi ve yeterli fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle AlSi7Mg alaşımı tercih edilmiştir. AlSi7Mg alaşımından jant üretiminin aşamaları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Jant üretim akışı.

Bu çalışma kapsamında, A356 alüminyum (AlSi7Mg) alaşımı jantların döküm işlemi alçak basınçlı döküm tezgahlarında (AB tezgâhı) gerçekleştirilmiştir. Ergitme işlemi sonrası kimyasal analizi yapılan ergiyik metal transfer potası ile aktarımı sonrası gaz giderme işlemi uygulanarak döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Dökümden çıkan jant numunelere X-Ray

kontrolü yapılarak döküm kaynaklı oluşan porozite ya da döküm boşluğu, soğuk birleşme, çatlak, kalıp kaynaklı sıyırma, batma, maden yapışması ve poteyaj uygulaması kaynaklı hataların oluşmadığı görülmüştür. X-Ray kontrolü sonrası jantlar göbek delme işlemi ile ısıtma işlemi uygulanmaya hazır hale getirilmiştir. Kusur ve hata analizlerinin ardından jantlara T6 ısıtma işlemi uygulanmıştır.

Uygulanan ısıtma işlem adımları;

- i. Çözeltiye Alma
- ii. Su ile Soğutma
- iii. Yaşlandırma

Çözeltiye alma işleminde Mg ve Si elementlerinin α fazı içerisinde çözünerek homojen bir yapı oluşturulması ve mümkün olan en yüksek miktarda ikinci fazın α katı eriyiği içinde çözündürülmesiyle bu katı haldeki eriyiğin oda sıcaklığında korunmasının sağlanması amaçlanmaktadır. Burada önemli olan, daha sonraki bir işlemde malzemenin sertliğinde artış sağlayan MgSi, Mg₂Si ve CuAl gibi bileşikler çözeltiye almaktır. Alüminyum alaşımlarının dökümünde kalıp içinde mikro ayrışmalar oluşabilmektedir. Ayrışma dendritlerin kolları arasında meydana gelmesi nedeniyle ise kırılma yapı meydana getirir. Çözeltiye almada ayrılmış olan bu bileşenler ise tekrardan homojen yapı haline getirilmektedir. Çözeltiye alma işleminde fırın içerisindeki nemden dolayı buhar olması halinde yanında yüksek sıcaklık mevcut ise oksidasyondan dolayı küçük gözükten boşluklar belirgin hale gelmeye başlar ve parçanın kırılması neden olur. Çözeltiye alma için uygun parametrelerin ya da yöntemlerin uygulanmaması durumunda oluşabilecek problemler ise şu şekilde sıralanabilir; düşük çekme ve akma mukavemeti, korozyon, oksitlenme ve çatlama (Onat, 2011). Çözeltiye alma işleminden sonra uygulanan su ile soğutma işleminde katı çözelti aniden soğutulmuş aşırı doymuş yapının elde edilmesi amaçlanır. Suda soğutma süresi ve su sıcaklığı su verme işlemindeki kritik faktörlerdir. Jantın bu aşamada hızlı soğutulması nedeniyle çarpılma görülebilir. Bununla birlikte, bölgesel ısınma da engellenmesi gerekmektedir. Su ile soğutma işleminde malzeme aşırı doymuş haldedir.

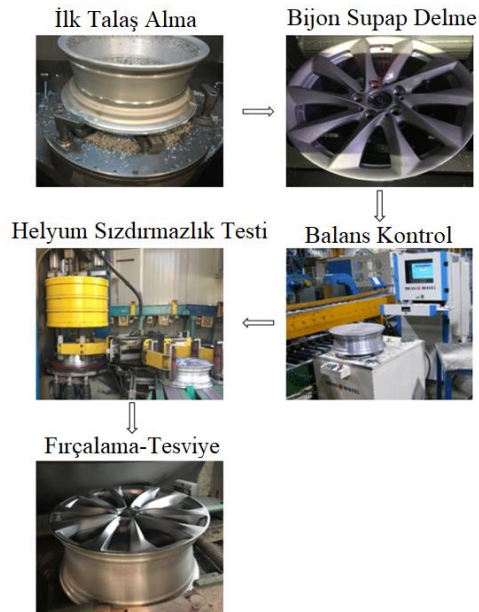
Isıl işlem uygulanmasında yaşlandırma işleminde ise aşırı doymuş yapı içerisindeki ikincil faz (Mg_2Si) çökeltilerinin oluşması amaçlanır. Başka bir ifadeyle, yaşlandırma işleminde aşırı doymuş olan çözeltilerden magnezyum, Mg_2Si ve bakır, $CuAl_2$ formunda ayrılarak çökeller. Malzemenin sertlik ve mukavemetini arttıran ise bu çökeltme işlemidir. Bu çalışmada uygulanan ısıl işlem parametreleri Tablo 4.1’te gösterilmiştir. T6 ısıl işlem parametreleri arzu edilen mekanik ve metalürjik değerlere bağlı olarak stabilize edilmiştir ve deney tasarımı boyunca sabit tutulmuştur.

Tablo 4.1 Jantlara uygulanan ısıl işlem parametreleri.

| Uygulanan işlem | Sıcaklık (°C) | Süre |
|------------------|---------------|------------|
| Çözeltiyeye alma | 540 | 4 saat |
| Su soğutma | 83±4 | 1,5 dakika |
| Yaşlandırma | 155 | 177 dakika |

4.1.2. Talaşlı imalat işlemi

Döküm süreci tamamlanmış numuneler talaşlı imalat sürecine tabi tutulmuştur. Talaşlı imalat süreci sırasıyla; ilk talaş operasyonu, bijon supap delme operasyonu, balans kontrolü, helyum gazı sızdırmazlık testi ve son olarak fırçalama-tesviye operasyonu ile tamamlanmıştır. Talaşlı imalat süreci Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Talaşlı imalat süreci.

4.1.3. Yüzey hazırlama işlemi

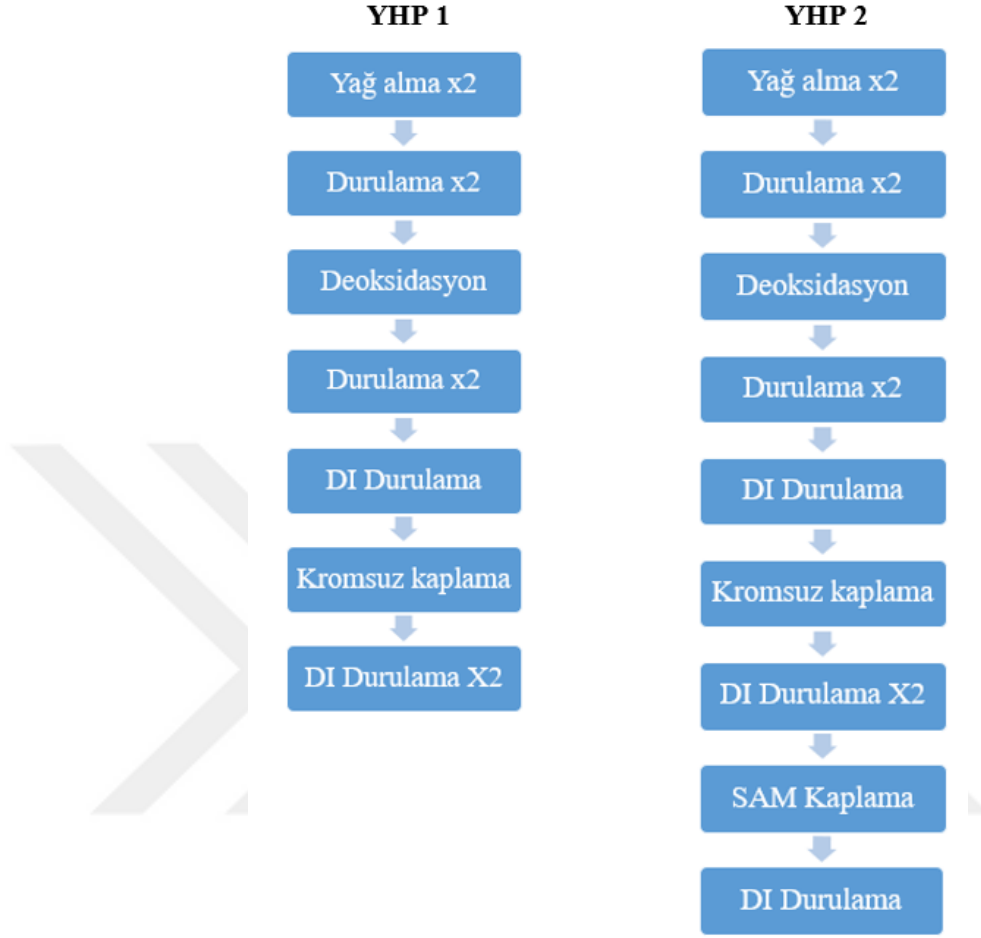
Yüzey hazırlama sürecinde numunelere işlem parametreleri optimize edilmiş iki farklı yüzey hazırlama prosesi uygulanmıştır. Yüzey hazırlama prosesi 1 (YHP 1) ve yüzey hazırlama prosesi 2 (YHP 2) olmak üzere iki farklı işlem akış şeması oluşturulmuştur. YHP 1 ve YHP 2 işlemlerinin proses parametreleri ayrıntılı olarak Tablo 4.2’de, proses akış şemaları ise Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 YHP 1 ve YHP 2 proses parametreleri.

| | PARAMETRE | YHP 1 | YHP 2 |
|------------------------|---|-----------------------------|--------------------|
| YAĞ ALMA | Basınç | 0,5- 6,5 Bar | 0,5- 3 Bar |
| | Sıcaklık | 45- 75 °C | 40-80 °C |
| | İletkenlik | 3000-45000 µS/cm | 2000 – 30000 µS/cm |
| | Serbest Alkalite | 0,5-7,0 ml | 2,5- 10 ml |
| | TA/ SA TA: Toplam Alkalite SA: Serbest Alkalite | ≤7,5 | ≤7,8 |
| DURULAMA | Süre | 180s | 180s |
| | Sprey Basıncı | 0,5 – 6,5 bar | 0,2 – 7 bar |
| | İletkenlik | <3000 µS/cm | <3000 µS/cm |
| DEOKSİDASYON | Basınç | 4 ± 0,7 Bar | 3 ± 0,5 bar |
| | Sıcaklık | 20-70°C | 20-70°C |
| | İletkenlik | 15000-150000 µS/cm | 25000-300000 µS/cm |
| | Serbest Asit | 5-40 ml | 1,0-8,0 |
| | Çözünmüş Al Miktarı (g/l) | Max ≤30 (Al noktası ölçümü) | <3 g/L |
| DI DURULAMA | Süre | 180s | 180s |
| | Basınç | 0,5 – 6,5 bar | 0,2 – 7 bar |
| | İletkenlik | <12000 µS/cm | <12000 µS/cm |
| | Ph | 4-8,5 | 4-8,5 |
| Ti / Zr Kaplama | Basınç | 0,4-6 bar | 0,2-8bar |
| | Sıcaklık | 5-52°C | 20-60°C |
| | İletkenlik | 300-7300µS/cm | 100-4500µS/cm |
| | Ph | 0,8-6,2 | 0,2-5,7 |
| SAM Kaplama | Basınç | - | 0,3-6 bar |
| | Sıcaklık | - | 25-85°C |
| | İletkenlik | - | 50-700 µS/cm |
| | Ph | - | 1,5-6,5 |

Jantların her iki yüzey hazırlama prosesinden geçirilmesi, spreyle basınçlı püskürtme yapılarak uygulanmıştır. YHP 1 prosesi yağ alma prosesi, alkali temizleyici olarak

sınıflandırılan tek bileşenli içeriğe sahip sıvı ile yapılmıştır. Yağ alma prosesi içeriği ve detayı 3.1.3.2. Üretim sonrası işlemler bölümünde açıklanmıştır.



Şekil 4.3 YHP 1 ve YHP 2 akış şemaları.

Yağ alma prosesinde ürünün kirlilikten arındırılması, bu sırada arındırılan bu kirliliğinde ürüne tekrar yapışmaması için aktif grupla bağlanması ya da banyo yüzeyinde yüzdürülmesi gerekmektedir. Sıcaklık, yağ alma prosesinde alkalite korelasyonunu hapsedme, banyoda köpürme meydana gelmesi ve yağ alma kimyasalının agresifliği için önemli parametrelerden biridir. Yağ alma prosesinin yüksek sıcaklıkta çalışması jantın hızlı kurummasına ve yüzeyinde lekelenmeye sebep olur. Aynı zamanda banyonun sıcaklığının yükselmesi ajanın agresifliğini artırarak jant yüzeyinde istenmeyen aşınmaya sebebiyet vermektedir. Banyo sıcaklığının azalması ise temizlemenin etkin olmamasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yağ alma prosesinin sıcaklığı optimum düzeyde ayarlanmalıdır. Bu çalışmada, ilgili proseslerdeki sıcaklık değerleri YHP 1 prosesi için 45-75°C ve YHP 2 prosesi için 40-80 °C sıcaklık aralarında çalışılarak optimum değerlerde işlemler gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin kimyasallardan arındırılması için numunelere durulama işlemi uygulanmıştır. Durulama-I işlemi, YHP 1 prosesinde 0,5-6,5 bar, YHP 2 prosesinde ise prosesinde 0,2-7 bar basınç altında 180 saniye süre boyunca gerçekleştirilmiştir.

YHP 1 için serbest asit değeri 5-40 ml ve iletkenlik miktarı 15000-150000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak oluşturulmuştur. Alüminyum noktası ölçümü ise 30 g/L. Sülfürik asitin titrasyondaki sarfiyatı Alüminyum noktası olarak kaydedilmiştir. YHP 2 için serbest asit 1,8-8,0 ve iletkenlik miktarı 25.000 – 300.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak sabit tutulmuştur. Deoksidasyon prosesinde bulunan Alüminyum miktarı 3 g/L altında tutulmuştur.

Deoksidasyon işlemindeki banyo ortam sıcaklığında çalışmaktadır. Kimyasala maruz kalma süresi her iki yüzey hazırlama banyo prosesi için 180 s, sprej basıncı YHP 1 prosesindeki deoksidasyon prosesi için $4 \pm 0,7$ bar YHP 2 prosesi için ise $3 \pm 0,5$ bar olarak ayarlanmıştır.

Deoksidasyon banyo sıcaklığı, önceki banyonun sıcaklığına maruz kalan ürünün ısısının deoksidasyon prosesine transfer olmasıyla korunmaktadır. Deoksidasyon işleminde sıcaklığın 20-70°C den daha düşük olması, banyodan beklenen aşındırma performansının düşük olmasına ve pürüzlülüğü düşük olan yüzeye kaplamanın tutunmama problemine neden olabilmektedir. Dolayısıyla pürüzlülüğü düşük olan yüzeye kaplamanın tutunmama problemi oluşacaktır. Ayrıca düşük sıcaklık içinde oksit temizleme yeteneğini düşürmektedir. Deoksidasyon prosesinin sıcaklığının yüksek olması durumunda ise banyoda çözünen alüminyum miktarını arttırmakta, iletkenlik ve çözülmüş alüminyum etkisi ile banyo agresifliği artmakta ve ürün yüzeyinde dağlama adı verilen harenme (yüzeyden farklı oluşum) oluşumuna sebep olabilmektedir. Deoksidasyon prosesi ile parça yüzeyinde aşındırma işlemi yaparak oluşabilecek oksit tabakasını engelleyen ve yüzeyi pürüzlendirerek kaplamanın daha iyi tutunmasını sağlayan adım tamamlanmıştır.

DI durulama işlemi aşındırma banyo süreçleri sonrası numunelerin üzerinde kalan kimyasalların temizlenmesi amacıyla uygulanmıştır. DI durulama, YHP 1 prosesinde 0,5-6,5 bar, YHP 2 prosesinde ise prosesinde 0,2-7 bar basınç altında 180 saniye süre boyunca gerçekleştirilmiştir. YHP 1 için kromsuz kaplama prosesi olarak da adlandırılan Ti/Zr kaplama prosesine tabi tutuldu. İletkenlik 300 – 7300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH 0,8 – 6,2, 180 s boyunca, 0,4 – 6 bar sprej basıncı tabi tutulmuştur.

YHP 2 için kromsuz kaplama prosesi olarak da adlandırılan Ti/Zr kaplama prosesine tabi tutuldu. İletkenlik 100 – 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH 0,2 – 5,7, 1800 s boyunca, 0,2– 8 bar sprey basıncı tabi tutulmuştur. Kromsuz kaplama ile parça yüzeyine ince bir film tabakası oluşturmak amacıyla boyanın daha kolay yapışması için yapılan yüzey aşındırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Zr bazlı Polimer olması nedeniyle düşük sıcaklıkta pasivasyon banyo ajanı aktif hale gelmemektedir. Sıcaklık artması durumunda birim zamandaki kaplama kalınlığı artış göstermesiyle yüzeydeki tutunma artmaktadır, korozyon direncinde artış sağlamaktadır. Kaplama kalınlığı artışı ise doyma noktası sonrası polimerin ayrışmasıyla dökülme olarak reaksiyon göstermektedir. Sıcaklık artışı devamında ise pasivasyon banyo ajanı termal açıdan bozunarak kullanılabilirliğini yitirmektedir.

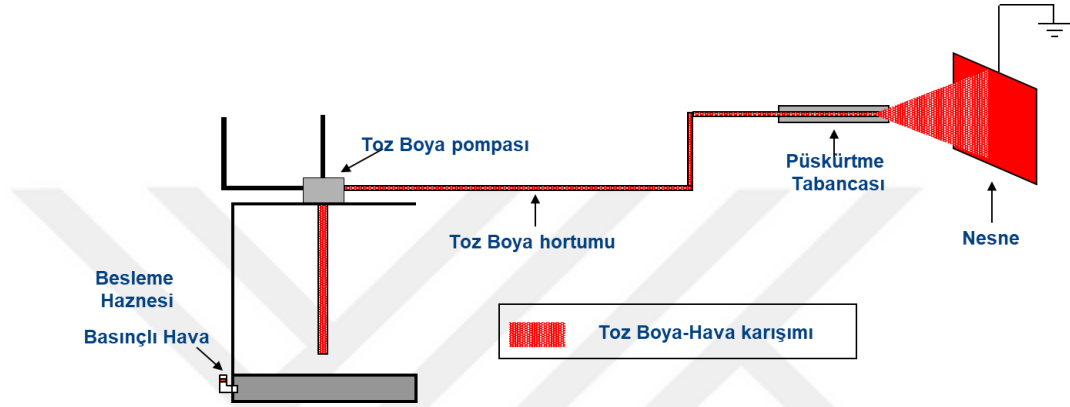
Kromsuz kaplama işlemi sonrasında DI durulama işlemi ile numune yüzeylerinin nötr hale gelmesi sağlanmıştır.

Kromsuz kaplama ve ardından uygulanan DI durulama işleminden sonra numunelere, numune yüzeyinde kaplama (boya) tutunma yüzeyinin artması ve daha pürüzsüz bir yüzeyin elde edilmesi amacıyla SAM kaplama işlemi uygulanmıştır. SAM işlemi ile yüzey ve kaplama arasında uyum ve moleküler düzeyde bağlanma gerçekleştirilmekte ve böylece numunelerin yapışma dayanımı ve korozyona karşı dirençlerinin iyileştirilmesi sağlanmaktadır. İşlem, Tablo 4.2'de görüldüğü gibi, 50 – 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik ve 1,5 – 6,5 pH değerlerinde, 0,3 -6 bar basınç ve 25 – 85 °C sıcaklık aralığında optimum parametre değerlerinde 180 saniye boyunca gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.2'de gösterilen yüzey hazırlama proseslerinin en sonunda, numune üzerinde su/nem kalması, boya yapışmaması ve diğer boya kusurları oluşumuna sebep olmasının önlenmesi amacıyla numunelere kurutma işlemi yapılmıştır. İşlem, kurutma fırınında 110°C sıcaklıkta 10-20 dk arasında gerçekleştirilmiş ve kurutma fırın sıcaklığının sabit değerde tutulması için Termograf ile kontrolü sağlanmıştır.

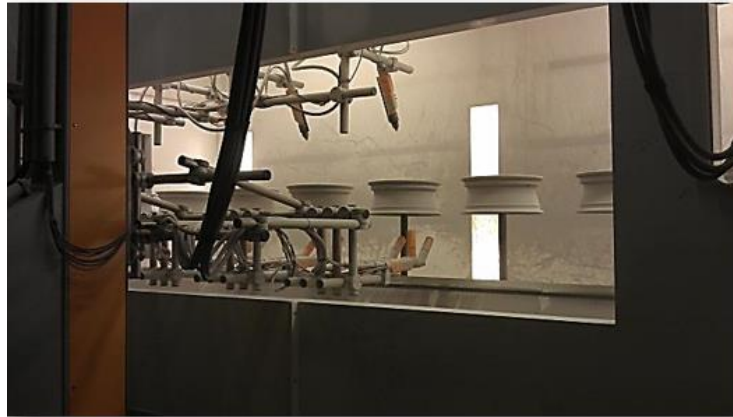
4.1.4. Boyama işlemi

Yüzey hazırlama proseslerine tabi tutulan numuneler kurutma fırını sonrası sırasıyla; toz boya, sıvı boya ve sıvı vernik işlemlerine tabi tutulmuştur. Toz boya prosesinde solvent içermeyen yüzey kaplama işlemi, elektronik toz boya tabancaları kullanılarak püskürtme yöntemi ile yapılmıştır. Toz boya püskürtme işleminin şematik gösterimi Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4 Toz boya püskürtme işleminin şematik gösterimi.

Toz boya uygulamasında konveyör topraklanırken boya negatif yüklenerek boyanın jant yüzeyine tutunması sağlanmaktadır. Jantlara uygulanan toz boya işlemi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu uygulamanın amacı, yüzey hazırlama operasyonunu tamamlayan dökülmüş A356 alaşımının korozyona karşı korunması ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmesidir.



Şekil 4.5 Toz boya uygulama prosesi.

Toz boya süreci sonrası numuneler toz boya kürlenme fırınlarından geçirilmiştir. Numunelerin 180°C sıcaklığa 10-20 dk. içinde ulaşması sağlanmıştır. Termograf kontrolü ile kürlenme için gerekli olan parametreler kontrol altına alınmıştır. Toz boya sonrası sıvı boya uygulamasına girecek olan numune jantların sıcaklığı ön ısıtma fırını ile ayarlanmıştır. HVLP (high volume low pressure) ve Evobell tabancaları ile sıvı boya ve sıvı vernik işlemleri yapılmıştır. Sıvı boya ve sıvı vernik uygulama işlemine ait görsel Şekil 4.6'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Sıvı boya ve sıvı vernik uygulaması.

İşlem parametreleri olarak; tabanca basınç parametreleri, sistem basıncı, boya viskozitesi, tabanca mesafesi ve açısı ürün kalitesini etkileyen ana etkenler sabit tutulmuştur. Kabin hava dengesi, egzoz fanları yardımıyla yukarıdan aşağı yönde hava akımı oluşturularak boyanın numune üzerinde tutunması sağlanmıştır.

4.2. Üretilen Jantların Karakterizasyonu

4.2.1. Kimyasal ve mikroyapı analizi

Numunelerin kimyasal analizleri için spektrometre, EDX ve XRD analizleri yapılırken, mikroyapı incelemeleri için optik mikroskop ve SEM ile analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir.

4.2.1.1. Spektrometre analizi

Numunelerin kimyasal analizleri Thermo ARL 3460 OE spektrometre cihazı (Şekil 4.7) kullanılarak ISO 3522:2007 (ISO, 2007) standardına göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7 Spektrometre analiz cihazı.

4.2.1.2. Optik mikroskop ile inceleme

Numunelerin mikroyapı incelemeleri Nikon marka MA 100 model optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için numuneler uygun kesim yöntemiyle kesilmiş, yüzeylerine zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmış ve optik mikroskop ile mikroyapı incelemesi için hazır hale getirilmişlerdir.

4.2.1.3. SEM ve EDX analizi

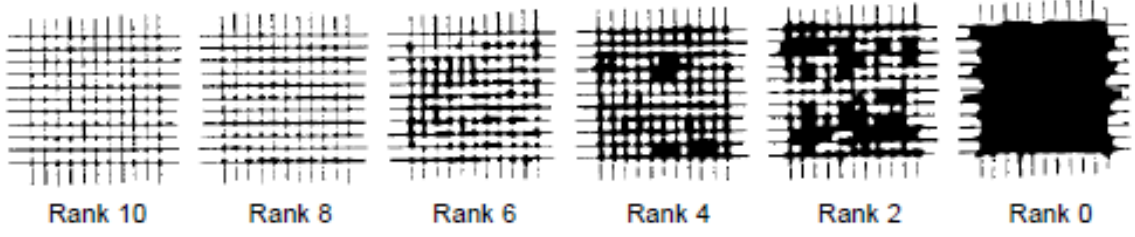
Numunelerin mikroyapı incelemeleri için optik mikroskop yanında SEM incelemeleri de yapılmıştır. SEM analizleri Carl Zeiss 300VP marka taramalı elektron mikroskobunda gerçekleştirilmiştir. SEM analizi sırasında numunelerin farklı bölgeleri için EDX analizi yapılmıştır.

4.2.1.4. XRD analizi

Numunelerin faz analizleri X-ışınları Kırınımı Difraktometresi yardımıyla (XRD/Rigaku D/Max-2200/PC) yapılmıştır. X-ışını difraksiyon çalışmaları Cu-K α ($\lambda=1,5406$ Å) ışınması, 4°/dk. tarama hızı ve 1,44 kW güç kullanılarak yürütülmüştür. Tarama aralığı 3-90° olarak ayarlanmıştır.

4.2.2. Uygulanan testler

Jant yüzeylerine uygulanan yüzey hazırlama ve kaplama işlemlerinin, kaplamaların yüzeye tutunma kabiliyetleri (adezyon) ve korozyon dirençleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için numunelere boya filmi sertlik, yapışma taş darbe tuzlu su, filiform, kimyasal dayanım, sıcak suya daldırma ve termal çevrim testleri uygulanmıştır.



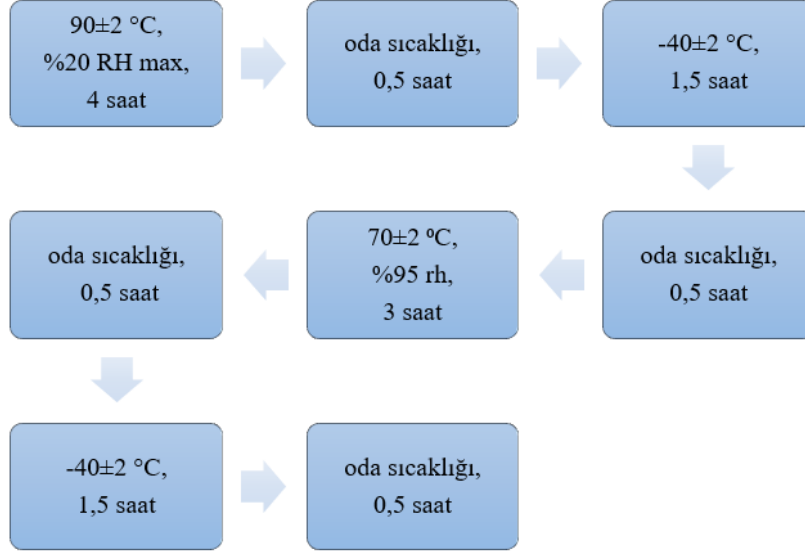
Şekil 4.10 Kalan boya filmlerine ait örneklemeler (ASTM, 2009).

4.2.2.2. Sıcak suya daldırma testi

Sıcak suya daldırma testinde, numuneler 60 °C sıcaklığındaki suya daldırılarak 72 saat bekletildikten sonraki yüzey görünüşleri incelenmiştir. Yüzeylerde pürüzleşme, ayrışma ve harenme olup olmadığı gözlemlenmiştir. Sıcak suya daldırma testi uygulanmış numuneler daha sonrasında 24 saat bekletilmiş ve yapışma (2 mm bıçak aralığı olan) testine tabi tutulmuşlardır. (Bkz. 4.2.4. Yapışma Testi) Sıcak suya daldırma testi ASTM D3359-17 (ASTM, 2009) standardına uygun olarak yapılmıştır.

4.2.2.3. Termal çevrim testi

Termal çevrim testleri, Nissan NES M0007,46 (Specification, n.d.) ve ASTM D3359-17 (ASTM, 2009) standartlarına göre yapılmıştır. Test parametreleri ve değerleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Her bir numuneye iki kez termal çevrim uygulanarak yapışma testleri gerçekleştirilmiştir (Bkz. 4.2.4. Yapışma Testi).



Şekil 4.11 Termal çevrim testinde uygulanan parametreler ve değerleri.

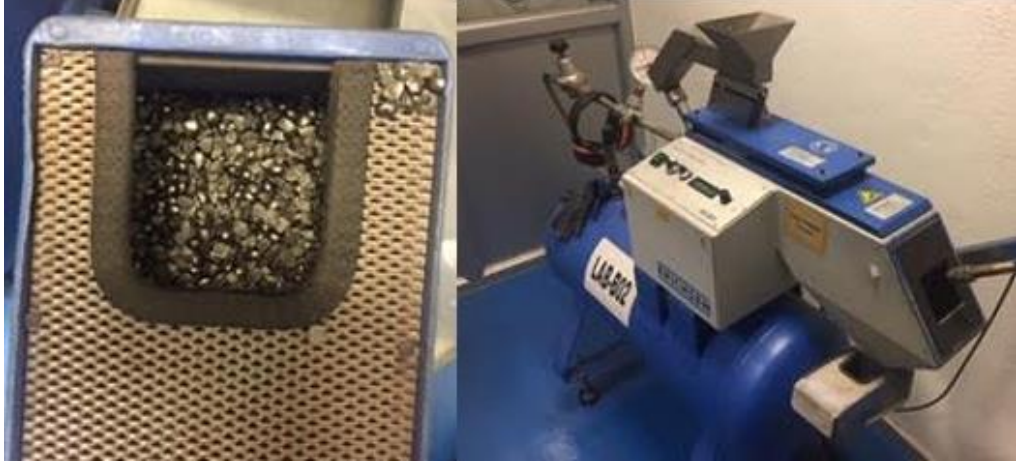
4.2.2.4. Taş darbe testi

Jant yüzeylerine uygulanan kaplamaların yüzeye tutunma kabiliyetlerinin (adezyon) belirlenmesi amacıyla numunelere testi DIN EN ISO 20567-1 (Tablo 4.3) (ISO, n.d.) standardı C metoduna uygun olarak taş darbe testi uygulanmıştır.

Tablo 4.3 DIN EN ISO 20567-1 standardı test metotları ve parametreleri(ISO, 2007).

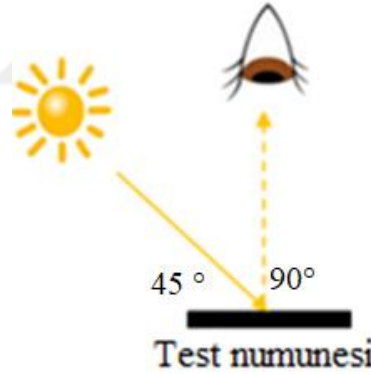
| Metot | Basınç (kPa ^a) | Kum Kütlesi (g) | Kuma maruz kaldığı süre (s) |
|----------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------|
| A | 100 ± 5 | 2 x 500 ⁺²⁰ ₀ | 2 x (10 ± 2) |
| B | 200 ± 10 | 2 x 500 ⁺²⁰ ₀ | 2 x (10 ± 2) |
| C | 200 ± 10 | 1 x 500 ⁺²⁰ ₀ | 10 ± 2 |
| | Ardından, örneğin korozyon veya hava koşullarına maruz kalma, sonrasında | | |
| | 200 ± 10 | 1 x 500 ⁺²⁰ ₀ | 10 ± 2 |
| ^a 100kPa = 1bar | | | |

Test; 2,0 ± 0,1 bar uygulama basıncında 500 ± 10 gr kırılmış çelik bilyenin 10 ± 1 saniye boyunca numune yüzeyine iki kez uygulanması biçiminde gerçekleştirilmiştir. Test için Erichsen VDA 508 test cihazı ve 4,5 ± 0,5 mm kırılmış çelik bilye kullanılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Kırılmış çelik bilyeler, Erichsen VDA 508 test cihazı.

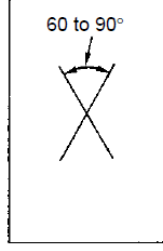
Taş darbe uygulaması sonrası test yüzeyine yapışma test bandı yapıştırılmış ve hızla çekilmiştir. Amaç test sonrasında yüzeyde kalan boya parçalarını temizlemektir. Daha sonrasında, 45°'lik gün ışığında 90° açıdan görsel olarak numune yüzeylerine bakılarak değerlendirme yapılmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Görsel kontrol şematik gösterimi.

4.2.2.5. Tuzlu sis testi

Korozyon dirençlerinin belirlenmesi amacıyla numunelere NES M0140 (N. D. Specification, n.d.-a) standardına göre tuzlu sis testi uygulanmıştır. Tuzlu sis testinde küttelece 5 ± 1 NaCl tuz çözeltisi kullanılmıştır. Tuzlu sis kabin içi sıcaklığı 35 ± 1 °C ayarlanmıştır. Numune yüzeyine teste girmeden Olfa P-450 bıçakla alttaki metale ulaşacak şekilde (Şekil 4.14), 60 derecelik açı ile çapraz çizgi çizilmiştir.



Şekil 4.14 Olfa P-450 bıçakla çapraz çizgilerinin yapılışı.

Numune cihaza test yüzeyi yukarı bakacak şekilde, sisin test yüzeyine düzgün bir şekilde uygulama yapabilmesi için, numune spreysis akış yönlerine paralel ve dikey ile 15° açı yapacak şekilde yatay konumlandırılmıştır. Test süresi ise 1200 saat olarak gerçekleştirilmiştir.

4.2.2.6. Filiform testi

Korozyon dirençlerinin belirlenmesi için bir başka test yöntemi olan filiform korozyon testi numunelere NES M0158 (N. D. Specification, n.d.-b) standardına uygun şekilde uygulanmıştır. Test öncesinde, numune yüzeyinin merkezine Olfa P-450 bıçakla alttaki metale ulaşacak şekilde düz çizgi atılmıştır. Olfa P-450 test bıçağı ve bıçağın numunede bıraktığı iz Şekil 4.15’de gösterilmiştir.

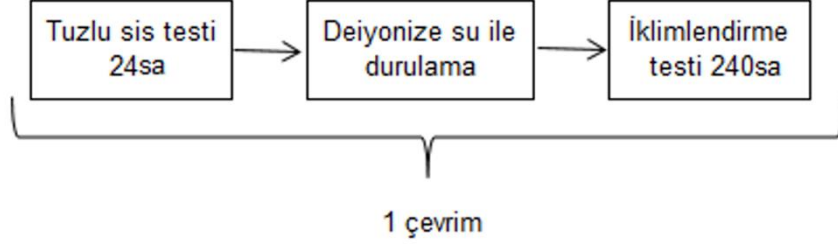


Şekil 4.15 Olfa P-450 test bıçağı ve bıçağın numunede bıraktığı iz (N. D. Specification, n.d.-b).

Numunelere uygulanan filiform testi parametreleri Tablo 4.4’te, aşamaları ise Şekil 4.16’de gösterilmiştir

Tablo 4.4 Numunelere uygulanan filiform test koşulu.

| | |
|-----------------------|--|
| Tuzlu Sis Süresi | 24 saat |
| Nemlendirme Koşulları | 40°C , %80-85 RH, 240 saat |



Şekil 4.16 Test aşamaları.

Numune cihaza test yüzeyi yukarı bakacak şekilde, sisin test yüzeyine düzgün bir şekilde uygulama yapabilmesi için, numune sprej sis akış yönlerine paralel ve dikey ile 15° açı yapacak şekilde yatay konumlandırılmıştır. Numunelere filiform testi 3 çevrim olarak uygulanmıştır.

4.2.2.7. Kimyasal dayanım testi

NES M0007 (Nissan, n.d.) standardına göre korozyon direncinin belirlenmesi için kütlece %10 sülfürik asit ve %5 sodyum hidroksit kullanılarak kimyasal dayanım testi gerçekleştirilmiştir. Her bir kimyasal çözeltilerden numune yüzeyine 0,2 ml damlatılmış, 4 saat bekletilme işleminden sonra temizleme işlemi uygulanmış ve numune yüzeylerinde renk değişimi, kabarcık oluşumu veya lekeler olup olmadığı değerlendirilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Spektrometre Analizi

Yüzey hazırlama prosesi 1 (YHP-1) ve yüzey hazırlama prosesi 2 (YHP-2) işlemlerinin uygulanacağı AlSi7Mg alüminyum alaşımı malzemelerin spektrometrik analizi Tablo 5.1’de verilmiştir. Optimize edilmiş olan 2 farklı yüzey hazırlama banyo süreci numunelerinin metal alaşımlarındaki kimyasal bileşimlerinin yakın olması, malzeme özelliklerinin benzer olduğunu ve dolayısıyla aynı proses koşuluna tabi tutulduğunu desteklemektedir.

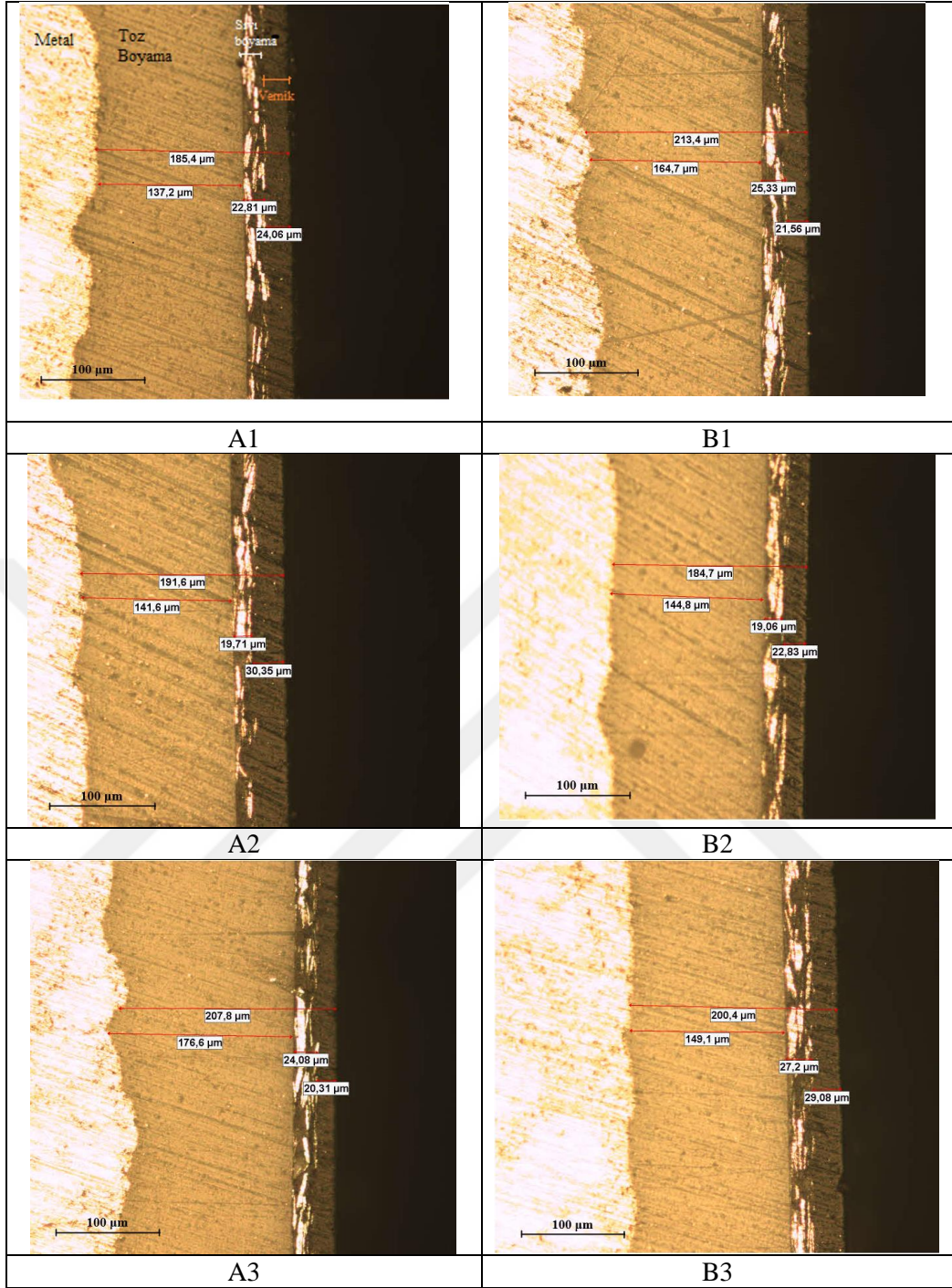
Tablo 5.1 Optimize edilmiş yüzey hazırlama banyo 1 ve 2 süreçlerine tabi tutulmuş numunelerin spektrometre analiz sonuçları.

| Numune | Si | Fe | Mg | Cu | Zn | Mn | Ti | Al |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| YHP 1 | 7,136± | 0,107± | 0,260± | 0,001± | 0,002± | 0,004± | 0,107± | 92,340± |
| | 0,192 | 0,006 | 0,010 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,006 | 0,204 |
| YHP 2 | 7,242± | 0,077± | 0,255± | 0,002± | 0,002± | 0,004± | 0,108± | 92,250± |
| | 0,129 | 0,059 | 0,005 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,004 | 0,132 |

5.2. Optik Mikroskop ile İnceleme

YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numunelere ait optik mikroyapı görüntüleri Şekil 5.1’de verilmektedir. Numunelere ait kesit görüntüleri incelendiğinde, belirli kalınlıklara sahip boya ve vernik katmanları açıkça görülmektedir. Bu katmanların kalınlıkları; boyama prosesi tabanca duruş açısı, pozisyonu, kabin basıncı, numunelerin bulunduğu spindel olarak tanımlanan askıların birbirine göre yükseklikleri, dönüş hızları ve yüzey hazırlama durumu gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

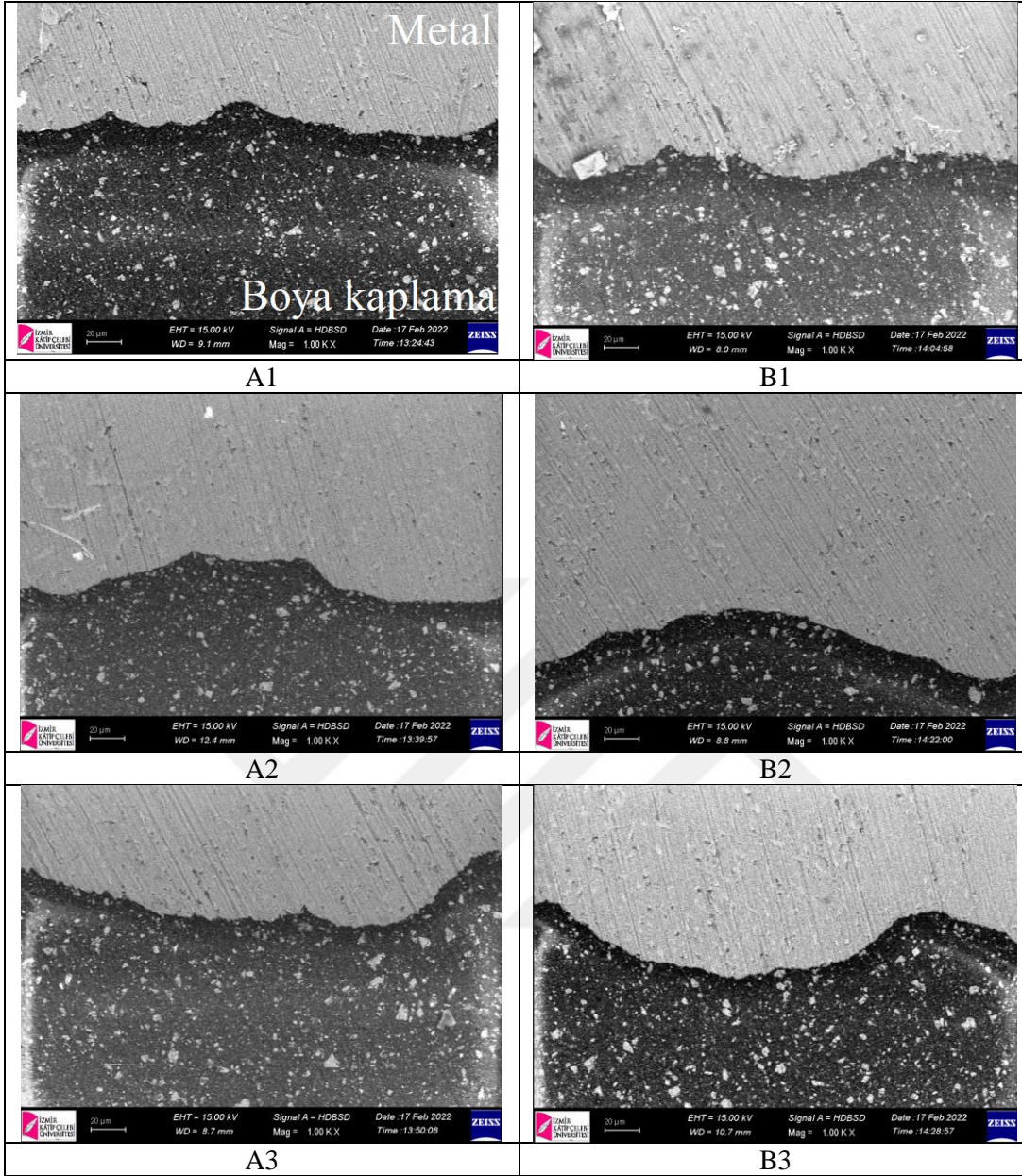
Şekil 5.1’de görüldüğü gibi, numuneler birbirleriyle karşılaştırıldığında, birbirlerine oldukça yakın katman kalınlıkları elde edilebilmiştir. Bu durum, taş darbe testi gibi testlerde yüzey hazırlama proseslerinin etkilerinin daha doğru incelenebilmesi için, boya kalınlığındaki farklılıklar gibi sonuçlar üzerinde etkili olabilecek diğer faktörlerin minimize edilebilmiş olması açısından önemlidir. Bununla birlikte, boya katmanı ile esas metal (AlSi7Mg) arasında bağlanmayı (tutunmayı) sağlayan ve yüzey hazırlama prosesi sırasında uygulanan kromsuz kaplama ve SAM kaplama, uygulama kalınlıklarının düşük olması ve ayrıca metal yüzeyi ile kaplama ve kaplama ile toz arasındaki tutunmayı sağlayan ajanların (bileşenlerin) kimyasal etkileşimlere girmelerinden dolayı, optik incelemelerde gözlemlenememiştir.



Şekil 5.1 YHP-1 uygulanmış A1, A2 ve A3 ve YHP-2 uygulanmış B1, B2 ve B3 numunelerin kesitlerine ait optik mikroyapı görüntüleri.

5.3. SEM ve EDX Analizi

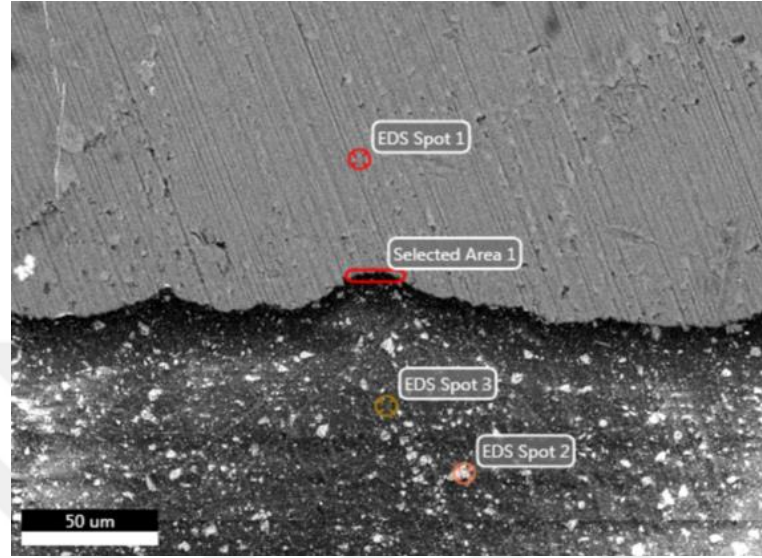
YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numunelerin kesitlerine ait SEM analiz görüntüleri Şekil 5.2' de gösterilmiştir.



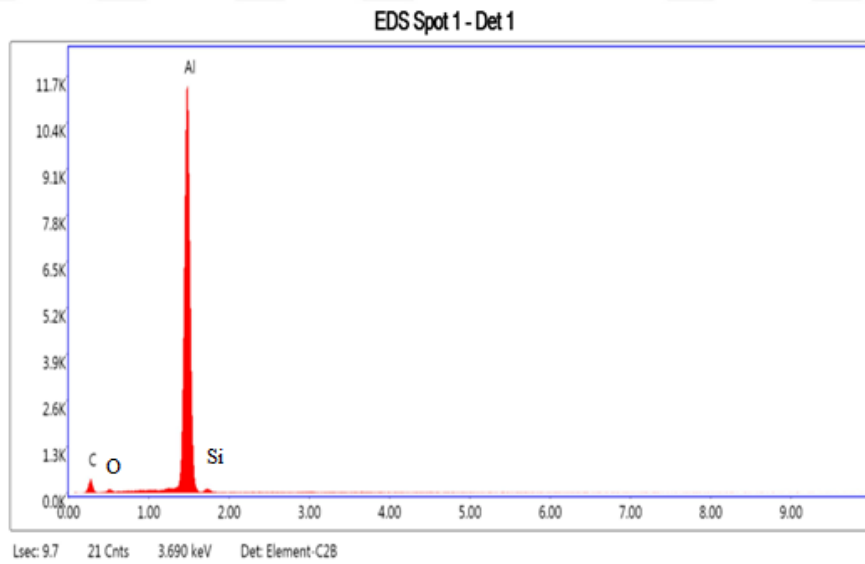
Şekil 5.2 YHP-1 uygulanmış A1, A2 ve A3 ve YHP-2 uygulanmış B1, B2 ve B3 numunelerin kesitlerine ait SEM görüntüleri.

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, boya kaplama ve metal arasındaki yüzey kaplama prosesinin etkileşimleri gözlemlenememiş, bu nedenle, numunelere EDS analizi yapılmış ve numunelerin farklı bölgelerinden yapılan EDS analizlerinin kendi içinde benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Şekil 5.3' de numunelerde EDS analizinin uygulandığı noktalar ve alanlar gösterilmiştir. Esas metale (AlSi7Mg) ait EDS analizi Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Boya kaplama ve metal birleşme bölgesine ait EDS analizi Şekil 5.5'de verilirken, boya kaplama uygulanmış kesit yüzeyine ait EDS analizleri ise Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Metal yüzeyi ve boyalı alanın birleşme bölgesi için yapılan analizde AlSi7Mg alaşımı, Ti kaplama ve oksit

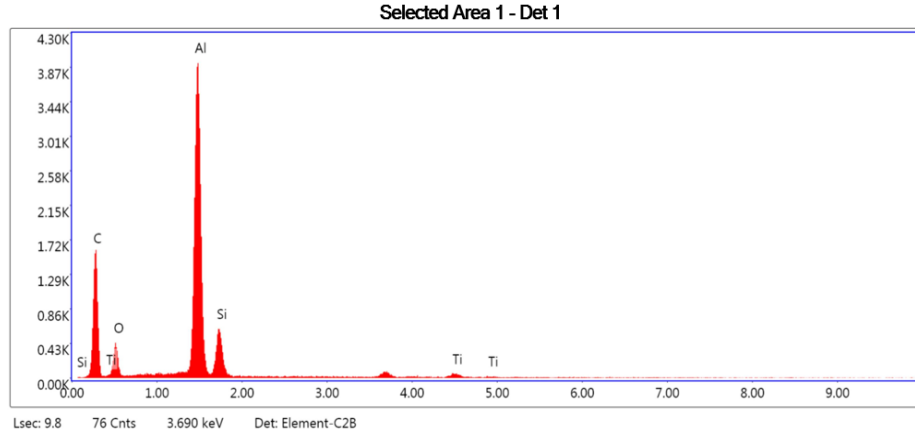
kaynaklı etkiler gözlemlenmiştir (Şekil 5.5). Bununla birlikte, diğer EDS analizleri de incelendiğinde, bazı numunelerde yüksek miktarda karbon (C) ve kalsiyum (Ca) elementinin saptandığı görülmektedir. Bu durumun, kaplama içeriği ile birlikte uygulanan proseslerde kullanılan kimyasallar ve bazı dış kontaminasyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



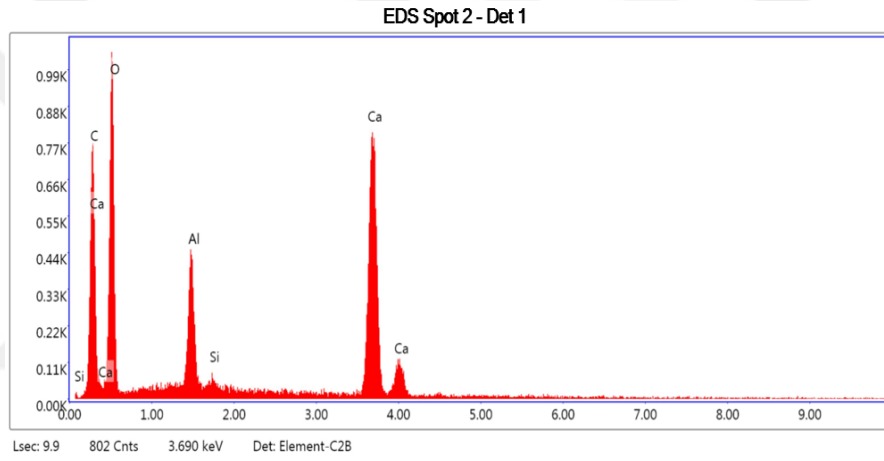
Şekil 5.3 Yüzey hazırlama prosesi uygulanmış numune kesiti SEM görüntüsü.



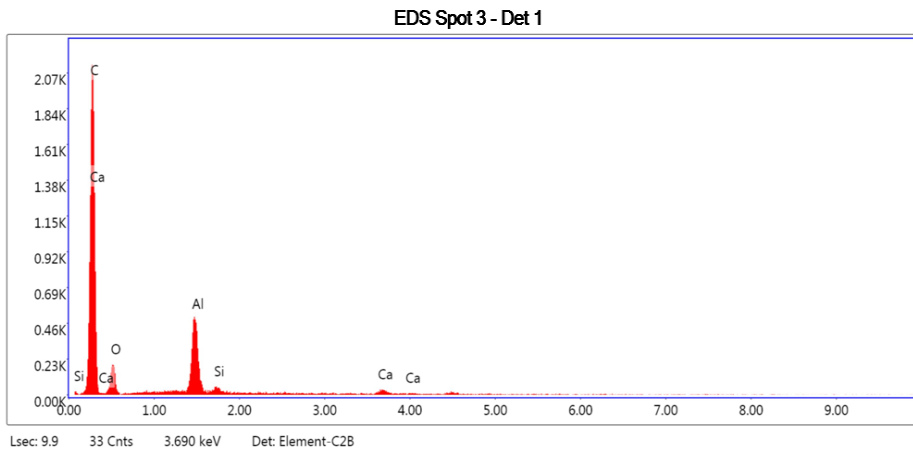
Şekil 5.4 Esas metal (AlSi7Mg) kesitine ait EDS analizi (spot 1).



Şekil 5.5 Boya kaplama ve metal birleşme bölgesi kesitine ait EDS analizi (selected area 1).



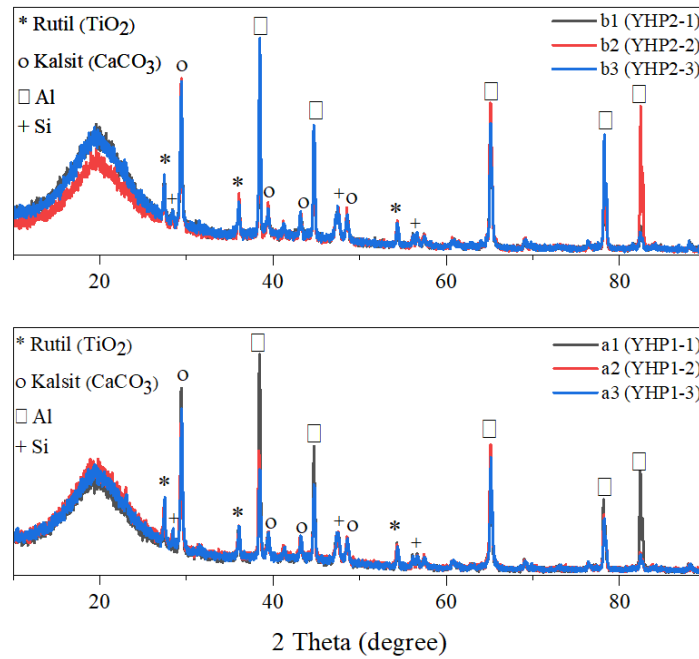
Şekil 5.6 Boya kaplama uygulanmış kesit yüzeyine ait EDS analizi (spot 2).



Şekil 5.7 Boya kaplama uygulanmış kesit yüzeyine ait EDS analizi (spot 3).

5.4. XRD Analizi

XRD analiz sonuçları incelendiğinde Şekil 5.8’de görüldüğü gibi YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numuneler için benzer sonuçlar elde edilmiştir. 2θ değerlerinde belirgin olan piklerin $38,5^\circ$, $27,8^\circ$, $29,5^\circ$ ve $27,9^\circ$ ’de sırasıyla Al, Si, CaCO_3 ve TiO_2 olduğu değerlendirilmektedir. Yapılan XRD analizlerinde saptanan Al ve Si piklerinin AlSi7Mg alaşımına ait olduğu, TiO_2 ’nin yüzey hazırlama prosesinde uygulanan Ti/Zr kaplama işlemi sırasında oluştuğu ve CaCO_3 ’ün boya kaplamasına ait olduğu düşünülmektedir.

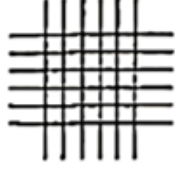
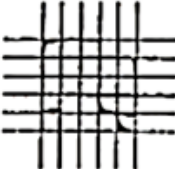
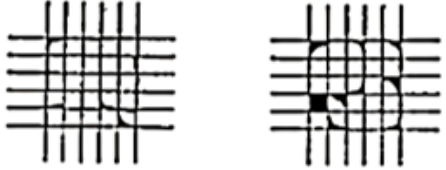

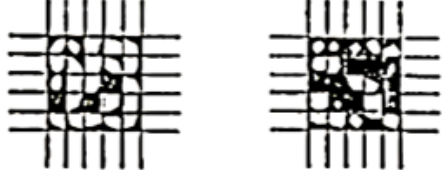
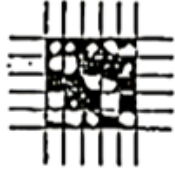


Şekil 5.8 YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numunelere ait XRD analizleri.

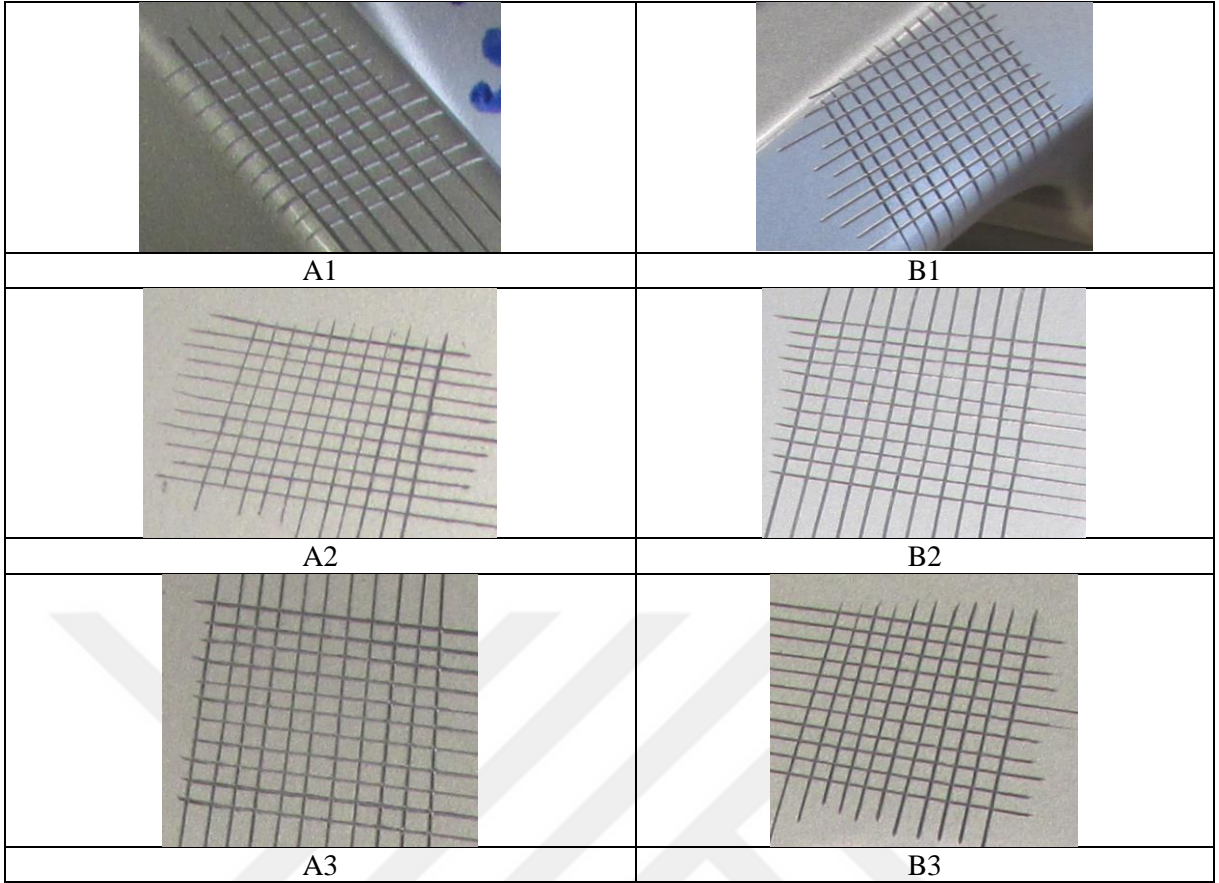
5.5. Yapışma Testi

YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numune yüzeylerindeki kaplamaların yüzeye tutunma kabiliyetlerinin belirlenmesi amacıyla yapışma testi uygulanan numunelerin değerlendirilmesi ASTM D3359 (ASTM, 2009) standardına göre yapılmıştır (Şekil 5.9). Şekil 5.10’da görüldüğü gibi, YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numune yüzeylerinde herhangi bir parça (tabaka vd.) ayrılması (kalkması) meydana gelmemiştir. Yapışma testi sonuçlarına göre, ASTM D3359 standardına göre Şekil 5.9’daki kriterler değerlendirildiğinde, numune yüzeylerinde herhangi bir parça ayrılması gözlemlenmediğinden, YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numunelerin 5B sınıfı kategorisinde yer alması, YHP-1 ve YHP-2 uygulamalarının

numune yüzeylerindeki kaplamaların yüzeye tutunma kabiliyetleri üzerinde olumlu etkisi olduğunu göstermiştir.

| YAPIŞMA TEST SONUÇLARININ SINIFLANDIRILMASI | | |
|---|---------------------|--|
| SINIFLANDIRMA | KALDIRILAN ALAN (%) | ALTI PARALEL VE YÜZDE OLARAK YAPIŞMA ARALIĞI İÇİN PULLANMANIN MEYDANA GELDİĞİ ÇAPRAZ KESİM ALANININ YÜZEYİ |
| 5B | %0 Hiç |  |
| 4B | %5'ten az |  |
| 3B | %5-15 |  |
| 2B | %15-35 |  |
| 1B | %35-65 |  |
| 0B | %65'ten fazla |  |

Şekil 5.9 ASTM D3359 standart, yapışma testi sınıflandırılması (ASTM, 2009).



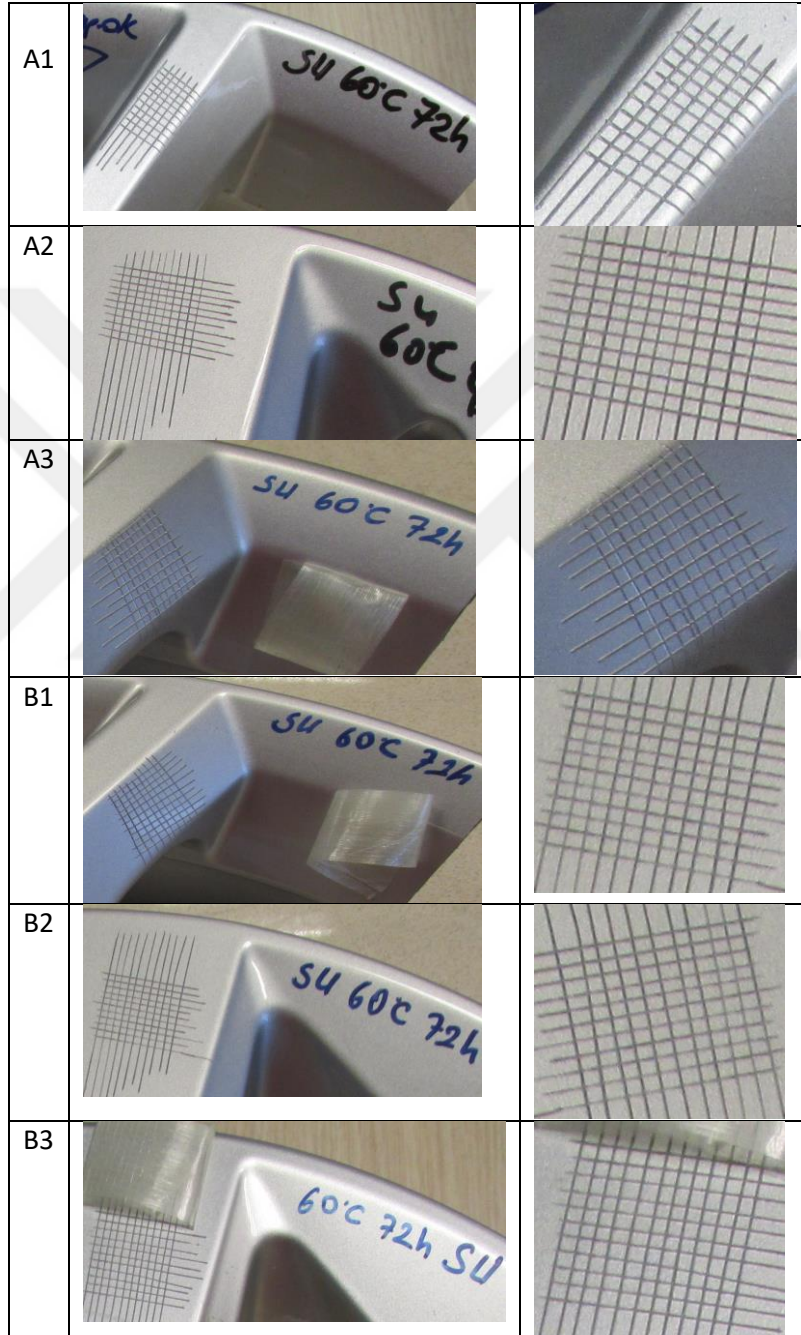
Şekil 5.10 YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan yapışma testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller.

YHP-1 ve YHP-2 uygulanan numuneler için aynı test sonuçları ile karşılaştırılması, yüzey hazırlama prosesi adımlarında kromsuz kaplama ve SAM kaplama gibi farklı proses katman uygulamalarının birbiri ile etkileşimin iyi olduğu ve boya filmi ile de yapışma kararlılığına sahip olduğunu göstermiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, çok sayıda arayüzeyin ve ara fazın oluşumu ve rolü hesaba katıldığında, birleştirme ajanları ve dönüştürme kaplamaları gibi bazı ara fazların eklenmesi ile uygulanan proses kimyasalında tabakaların (kaplamaların) tutunma kabiliyetlerinin iyileşmesine katkıda bulunduğu değerlendirilmektedir (Dickie, 1994).

5.6. Sıcak Suyu Daldırma Testi

Sıcak suya daldırma testi uygulanmış numunelerin yüzey durumları Şekil 5.11 'de gösterilmiştir. YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış olan numunelerin sıcak suya daldırma testi sonrası parça görünüşleri incelendiğinde, sıcak suyun neden olabileceği boya katmanı (kaplama) ile yüzey arasında bir ayrılma meydana gelmemiştir. YHP-1 uygulanan numunelerin bazılarının kesik kenarlarının bazı bölgelerinde pürüzlülük gözlemlenirken, diğer numunelerde pürüzlülük

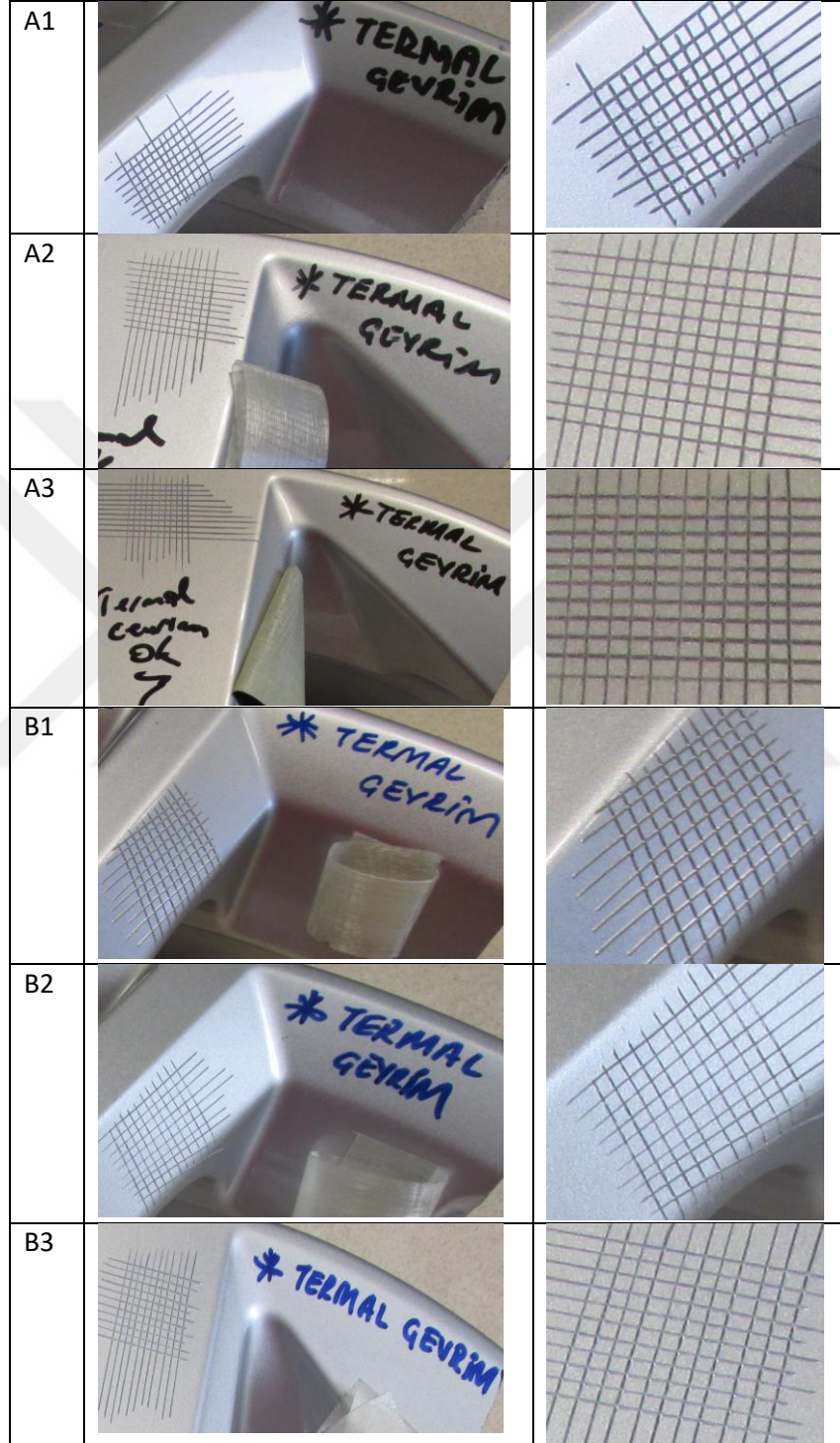
tespit edilmemiştir. Numune yüzeylerinde herhangi bir parça ayrılması gözlemlenmediğinden, ASTM D3359 (ASTM, 2009) standardına göre sınıflandırma yapıldığında, YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numuneler 5B sınıfı olarak değerlendirilmiş ve bu sonuçlar, YHP-1 ve YHP-2 uygulamasının, sıcaklığın yüksek olduğu koşullarda da tabakaların (kaplamaların) tutunma kabiliyetlerinin iyi olması üzerinde etkili olduklarını göstermiştir.



Şekil 5.11 YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan sıcak suya daldırma testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller.

5.7. Termal Çevrim Testi

Termal çevrim testine tabi tutulmuş numunelerin yüzeyleri Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

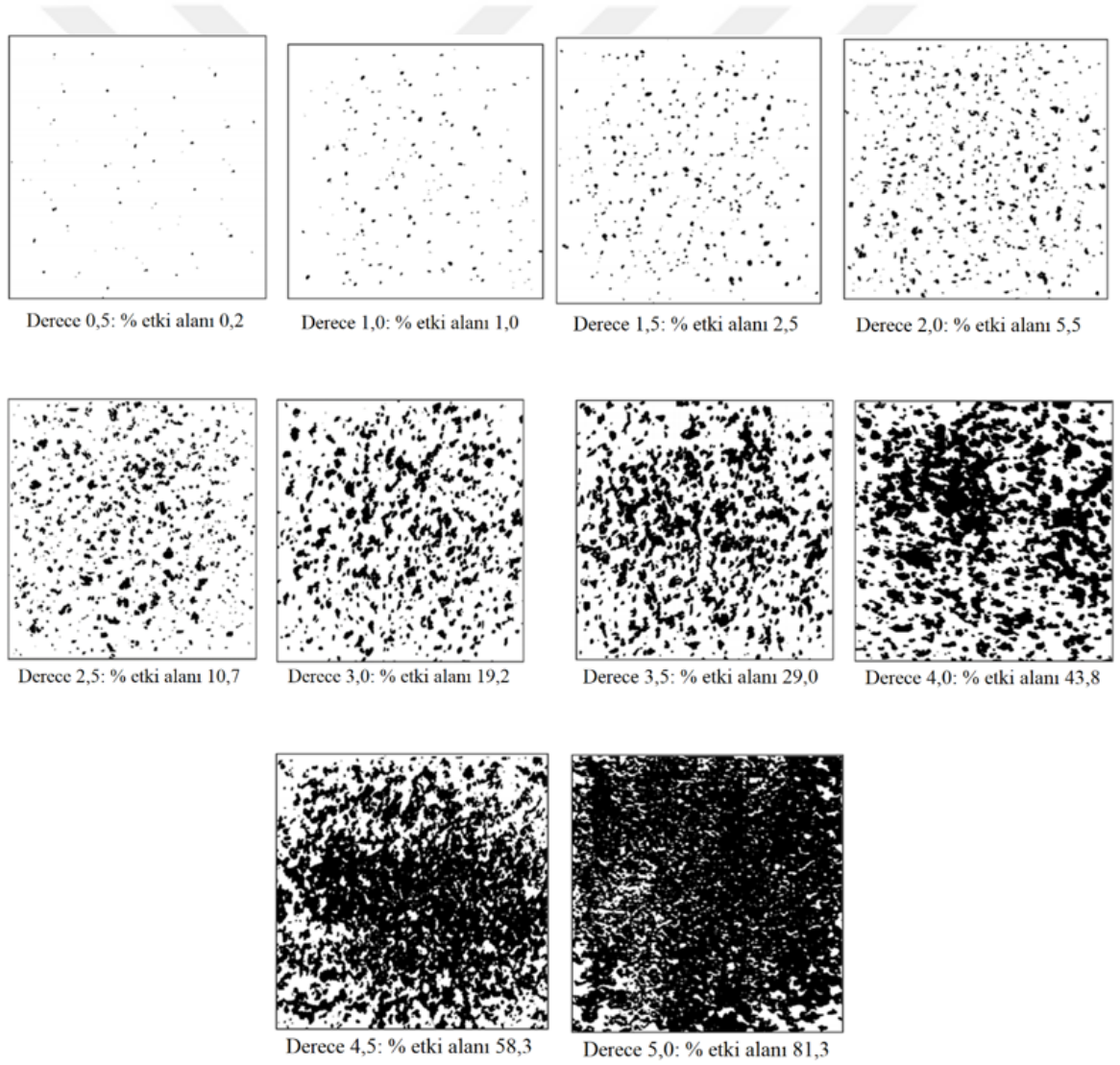


Şekil 5.12 YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan termal çevrim testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller.

Optimize edilmiş yüzey hazırlama prosesleri uygulanmış olan numunelerin termal çevrim testi sonrası yüzey görünümleri incelendiğinde, boya katmanı ile yüzey arasında herhangi bir ayrılma gözlemlenmemiştir. YHP-1 uygulanmış numunelerden birinde (A1) kesik kenarlarının bazı bölgelerinde pürüzlülük oluşurken, diğer numunelerde (A2, A3) pürüzlülük tespit edilmemiştir.

5.8. Taş Darbe Testi

Taş darbe testi uygulanmış numunelerin yüzey durumları, DIN EN ISO 20567-1 (ISO, n.d.) standardına göre Şekil 5.13'de görülen kriterlere göre değerlendirilmiş ve test sonrası numune yüzeylerinin durumu Şekil 5.14'de verilmiştir.



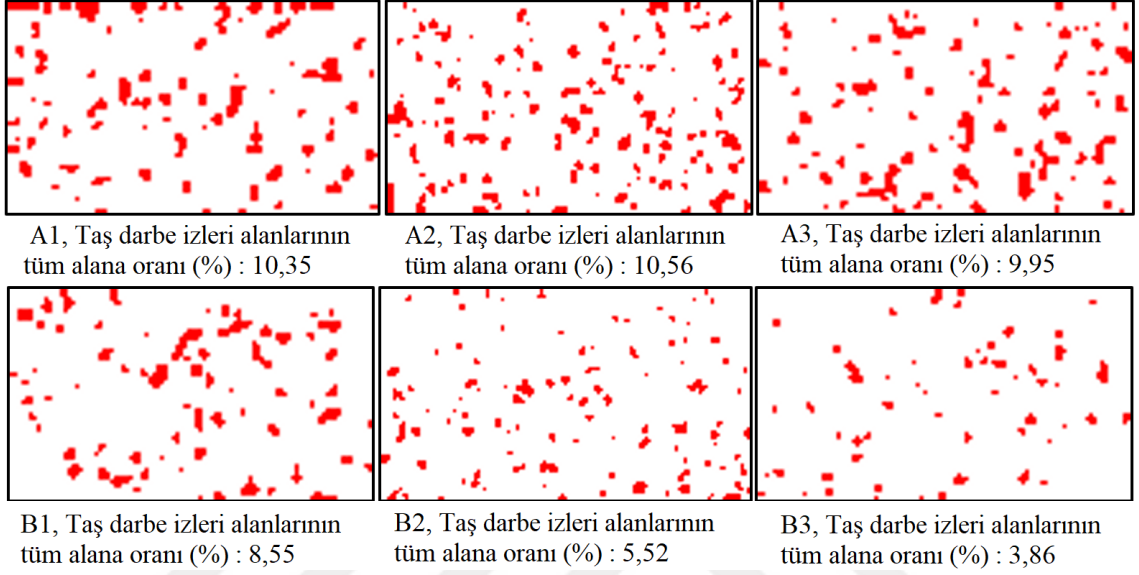
Şekil 5.13 DIN EN ISO 20567-1 (ISO, 2007) standardına göre taş izlerinin görsel derece ve % etki alanı olarak değerlendirilmesi.

Optimize edilmiş yüzey hazırlama prosesi 1 numuneleri ele alındığında numune A1 için derece 1,5; numune A2 için derece 2,0 ve numune A3 için ise derece değeri 2,0 olduğu, optimize edilmiş yüzey hazırlama prosesi 2 numuneleri için ise; numune B1 için derece 1,5; numune B2 için derece 1,0; numune B3 için derece 0,5 olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 5.14 YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan taş darbe testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller.

Şekil 5.14 'deki numune görüntülerinden görsel olarak DIN EN ISO 20567-1 (ISO, n.d.) standardına göre yapılan değerlendirmeleri doğrulamak amacıyla ImageJ programı ile Şekil 5.14 'deki görsellerden faydalanılarak Şekil 5.15'de görülen görüntü analizi yapılmıştır. Görüntü analizinin değerlendirilmesi, izlerin oluşturduğu tüm alanın görselinin bütün alanına bölünmesi şeklinde yapılmış ve böylece etki alanları hesaplanmış ve derece tayini yapılmıştır.

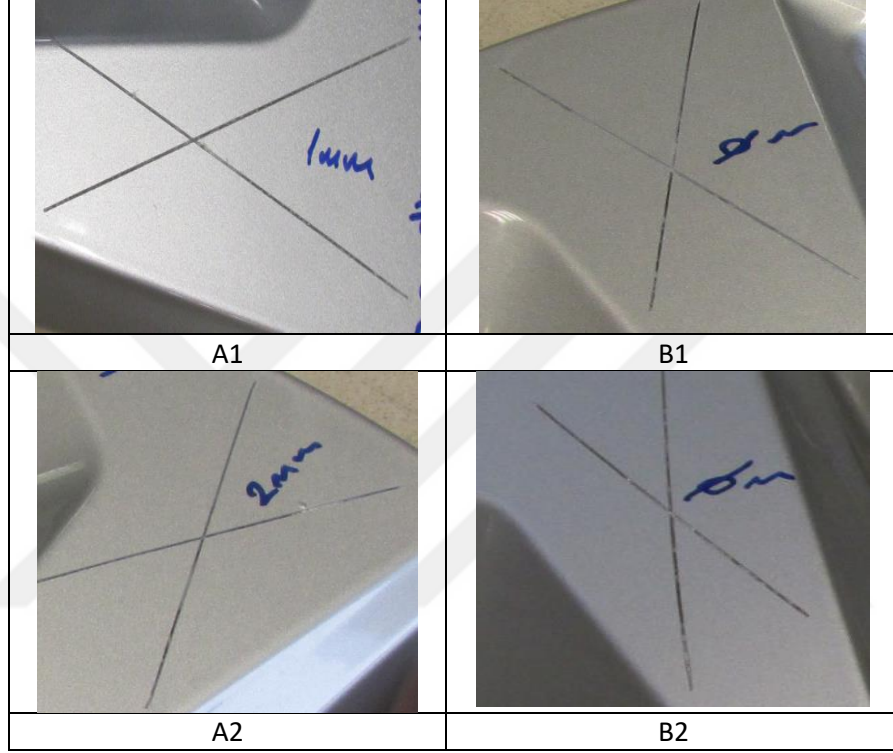


Şekil 5.15 Taş darbe izlerinin etkilerinin Image J programı ile analizi.

Taş darbe testi ve Image J görüntü analizlerinde, YHP-1 uygulanmış numune yüzeylerinde etki alanı $10,29 \pm 0,31$ mm ve YHP-2 uygulanmış numune yüzeylerinde ise $5,98 \pm 2,38$ mm olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre, YHP-2 prosesi uygulanmış numunelerin, YHP-1 prosesi uygulanmış numunelere göre daha yüksek darbe direncine sahip olduğu ve elde edilen bu sonuca YHP-2 uygulamasında kullanılan SAM kaplamasının katkıda bulunduğu düşünülmektedir. SAM kaplama prosesi (kendiliğinden birleşen moleküllerin) iki işlevli reaktif özelliğe sahip olması nedeniyle hem metal hem de boya ile reaksiyona girerek boya tutunmasını desteklemektedir (Lonyuk et al., 2008). Bu özellik sayesinde, YHP-2 prosesinde SAM kaplamasının, metal ve boya yüzeyi arasında daha iyi bir tutunmanın (adezyonun) sağlanmasına katkıda bulunduğu değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, YHP-2 prosesine tabi tutulan numunelerin daha yüksek taş darbe direncine sahip olmalarının bir diğer sebebi olarak ise SAM prosesi sonrası yüzeyin daha sünek hale gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Lee and Kim, 2016).

5.9. Tuzlu Sis Testi

NES M0140 (N. D. Specification, n.d.-a) standardına göre, numunelere uygulanan tuzlu sis testinde, numune yüzeylerinde oluşturulan çizimin uzunluğu boyunca korozyonun ilerleme miktarı, korozyon direncinin bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir. Tuzlu sis testi uygulanmış numune yüzeylerinde oluşan korozyon ölçüm görselleri Şekil 5.16'de gösterilmiştir.



Şekil 5.16 YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan tuzlu sis testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller.

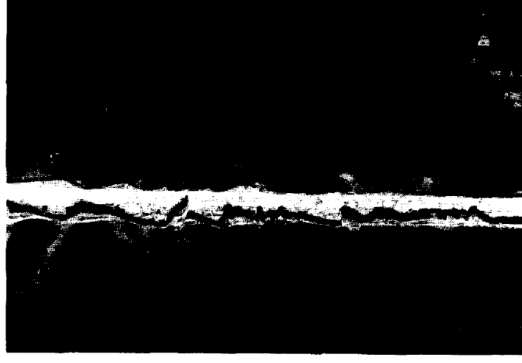
Uygulanan tuzlu sis testi sonrasında, YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numunelerde ortalama korozyon uzaması (ilerleme miktarı) sırasıyla $1,00 \pm 1,00$ mm ve $0,33 \pm 0,58$ olarak gerçekleşmiştir. Numuneler arasında, maksimum korozyon uzunluğunun YHP-1 uygulanan A2 numunesinde 2,00 mm olduğu gözlemlenmiştir. YHP-2 uygulanmış B1 ve B2 numunelerinde ise korozyon ilerlemesi meydana gelmemiştir. Bu sonuçlar, YHP-2 işleminde uygulanan SAM kaplamanın, YHP-1 prosesinde uygulanan kromsuz kaplamaya göre korozyon direnci üzerinde daha etkili olduğunu ve korozyon dayanımını daha fazla iyileştirdiğini göstermektedir. Bu durum, SAM kaplamanın yüzeyler arasında özel sıralı yapılar oluşturma davranışıyla ilişkilendirilebilmektedir (Freire et al., 2003; Schreiber, 2000b). SAM (kendiliğinden bileşen moleküller) molekülleri, benzer koşullarda davranış sergileyerek alt tabaka yüzeyinde

toplanması nedeni ile de malzemenin korozyona karşı korunmasını sağlayan homojen bir tabaka oluşumu sağlamaktadır (Aramaki and Shimura, 2004; Hintze and Calle, 2006; Reis et al., 2006; Trueba and Trasatti, 2009).

SAM'lar iki işlevli reaktiflerdir ve hem altlık hem de boya ile reaksiyona girerek boya yapışmasını destekler. Moleküllerin bir ucundaki fonksiyonel grup, alüminyum oksit/hidroksit tabakası ile gerekli reaktiviteyi sağlar (Nozawa et al., 1997; Katsuhisa et al., 1999). SAM molekülleri neredeyse dik bir formasyonda toplanır ve bir oksit tabakasının daha fazla büyümesini başarıyla engelleyen su itici, mono moleküler bir film oluşturur. Molekülün diğer ucundaki fonksiyonel grup, boya tabakası ile kalıcı bir bağ oluşturmak için reaksiyona girer. Tek tabaka tamamlandığında film oluşturma reaksiyonu durur (Smith et al., 2004). Yüksek afinite düzeyine sahip bir molekül-altlık etkileşimi, atomların ve moleküllerin bir yüzey üzerinde kendiliğinden düzenli diziler halinde düzenlenmesidir. Özellikle, bir geçiş metalinin yüzeyinde adsorbe edilen yüzey aktif madde moleküllerinin kendiliğinden organizasyonu (kendi kendine birleşme), yüzeylerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini değiştirme yeteneğinden dolayı korozyon için iyi korunma sağlayarak numunelerde iyi sonuç vermiştir (Whitesides and Grzybowski, 2002). Bu çalışmada ise, YHP-2 prosesinde uygulanan SAM kaplaması sayesinde, numunelerin yüzeylerinin korozyon dirençlerinin artmasına katkıda bulunduğu değerlendirilmektedir.

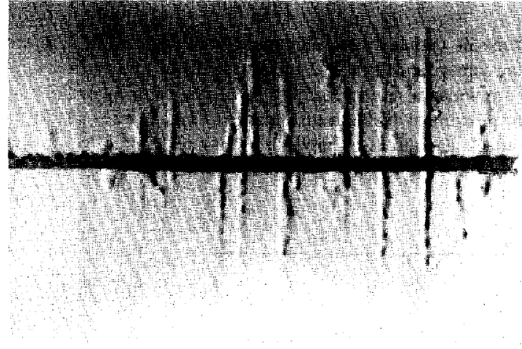
5.10. Filiform Testi

Filiform korozyon, korozyon ürünlerinin kaplama altında saçaklı görünüme sebep olduğu bir bozunma prosesidir. Filiform korozyon sıvı içeren ortamlarda meydana gelmekte ve genellikle çözünür iyonik türlerin varlığında koruyucu filmdeki yüzey kusurlarından kaynaklanmaktadır. Korozyon genellikle, metal, organik bir filmle (cila, boya vb.) kaplanmış alüminyum ve magnezyumu etkiler. Şekil 5.17'da korozyon dallanmalarının gösterimi yer almaktadır.



Şekil 5.17 Filiform korozyon dallanmaları.

Dallanmalar oldukça ince ve yüzeyseldir, ancak metalde ortalama 0,2 mm ve alüminyumda 0,5-1.0 mm genişliğe ulaşabilmektedirler (Bautista, 1996). Dallanmalar dentritik bir yapıya sahip olmakta ve yönlü olarak büyümektedirler. Karakteristik bir ekstrüzyon yönüne sahip metaller, bu yönde saçaklar geliştirme eğilimindedir. Aksi takdirde, filament büyümesi rastgele yönlerde gerçekleşebilmektedir. Şekil 5.18'deki görsel, ekstrüzyon yönünü takip eden alüminyum üzerinde ipliksi korozyonu göstermektedir. Filamentler, birbirinin üzerinden geçememekte, ancak bir filament diğerine yaklaştıkça ondan kaçınmak için yön değiştirmekte veya tamamen büyümeyi durdurmaktadırlar (ASM International, 1987).



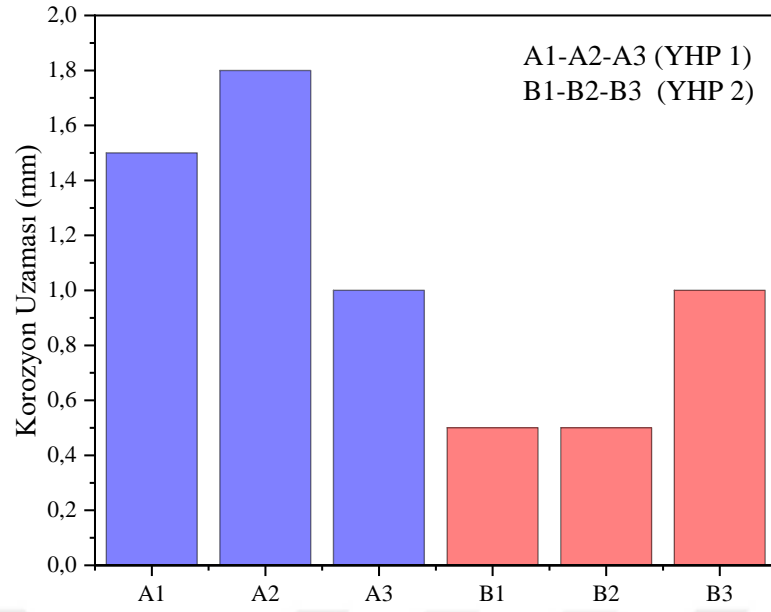
Şekil 5.18 Ekstrüzyon yönünü takip eden alüminyum üzerinde ipliksi korozyonu görüntüsü.

Uygulanan filiform testi sonrasında numune yüzeylerinde ölçülen korozyon ilerleme miktarları YHP-1 ve YHP-2 uygulanmış numuneler için Şekil 5.19'da numune yüzey görselleri

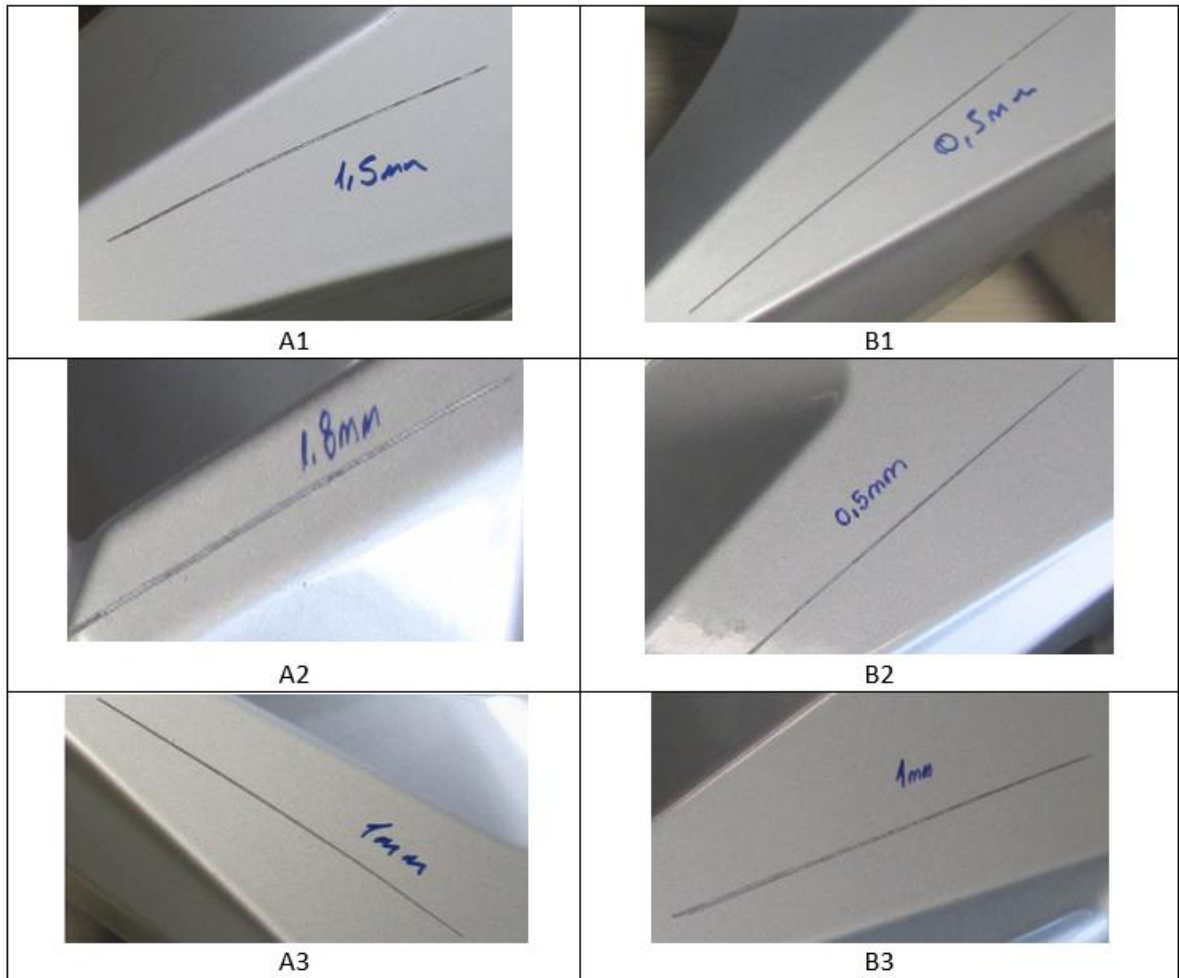
ise



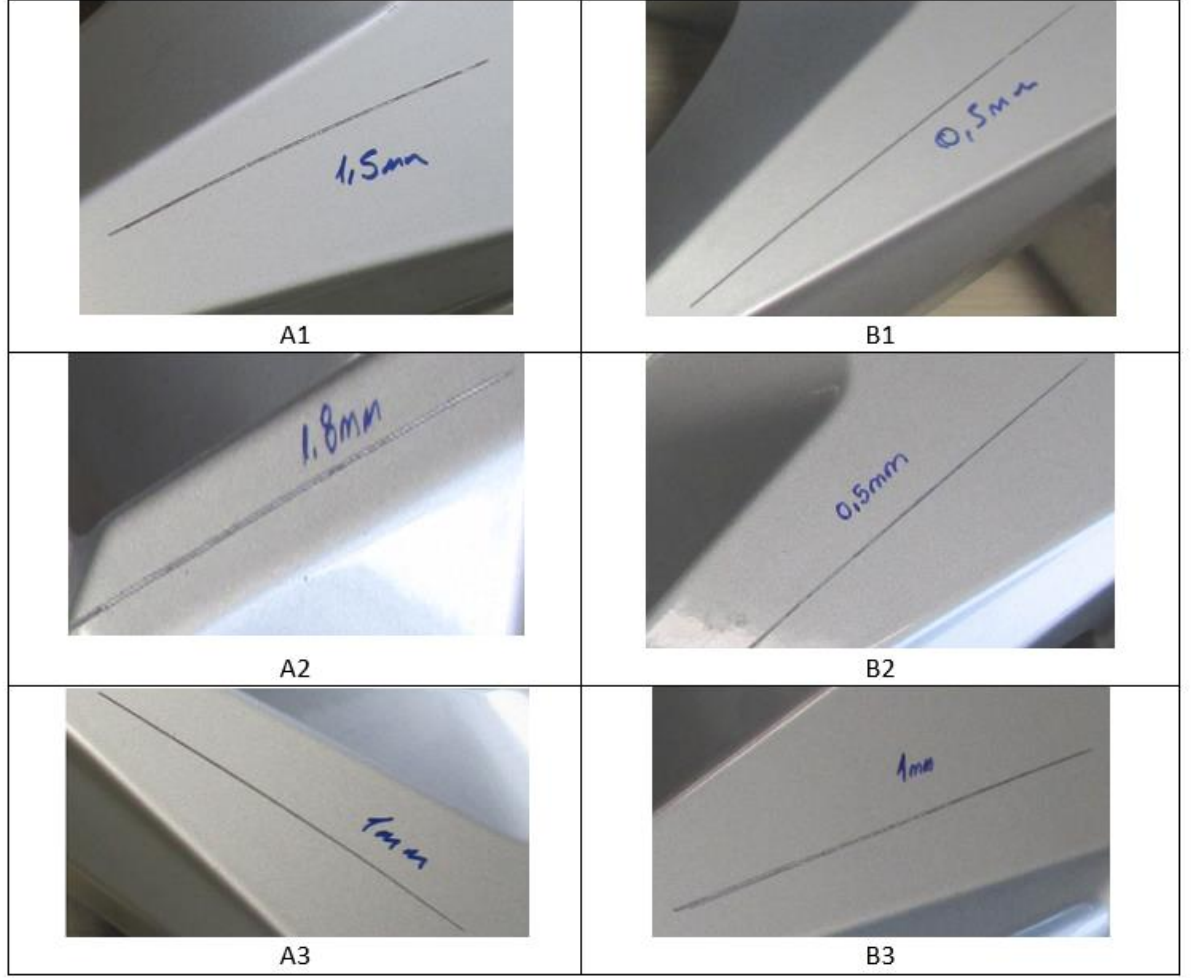
Şekil 5.20'de gösterilmiştir.



Şekil 5.19 YHP-1 ve YHP-2 işlemleri görmüş numunelere uygulanan filiform testi sonrasında numune yüzeylerinde oluşan korozyon ilerleme miktarı (uzunluğu).



Şekil 5.20 YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan filiform testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller.



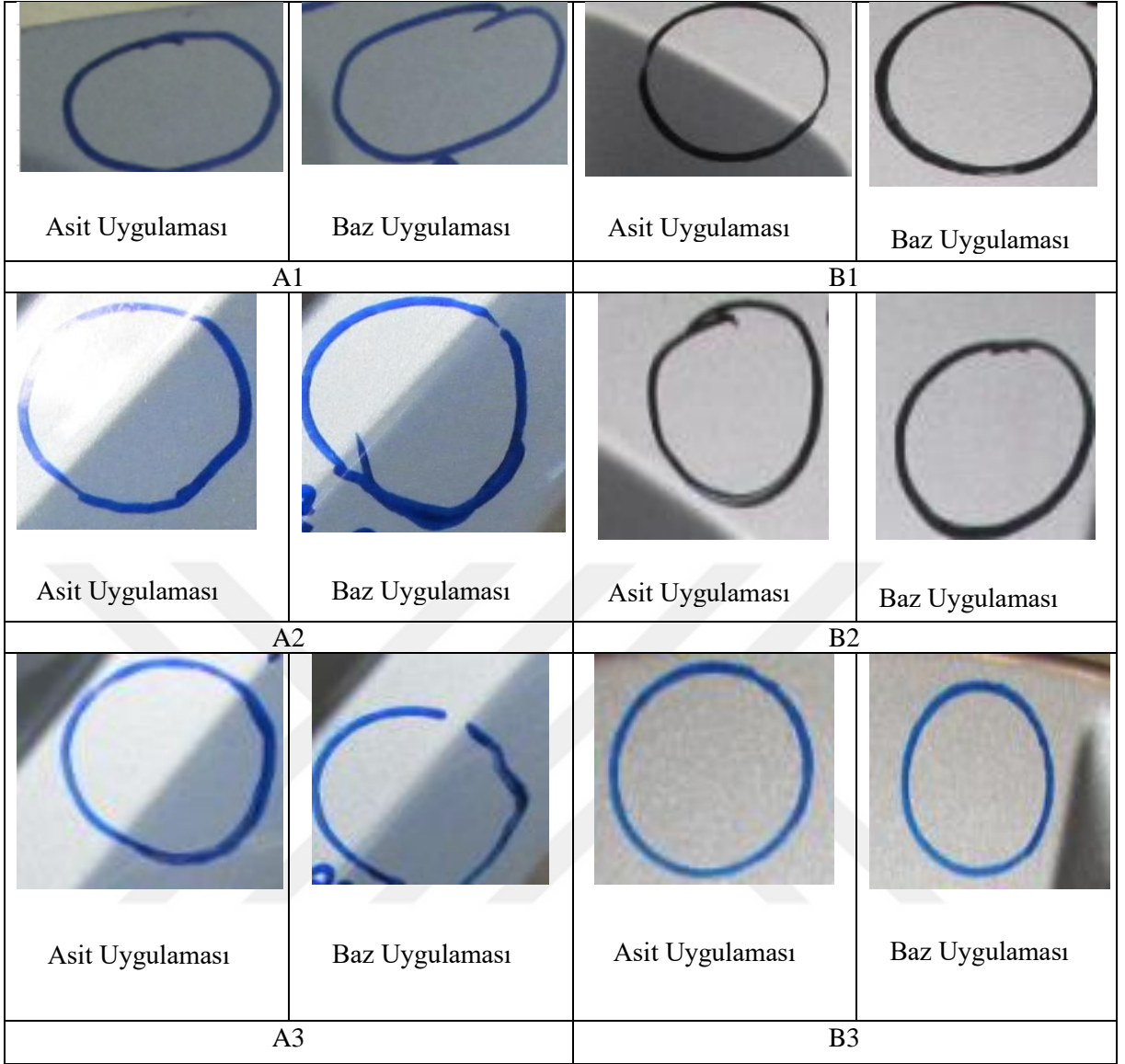
Şekil 5.20'de görüldüğü gibi, numune yüzeyinin tam merkezine filiform testine girmeden bıçakla alttaki metale ulaşacak şekilde çizilen düz çizgi üzerinden sağ ve sola doğru ayrı ayrı saçaklanmalara rastlanmamıştır. Bununla birlikte, numunelerdeki korozyon ilerlemesi, ana metalin yüzeyi üzerinde hareket eden bir başlık ve başın arkasında korozyon ürünlerinin oluştuğu bir iz olarak meydana gelmiştir. Numunelerde farklı renkte iz oluşumu gözlemlenmemiştir. Literatürde, korozyon hasarının artan tuzlulukla arttığı, film kalınlığının ise sürecin ne kadar hızlı geliştiği üzerinde kesin bir etkiye sahip olmadığı belirtilmektedir (Leidheiser Jr, 1982). Bu çalışmada ise uygulanan testteki tuzlu sis çözeltisi sabit olup, oluşan korozyon ilerlemesi tuzluluk artışıyla (oranıyla) ilişkilendirilmemiştir. Numunelere uygulanan filiform testinde bağıl nem oranı her numune için test sürecince %80-85 RH aralığında sabit tutulmuştur. Literatürde yer alan çalışmalarda, filiform korozyonu için %80-85'lik bir RH değerinin yaygın olarak optimum kabul edildiği ve artan bağıl nem ile alüminyum yüzeylerde

büyüyen filamentlerin genişliğinin arttığı belirtilmektedir (Committee, 1992). Bu sebeple, aynı test parametrelerine tabi tutulan numunelerde sabit bağıl nem oranına bağlı olarak korozyon ilerlemesinin benzer olacağı görülmektedir. Bu bağlamda, test sonucunda numunelerde gözlemlenen korozyon ilerlemesindeki değişkenliğin uygulanan banyo süreçlerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hem saçak genişliği hem de yüksekliği organik kaplamanın doğasına ve korozyonu destekleyen tuzun türüne bağlıdır.(ASM International, 1987) Oldukça kırılğan bir kaplama ise, korozyon ürünlerinin neden olduğu gerilme nedeniyle kolaylıkla kırılabilir, böylece alttaki nemi serbest bırakır ve ana metal yüzeyinde çukurlaşmaya neden olur (Hoch et al. 1974) . Çalışmalarda açıklandığı gibi korozyon direnci yüzeye uygulanan kaplama ile doğrudan ilişkilidir (Hoch et al., 1974; ASM International, 1987).

Filiform testi sonucunda numunelerde meydana gelen korozyon ilerleme miktarı YHP-1 uygulanmış numune yüzeylerinde $1,43\pm 0,4$ mm, YHP-2 uygulanmış numune yüzeylerinde ise $0,67\pm 0,29$ mm olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre, YHP-2 prosesi uygulanmış numunelerin, YHP-1 prosesi uygulanmış numunelere göre daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu görülmüştür. Buna göre, YHP-2 prosesinde içerisinde yer alan ve numune yüzeyine uygulanan SAM kaplamanın, YHP-1 prosesinde uygulanan kromsuz kaplamaya göre korozyon direnci üzerinde daha etkili olduğu ve korozyon karşı koruyucu özelliğinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmaktadır.

5.11. Kimyasal Dayanım Testi

Kimyasal dayanım testi uygulanmış numunelere yüzeylerine ait görseller Şekil 5.21’de verilmiştir. Numunelere uygulanan kimyasal dayanım testinde asit ve baz uygulamaları sonrasında numune yüzeylerinde herhangi bir renk değişimi, blisterlenme ya da leke meydana gelmemiştir. Bununla birlikte, numunelerin en dış kısmında bulunan boya kaplamanın asit ve baz kimyasallarına karşı dirençli olması nedeniyle boya kaplamanın altındaki SAM kaplama gibi diğer proses uygulamaların bu kimyasallara karşı etkilerinin ne olduğu konusunda herhangi bir değerlendirme yapılamamıştır.



Şekil 5.21 YHP-1 işlemi görmüş A1, A2, A3 ve YHP-2 işlemi görmüş B1, B2 ve B3 numunelerine uygulanan kimyasal dayanım testi sonrasında numune yüzeylerine ait görseller.

6. SONUÇ

A356 (AlSi7Mg) alaşımı jantların yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, optimum işlem parametreleri ve değerlerinin belirlendiği Yüzey Hazırlama Prosesi 1 (YHP-1) ve Yüzey Hazırlama Prosesi 1 (YHP-2) olmak üzere iki farklı yüzey hazırlama işlemi uygulanmıştır. YHP-1 ve YHP-2 uygulamaları arasındaki temel fark, YHP-2'de yüzeyde ek olarak SAM kaplama işleminin uygulanmasıdır. A356 alaşımı jantların yüzeylerine uygulanan bu işlemlerin ana metal ile boya kaplama arasındaki tutunmayı (adezyonu) ve malzemenin korozyon direncini nasıl etkilediğini belirleyebilmek için farklı test metotları uygulanmıştır. Uygulanan testler sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- YHP uygulanmış numunelerde kaplamaların yüzeye tutunma kabiliyetlerinin (adezyon) belirlenmesi amacıyla numunelere yapışma, taş darbe, sıcak suya daldırma ve termal çevrim testleri uygulanmıştır. Yapışma testi, sıcak suya daldırma testi ve termal çevrim testleri uygulanmış numunelerin yüzeylerinde boya katmanı ile ana metal arasında herhangi bir ayrılma (tabaka kalkması, vd.) gözlemlenmemiştir. Hem YHP-1 hem de YHP-2 prosesi; yapışma, sıcak suya daldırma ve termal çevrim testlerine göre, A356 alüminyum alaşımı jantlarda kaplamaların yüzeye tutunma kabiliyetlerini iyileştirmede benzer ve olumlu bir etkiye sahip olmuşlardır. Taş darbe testi sonuçlarına göre ise numune yüzeylerindeki darbe izleri incelendiğinde ve ayrıca Image J programı kullanılarak yapılan görüntü analizlerinde, YHP-1 ile karşılaştırıldığında, YHP-2 uygulaması yüzeye tutunma özelliğine bağlı kaplama dayanımının %50 oranında daha yüksek olmasını sağlamıştır.
- YHP uygulanmış numunelerin korozyon dirençlerinin belirlenmesi amacıyla numunelere filiform korozyon, tuzlu sis ve kimyasal dayanım testleri uygulanmıştır. Kimyasal dayanım testlerinde boya kaplamasının herhangi bir zarar görmemiş olmasından dolayı, YHP-1 ve YHP-2'nin numune yüzeyindeki diğer uygulamaların (kaplamaların) korozyon direnci üzerindeki etkileri gözlemlenmemiştir. Filiform testi yapılan numunelerin yüzeylerinde herhangi bir saçaklanma ya da farklı renkte bir iz oluşumu gözlemlenmemiştir. Filiform ve tuzlu sis testlerinde elde edilen sonuçlara göre, YHP-2 prosesi sayesinde A356 alüminyum alaşımı jantların korozyon direnci üzerinde sırasıyla %47 ve %67 oranlarında daha etkili bir iyileşme sağlanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, A356 alüminyum alaşımı jantların yüzeylerine uygulanan YHP-2 işleminde SAM kaplama uygulamasının jantın korozyon direncini ve boya kaplama ve ana metalin birbirlerine tutunma kabiliyetini daha fazla iyileştirmesi sayesinde, A356 alüminyum alaşımı jantların yüzeylerinin mekanik etkilere ve korozif ortamlara karşı daha dirençli ve performanslarının daha yüksek olmasını sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.





7. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Altınörs, M. Y.**, 2019, Optimization of Pretreatment Process for the Improvement Test Performance, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 72s.
- Aramaki, K., and Shimura, T.**, 2004, Preparation of a One-Dimensional Polymer Film on Passivated Iron by Modification of a Carboxylate Ion Self-Assembled Monolayer with Octyltriethoxysilane for Preventing Passive Film Breakdown, *Corrosion Science*, 46(10), 2533–2548p.
- Aran, A.**, 2007, Döküm Teknolojisi. 1–107s. Retrieved from, <http://www.kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2011/10/dokum-teknolojisi-ahmet-aran.pdf>
- Astm**, 2009, Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test. Annual Book of Astm Standards: D3359-17, 1–7p. Retrieved from <https://www.astm.org/d3359-17.html>
- Aybarc, U., and Kara, A.**, 2016, The Improvement of Cycle Time During Wheel Turning Process by Tool Path Modification, The 17th International Conference on Machine Design and Production, Bursa, Türkiye, 10s.
- Başer, T. A.**, 2012, Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, *Mühendis ve Makina*, 53(635), 51–58s.
- Bautista, A.**, 1996, Filiform Corrosion in Polymer-Coated Metals, *Progress in Organic Coatings*, 28(1), 49–58p.
- Biro, C. D.**, 2011, Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminde Şekillendirici Makara Sayısının Altı Adede Çıkarılmasının İşlem Karakteristikleri ile Parça Kalitesi Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 74s.
- Çakanyıldırım, Ç., ve Gürü, M.**, 2020, Alüminyum Üretim Teknolojilerindeki Gelişmeler, Çevreye Etkisi ve Uygulama Alanları, *Journal of Polytechnic*, 0900(2), 585–592s.
- Cobden, R., and Banbury, A.**, 1994, Aluminium: Physical Properties, Characteristics and Alloys, *Talat Lecture*, 1501(11), 144–155p.
- Committee, E.**, 1992, Vom Reflections on Filiform Corrosion, Swgs Meeting, Bilthoven.
- De Souza, S., Yoshikawa, D. S., Izaltino, W. A. S., Assis, S. L., and Costa, I.**, 2011, Nanostructured Surface Pre-Treatment Based on Self-Assembled Molecules for Corrosion Protection of Alclad 7475-T761 Aluminum Alloy, *Materials and Corrosion*, 62(10), 913–919p.

KAYNAKLAR DIZINI (devam)

- Demiral, F.**, 2015, İkiz Merdane Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen AA 1050 Alüminyum Alaşımına Anodik Oksidasyon (Eloksal) İşleminin Uygulanabilme Kabiliyetinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 122s.
- Dickie, R. A.**, 1994, Paint Adhesion, Corrosion Protection, and Interfacial Chemistry, *Progress in Organic Coatings*, 25(1), 3–22p.
- Dispinar, D., Akhtar, S., Nordmark, A., Syvertsen, F., Di Sabatino, M., and Arnberg, L.**, 2012, Correlation Between Mechanical Properties and Porosity Distribution of A356 in Gravity Die Casting and Low Pressure Die Casting, *Advanced Materials Research*, 445, 283–288p.
- Dündar, M., and Güngör, G.**, 2015, Otomotiv Sektöründe Alüminyum Uygulamaları ve Sürekli Döküm Tekniği İle Üretilmiş Alüminyum Levha Alaşimleri.
- Erdoğan A.**, 2008, Alüminyum ve Alaşimleri, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Erdoğdu, M. B.**, 2019, Flow forming Yöntemi ile Alüminyum Jant Üretiminin incelenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Jant Analizlerinin Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 102s.
- European Aluminium Association.**, 2002, Cast Alloys and Products, The Aluminium Automotive Manual, 1–37p.
- Fialkowski, M., Bishop, K. J. M., Klajn, R., Smoukov, S. K., Campbell, C. J., and Grzybowski, B. A.**, 2006, Principles and Implementations of Dissipative (Dynamic) Self-Assembly, *The Journal of Physical Chemistry B*, 110 (6), 2482-2496p.
- Freire, R. S., Pessoa, C. A., and Kubota, L. T.**, 2003, Self-Assembled Monolayers Applications for the Development of Electrochemical Sensors, *Química Nova*, 26(3), 381–389p.
- Gürü, M., ve Yalçın, H.**, 2012, Malzeme Bilgisi, *Palme Yayın Evi*, 3. Baskı, Ankara.
- Hintze, P. E., and Calle, L. M.**, 2006, Electrochemical Properties and Corrosion Protection of Organosilane Self-Assembled Monolayers on Aluminum 2024-T3, *Electrochimica Acta*, 51(8–9), 1761–1766p.
- Hoch, G. M., Staehle, R. W., Brown, B. F., Kruger, J., and Agrawal, A.**, 1974, Localized Corrosion, Nace-3, Nace International, Houston.

KAYNAKLAR DIZINI (devam)

- International, ASM.**, 1987, Metals Handbook Vol. 13. Corrosion, Asm International, Metals Park, Oh, 114–122p.
- Işık, S. B.**, 2020, Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi ile Alüminyum Alaşımli Otomobil Jant Üretiminin Simülasyonu, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 125–132s.
- Iso.**, 2007, Iso 20567-1:2017 - Paints and Varnishes -- Determination of Stone-Chip Resistance of Coatings - Part 1: Multi-Impact Testing. Retrieved January 3, 2022, from <https://www.iso.org/standard/64860.html>.
- Iso.** , 2007, Iso 3522:2007 - Aluminium and Aluminium Alloys , Castings ,Chemical Composition and Mechanical Properties. Retrieved January 3, 2022, from <https://www.iso.org/standard/45815.html>.
- Kaifer, A., and Gómez-Kaifer, M.**, 2007, Supramolecular Electrochemistry. *Supramolecular Electrochemistry*, 1–241p.
- Kaw, A. K.**, 2014, Kompozit Malzeme Mekaniği, Efil Yayınları, Ankara.
- Kuhlman, G. W.**, 2013, Forging of Aluminum Alloys, *ASM Handbook, Volume 14A: Metalworking: Bulk Forming*, 299-312p.
- Kurt, O.**, 2019, Alaşımli Alüminyum Köpüklerin Talaşlı İmalat Yöntemiyle İşlenebilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 75s.
- Jacobs, M. H.**, 1999, Introduction to Mechanical Properties, Solidification and Casting, Joining and Corrosion of Aluminium and its Alloys, Training in Aluminium Application Technologies 1205, University of Birmingham, England, 12p.
- Lee, Y. H., and Kim, H. J.**, 2016, Effect of Cycloaliphatic Structure of Polyester on the formability and Stone-Chip Resistance for Automotive Pre-Coated Metals, *Progress in Organic Coatings*, 99, 117–124p.
- Leidheiser Jr, H.**, 1982, Corrosion of Painted Metals, A Review, *Corrosion*, 38(7), 374–383p.
- Lonyuk, M., Bosma, M., Vijverberg, C. A. M., Bakker, A., and Janssen, M.**, 2008, Relation Between Chip Resistance and Mechanical Properties of Automotive Coatings, *Progress in Organic Coatings*, 61(2–4), 308–315p.

KAYNAKLAR DIZINI (devam)

- Love, J. C., Estroff, L. A., Kriebel, J. K., Nuzzo, R. G., and Whitesides, G. M.,** 2005, Self-Assembled Monolayers of Thiolates on Metals As A form of Nanotechnology. *Chemical Reviews*, 105(4), 1103–1169p.
- Madou, M. J.,** 2018, Fundamentals of Microfabrication : the Science of Miniaturization, Second Edition, *CRC Press*, 752p.
- Matsuda, K., Tada, S., Susuma, I.,** 1991, Aluminium Alloys. International Conference on Recent Advances in Science and Engineering of Light Metals, Japan Institute of Light Metals, 899p.
- Nissan Specification.** (N.D.-A). Nissan Nes M0140;Standard Salt Fog Corrosion Testing.
- Nissan Specification.** (N.D.-B). Nissan Nes M0158;Cyclic Corrosion.
- Nissan Specification.** (N.D.). Nissan Nes M0007,Paint Hardness Testing - Applied Technical Services. Retrieved January 3, 2022.
- Nozawa, K., Nishihara, H., and Aramaki, K.,** 1997, Chemical Modification of Alkanethiol Monolayers for Protecting Iron Against Corrosion, *Corrosion Science*, 39(9), 1625–1639p.
- Nozawa, Katsuhisa, and Aramaki, K.,** 1999, One- and Two- Dimensional Polymer Films of modified Alkanethiol Monolayers for Preventing Iron from corrosion, *Corrosion Science*, 41(1), 57–73p.
- Onat, N.,** 2011, Alüminyum Döküm Teknolojisi, *TÜDOKSAD*, İstanbul.
- Ota, Y., and Kojima, T.,** 2017, Surface Treatment Technologies of Aluminum Alloy for Automobiles. *Rd Res Dev Kobe Steel Eng Reports.*, 66(2), 82–85p.
- Ou, J., Wei, C., Cockcroft, S., Maijer, D., Zhu, L., Lateng, A., ... Zhu, Z.,** 2020, Advanced Process Simulation of Low Pressure Die Cast A356 Aluminum Automotive Wheels, Part I, Process Characterization. *Metals*, 10(5), 563p.
- Oytaç, M.,** 2006, Türkiye Jant Sanayi ve Jant Sanayinde Kullanılan Kalıp Çelikleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 175s.
- Özaydın, O.,** 2019, Alternatif Alaşımli Jant Malzemesi ile Mekanik Özellikleri İyileştirilmiş Ürün Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 104s.

KAYNAKLAR DIZINI (devam)

- Özcömert, M.**, 2006, Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Odası, 3–7.
- Topçuoğlu, Ö. Y., Çe, Ö. B., Aybarç, U.**, 2014, Alçak Basınç Döküm Prosesinde Kullanılan Kalıp Kaplama Malzemesinin Metal Akışkanlığına Etkisi, 7. Uluslararası Ankiros Döküm Kongresi, İstanbul, 13s.
- Polini, W., and Sorrentino, L.**, 2007, Adhesion of A Protective Coating on A Surface of Aluminium Alloy Treated by Air Cold Plasma, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 27(1), 1–8p.
- Quan, G., & Ren, L.**, 2014, Process and Property of Superplastic Mould forged AZ80 Wheel Hub. *Materials Science Forum*, 788, 12–16p.
- Reis, F. M. Dos, De Melo, H. G., and Costa, I.**, 2006, EIS investigation on Al 5052 Alloy Surface Preparation for Self-Assembling Monolayer, *Electrochimica Acta*, 51(8–9), 1780–1788p.
- Savas, T. P., and Earthman, J. C.**, 2008, Surface Characterization of 7075-T73 Aluminum Exposed To Anodizing Pretreatment Solutions, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 17(5), 674–681p.
- Schreiber, F.**, 2000a, Structure and Growth of Self-Assembling Monolayers, *Progress in Surface Science*, 65(5–8), 151–257p.
- Schreiber, F.**, 2000b, Structure and Growth of Self-Assembling Monolayers. *Progress in Surface Science*, 65(5–8), 151–257p.
- Schwartz, D. K.**, 2003, Mechanisms and Kinetics of Self-Assembled Monolayer Formation. *Annual Review of Physical Chemistry*, 52, 107–137p.
- Sharifi Golru, S., Attar, M. M., and Ramezanzadeh, B.**, 2015, Effects of Different Surface Cleaning Procedures on the Superficial Morphology and the Adhesive Strength of Epoxy Coating on Aluminium Alloy 1050, *Progress in Organic Coatings*, 87, 52–60p.
- Şirin, U.**, 2017, Alüminyum Alaşımli Otomobil Jantının Dinamik Testinin Modellenmesi ve Doğrulama Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 85s.
- Smith, R. K., Lewis, P. A., and Weiss, P. S.**, 2004, Patterning Self-Assembled Monolayers. *Progress in Surface Science*, 75(1–2), 1–68p.

KAYNAKLAR DIZINI (devam)

- Specification**, (N.D.). Nissan Nes M0007,46 thermal Cycle/Shock.
- Streitberger, H.-J., and Dossel, K.-F.**, 2008, Automotive Paints and Coatings, *John Wiley & Sons*, 507p.
- Tarkun, D.**, 2015, AlSi7Mg T6, AlSi7Mg ve AlSi11Mg Alaşımlarının Binek Araç Jant Malzemesi Olarak Kullanılabilirliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 129s.
- Trueba, M., and Trasatti, S. P.**, 2009, Pyrrole-Based Silane Primer for Corrosion Protection of Commercial Al Alloys: Part I: Synthesis and Spectroscopic Characterization, *Progress in Organic Coatings*, 66(3), 254–264p.
- Uzun, H.**, 2012, Mühendisler İçin Malzeme Biliminin Temel İlkeleri, *Değişim Yayınları*, 605s.
- Vos, J. G., forster, R. J., and Keyes, T. E.**, 2003, Interfacial Supramolecular Assemblies, *John Wiley & Sons*, 317p.
- Wang, D., Xu, J., Wang, J., and Hu, W.**, 2021, Preparation and Corrosion Resistance of Polyaspartic Acid-Zinc Self-Assembled Film on Carbon Steel Surface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 608p.
- Whitesides, G. M., and Grzybowski, B.**, 2002, Self-Assembly At All Scales, *Science*, 295(5564), 2418–2421p.
- Wnek, G. E., and Bowlin, G. L.**, 2008, Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering. *Crc Press*, 3110p.
- Yılmaz, S.**, 2019, An Investigation of Leakage Defects' Repair of Aluminium Casted Parts by Using Low Pressure Cold Spray Method, Msc Thesis, Institute of Science and Engineering, İzmir, 75p.
- Zhang, C., Feng, H., Zheng, Z., Ning, L., Tong, J., Tan, Z., and Liu, E.**, 2021, Preparation and Corrosion Behavior of the Al-Modified MoSi₂/Al₂O₃ Coating on the Surface of Molybdenum Metal Core. *Corrosion Science*, 193, 109879.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın tümünde bilgi, tecrübe, beceri ve anlayıőıyla destek aldığım eőim Metehan ATAGÜR' e, çalıőmamı yürüttüğüm CMS Jant ve Makina Sanayi A.ő Boyahane ve Ar-Ge departmanlarına, özellikle kıymetli görüşlerinden yararlandığım Sebahattin ÖZEN' e ve manevi desteği ile yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

12 / 09 / 2022

Tuğçe Büşra ATAGÜR



ÖZGEÇMİŞ

Yayınlar ve Projeler:

Uluslararası Bildiri (Tezden Üretilmiş Yayın)

Atagür, T. B., Diler, E. A. and Işık, M. (2022), Effect of Surface Preparation Process for Coating on the Properties of Light Alloy Automotive Wheel, 2nd Global Conference on Engineering Research (GLOBECER'22), Oral Presentation, 07-10 September 2022, Balıkesir.

Ulusal Makale (ULAKBİM)

Yüksel, T. B. , Aybarç, U. and Ertuğrul, O. (2020). Effects of Stirring Duration and Casting Temperature in Ultrasonic Assisted Stir Casting of Al A356 Matrix Composites . Politeknik Dergisi , 23 (4) , 1265-1275 .

Projeler : TÜBİTAK 2209/B

Alüminyum alaşımlı metal matris kompozitlerin üretiminde döküm parametrelerinin optimize edilmesi Proje süresi: 6 ay (Ocak-Haziran 2018)

