

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN TAKIM ÇELİKLERİNİN SICAK
DALDIRMA YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM KAPLAMA SONRASI YÜZEY
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anıl ÇALIŞKAN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

EYLÜL 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN TAKIM ÇELİKLERİNİN SICAK
DALDIRMA YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM KAPLAMA SONRASI YÜZEY
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Anıl ÇALIŞKAN
(506181404)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN

EYLÜL 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**SURFACE CHARACTERIZATION OF POWDER METALLURGY TOOL
STEELS AFTER HOT DIP ALUMINIZING**

M.Sc. THESIS

**Anıl ÇALIŞKAN
(506181404)**

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Materials Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN

SEPTEMBER 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü ’nün 506181404 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Anıl ÇALIŞKAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN TAKIM ÇELİKLERİNİN SICAK DALDIRMA YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM KAPLAMA SONRASI YÜZEY KARAKTERİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Amir MOTALLEBZADEH
Koç Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Ağustos 2023
Savunma Tarihi : 20 Eylül 2023





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim boyunca ve tez sürecim boyunca tecrübesini, bilgilerini ve değerli zamanını benden esirgemedi maddi ve manevi her türlü desteği sağlayarak, biz yeni mühendislere yol göstererek ilham kaynağım olan, olaylara farklı bir bakış açısı kazanmamıza yardımcı olan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN'a, önerileri ve çalışmamıza kattığı değerli görüşleri için Sn. Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Üniversitemizin laboratuvar altyapısının kullanımında ve deneysel çalışmalarım boyunca tecrübeleriyle bana yardımcı olan ve beni motive ederek çalışmalarımın ilerleyişinde bana büyük katkısı olan, Dr. Öğr. Üyesi Faiz MUHAFFEL'e, Araş. Gör. Erdem BALCI'ya, Araş. Gör. Mertcan KABA'ya ve meslektaşım Yük. Müh. Burak BİLİM'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullandığım malzemelerin temini ve manevi desteklerini esirgemeyen Ekol Çelik ve Isıl İşlem firmasına teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni her zaman destekleyen, ilgilerini ve sevgilerini daima hissettiğim AİLEME teşekkür ederim.

Ağustos 2023

Anıl ÇALIŞKAN
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. TAKIM ÇELİKLERİ	3
2.1 Takım Çeliklerinin Genel Özellikleri.....	3
2.2 Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması	4
2.3 Takım Çeliklerine Alaşım Elementlerin Etkisi	6
2.4 Takım Çeliği Üretimi	8
2.4.1 Geleneksel takım çeliği üretimi	8
2.4.2 Osprey yöntemi	10
2.4.3 Toz metalurjisi ile üretilen takım çelikleri	10
2.5 ASP 2012 ve ASP 2053 Kalite Takım Çelikleri	11
3. ALÜMİNYUM KAPLAMA İŞLEMLERİ	15
3.1 Alüminyum Kaplama Çeşitleri	16
3.1.1 Termal spre y yöntemi	16
3.1.2 Giydirm e yöntemi	16
3.1.3 Elektroliz ile kaplama	17
3.1.4 Vakum ile alüminyum kaplama	17
3.1.5 Buhar biriktirme ile alüminyum kaplama	17
3.1.6 Elektroforez ile alüminyum kaplama	17
3.2 Sıcak Daldırma Alüminyum Kaplama	17
4. TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN ÇELİKLERE UYGULANAN KAPLAMA İŞLEMLERİ.....	19
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
5.1 Kaplama Hazırlık İşlemleri	25
5.2 Sıcak Daldırma Yöntemi ile Alüminyum Kaplama	25
5.3 Difüzyon Tavlama İşlemi.....	26
5.4 Metalografik Numune Hazırlama İşlemleri	27
5.5 XRD Analizi	28
5.6 Mikrosertlik Ölçümü.....	29
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	31
6.1 Takım Çelikleri ve Kaplama Tabakalarının Mikroyapısı	31
6.2 Sertlik Deneyi Sonuçları	65
7. GENEL SONUÇLAR	69

KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	75



KISALTMALAR

DT	: Difüzyon Tavlamaşı
EDS	: Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
ESR	: Cüruf Altı Ergitme
HB	: Brinell Sertlik Değeri
HRC	: Rockwell Sertlik Değeri
HV	: Vickers Sertlik Değeri
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
SDA	: Sıcak Daldırma Yöntemi ile Alüminyum Kaplama
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
TM	: Toz Metalurjisi
XRD	: X-ışınları Difraksiyonu



SEMBOLLER

°C : Santigrat Derece

µm : Mikrometre

g : Gram

T : Sıcaklık





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Takım çeliğinin sınıflandırılması .	5
Çizelge 2.2 : Takım çeliği yapısındaki karbür formları	6
Çizelge 2.3 : ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.) .	11
Çizelge 2.4 : ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin fiziksel özellikleri .	12
Çizelge 2.5 : ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.) .	12
Çizelge 2.6 : ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin fiziksel özellikleri .	13
Çizelge 4.1 : Vanadis 30 kalite takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.)	19
Çizelge 4.2 : Vanadis 4 kalite takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.)	21
Çizelge 4.3 : TM ile üretilmiş parçanın kimyasal bileşimi (% ağı.)	22
Çizelge 4.4 : ASP 2005 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.) .	24
Çizelge 5.1 : Kaplama işleminde kullanılan Al-Si alaşımının kimyasal bileşimi.	26
Çizelge 6.1 : ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.) .	31
Çizelge 6.2 : ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.) .	46



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Takım çeliği üretimi	9
Şekil 3.1 : (a) Birinci tip alüminyum kaplama, (b) İkinci tip alüminyum kaplama ..	16
Şekil 3.2 : Katı demir-sıvı alüminyum etkileşimi	18
Şekil 4.1 : 530 °C/120 dak. Nitrasyon işlemi uygulanan Vanadis 30 kalite takım çeliğinin kesitinin mikroyapı fotoğrafı	19
Şekil 4.2 : Kaplamalı/kaplamasız TM Vanadis 30 kalite takım çeliği ve MM çelik malzemelerin aşınma testi sonuçları	20
Şekil 4.3 : Borlama işlemi yapılmış numunelerin mikrosertlik ölçümleri	21
Şekil 4.4 : (a) Kaplamasız TM numune (b) Kaplamalı TM numune	22
Şekil 4.5 : Kaplamasız TM numunenin kesitinin korozyon deneyi sonrası optik mikroskop fotoğrafı	23
Şekil 4.6 : Al-ağ. %12 alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış takım çeliklerinin XRD paternleri (a) ASP 2005, (b) ASP 2012	24
Şekil 5.1 : MF-1000 model elektrikli ergitme fırını.	26
Şekil 5.2 : Protherm PLF 120/5 model elektrikli fırın.	27
Şekil 5.3 : (a) Zeiss-Sigma 3000 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve (b) Leica DM2700M model optik mikroskop.	28
Şekil 5.4 : GBC MMA 027 model XRD cihazı.	28
Şekil 5.5 : Wilson Tukon 1102 model mikrosertlik cihazı.	29
Şekil 6.1 : ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.	31
Şekil 6.2 : ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının EDS haritalama analizi.	32
Şekil 6.3 : Saf alüminyum kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.	33
Şekil 6.4 : Saf alüminyum kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi.	34
Şekil 6.5 : Saf alüminyum kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.	35
Şekil 6.6 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.	35
Şekil 6.7 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi. ...	36
Şekil 6.8 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.	37

Şekil 6.9 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.	39
Şekil 6.10 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.	40
Şekil 6.11 : Sadece alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi. ...	40
Şekil 6.12 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.	41
Şekil 6.13 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.	41
Şekil 6.14 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi.	42
Şekil 6.15 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.	43
Şekil 6.16 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.	45
Şekil 6.17 : SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğin XRD paterni.	46
Şekil 6.18 : ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.	47
Şekil 6.19 : ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının EDS haritalama analizi.	48
Şekil 6.20 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.	48
Şekil 6.21 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi. ...	49
Şekil 6.22 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.	50
Şekil 6.23 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.	52
Şekil 6.24 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.	52
Şekil 6.25 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi. ...	53
Şekil 6.26 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.	54
Şekil 6.27 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.	54

Şekil 6.28 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi.	55
Şekil 6.29 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA +DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.	56
Şekil 6.30 : Al-ağ. %12Si kaplama malzemesi kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.....	58
Şekil 6.31 : SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğin XRD paterni.....	59
Şekil 6.32 : Saf alüminyum kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.	60
Şekil 6.33 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.....	60
Şekil 6.34 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.....	61
Şekil 6.35 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.....	61
Şekil 6.36 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.....	62
Şekil 6.37 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.....	62
Şekil 6.38 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.....	63
Şekil 6.39 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak kaplanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğin kesitindeki sertlik ölçüm konumlarını gösteren optik mikroskop fotoğrafları ve sertlik değerleri (a) SDA uygulanmış (b) SDA+DT uygulanmış.....	65
Şekil 6.40 : Saf alüminyum kullanılarak kaplanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğin kesitindeki sertlik ölçüm konumlarını gösteren optik mikroskop fotoğrafları ve sertlik değerleri (a) SDA uygulanmış (b) SDA+DT uygulanmış.	66
Şekil 6.41 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak kaplanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğin kesitindeki sertlik ölçüm konumlarını gösteren optik mikroskop fotoğrafları ve sertlik değerleri (a) SDA uygulanmış (b) SDA+DT uygulanmış.....	66
Şekil 6.42 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğin kesitindeki sertlik ölçüm konumlarını gösteren optik mikroskop fotoğrafı ve sertlik değerleri.....	67



TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN TAKIM ÇELİKLERİNİN SICAK DALDIRMA YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM KAPLAMA SONRASI YÜZEY KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Teknolojinin gelişmesi, üretim adetlerindeki artış, kimyasal bileşimlerine çeşitli alaşım elementleri eklenerek daha mukavemetli hale gelmesi ile çeliklerden de beklenen özellikler artmaktadır. Bu sebeple, imalat ve kalıpcılık sektöründe kullanılan modern takım çeliklerinin yerini toz metalurjisi ile üretilmiş takım çelikleri almaktadır.

Geleneksel çelik üretim yöntemi ile kıyaslandığında, toz metalurjisi ile üretilen çeliklerin daha homojen bir mikroyapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu avantajın yanı sıra daha yüksek karbür yapıcı elementlerin varlığı da üretilen çeliğin mekanik özelliklerinde çok ciddi bir artışa neden olmaktadır. Isıl işlem sonrası yüksek sertleşebilme özelliği, özellikle sürtünmeli bölgelerde kullanılan geleneksel takım çeliklerine göre toz metalurjisi ile üretilen takım çeliklerinden yapılan parça ve kalıp ömürlerinin ciddi bir şekilde arttırılmasında da yardımcı bir rol oynamaktadır.

Toz metalurjisi ile üretilen ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliği, yapısında bulunan güçlü karbür yapıcı elementler ve üretim teknolojisi sayesinde homojen bir mikroyapıya sahiptir. Diğer toz metalurjisi ile üretilmiş çeliklere göre daha yüksek tokluğa sahip olan ASP 2012, özellikle darbe ve yük altında çalışan parçalarda, kesme ve sıvama kalıplarında kullanılmaktadır. ASP 2012 takım çeliğinin diğer modern takım çeliklerine göre bir diğer avantajı ise yüksek sertleşebilme kabiliyetidir. Isıl işlem sonrası sertliği 60 HRC'ye kadar artabilmektedir. Endüstride kullanılan nitrasyon, karbürleme ve borlama gibi diğer yüzey işlemlerine de uygundur.

Kimyasal bileşiminde bulunan yüksek karbon ve güçlü karbür yapıcı elementler sayesinde, yüksek aşınma direncine sahip bir diğer toz metalurjisi ile üretilmiş soğuk iş takım çeliği ise ASP 2053'tür. İnce taneli ve homojen bir mikroyapıya sahip olan ASP 2053, yüksek sertliklere ulaşabilmesi sayesinde, özellikle kesici takımlarda kullanılmaktadır. İmalat ve kalıpcılık sektöründe kullanılan bu çeliklerde parça ömründeki iyileşmenin yanı sıra uygulanan kaplama işlemlerinin yeterliliğinin geliştirilmesi ve ekonomik olarak malzemelerden alınan performansın da arttırılması hedeflenmektedir. Bu çalışmada ASP 2012 ve ASP 2053 takım çeliklerine uygulanan sıcak daldırma alüminyum kaplama işlemi sonrasında elde edilen yüzeyin yapısal karakterizasyonu yapılmış ve kaplama tabakasının sertliği ölçülmüştür.

Bu tez çalışmasında; toz metalurjisi ile üretilmiş ASP 2012 ve ASP 2053 takım çelikleri kullanılmıştır. Bu takım çelikleri, sıcak daldırma yöntemi ile saf alüminyum ve Al-ağ. %12Si alaşımı ile kaplanarak, iki farklı kimyasal bileşime sahip takım çeliğinin kaplama tabakasının karakterizasyonu yapılmıştır. Diğer alüminyum kaplama işlemleri, termal sprey yöntemi, giydirme yöntemi, elektroliz ile kaplama yöntemi, vakum yöntemi, buhar biriktirme yöntemi ve elektroforez yöntemidir. Bu çalışma kullanılan sıcak daldırma yönteminin seçilmesindeki en önemli kriter ise

nispeten kısa işlem sürelerinde kalın ve altlık malzemeye iyi yapışan bir kaplama tabakası elde edilebilmesidir.

Sıcak daldırma yöntemi ile kaplama işlemi, sade karbonlu ve alaşımlı çelikler, titanyum alaşımları ve süperalaşımlara uygulanmakta ve bu konudaki akademik çalışmalar halen devam etmektedir. Kaplama işleminde kullanılan kaplama malzemesi, sıcaklık, süre ve altlık malzeme gibi parametreler değiştirilerek geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Endüstride kullanılan diğer kaplama işlemleri ile kıyaslandığında ise alüminyum kaplama işlemi yüksek sertlik ve sürekliliği yüksek bir kaplama bölgesi imkânı sunmaktadır. Özellikle borlama gibi yüksek sıcaklık ihtiyacı bulunan bir kaplamaya göre daha ekonomiktir.

Bu tez çalışmasında yapılan kaplama işlemleri, her iki malzeme için de 700 °C sıcaklıkta ergimiş saf alüminyum ya da Al-ağ. %12Si alaışımının bulunduğu grafit pota içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi 3 dakika süreyle yapılmıştır.

Bu çalışmada her iki çelik kalitesi için de çeliklerin östenitlenme sıcaklığının altında bir difüzyon tavlama sıcaklığı belirlenmiştir. ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliği için östenitlenme sıcaklığı 1100 °C iken, ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliği için ise bu değer 1180 °C'dir. Kaplama sıcaklığının bu değerlerden düşük seçilmesinin nedeni, alüminid fazlarındaki Fe ve Al oranlarındaki değişimin belirlenmesidir. Kaplama işlem sonrasında 800 °C'de 1 saat difüzyon tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında, tavlama fırınından çıkarılan numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

Kaplama ve difüzyon tavlama işlemleri tamamlandıktan sonra XRD analizi ile her iki kalite soğuk iş takım çeliğinin yapısal karakterizasyonu yapılmıştır. Numunelerden alınan kesitler incelenerek difüzyon öncesi ve sonrası kaplama tabakasında gözlemlenen faz ve arayüzey değişimleri noktasal ve elementel haritalama EDS analizleriyle değerlendirilmiştir. Optik mikroskop altında kaplanmış ve kaplama işleminden sonra difüzyon tavlama yapılmış takım çeliklerinde farklı fazlarda yapılar gözlemlenmiş ve bu bölgelerin sertlik deneyleri yapılarak kaplama tabakasının farklı bölgelerinin sertlik değerleri elde edilmiştir.

SURFACE CHARACTERIZATION OF POWDER METALLURGY TOOL STEELS AFTER HOT DIP ALUMINIZING

SUMMARY

The qualities anticipated from steels are improving along with technological advancements, production volume expansion, and the inclusion of diverse alloys in raw materials. For this reason, powder metallurgy (P/M) tool steels are replacing modern tool steels currently utilized in the manufacturing and molding industries. Because of the increased demand for better qualities and performance along with low-cost tooling per produced part, the demand for high-performance tool steels has increased dramatically. High alloy steels made conventionally show some limitations due to their susceptibility to alloy segregation during solidification. Their qualities and performances still further. In fact, non-uniform clusters of carbides continue to exist as traces of the as-cast microstructure regardless of how much forging or mill processing has taken place since casting. Utilizing powder metallurgy makes it possible to produce tool alloy grades with extremely high performance by facilitating HIP consolidation from tiny powder particles.

Traditionally, alloying steel in its liquid, molten state is done before putting it into ingot molds, where it progressively cools to become solid steel. The steel is subsequently finished via forging and rolling. Forging and rolling procedures are required to provide consistent characteristics because of the considerable segregation of alloying components and steel phases caused by the final ingot's sluggish cooling rates. Because there is more alloy to separate, this is especially true with highly alloyed steels. Sometimes to the extent that they cannot even be manufactured without problems in production. The problem is that increased alloy quantities cause the carbides to develop at higher temperatures.

The Osprey process, another steel production method, is based on the principle of spraying the droplets obtained from the atomization of the molten metal into a collector and depositing them on the collector. The advantages provided by Osprey tool steels are like the benefits of P/M products. The large volumes of gas sprayed by the Osprey method have a very high density. This high-density value enables high speed steels produced by the Osprey method to show uniform and fine carbide distribution in dimensions similar to P/M products.

Powder metallurgy is a process used to create very small ingots. Steel that is still liquid is dripped through a nozzle and "atomized" by liquid or gas sprays, which almost immediately turns the steel into powder. Tool steel is often produced using nitrogen. The powder's individual particles resemble small ingots. In comparison to traditional casting, the cooling rates are therefore substantially faster.

Following production, the powder is placed into a mild steel can and put through a process known as "hot isostatic pressing" (HIP), which involves heating the can to a high temperature (about forging temperature) and applying pressure to transform the individual powders into solid ingots. For damascus, the HIP method is comparable to

forge welding. The ingot is subsequently treated by forging and/or rolling it in the same manner as any other ingot.

Production of very high alloy tool steels was made possible by the invention of powder metallurgy. High alloy tool steels have the problem of forming very large carbides, which results in poor toughness.

The finished product has a homogeneous internal structure and less porosity when powder metallurgy and conventional steel production processes are compared. PM can be used to create parts with controlled porosity. This is advantageous in applications where lubrication or permeability is needed, such as in self-lubricating bearings or filters. PM processes can achieve tight tolerances and produce parts with consistent quality. This is important in applications where uniformity and reliability are critical. Powder metallurgy can produce complex shapes and intricate geometries that may be difficult or costly to achieve through conventional manufacturing methods, such as casting or forging. Powder metallurgy can lead to improved material properties, such as increased strength, wear resistance, and dimensional stability, depending on the alloy composition and process parameters. The mechanical qualities of the steel produced are significantly improved by these benefits and the presence of high carbide-forming components. In comparison to conventional tool steels utilized, especially in frictional areas, it also helps to greatly extend the life of components and molds because of its excellent hardenability after heat treatment.

Strong carbide-forming components in its structure and manufacturing process provide ASP 2012 quality cold work tool steel, which is made using powder metallurgy, a homogeneous microstructure. In particular, ASP 2012 is utilized in parts that work under impact and stress, as well as in cutting and plastering molds since it is more durable than other powder-metallurgy-produced steels. The high hardening ability of ASP 2012 tool steel is another benefit over other contemporary tool steels. Its hardness can grow to 60 HRC after heat-treated. It is also appropriate for other industrial surface treatments like nitriding, carburizing, and boriding.

Additionally, ASP 2053 is a powder-metallurgy cold work tool steel with a high wear resistance due to its high carbon content and potent carbide-forming components. Due to its capacity to acquire high hardness, ASP 2053, which has a fine-grained and uniform microstructure, is employed particularly in cutting tools. These steels are used in manufacturing and molding, and in addition to increasing part life, it is intended to increase the suitability of the coating techniques used on them and the performance of the materials in an economically sensible way. As a result of the surface coating technique to be used on ASP 2012 and ASP 2053 tool steels, surface characterization was done in this study.

Tool steels made using powder metallurgy, ASP 2012 and ASP 2053, were used in this thesis. These tool steels were aluminized by hot dipping pure aluminum and Al-wt.12%Si. Aluminized powder metallurgy (PM) tool steels are a specialized type of tool steel that combines the advantages of both powder metallurgy and aluminizing processes. These steels are designed to provide exceptional wear resistance, heat resistance, and corrosion resistance, making them ideal for various cutting, machining, and tooling applications.

Other aluminum coating techniques include thermal spraying, cladding, electrolysis coating, vacuum coating, vapor deposition coating and electrophoresis coating. The most important criterion in choosing the hot dipping method used in this study is that

a coating layer that is thick and adheres well to the substrate material can be obtained in relatively short processing times.

Spray coating is based on the principle of coating the metal with aluminum at a certain thickness by spraying aluminum onto the cleaned material surface via an air jet at appropriate pressure. Annealing can be applied after the process to ensure the strength between the main material surface and the spray-sprayed aluminum coating.

Electrolysis coating, in this method, the electrodes contain either aluminum chloride or aluminum soaked in ethyl bromide and benzene. The surface to be coated is first cleaned by dipping it in HCl solution. In this method, the coating speed is very slow. A coating thickness of 0.01 mm can be achieved in approximately 30 minutes.

The cladding method is based on the principle of coating the surfaces of metallic materials with aluminum by rolling them through mechanical energy and high pressure. It is a preferred method for coating boards. In the electrolytic aluminum coating method, the material to be coated is first cleaned from dirt and oil in HCl solution. In this process, the coating speed of aluminum on the substrate material to be coated is quite low.

Box cementation is a very costly and time-consuming coating method. It is recommended for materials with irregular geometries. It is generally applied to nickel-based alloys. The substrate surface to be coated is cleaned, then it is heated to the appropriate temperature with the aluminum mixture containing ferro-aluminum powders in an airtight still for up to 30 h.

Hot-dipped aluminizing involves immersing steel or iron components into a bath of molten aluminum or aluminum alloy at temperatures typically ranging from 870 °C to 900 °C. During the immersion, the aluminum or aluminum alloy adheres to the surface of the steel or iron through a metallurgical reaction, forming a protective coating. The resulting aluminum coating provides excellent corrosion resistance, making it highly effective in preventing rust and other forms of corrosion that can degrade the metal. The process ensures strong adhesion of the aluminum to the base metal, creating a durable and long-lasting protective layer. Hot-dipped aluminizing is commonly used in various industries, including automotive, construction, and manufacturing, to protect steel and iron components such as pipes, sheet metal, and structural members.

Studies are continuing on the coating process with the hot dipping method. Development studies are carried out by changing parameters such as coating material, temperature, time and substrate material used in the coating process. Compared to other coating processes used in the industry, the aluminum coating process offers a coating area with high hardness and high continuity. It is more economical, especially compared to a coating that requires high temperatures, such as boriding.

The parameters of the aluminum coating process by hot dipping method affect the thickness formed after the coating process, coating morphology, adhesion strength at the substrate material and coating interface, and the mechanical properties of the coating. As the coating temperature increases, the mutual diffusion between the substrate material and aluminum accelerates and affects the coating structure and morphology. While the coating time does not significantly affect the coating morphology, it significantly increases the coating thickness.

To increase the adhesion strength of the coating, the surface of the base material should be cleaned from oil and dirt before the process. The chemical composition of the

aluminum used as the coating material affects the type and number of intermetallic phases formed.

The coating process used with molten pure aluminum and Al-wt 12% Si alloy at 700 °C for both materials. It was carried out in a graphite crucible and the coating process was done for 3 min.

In this study, a diffusion annealing temperature was determined for both steels below the austenitization temperature. While the austenitization temperature for ASP 2012 quality cold work tool steel is 1100 °C, this value is 1180 °C for ASP 2053 quality cold work tool steel. The reason why the coating temperature is chosen lower than these values is to determine the change in Fe and Al ratios in the aluminide phases. After the coating process, diffusion annealing was carried out at 800 °C for 1 h. Afterwards, the samples were removed from the surface and cooled to room temperature in air. With the diffusion annealing process, it is aimed to modify the aluminide layers which have been already obtained after the hot dipping process.

After the hot dip coating and diffusion annealing processes were completed, structural and morphological characterization of both cold work tool steels were performed by XRD analysis, optical microscopy, and SEM-EDS examinations, and the hardness of the coating layer was measured.

Both ASP 2012 and ASP 2053 cold work steels underwent XRD examination to determine the current phases that exist between the coating and the bulk material. In ASP 2053 and ASP 2012 quality powder metallurgy tool steel, phases rich in Al and Si, FeAl and Fe₃Al are created from the outermost layer to the substrate after the diffusion annealing process, whereas FeAl₂, FeAl, and Al-rich phases are only formed in HDA (Hot Dip Aluminizing) of ASP 2012 and ASP 2053 quality steel.

1. GİRİŞ

Takım çelikleri, malzemelere şekil vermek, istenilen forma getirmek veya kesmek için kullanılan takımları ya da kalıp parçalarını üretmek için kullanılır. Üretilen ilk takım çelikleri karbon çelikleri olup, teknoloji ve zamanın ilerlemesi ile 20. yy. başlarında yüksek alaşımlı takım çelikleri üretilmeye başlanmıştır. Takım çeliklerinde kullanılan alaşım elementleri; tungsten, molibden, vanadyum, krom ve manganezdır. Takım çeliğinin kullanım yerine göre bu karbür yapıcı elementlere kobalt da eklenebilir [1].

Üretilen ilk takım çelikleri karbon çeliği olmasına rağmen, günümüzde imalat sektöründeki kullanım alanına göre; alaşımlı takım çelikleri, yüksek hız çelikleri, toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş takım çelikleri, ısıl işlem uygulanabilen takım çelikleri olarak çeşitlendirilebilir. Takım çelikleri ağırlıklı olarak; yüksek aşınma direnci, tokluk, korozyon direnci, yüksek sıcaklık meneviş direnci gibi mekanik özelliklerin beklendiği yerlerde kullanılır. Beklenen mekanik özelliklerine göre, imalat ve kalıpcılık sektörleriyle beraber makine parçası olarak da kullanılır [2]. Üretilen parça adedinin artması ve üretim zamanının kısalmasıyla günümüzün rekabetçi imalat ve kalıpcılık sektöründe takım çelikleri artan ihtiyaçları karşılamakta gittikçe yetersiz kalmaktadır [3].

Yüksek sıcaklık dayanımı, kompleks yüklerdeki artış, nem, yüksek korozyon ortamı ve aşındırıcı hammadde gibi agresif çevresel ve mekanik etmenler, modern takım çelikleri yerine toz metalurjisi ile üretilen çeliklere yönelimi arttırmıştır. İmalat sektörünün taleplerini karşılamak adına fiziksel ve kimyasal özellikleri, modern takım çeliklerinden çok daha üstün toz metaller geliştirilmeye başlanmıştır. Toz metalurjisi ile üretilen çelikler üreticiye; daha iyi bir çalışma performansı ve daha uzun parça ömrü sunmaktadır [4].

Günümüzdeki kullanım alanı giderek artan toz metalurjisi ile üretilmiş çelikler; otomotiv, havacılık, beyaz eşya ve makine imalatı gibi sektörlerde modern takım çeliklerinin yerini almaya başlamıştır [5]. Metal sac kesme, form verme, bükme ve taslak çıkarma kalıplarında görülen abrasif aşınma ve düşük tokluktan dolayı yaşanan ağız dökülmesi gibi hasar mekanizmaları toz metalurjisi ile üretilmiş çelikler ile

geciktirilebilir. Düşük mukavemetli saclarda modern takım çeliklerine göre çok iyi sonuçlar veren toz metalurjisi ile üretilmiş çelikler, ayrıca yüksek mukavemetli paslanmaz sac ve bakır gibi hammaddeler ile de iyi çalışmaktadır [6].

Üretim yöntemi gereği, mikroyapısı homojen olan toz metalurjisi ile üretilmiş çelikler ısıtılma işlemi uygulanarak yüksek sertlikler elde edilebilmektedir. Ayrıca kompleks parçaların üretimi, fire miktarının az olması sebebi ile de modern takım çeliklerine göre oldukça avantajlıdır [7]. Modern takım çeliklerinin üretiminde katılaşma sırasında gözlenen alaşım segregasyonu, çeliklerin performansının en yüksek seviyeye çıkmasını engellemektedir. Toz metalurjisi ile üretim sayesinde çelikler, daha homojen ve ince birincil karbür dağılıma mevcut bir mikroyapıya sahiptir. Bu mikroyapı sayesinde, yüksek mekanik özellik gösteren toz metalurjisi ile üretilmiş çeliklerin imalat sektöründeki kullanım alanlarının giderek artacağı ön görülmektedir [8].

Bu çalışmada ASP 2012 ve ASP 2053 kalite toz metalurjisi ile üretilmiş iki farklı kimyasal bileşime sahip takım çelikleri kullanılmıştır. Sıcak daldırma yöntemi ile yüzey kaplama işlemi yapılmıştır.

2. TAKIM ÇELİKLERİ

2.1 Takım Çeliklerinin Genel Özellikleri

Gelişen teknoloji ile mukavemet kazanan hammaddeler ve üretim adetlerinin artması çeliklerden beklenen özelliklerde de iyileştirme yapılmasını ve geliştirilmesini zorunlu bir hale getirmiştir. Bu sebeple imalat ve makine sanayi, karbon çeliklerin yerine geliştirilen modern takım çeliklerini kullanmaya başlamıştır [11].

Çalışma parametreleri değişiklik gösterse de takım çelikleri genel olarak; sıcak ve soğuk ortamda hammaddeye form verme, bükme, delme ve ekstrüzyon gibi uygulamalarda kullanılır. Kalıpcılık ve imalat sektöründe yaygınlaşan kullanım alanının yanı sıra, havacılık, savunma sanayi, beyaz eşya ve otomotiv sektöründe yüksek nitelikte makine parçaları olarak da kullanılmaya başlanmıştır [9].

Bu çeliklerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde ve birçok uygulamada kullanılmasının yaygınlaşmasında önemli rol oynayan başlıca alaşım elementleri; vanadyum, krom, molibden, tungsten ve kobalttır [10]. Çalışma koşulları, kullanılan hammadde cinsi ve ısıtma işlemi gibi parametrelere göre değişiklik gösterse de takım çeliklerinden beklenen genel özellikler aşağıdaki gibidir [9].

- Yüksek Aşınma Direnci
- Sertleşebilirlik
- Yüksek İşlenebilirlik
- Yüksek Sıcaklık Meneviş Direnci
- Yüksek Tokluk
- İyi Parlatılabilirlik
- Kaynaklanabilirlik
- Süneklik

Takım elikleri kabaca; metal enjeksiyon kalıpları, kesme ve form verme kalıpları, plastik enjeksiyon kalıpları, alüminyum ve zamak enjeksiyon kalıplarında, CNC işleme merkezlerinde, kalıpcılık sektöründe kullanılan işleme takımlarında, makine parçalarında kullanılır [10]. Çalışma koşullarına uyum sağlaması için, takım çeliğın yüksek mukavemet göstermesi gerekmektedir. Yeterli sertliğın kazandırılması ile sağlanan mukavemet, takım çeliklerinin kullanım ömrünü uzatmakta ve üretim maliyetlerini ciddi anlamda düşürmektedir. Sertliğın kazandırılması için takım eliğının bileşiminde yeterli miktarda karbon bulunması gereklidir [11].

Malzemenin mikroyapısında bulunan; empürite elementler, inklüzyonlar, safsızlıklar ve karbür yapıcı elementler sünekliliğı etkiler. Tokluk ise; malzemenin çatlak ilerlemesine karşı gösterdiğı direnç olarak tanımlanabilir. Çatlak başlangıcı ve ilerlemesinde, parçanın dizaynı, ısıt işleme parametreleri ve malzemenin mikroyapı temizliğı oldukça önemlidir. Parça tasarımından kaynaklı çatlak başlangıcına sebep verecek keskin köşelerin bulunması, tel erozyon gibi işleme yöntemleri sonrası yüzeyde oluşan gevrek tabakanın kaldırılmaması, ısıt işleme sonrası malzeme de oluşan termal gerilmeler de çatlak ilerlemesinde aktif rol oynar [11].

2.2 Takım eliklerinin Sınıflandırılması

Takım elikleri kimyasal bileşim ve tanımlarına göre sınıflandırılabilir. Aynı tanım içerisinde bulunan takım çelikleri, sertleşebilme özellikleri ve kullanım alanlarına göre de çeşitlilik gösterebilir. Metal ve alaşımlarının karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde ve bu malzemelerin tanımlanmasında kullanılan sınıflandırma olan SAE ve ASTM standartları tarafından düzenlenmiştir. Gelişen teknoloji ile keşfedilen tüm metal ve alaşımları bu sınıflandırmaya dahil edilmiştir. Bu sınıflandırılma SAE-ASTM baz alınarak aşağıdaki izelge 2.1’de verilmiştir [10].

Su ile sertleşebilen takım elikleri W ile tanımlanmaktadır. Bu grupta bulunan çelikler, diğerk tüm takım çeliklerine göre çok daha az miktarda alaşım elementi içermektedir. Sertleşebilme özellikleri de düşük olup uygulama alanına göre ekonomiktirler. Yüksek mukavemet gerektirmeyen, yüksek yüke maruz kalmayan uygulamalarda tercih edilirler [12].

Şok dirençli takım elikleri S ile gösterilmektedir. Bu takım çelikleri yüksek tokluk ve yüksek şok direnci gerektiren uygulamalar için geliştirilmiştir. Yük altında, yüksek

aşınma direnci ve mukavemet gösterirler [12]. Bu grupta bulunan takım çeliklerinde başlıca; manganez, silisyum, krom, tungsten ve molibden gibi alaşım elementleri bulunmaktadır [12]. Perçin takımları ve zımbalar bu çeliğin başlıca uygulama alanlarıdır [1].

Çizelge 2.1 : Takım çeliğinin sınıflandırılması [10].

Tanım	SAE-ASTM Gösterimi	Karakteristik Özelliği
Suda Sertleşebilen Takım Çelikleri	W	
Şok Dirençli Takım Çelikleri	S	
Soğuk İş Takım Çelikleri	O A D	Yağda sertleşebilen Havada sertleşebilen- orta alaşımlı Yüksek karbon ve krom içeren
Plastik Kalıp Takım Çelikleri	P	
Sıcak İş Takım Çelikleri	H	H10-H19; krom bazlı H21- H26; tungsten bazlı H42-H43; molibden bazlı
Yüksek Hız Takım Çelikleri	T M	Tungsten bazlı Molibden bazlı

Soğuk iş takım çelikleri 200 °C'nin altında, yüksek aşınma direnci istenen takım çeliği grubudur. Sertleşebilme özelliklerinin yanı sıra, yüksek tokluk da istenen uygulamalarda kullanılmaktadır. İmalat ve kalıpcılık sektöründen özellikle; metal sac kesme, form verme, delme ve sıvama kalıplarında kullanılan soğuk iş takım çelikleri 3 gruba ayrılmaktadır. Bunlar; A (hava ile sertleşebilen), D (yüksek karbon- krom içeren) ve O (yağ ile sertleşebilen) kalite takım çelikleridir [12].

Plastik kalıp çelikleri P ile gösterilmektedir. İmalat sektörünün büyük bir kısmını oluşturan plastik kalıpcılık sektöründe tercih edilirler. Bu gruptan beklenen başlıca özellikler; parlatılabilirlik, işlenebilirlik, yüzey kaplama işlemlerine uygunluk, aşınma direnci ve tokluktur. Düşük karbon içeriğine sahip bu grupta, önemli miktarda krom ve nikel bulunmaktadır [2].

Tüm sıcak iş takım çelikleri AISI spesifikasyonlarında H harfi ile gösterilmektedir. Düşük karbon içeriğine sahip sıcak iş takım çeliklerinden beklenen genel özellikler; yüksek sıcaklık meneviş direnci, aşınma direnci ve tokluktur. Alaşım elementleri içeriğine göre 3 gruba ayrılmaktadırlar [12]. Sıcak iş takım çelikleri sertleşebilme

özelliğinin yanı sıra sıcaklık, basınç ve abrasif aşınma direncinin önemli olduğu uygulamalar için geliştirilmiştir. Plastik kalıplarında, yüksek çevrim sürelerinden dolayı da yine tercih edilebilmektedir [1].

Yüksek hız takım çelikleri tungsten ve molibden bazlı olmasına göre T ve M harfleriyle tanımlanmaktadır. Özellikle kesici takımlarda kullanılan bu grup güçlü bir karbür yapıcı element olan tungsten içermektedir [12]. Kesici takımların çalışması sırasında oluşan sürtünmeden kaynaklı, malzemeye yüksek sıcaklıkta mukavemet kazandıran kobalt da eklenebilmektedir. Molibden ve tungsten bazlı yüksek hız takım çelikleri, sertleşebilirlik özellikleri bakımından benzerdir. Bu çeliklerin başlıca kullanım alanları; matkap, freze ve her türlü kesici takımlardır [1].

2.3 Takım Çeliklerine Alaşım Elementlerin Etkisi

Takım çeliklerinde birçok mekanik ve fiziksel özellik kazanımını sağlayan element bulunmaktadır [13]. Çeliğe yüksek sertlik ve mukavemet kazandıran elementler ayrıca martensit ve karbür yapıcı rollerinde de etkili olmaktadır. Elementler çelik yapısında farklı formlarda bulunabilir. Bunlar; serbest durumda, demir ve diğer elementler ile intermetalik fazda oksit ve sülfür formlarıdır [15].

Takım çeliği içerisinde karbür yapıcı ve karbür yapıcı olmayan elementler 2 gruba ayrılır.

- 1) Karbür yapıcı olan elementler; krom, manganez, molibden, tungsten, vanadyum, titanyum, zirkonyum ve niyobyumdur.
- 2) Karbür yapıcı olmayan elementler; nikel, silisyum, kobalt, alüminyum, bakır ve azottur.

Çeliğin içerisinde altı farklı karbür çeşidi bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki Çizelge 2.2’de gösterilmiştir [14].

Çizelge 2.2 : Takım çeliği yapısındaki karbür formları [14].

1. Grup	2. Grup
M_3C	MC
$M_{23}C_6$	M_2C
M_7C_3	
M_6C	

Karbon

Karbon, tüm çelik çeşitleri içerisinde sertleşebilme kabiliyetini etkileyen önemli bir elementtir [12]. Karbon segregasyonu, diğer elementlerin segregasyonundan çok daha önemlidir. Takım çeliği yapısındaki karbon miktarı kaynaklanabilirlik özelliğini de etkiler. Yapıdaki karbon miktarı arttıkça kaynaklanabilirlik özelliği azalmaktadır. Ayrıca karbon, diğer mekanik ve fiziksel özellikleri en çok etkileyen elementtir [13].

Manganez

Manganez, takım çeliği içerisinde birçok özelliği etkilemektedir. Bunlardan bazıları; süneklik ve kaynaklanabilirliktir. Takım çeliği yapısındaki manganez içeriği arttıkça, süneklik ve kaynaklanabilirlik azalmaktadır. Manganez elementinin ayrıca sertleştirilebilme özelliğine etkisi bulunmaktadır [13]. Düşük karbonlu çeliklerde işlenebilirliği arttıran manganez, yüksek karbonlu çeliklerde işlenebilirliğe negatif bir etki yaratırken, temper gevrekliğine ve ısıtılma işlemde kaba tane büyümesine sebep vermektedir [15].

Fosfor

Fosfor segregasyonu kükürt ve karbondan daha düşüktür. Takım çeliği içerisindeki artan fosfor miktarı, mukavemet ve sertliği artırırken tokluğu ve sünekliği negatif yönde etkilemektedir [13].

Kükürt

Takım çeliği içerisinde artan kükürt içeriği, sünekliği ve tokluğu olumsuz etkilerken diğer mekanik özelliklerde çok etkili olmamaktadır. Ayrıca, kükürt içeriğinin artmasıyla kaynaklanabilirlik düşmektedir [13].

Silisyum

Silisyum, çelik üretiminde kullanılan başlıca oksijen gidericilerden biridir. Bu nedenle, çeliğin yapısında bulunan silisyum miktarı çeliğin tipi ile ilgilidir [13]. Genel olarak silisyum, temperlenmiş martensit gevrekliğini daha yüksek sıcaklıklara ötelemektedir [12].

Krom

Takım çeliğine eklenen krom, genel olarak korozyon ve oksidasyon direnci arttırmaktadır. Sertleşebilirlik e yüksek sıcaklık mukavemetini arttıran krom, güçlü bir

karbür yapıcıdır [13]. Krom elementi çelik içerisinde genellikle Cr_{23}C_6 ve Cr_7C_3 karbür formlarında bulunmaktadır [12].

Nikel

Nikel, düşük karbonlu çeliklerde sertleşebilirliği ve tokluğu artırır [12]. Nikel ve krom içeriğine sahip olan takım çelikleri; yüksek darbe direnci ve yüksek sertleşebilirliğe sahiptir [13].

Vanadyum

Vanadyum güçlü bir karbür yapıcı elementtir [12]. Matrikte tam çözünemeyen vanadyum karbürler, östenit içerisinde çözünerek sertliği arttırmaktadır. Mikroyapının ince taneli olmasını sağlayan vanadyum, işlenebilirliği olumsuz yönde etkiler [15]. Çeliğin yapısında MC karbür formunda bulunan vanadyum oldukça serttir. Bu karbürler ayrıca, abrasif aşınma direncini de iyileştirmektedir [12].

Alüminyum

Alüminyum bir oksijen giderici olup, tane büyüklüğü etkileyen bir elementtir [13].

Kobalt

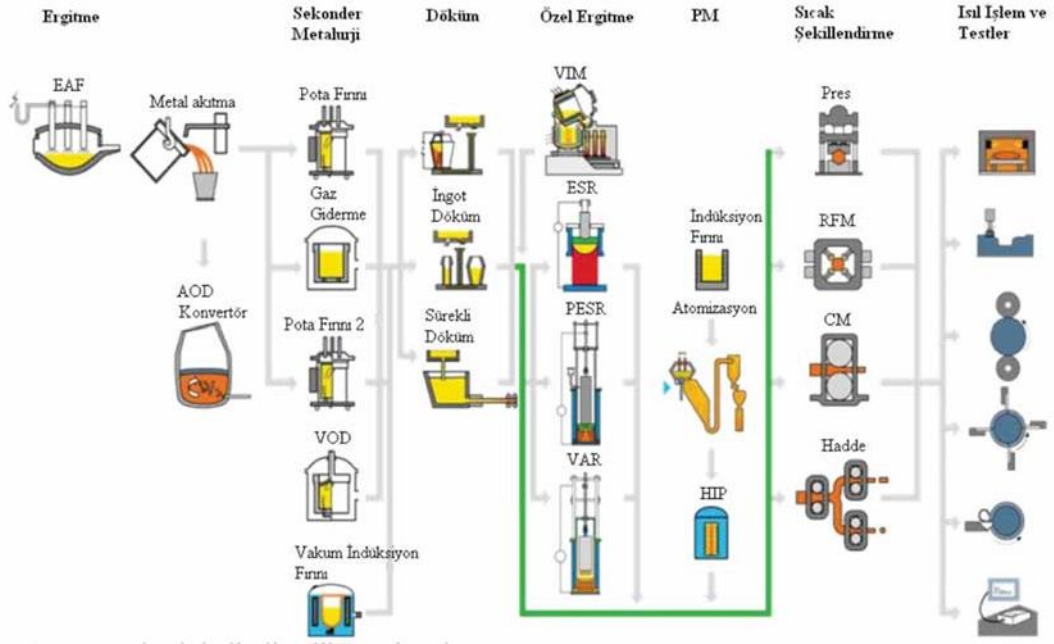
Kobalt, genel olarak yüksek hız takım çeliklerinde kullanılan bir elementtir. Yapıya eklenen kobalt içeriği, 650 °C'ye kadar yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerde kararlılığı artırırken, sertleşebilirliği de olumlu etkiler. Bazı yüksek hız takım çeliklerinin sertliği, su verme sonrasında 68-70 HRC olabilmektedir. Ayrıca, kobalt içeriğinin artması tokluk ve aşınma direncini düşürmektedir [12].

2.4 Takım Çeliği Üretimi

Takım çeliği üretimi genel olarak üç şekilde yapılmaktadır. Bunlar, geleneksel takım çeliği üretimi, Osprey yöntemi ve toz metalurjisidir [9].

2.4.1 Geleneksel takım çeliği üretimi

Geleneksel takım çeliği üretimi ergitme ve katılaşma ile başlar. Hurda ve seçilen alaşım elementleri elektrik ark ocağında veya indüksiyon fırınında ergitilir ve ingot halinde dökülür. Daha sonra ingotlar, vakum altında ergitme ya da cüruf altı ergitme tekrar ergitilmektedir [19]. Şekil 2.1'de geleneksel takım çeliği üretimi gösterilmektedir [20].



Şekil 2.1 : Takım çeliği üretimi [20].

İngot büyüklüğü genel olarak, soğutma sırasında dendrit oluşumunu engellemek ve segregasyonu azaltmak için küçük tutulur. Yeni üretim tekniklerinden biri olan atomizasyon çok daha iyi bir homojen mikroyapı sağlamaktadır [19].

Geleneksel çelik yapım süreci iki aşamaya ayrılmıştır. İlk aşama, esas olarak çok az rafine edilmiş veya hiç rafine edilmemiş ergitmeden oluşur ve operasyon bu amaç için optimize edilebilir. Bu sistemlere yüksek güçlü elektrik ark ocakları örnek verilebilir. İkinci aşamada, elektrik ark ocağından çıkan sıcak metal, rafinasyonun çoğunluğunun gerçekleştiği bir potaya veya konvertör potasına aktarılır [10].

Potaya dökülen ingot katılaştıktan sonra cüruf altı ergitme (ESR) işlemine tabi tutulur. Bu işlem ile pota metalurjisi ile giderilemeyen süreksizlikler, inklüzyonlar yapıdan uzaklaştırılarak daha temiz bir mikroyapı imkânı sunar. Böylece malzemenin tokluk değeri arttırılmış olmaktadır. ESR işleminin bir diğer avantajı ise segregasyonu ve tane büyümesini engellemektedir [9].

İkincil rafine prosesi üçe ayrılmaktadır. Bunlar; argon oksijen dekarbürizasyon fırınları (AOD), vakum oksijen dekarbürizasyon (VOD) fırınları ve pota fırınlarıdır [10].

Son yıllarda, yüksek tokluk ve mikroyapısı temiz malzemelere ihtiyaç giderek artmaktadır. Mikroyapıda olumsuz etkileri olan, hidrojen, azot, kükürt ve arsenik,

çeliğin kullanım yerine göre kabul edilebilir bir seviyede olmalıdır. Bu süreksizlikleri gidermek için vakum oksijen dekarbürizasyon (VOD) yöntemi kullanılır [20].

Vakum oksijen dekarbürizasyon işleminde, ark ocağından alaşım ilave edilen sıvı metal bir vakum haznesine aktarılır. Burada alttan argon, üstten O₂ üflenerek hızlı bir dekarbürizasyon sağlanır. Böylece süreksizlikler talep edilen miktarda yapıdan uzaklaştırılmış olur [20].

2.4.2 Osprey yöntemi

Püskürtme ile biriktirme olarak da bilinen Osprey, koruyucu bir atmosfer altında hızlı katılaşma ile direk olarak eriyikten, parçanın, alaşımın veya kompozit malzemelerin üretildiği yöntemdir. Osprey yöntemi, geleneksel takım çeliği üretimine göre avantajlı olup, toz metalurjisi ile elde edilebilen üstün mekanik özelliklere ve mikroyapı temizliğine yakın bir performans verebilmektedir [9].

2.4.3 Toz metalurjisi ile üretilen takım çelikleri

Toz metalurjisi, geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan ve yüksek mekanik özellik beklenen kompleks parçaların üretiminde kullanılan bir üretim yöntemidir [16]. Toz metalurjisi ile üretilen parçalar daha çok, yüksek teknolojinin ihtiyaçlarını karşılamak için daha uzun ömrü istenen uygulamalarda kullanılır. Bu uygulamalara; motor, makine ve uçak sanayiinde kullanılan parçalar örnek verilebilir. Günümüzde kullanımı ve uygulama alanları artan toz metalurjisinin önümüzdeki yıllarda geleneksel yöntemler ile üretilen çeliklerin yerini alacağı öngörülmektedir [18].

Toz metalurjisi ile üretilen yüksek hız çelikleri, geleneksel üretim yöntemi ile üretilen çeliklere göre daha yüksek mukavemete sahiptir. Ayrıca, toz metalurjisi üretim yöntemi yüksek alaşımlı çeliklerin üretimine de olanak sağlamaktadır. Bu sayede yüksek karbür içeriğine sahip, yüksek aşınma direncine sahip ve sertleşme kabiliyeti yüksek çelikler üretilerek imalat ve kalıpcılık sektöründeki kullanım alanları artmaktadır [17].

Toz metalurjisi üretim yöntemi genel olarak; geleneksel pres ve sinterleme yöntemi ile parça yoğunluğunu artırma işlemidir [18].

Pres ve sinterleme yönteminde; gaz atomizasyonu ile mükemmel küresel formunda ve yüksek saflığa sahip metal tozları elde edilmektedir. Atomizasyon sonrası elde edilen metal tozları bir kapsülde toplanır ve sıcak izostatik pres yöntemi (HIP) ile sıkıştırılır.

Bu yöntem sonrası üretilen yarı ürün, sıcak veya soğuk haddeleme, dövme ve tel çekme gibi şekil verme yöntemleri ile form verilerek istenilen form elde edilir [17].

Metal tozlarının boyutu genellikle 1 mm'den düşüktür. Birçok metal parçanın üretiminde kullanılan metal tozlarının boyutu 5 ile 200 µm arasından değişmektedir. Ergitme ve atomizasyon sonrasında metal tozları küçük boyutlara ulaşmaktadır. Toz metalurjisinde kullanılan başlıca alaşım elementleri, karbon, bakır, molibden ve vanadyumdur [18].

Gaz ve su atomizasyon yöntemleri, düşük karbonlu çelikler, takım çelikleri, yüksek hız çelikleri ve paslanmaz çelik tozları için uygulanabilir. Su atomizasyonu ile üretilmiş tozlar daha çok, düzensiz şekle ve yüzeylerinde yüksek oksijen içeriğine sahiptirler [18].

Öte yandan, gaz atomizasyonu ile üretilmiş tozlar ise, küresel veya yuvarlak bir forma ve daha az miktarda yüzeysel oksijen içeriğine sahiptirler [18].

Diğer bir üretim teknolojisi olan tam yoğunluk işlemi ise; mümkün olduğunca tam yoğunluğa yakın bir ürün elde etmek için özel olarak geliştirilmiştir. Tam yoğunluk işlemi; toz dövme işlemi (P/F), metal enjeksiyon kalıbı (MIM), sıcak izostatik presleme (HIP), sıcak pres ve ekstrüzyon gibi işlemleri de içermektedir [18].

2.5 ASP 2012 ve ASP 2053 Kalite Takım Çelikleri

ASP 2012, toz metalurjisi ile üretilmiş soğuk iş takım çeliğidir. Üretim sonrası yumuşak tavlanmış olarak teslim sertliği 230 HB'dir. ASP 2012 kalite takım çeliğinin özellikle tokluğu modern takım çeliklerinden üstündür. ASP 2012 kalite takım çeliğinin kimyasal bileşimi aşağıdaki Çizelge 2.3'de belirtilmiştir [21].

Çizelge 2.3 : ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.) [21].

C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V
0,6	1,0	0,3	4,0	2,0	2,1	1,5

ASP 2012 kalite takım çeliği için önerilen ısıtma işlem parametreleri, 450 °C'de 15 dakika ön ısıtma sonrası 1070 °C'de 15 dakika östenitleme yapılmasıdır. Soğutma işlemi havada yapıldıktan sonra, homojen bir sertlik elde edebilmek için 560 °C'de üç kez temperleme işlemi yapılmalıdır. Sertleşme kabiliyetini etkileyen elementleri yüksek

miktarda içermesinden dolayı, ASP 2012 kalite takım çeliğinin sertliği 61-63 HRC değerine ulaşabilmektedir. En yüksek tokluk değerini sağlayan sertlik ise 58 HRC'dir. Ayrıca ASP 2012 çeliği, nitrasyon ve oksidasyon gibi yüzey işlemlerine de uygundur. Çizelge 2.4'de ASP 2012 kalite takım çeliğinin fiziksel özellikleri belirtilmiştir [21].

Çizelge 2.4 : ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin fiziksel özellikleri [21].

Sıcaklık (°C)	20	400	600
Yoğunluk(g/cm ³)	7,8	7,7	7,6
Elastisite Modülü (GPa)	220	195	175
Termal Genleşme Katsayısı (1/°C)	-	12,1x10 ⁻⁶	12,7x10 ⁻⁶
Termal iletkenlik (W/m.°C)	26	30	30
Özgül Isı (J/kg.°C)	420	510	600

ASP 2012, kalıpcılık sektöründe genel olarak, yüke ve darbeye maruz kalan, yüksek darbe direnci istenen uygulamalarda kullanılır. Modern takım çeliklerinin mekanik özelliklerinin yeterli olmadığı, özellikle soğuk iş uygulamalarında ASP 2012 kalite takım çeliği kullanılabilir. Ayrıca; plastik kalıpları, broşlar, enjeksiyon pimleri, makine parçası ve haddeler, sıcak dövme ve ekstrüzyon kalıpları da bu çeliğin kullanım alanları arasında sayılabilir.

ASP 2053, toz metalurjisi ile üretilmiş soğuk iş takım çeliğidir. Kimyasal bileşiminde bulunan güçlü karbür yapıcı elementler sayesinde, homojen ve ince taneli bir mikroyapıya sahiptir. Ayrıca yüksek karbon içeriğinden dolayı yüksek sertlikler elde edilebilmektedir. Üretim sonrası yumuşak tavllanmış olarak teslim sertliği 300 HB'dir. Soğuk haddeme ile şekil verilmiş ASP 2053 kalite takım çeliğinin teslim sertliği 10-40 HB daha sert olmaktadır. ASP 2053 kalite takım çeliğinin kimyasal bileşimi aşağıdaki Çizelge 2.5'de belirtilmiştir [22].

Çizelge 2.5 : ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.) [22].

C	Cr	Mo	W	Co	V
2,48	4,2	3,1	4,2	-	8,0

ASP 2053 kalite takım çeliği için, önerilen ısıtma işlemi, 450 °C'de 15 dakika ön ısıtma sonrası 1100 °C'de 15 dakika boyunca östenitleme işleminin yapılmasıdır. Soğutma

işlemi havada yapıldıktan sonra, homojen bir sertlik elde edebilmek için 560 °C’de üç kez temperleme işlemi yapılmalıdır. Kimyasal bileşimindeki; güçlü karbür yapıcı elementlerin yanı sıra yüksek miktarda karbon içeriğinin bulunması ASP 2053 kalite takım çeliğinin sertleştirilebilme kabiliyetini arttırırken, yüksek aşınma direnci ve tokluk sağlamaktadır. ASP 2053 çeliğinin sertliği 67-69 HRC değerine kadar ulaşabilmektedir. Ayrıca ASP 2053 kalite çelik, nitrasyon ve oksidasyon gibi yüzey işlemlerine de uygundur. Çizelge 2.6’da ASP 2053 kalite takım çeliğinin fiziksel özellikleri belirtilmiştir [22].

Çizelge 2.6 : ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin fiziksel özellikleri [22].

Sıcaklık (°C)	20	400	600
Yoğunluk(g/cm ³)	7,7	7,6	7,5
Elastisite Modülü (GPa)	250	220	200
Termal Genleşme Katsayısı (1/°C)	-	11,1x10 ⁻⁶	11,7x10 ⁻⁶
Termal iletkenlik (W/m.°C)	24	28	27
Özgül Isı (J/kg.°C)	420	510	600

ASP 2053 kalite takım çeliğinin ince taneli ve homojen bir mikroyapıya sahip olması ve yüksek sertliğe sahip olması sayesinde modern takım çeliklerinin aşınma direnci ve sünekliğin yetmediği uygulamalarda kullanılır. Bunlara örnek olarak, kesici takımlar, soğuk iş kalıpları, tekstil ve geri dönüşüm bıçakları, ağaç testereleri gibi aşınma direncinin önemli olduğu alanlar verilebilir.



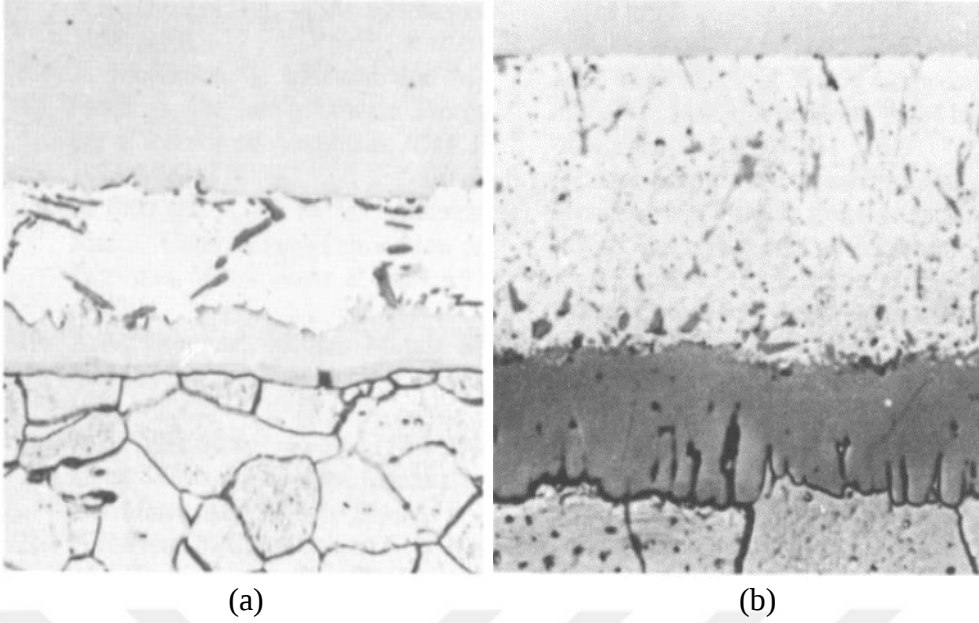
3. ALÜMİNYUM KAPLAMA İŞLEMLERİ

Günümüzde çeliklerin agresif koşullarda çalışma süreleri giderek artmaktadır. Bu sebeple, çeliklerin mekanik özellikleri ısıtılma işlem uygulamaları ile arttırılmaya çalışılmaktadır. Özellikle aşınma ve korozyon gibi yüzeye ilgili hasar mekanizmalarının gözlendiği uygulama alanlarında yüzey işlemleri önem kazanmaktadır. Yüzey işlemlerinden biri olan alüminyum kaplama da günümüzde birçok alanda uygulanmaktadır. İmalat ve kalıpcılık sektöründe kullanılan toz metalurjisi ile üretilen takım çelikleri alüminyum ile kaplanarak yüzey sertliği, oksidasyon ve korozyon direncinin artması hedeflenmektedir [7].

Çeliklerin alüminyum ve alüminyum alaşımlarıyla kaplanmasında kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

- Termal spreyci yöntemi ile alüminyum kaplama
- Vakum alüminyum kaplama
- Gaz alüminyum kaplama
- Giydirmeciccladding ile alüminyum kaplama
- Elektrolitik alüminyum Kaplama
- Elektroforez ile alüminyum kaplama
- Sıcak daldırma ile alüminyum kaplama
- Buhar biriktirme ile alüminyum kaplama [24].

Kaplama çeşidi ve performansı, kaplanacak altlık malzeme cinsine, altlık malzeme boyutuna, altlık malzeme şekline, üretim hacmi ve maliyete bağlıdır. Alüminyum kaplamanın önemli olarak iki tipi bulunmaktadır. 1. Tip % 5-11 Si içeren alüminyum ile kaplama. 2. Tip ise saf alüminyum ile kaplamadır. İki tip kaplama örneğinin 1000x büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri aşağıdaki Şekil 3.1’de belirtilmiştir [24].



Şekil 3.1 : (a) Birinci tip alüminyum kaplama, (b) İkinci tip alüminyum kaplama [24].

Şekil 3.1a’da sırasıyla; en üst katman saf alüminyum, açık ve koyu gri katmanlar ise alüminyum-demir ve en alt katman ise altlık çelik malzemeyi göstermektedir. Şekil 3.1b’de ise, üst katmandan alt katmana doğru sırasıyla, alüminyum-silisyum-demir alaşımı ve altlık çelik malzeme görülmektedir [24].

3.1 Alüminyum Kaplama Çeşitleri

3.1.1 Termal sprey yöntemi

Termal sprey ile alüminyum ile kaplama yöntemi, altlık malzemenin aşınma, korozyon ve erozyon direncini arttırmaktadır. Bu yöntem ayrıca altlık malzemenin tamirinde de kullanılabilir. Bu yöntem; metal, seramik, plastik ve polimerlere de uygulanabilir [24]. Termal sprey yöntemi ile alüminyum kaplamanın altlık malzeme yüzeyine yapışması zordur ancak yüzeyde bulunan pürüzlülükler giderilerek yapışma kabiliyeti artırılabilir [23].

3.1.2 Giydirme yöntemi

Giydirme yöntemi ile alüminyum kaplama özellikle otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Altlık malzeme, bakır çekirdek içeren bir vakum tüpe yerleştirilir. Burada soğuk haddeleme yöntemi ile altlık malzeme ile alüminyum arasında bir metalik bağ oluşturulur [23,24].

3.1.3 Elektroliz ile kaplama

Bu yöntemde alüminyum çelik yüzeyine elektrolizle kaplanır. Kaplanacak altlık malzeme yüzeyi kaplama öncesi HCl çözeltisi ile temizlenir. Bu kaplama yöntemi diğer alüminyum kaplama yöntemlerine göre yavaştır. Alkali klorür ve alüminyum klorür elektrotları kullanılır. Kaplama işleminin verimliliğini arttırabilmek için saf kimyasallar ve yüksek saflığa sahip anotlar kullanılır. Böylece metalik safsızlıklar ortamdan uzaklaştırılarak, parlak ve düzgün bir kaplama yüzeyi elde edilir. Bu kaplama türünde herhangi bir ara yüzey alaşım katmanı bulunmamaktadır [23,24].

3.1.4 Vakum ile alüminyum kaplama

Vakum ile alüminyum kaplama yöntemi günümüzde daha çok dekorasyon ve aksesuarlar için kullanılır. Bu yöntem ile altlık malzemeye 2,6 µm'den daha ince bir alüminyum kaplama yapılabilir [24].

3.1.5 Buhar biriktirme ile alüminyum kaplama

Bu kaplama yöntemi daha çok havacılık ve savunma sanayisinde uygulanmaktadır. Uygulama alanlarına örnek olarak, havacılık sektöründe kullanılan iniş takımları verilebilir. Uygulanabilirliği zor ve maliyetinin yüksek olmasından dolayı, bu kaplama yöntemi imalat sektöründe yaygın kullanılan bir yöntem değildir [23,24].

3.1.6 Elektroforez ile alüminyum kaplama

Elektroforez ile kaplama yöntemi, alkol banyosu içerisindeki küresel alüminyum parçacıklarından alüminyum tozunun elektroforetik olarak çökmesine dayanmaktadır. Bu tozlar katı bir tabaka üzerinde haddeleme yöntemi ile toplanır ve sinterlenir. Daha sonra 500 °C sıcaklıkta yavaşça altlık malzeme ile metalik bağ oluşturarak kaplama gerçekleştirilir [24].

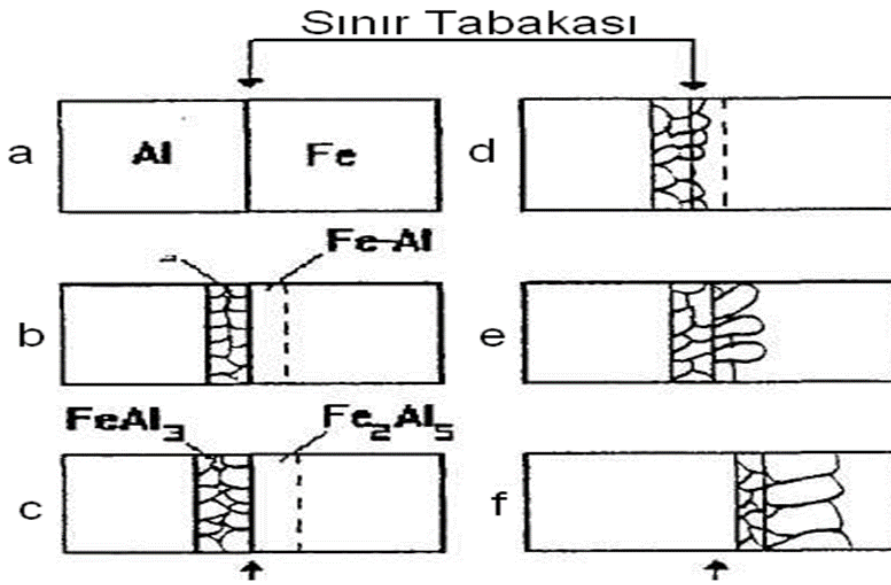
3.2 Sıcak Daldırma Alüminyum Kaplama

Sıcak daldırma ile alüminyum kaplama (SDA) yöntemi, diğer yöntemlere göre ekonomiktir. Altlık malzemenin oksidasyon ve korozyon direncini arttırmaktadır [25].

Diğer yöntemlere göre hızlı ve basit olan SDA, yüzey temizliği yapılmış altlık malzemenin ergimiş alüminyum veya alüminyum alaşımı banyosuna daldırılması ve bir süre bekletilmesi ile gerçekleşmektedir [7].

Sıcak daldırma ile alüminyum kaplama yönteminde, ergimiş alüminyum ve altlık çelik malzeme arasında reaksiyon gerçekleşir. Bu reaksiyon sırasında kaplama ve altlık malzemeyi yüzeyi arasında Fe-Al intermetaliklerinin (alüminid fazları) oluşumu gözlenmektedir [26].

Fe-Al reaksiyona girerek Fe_2Al_5 başta olmak üzere, altlık malzeme yüzeyi ile kaplama arasında; FeAl , FeAl_2 , FeAl_3 , Fe_3Al intermetallikleri oluşmaktadır. Şekil 3.2’de katı demir ve sıvı alüminyumun etkileşimi görülmektedir [23].



Şekil 3.2 : Katı demir-sıvı alüminyum etkileşimi [23].

Kaplama kalınlığı ve oluşan fazlar, banyo sıcaklığı, kaplama süresi, altlık malzemenin kimyasal bileşimine bağlıdır [27]. Sıcak daldırma ile alüminyum kaplama yönteminin dezavantajları ise; oluşan intermetalliklerin gevrek bir yapıya sahip olmaları, kaplama metalinin altlık malzemeye homojen olarak yayılmaması ve daldırma işlemi sırasında altlık malzemenin oksitlenmesidir [7]. Bu dezavantajlardan korunmak için, sıcak daldırma yöntemi ile alüminyum kaplamadaki önemli kriterler aşağıda belirtilmiştir.

- Kaplama yapılacak altlık malzemenin yüzeyi düz ve pürüzsüz olmalıdır.
- Kaplama yapılacak altlık malzeme uygun kalınlığa sahip olmalıdır.
- Sıcak daldırma yönteminden önce, oksidasyonu engellemek için flaks kullanılmalıdır.
- Kaplamanın gerçekleştirilmesi için, kaplama metali ile altlık malzeme arasında bir metalik bağ oluşturulmalıdır [7,28].

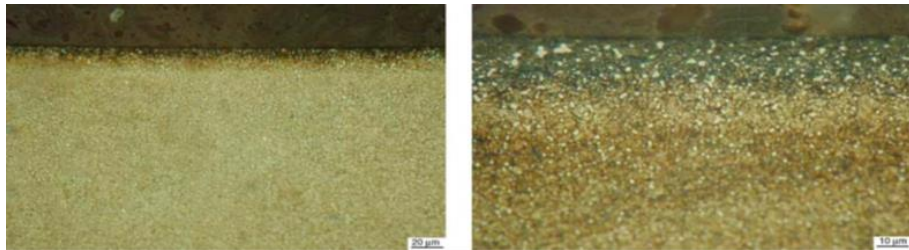
4. TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN ÇELİKLERE UYGULANAN KAPLAMA İŞLEMLERİ

Toz metalurjisi (TM) ile üretilen takım çeliklerinin mekanik özelliklerini iyileştirmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Özellikle PVD kaplama yapılarak; sürtünme katsayısını düşürmek, yüzeyde sert bir tabaka elde etmek ve abrasif aşınma direncini arttırmak için bu malzemelerin performanslarının artırılması hedeflenmektedir. Yapılan bir çalışmada TM ile üretilmiş Vanadis 30 takım çeliğinden imal edilen takımlara iki farklı kaplama sıcaklığı ve süre belirlenerek nitrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. PVD ile kaplanan Vanadis 30 kalite takım çeliğine TiN ve TiAlN katmanları oluşturulmuştur. Aşağıdaki Çizelge 4.1’de PM ile üretilen Vanadis 30 takım çeliğinin kimyasal bileşimi belirtilmiştir [29].

Çizelge 4.1 : Vanadis 30 kalite takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağırlık) [29].

C	W	Cr	V	Mo	Co
1,13	6,3	3,2	3,0	5,0	8,4

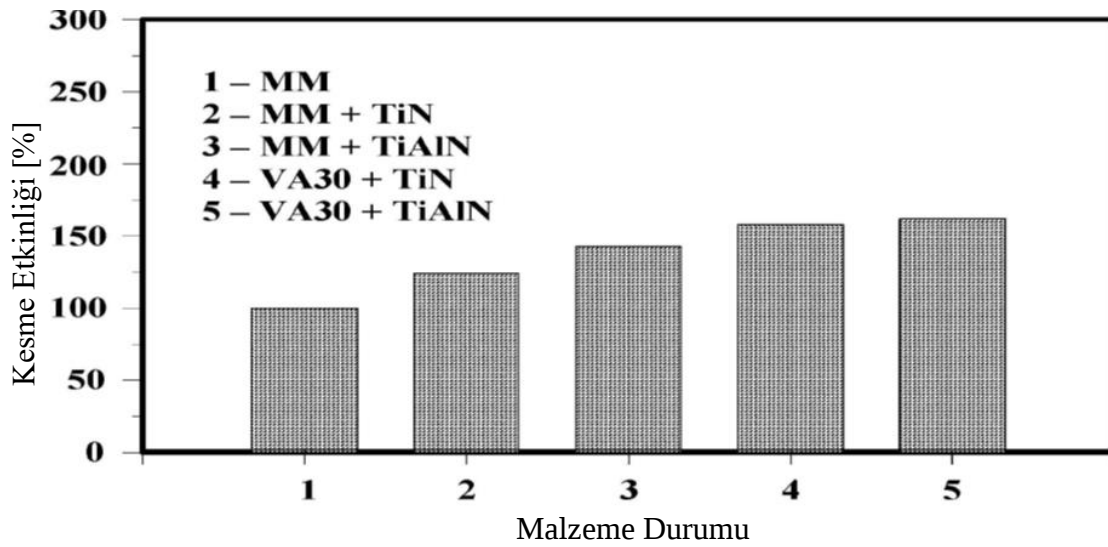
Bu çalışmada, mikroyapı incelemesi, kaplama sertlik ölçümü, EDS analizi ile yüzey kompozisyonunun incelenmesi ve kesme özellikleri incelenmiştir. Nitrasyon yapılan numunelere, dağlama yapılarak optik mikroskopta mikroyapı incelemesi yapılmıştır. İnceleme sonrası matrikste ince ve homojen dağılan karbürler ile temperlenmiş martensit görülmektedir. Dağlama işleminden sonra nitrürlenmiş kısımlar matrikse göre daha koyu renklidir. X-ray analizi ile matrikste bulunan karbür cinsleri; MC(V), $M_6C(Fe,W)$ ve $M_7C_3(Fe, Cr)$ olarak belirlenmiştir. Mikroyapı görüntüleri Şekil 4.1’de gösterilmektedir [29].



Şekil 4.1 : 530 °C/120 dak. Nitrasyon işlemi uygulanan Vanadis 30 kalite takım çeliğinin kesitinin mikroyapı fotoğrafı [29].

Mikrosertlik ölçüm sonrası, TiN ve TiAlN kaplama katmanlarının sertlikleri; 1380 ve 1440 HV olarak ölçülmüştür. ISO 3685-1977 standartlarına göre TM Vanadis 30 kalite takım çeliği malzemesi kullanılarak üretilen kesici takımlar ile geleneksel üretim yöntemi ile üretilmiş çeliğin (MM) aşınma dirençleri karşılaştırılmıştır. Nitrasyon kaplama işlemi yapılan TM Vanadis 30 malzemesinin aşınma direncinin, geleneksel yöntem ile üretilmiş çeliklere göre % 60 arttığı görülmüştür [29].

Aşağıdaki Şekil 4.2’te aşınma testi sonrası kaplamalı/kaplamasız TM Vanadis 30 kalite takım çeliği ve geleneksel yöntem ile üretilmiş çelik malzemelerin performansları karşılaştırılmaktadır [29].



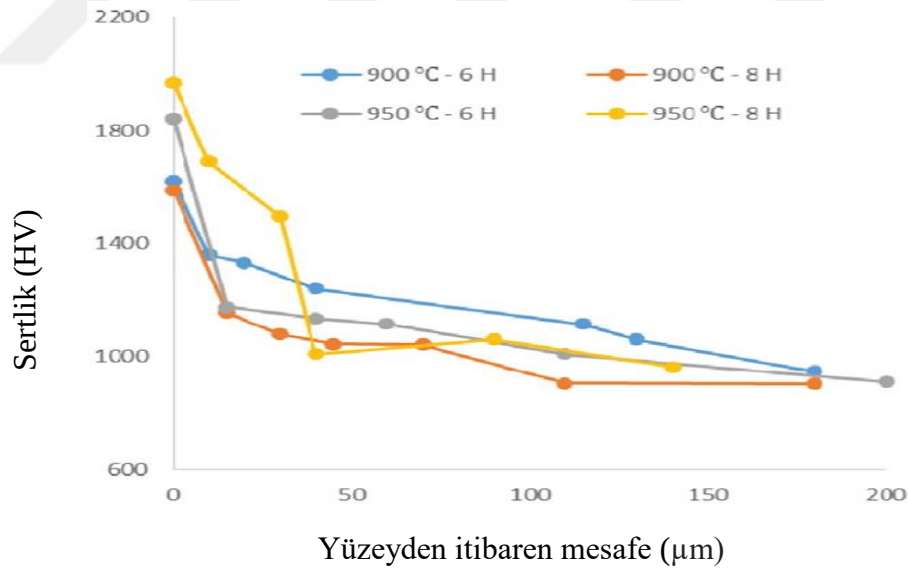
Şekil 4.2 : Kaplamalı/kaplamasız TM Vanadis 30 kalite takım çeliği ve MM çelik malzemelerin aşınma testi sonuçları [29].

Yapılan bir diğer çalışmada ise TM ile üretilmiş Vanadis 4 kalite takım çeliğine borlama yüzey işlemi yapılarak mikroyapı incelenmesi ve mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Borlama işlemi; aşınma direncini arttırmak için yapılan bir termokimyasal difüzyon işlemidir. Borlama yapılmış katmanlar iki çeşit demir-borür içermektedir. Bunlar; FeB ve Fe₂B’dir [30]. Bu çalışmada; kalıpcılık sektöründe kullanılan TM ile üretilen Vanadis 4 takım çeliği tercih edilmiştir. Kalıp parçalarına katı EKabor II ile borlama uygulanmıştır. Borlama işlemi sonrası, metalografik işlemler yapılarak mikroyapı incelemesi ve mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Kaplama sıcaklığı ve sürenin, element dağılımı üzerine etkisinin incelenmesi için EDS analizi yapılmıştır. TM ile üretilen Vanadis 4’ün kimyasal bileşimi Çizelge 4.2’de belirtilmiştir [30].

Çizelge 4.2 : Vanadis 4 kalite takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı) [30].

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1,4	0,4	0,4	4,7	3,5	3,7

Borlama işlemi, 900 °C ve 950 °C sıcaklıklarda 6 ve 8 saat olmak üzere numunelere uygulanmıştır. Borlama sonrası, numuneler hava ile soğutulmuş ve ılık su ve alkol ile temizlenmiştir. Borlama işlemi sırasında, bor numune yüzeyine difüze olmaktadır. Bazı elementler, borun numune yüzeyine difüzyonu sırasında bor ile reaksiyona girerek yüzeyden matrikse doğru hareket eder. Bazı elementler ise matriksten yüzeye doğru yer değiştirerek borlama işlemi yapılan yüzeyin kalınlığını ve oluşan tabakanın özelliklerini etkiler. Kaplama sıcaklığının ve süresinin artmasıyla kaplama kalınlığının arttığı gözlenmiştir. 950 °C’de 6 saat yapılan kaplama işleminde 4 µm kalınlığında bir kaplama katmanı görülmüştür. Aynı sıcaklıkta 8 saat gerçekleştirilen kaplama işlemi sonrası bu kalınlığın 30 µm değerine çıktığı gözlenmiştir. Bu sonuca göre, kaplama süresinin sıcaklıktan daha önemli bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Ölçülen mikrosertlik değerleri Şekil 4.3’de belirtilmiştir [30].



Şekil 4.3 : Borlama işlemi yapılmış numunelerin mikrosertlik ölçümleri [30].

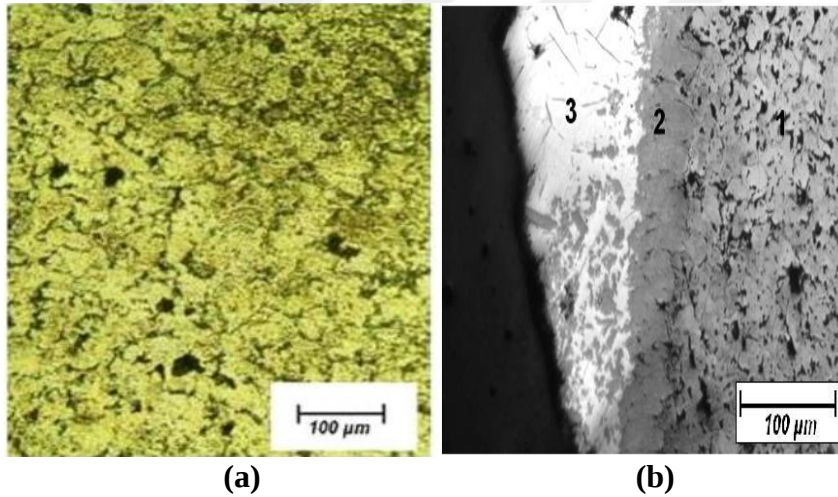
En yüksek sertlik 950 °C’de 8 saat yapılan borlama sonucu 1967 HV olarak ölçülmüştür. Çalışma sonucu olarak; borlama sıcaklığı arttıkça, kaplamadaki demir oranının düştüğü, bor oranının arttığı gözlenmiştir [30].

Yapılan bir diğer çalışmada ise, demir esaslı TM ile üretilmiş amortisör destek pulu parçaları sıcak daldırma yöntemi ile alüminyum kaplanmıştır. Kaplama işlemi, ergimiş

Al-Si12CuFe içerisinde 700 °C ve 750 °C’de 30 ve 300 saniye süre ile argon koruyucu gaz ortamında gerçekleştirilmiştir. Numuneler daha sonra korozyon direncinin gözlemlenmesi için, kaplamalı ve kaplamasız olarak yoğun tuz ortamında korozyon direnci deneyine tabi tutulmuştur. Deney sırasında, ortam sıcaklığı 35 °C’de sabit tutulmuş ve numune üzerine %5’lik NaCl sulu çözeltisi püskürtülmüştür. Kaplamasız numuneler 7 gün, kaplamalı numuneler ise 90 gün süre test edilerek kütle değişimleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan numunenin kimyasal bileşimi aşağıdaki Çizelge 4.3’de verilmiştir [7]. Kaplamasız ve kaplamalı TM ile üretilmiş numunelerin optik mikroskop fotoğrafları Şekil 4.4’de belirtilmiştir [7].

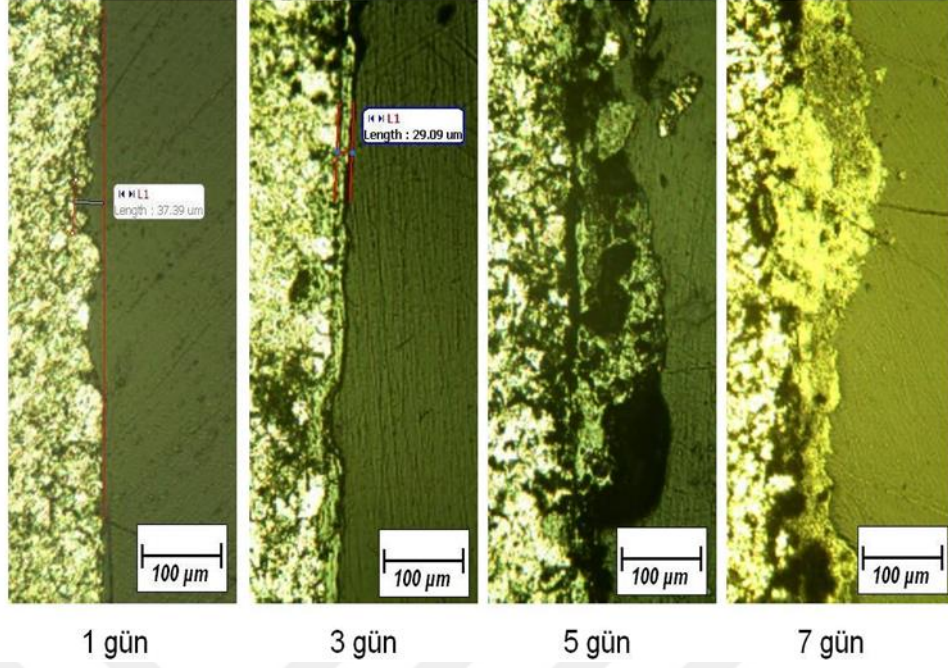
Çizelge 4.3 : TM ile üretilmiş parçanın kimyasal bileşimi (% ağırlık) [7].

Fe	C	Cu	Zn
99,79	0,01	-	0,2



Şekil 4.4 : (a) Kaplamasız TM numune (b) Kaplamalı TM numune [7].

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi TM numune, 750 °C’de 5 dakika boyunca kaplama işlemine tabi tutulmuştur. “1” ile tanımlanan bölge; demir esaslı ana malzemeyi, “2” ile tanımlanan bölge Fe-Al intermetalik fazın olduğu katmanı ve “3” ile tanımlanan bölge ise alüminyum ile kaplanan dış katmanı göstermektedir. Kaplamasız TM numunelerin kesitinin korozyon deneyi sonrası optik mikroskop fotoğrafları Şekil 4.5’de verilmiştir [7].



Şekil 4.5 : Kaplamasız TM numunenin kesitinin korozyon deneyi sonrası optik mikroskop fotoğrafı [7].

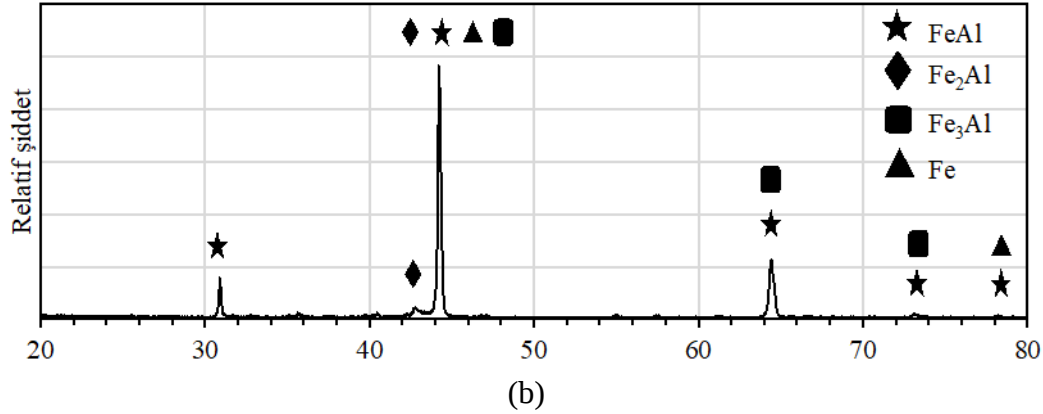
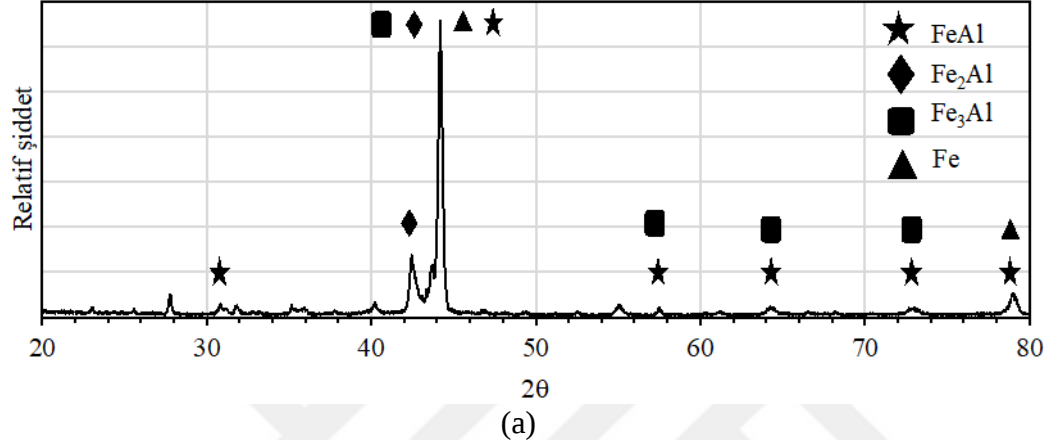
Bu çalışma sonucunda; kaplamasız TM numunenin yüzeyinde 1 gün sonunda korozyon gözlemlenmeye başlanmış ve 7 günlük sürenin sonunda ise %0,6-4,4 oranda kütle değişimi olduğu belirlenmiştir. Kaplamalı TM numune yüzeyinde oluşan oksitlenmenin kaplama kalitesini etkilediği görülmüştür. Kaplama ile numune arasında oluşan intermetalik ara tabakasındaki boşluklar ve çatlaklardan kaynaklı, kaplamanın numuneden ayrılması veya dökülmesi şeklinde hatalar da gözlenmiştir. Korozyon test sonuçları kıyaslandığında, 90 gün boyunca korozyon deneyine tabi tutulan kaplamalı TM numunelerin, 7 gün korozyon testi işlemi yapılan TM numunelere göre 50 kat daha korozyona dirençli oldukları bulunmuştur. Sonuç olarak; alüminyum ile kaplanan TM numunelerde korozyon direncinin kaplamasız numuneler göre önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır [7].

Bir diğer çalışma da ise ASP 2005 ve ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliklerine Al-ağ. %Si alaşımı kullanılarak 700 °C’de 3 dakika boyunca kaplama işlemi uygulanmıştır. Daha sonra kaplama kalınlığını ve alüminyumca zengin bölgenin artırılması amacı ile ASP 2005 kalite soğuk iş takım çeliği için 1100 °C’de, ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliği için ise 1070 °C’de difüzyon tavlama işlemi uygulanmıştır. ASP 2005 kalite takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.4’te verilmiştir. Yapılan XRD analiz sonucu her iki kalite soğuk iş takım çeliği için paternler Şekil 4.6’da verilmiştir. ASP 2005 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakasında FeAl

ve Fe_3Al fazları, ASP 2012 kalite takım çeliğinde ise FeAl_2 , FeAl ve Fe_3Al fazları bulunmuştur [37].

Çizelge 4.4 : ASP 2005 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.) [37].

C	Cr	Mo	W	V	Fe
1,5	4,0	2,5	2,5	4,0	Kalan



Şekil 4.6 : Al-ağı. %12 alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış takım çeliklerinin XRD paternleri (a) ASP 2005, (b) ASP 2012 [37].

Kaplama sonrası ASP 2005 kalite takım çeliğinde 220 μm , ASP 2012 kalite takım çeliğinde ise 200 μm kalınlığında bir kaplama tabakası oluşmuştur.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında toz metalurjisi ile üretilmiş ASP 2012 ve ASP 2053 kalite soğuk iş takım çelikleri kullanılmıştır. Mekanik özelliklerin ve malzemelerin mikroyapısındaki karakteristik özelliklerin incelemelerinin yapılması için sıcak daldırma yöntemi ile Al-Si ve saf alüminyum ile kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplama sonrası difüzyon tavlama uygulanmış, daha sonra kaplama tabakasının morfolojisi ve yapısal özellikleri incelenmiş, sertliği ölçülmüştür. Kaplama karakterizasyonu amacıyla, sırasıyla, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu incelemeleri, EDS analizi ve XRD analizi yapılmıştır. Uygulanan analiz ve test sonuçları ile difüzyon tavlama uygulanmayan numuneler ile karşılaştırılmıştır.

5.1 Kaplama Hazırlık İşlemleri

Kaplama işleminden önce ASP 2012 ve ASP 2053 kalite soğuk iş takım çelikleri 10 mm x 10 mm x 10 mm boyutlarında kesilmiştir. Kaplama kalitesinin artırılması ve kaplamanın altlık malzemeye yapışma özelliğinin iyileştirebilmesi için yüzeydeki uygun olmayan pürüzlülüklerin giderilmesi için numuneler sırasıyla 120,240,300,400 mesh ölçülerine sahip SiC zımpara kağıtları ile zımparalama işlemi uygulanmış ve sonrasında numune yüzeyleri aseton ile temizlenmiştir. Zımpara ve aseton ile temizlik işlemleri tamamlandıktan sonra numuneler ultrasonik banyoda sulu HCl çözeltisi ile 5 dakika boyunca temizlenmiş ve sonrasında alkol ve saf su ile yıkanarak kurutulmuştur. Numunelerin kaplama banyosuna daldırılması için üzerlerine bir delik açılmış ve bu delikten paslanmaz çelik geçirilerek, sıcak daldırma alüminyum kaplama işlemine hazır hale getirilmiştir.

5.2 Sıcak Daldırma Yöntemi ile Alüminyum Kaplama

Sıcak daldırma yöntemi ile alüminyum kaplama işleminde Al-ağ. %12Si alaşımı ve saf alüminyum kullanılmıştır. Kaplama malzemelerinin ergitme işlemi Şekil 5.1’de verilen MF-1000 elektrikli ergitme fırını kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Al-ağ. %12Si alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 : MF-1000 model elektrikli ergitme fırını.

Alüminyum kaplama işlemi fırın içerisinde yer alan grafit pota kullanılarak yapılmıştır. Kaplama için kullanılacak malzemeler 700 °C’de ergitilmiştir. Ergimiş saf alüminyum ve alüminyum alaşımın sıcaklığı termokupl kullanılarak kontrol edilmiştir. Kaplamaya uygun sıcaklıkta ergimiş kaplama malzemelerin yüzeyinde cüruf oluşturmak amacıyla %60 NaCl ve %KCl karışımı toz halinde ergimiş metalin üzerinde dökülmüştür ve 10 dakika bekletilmiştir. Sonrasında ise oluşan cüruf kaplama kalitesinin etkilenmemesi için grafit potadan uzaklaştırılmıştır.

Çizelge 5.1 : Kaplama işleminde kullanılan Al-Si alaşımının kimyasal bileşimi.

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Zn
Kalan	12	0,45	0,08	0,55	0,15

5.3 Difüzyon Tavlama İşlemi

Sıcak daldırma yöntemiyle saf alüminyum ve alüminyum alaşımı ile kaplanmış ASP 2012 ve ASP 2053 soğuk iş takım çelik numunelerin difüzyon tavlama işlemi için Şekil 5.2’de verilen Protherm PLF- 120/5 model elektrikli fırın kullanılmıştır. Fırın içerisinde grafit pota kullanılarak yerleşimleri sağlanan numunelerde dekarbürizasyon önlemek amacıyla dökme demir talaşı kullanılmıştır. Difüzyon tavlama işlemi malzeme yüzeyinde alüminyumca daha zengin bir bölge elde edebilmek için üretici

firmadan alınan östenitleme sıcaklıkların altında seçilmiş ve her iki çelik malzeme için 800 °C olarak uygulanmıştır.

Kullanılan fırının oda sıcaklığından belirtilen sıcaklıklara ulaşma süresi yaklaşık 60-70 dakika arasındadır. Numuneler grafit potanın içerisinde oda sıcaklığından belirlenen işlem sıcaklığına kadar ısıtılmış ve istenilen sıcaklığa ulaşınca 1 saat boyunca ısıl işleme maruz bırakılmışlardır. İşlem sonrası fırından çıkartılan numuneler havada oda sıcaklığına soğutulmuştur.

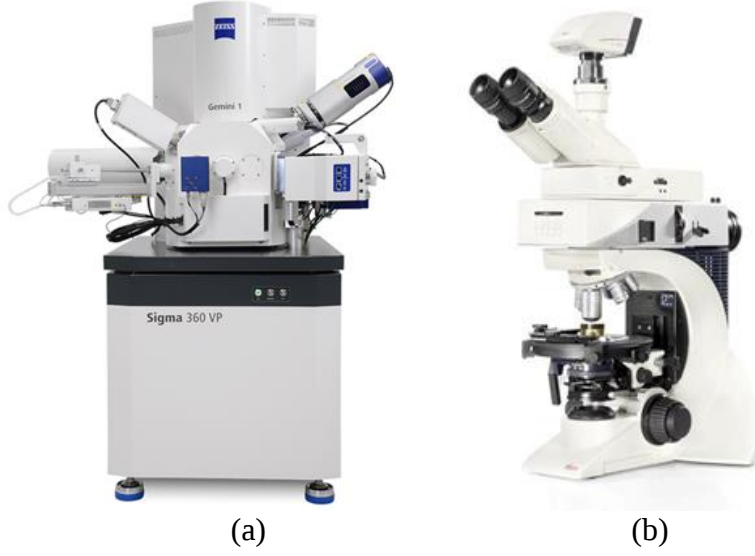


Şekil 5.2 : Protherm PLF 120/5 model elektrikli fırın.

5.4 Metalografik Numune Hazırlama İşlemleri

Numuneler 80,120,240,400,600,800,1200 ve 2500 mesh tane boyutuna sahip SiC sahip zımpara kağıtları kullanılarak kademeli olarak zımparalanmış ve daha sonra 2 dakika boyunca alümina, koloidal silika ve elmas solüsyon, 1 dakika boyunca da su kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yüzeydeki kir ve lekeleri ortadan kaldırmak için alkol ve su ile temizlik işlemleri yapılmıştır.

Oluşan kaplama tabakası Zeiss-Sigma 3000 model SEM, çeliğin mikroyapısı ise Nikon Eclipse LV150L model optik mikroskop ile incelenmiştir. Şekil 5.3'de kullanılan cihazların görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.3 : (a) Zeiss-Sigma 3000 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve (b) Leica DM2700M model optik mikroskop.

5.5 XRD Analizi

Kaplama tabakasının kalitatif faz analizi, XRD analizi ile yapılmıştır. Bu amaçla, $\text{CuK}\alpha$ radyasyon kullanan GBC MMA 027 model XRD cihazı kullanılmış ve numuneler $10 - 90^\circ$ arasında $0,02^\circ$ 'lik adımla ile taranmıştır. Şekil 5.4'de kullanılan XRD cihazı görülmektedir.



Şekil 5.4 : GBC MMA 027 model XRD cihazı.

5.6 Mikrosertlik Ölçümü

Altlık malzeme ve kaplama bölgesinden mikrosertlik ölçümleri ASTM E384 standardına uygun olarak ve 25 gr yük kullanılarak yapılmıştır. Deneyde kullanılan Wilson Tukon 1102 model cihaz Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.5 : Wilson Tukon 1102 model mikrosertlik cihazı.



6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

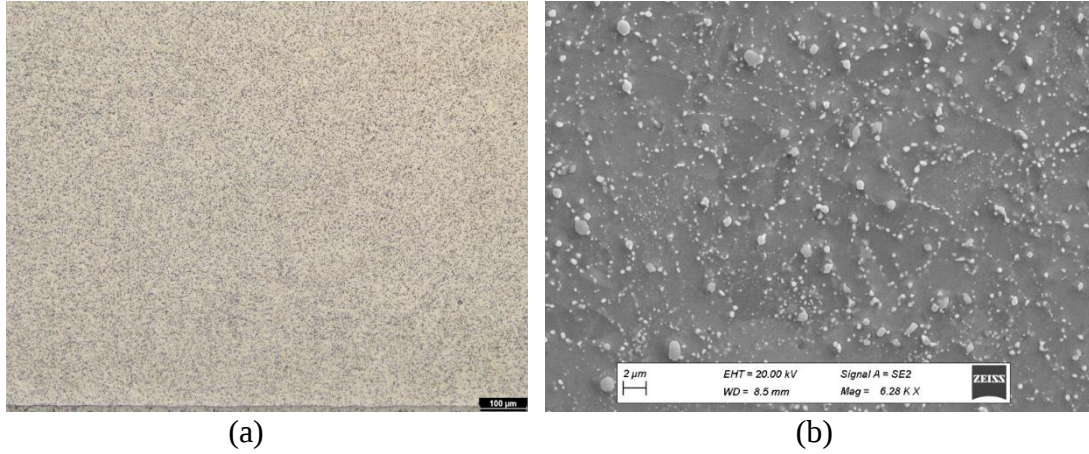
ASP 2012 ve ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliklerine uygulanan SDA ve SDA+DT işlemleri sonrası kaplama tabakasının morfolojisine ve sertliği incelenmiştir. Kaplama işlemleri için saf alüminyum ve Al-ağ. %12Si alaşımı olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmıştır.

6.1 Takım Çelikleri ve Kaplama Tabakalarının Mikroyapısı

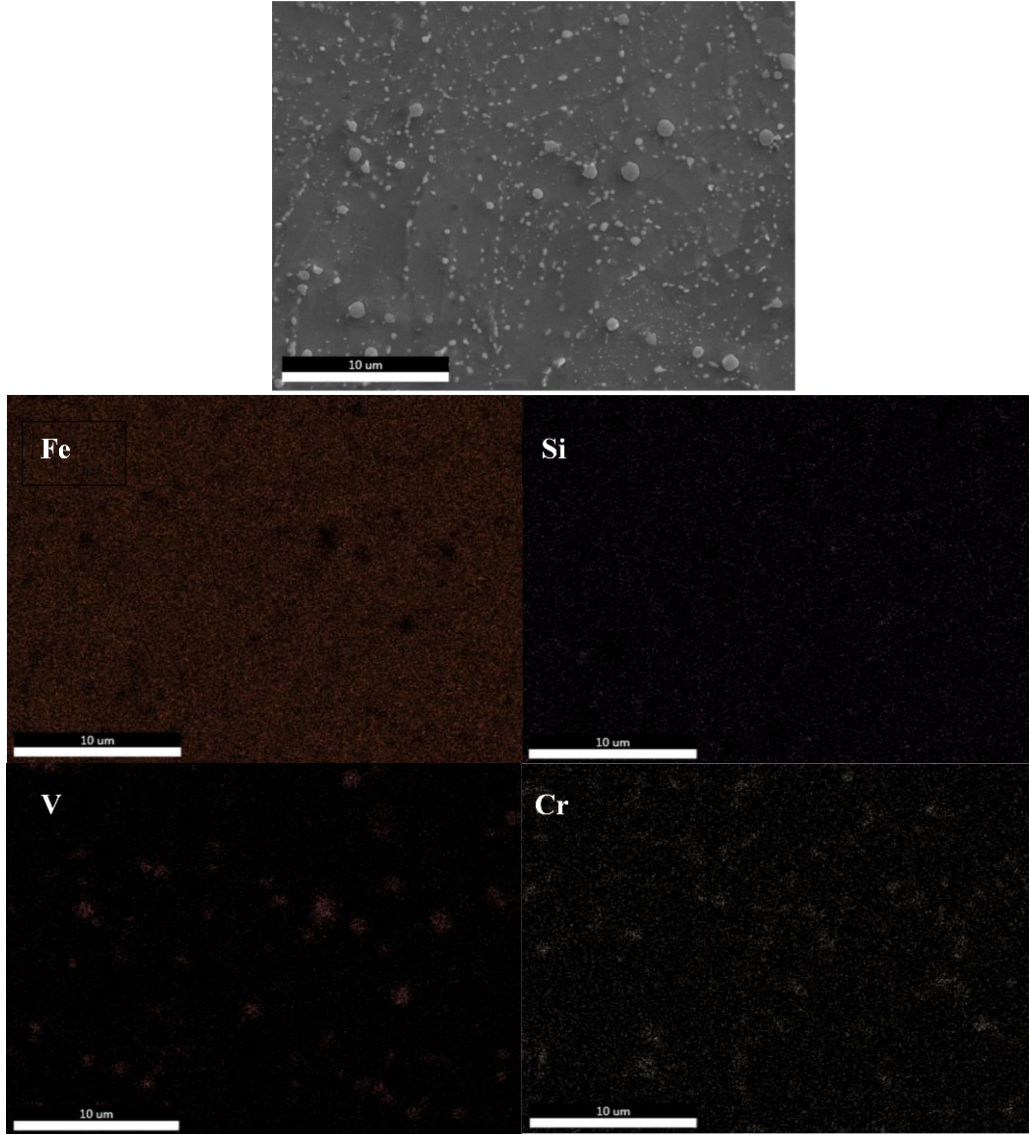
Bu tez çalışmasında kullanılan ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 6.1’de, mikroyapısının optik mikroskop ve SEM fotoğrafı Şekil 6.1’de, EDS haritalama analizi ise Şekil 6.2’de verilmiştir [21].

Çizelge 6.1 : ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.).

C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V
0,6	1,0	0,3	4,0	2,0	2,1	1,5



Şekil 6.1 : ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.



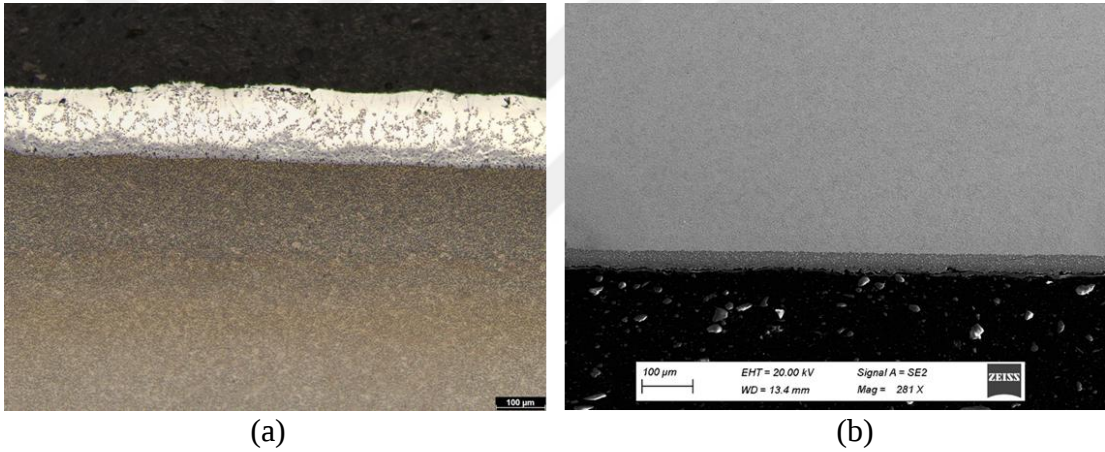
Şekil 6.2 : ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının EDS haritalama analizi.

Şekil 6.1’de görüldüğü üzere ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin bileşimindeki karbür yapıcı elementlerin yoğun olması sebebi ile homojen bir mikroyapıya sahip olduğu görülmektedir. Karbür tiplerinin belirlenmesi için yapılan SEM-EDS analizi sonucu ise Şekil 6.2’de görülmektedir. Ana malzemenin matriksinde bulunan büyük boyutlu karbürlerin ($\sim 1 \mu\text{m}$) daha çok V içerikli olduğu ve bu karbürlere göre nispeten daha küçük olanların ise W ve Cr içerikli karbürlerin olduğu gözlenmektedir. Bu karbür tiplerinin yanı sıra parlak görünümlü küresel yapıdaki karbürlerin ise daha çok Fe içerikli olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma da ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliği $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de uygulanan sıcak alüminyum daldırma yöntemi (SDA) ile saf alüminyum ve Al-ağ. %12Si alaşımı ile

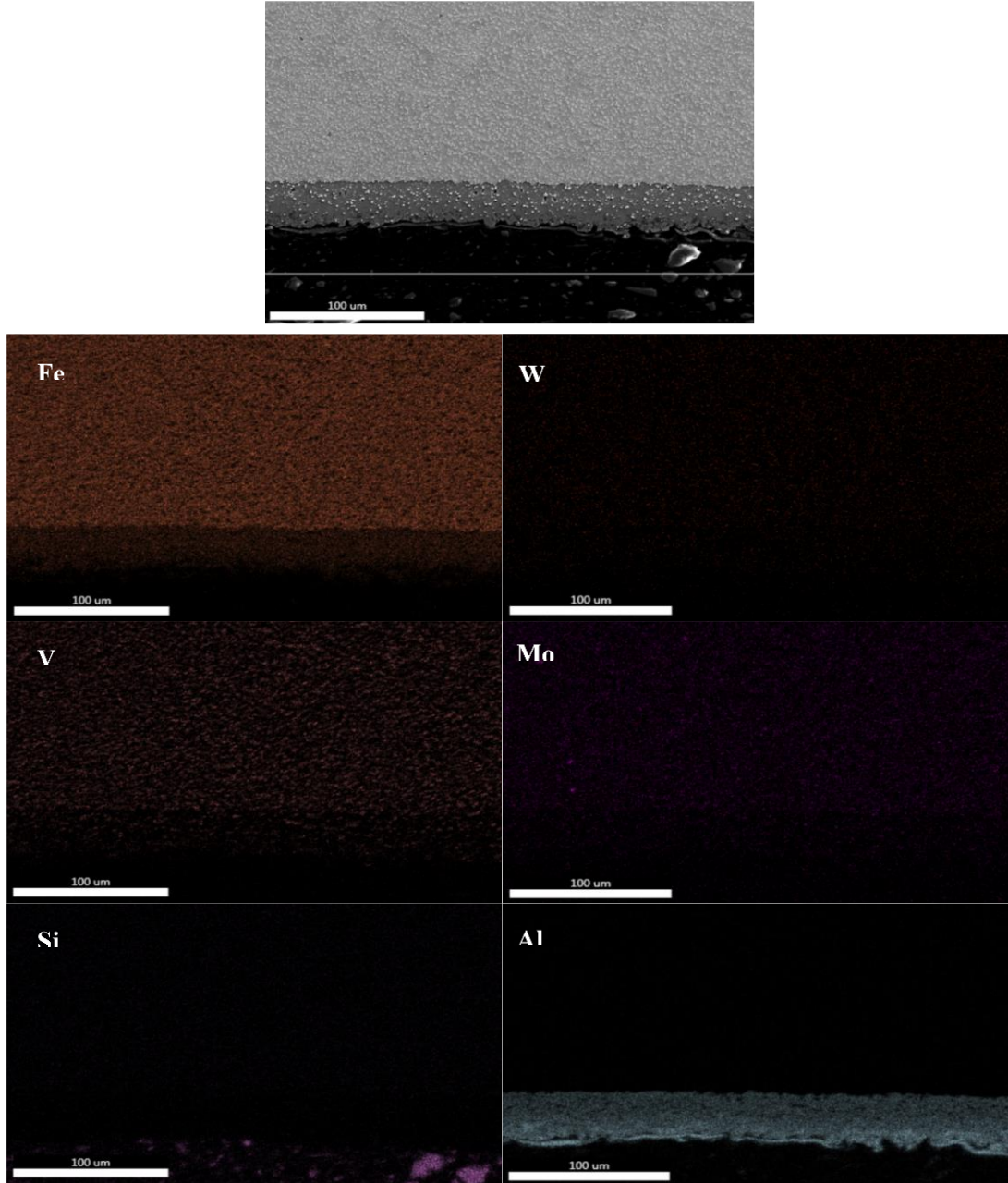
ayrı ayrı kaplanarak, kaplama bölgesinde alüminyumca zengin fazların oluşumu hedeflenmiştir. Yine bu çalışmada difüzyon tavlama yöntemi (DT) kaplama bölgesinde oluşan fazların ve oluşan kaplama kalınlığının üzerindeki etkileri incelemek için kullanılan soğuk iş takım çeliklerinin östenitlenme sıcaklıkları altında (ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliği için 1100 °C-, ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliği için 1180 °C) bir sıcaklık belirlenmiş ve belirlenen sıcaklık göz edilerek çalışmalara yapılmıştır. Seçilen difüzyon tavlama işlem sıcaklığı 800 °C olup, her bir ayrı koşul için optik mikroskop, SEM-EDS analizi ve XRD paternleri incelenmiştir.

Şekil 6.3’de ASP 2012 kalite takım çeliğinin difüzyon tavlama uygulanmadan, sadece 700 °C’de sıcak daldırma yöntemi ile saf alüminyum kaplama işleminin optik mikroskop fotoğrafı ve SEM-EDS analiz sonucu verilmiştir. Oluşan karbür tiplerini belirlemek için EDS haritalama analizi yapılmış ve sonuçlar Şekil 6.4’de verilmiştir.



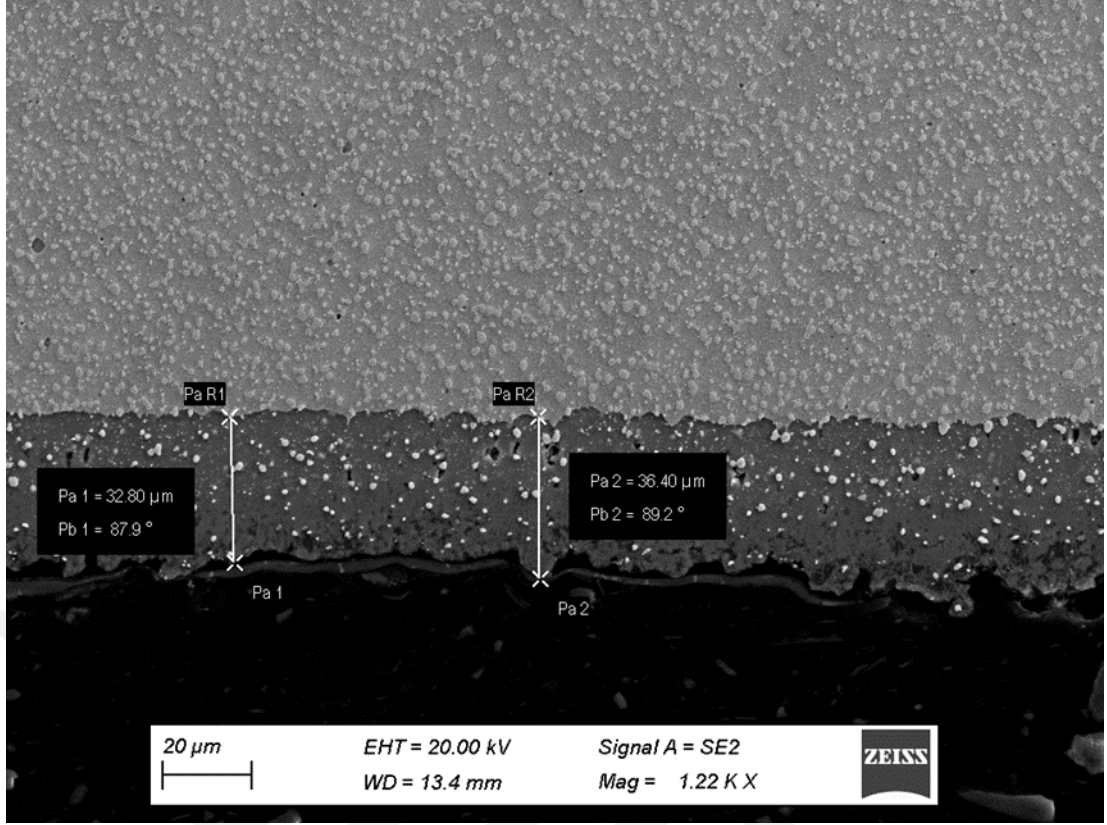
Şekil 6.3 : Saf alüminyum kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.

Şekil 6.3’de altlık malzeme ile kaplama bölgesi net bir şekilde görülmektedir. Şekil 6.4’de ise EDS haritalama analizi verilmiştir. Şekil 6.4’de kaplama bölgesinde alüminyum baskın iken matriksin Fe bakımından zengin olduğu gözlenmiştir. Altlık malzemenin kimyasal bileşiminde bulunan W, V, Mo gibi karbür yapıcı elementlerin kaplama bölgesinde bulunmadığı, bu elementlerin matrikste bulunduğu gözlenmektedir. Kaplama malzemesinin bileşiminde bulunan Si elementine ise kaplama bölgesinde rastlanmıştır. Oluşan fazların tespiti için EDS noktasal analiz yapılmış olup Şekil 6.5’de detaylı incelemenin sonucu verilmiştir.



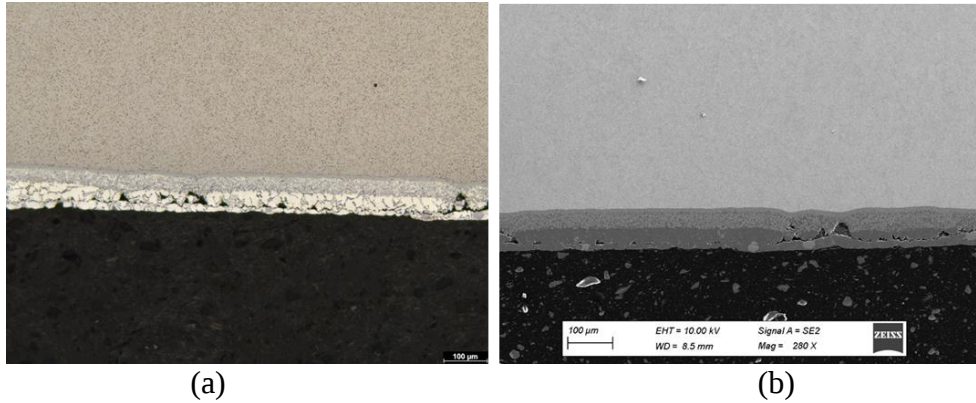
Şekil 6.4 : Saf alüminyum kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi.

Saf alüminyum ile SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin yüzeyinde ortalama 30-40 µm kalınlığında bir kaplama bölgesi oluşmuştur. Kaplama bölgesinde oluşan bu tabakanın kalınlığı hat boyunca ölçülmüş ve birkaç noktadan temsili değerler Şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6.5 : Saf alüminyum kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.

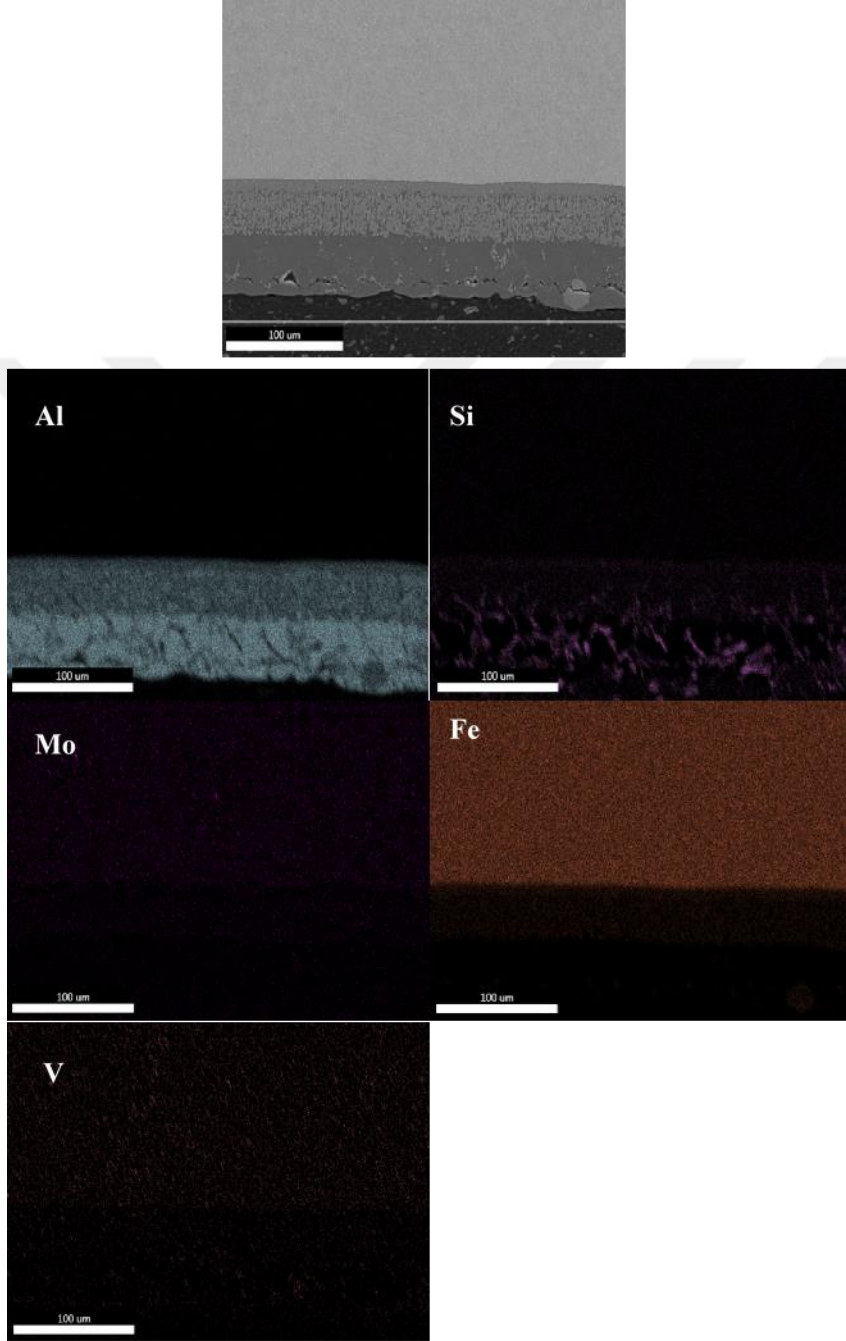
EDS haritalama analiz sonucuna göre, kaplama tabakasından ana metale doğru Al sinyal şiddetinin azaldığı ve Fe sinyal şiddetinin ise arttığı görülmüştür. Kplama malzemesi değiştirilerek saf alüminyum yerine Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılmış olup optik mikroskop ve SEM görüntüleri Şekil 6.6’da EDS haritalama analizi ise Şekil 6.7’de verilmiştir.



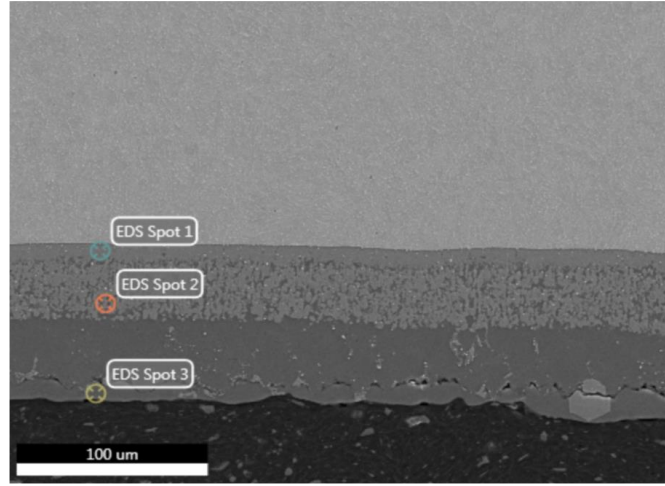
Şekil 6.6 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.

Şekil 6.7’de görüldüğü üzere kaplama bölgesinin Al ve Si bakımından zengin olduğu, matrikste ise Fe elementinin baskın olduğu gözlenmiştir. Fe’nin yanı sıra ASP 2012

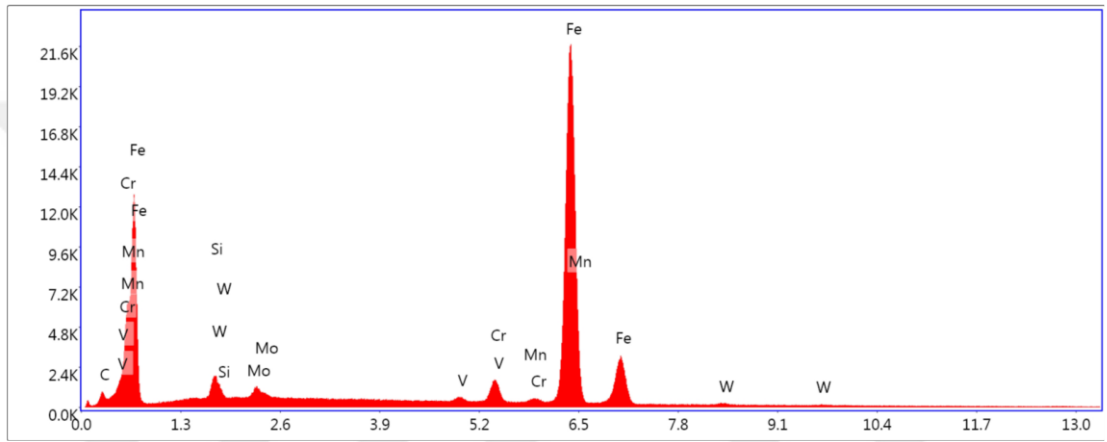
kalite takım çeliğinin kimyasal bileşiminde bulunan karbür yapıcı V, W ve Mo elementlerine ait sinyaller ise bu elementlerin oranının Fe'ye göre daha düşük olmasından dolayı belirgin değildir. Kaplama bölgesinden belirlenen 3 noktadan ise EDS noktasal analizi yapılmış olup detaylı sonuçlar Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.7 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi.

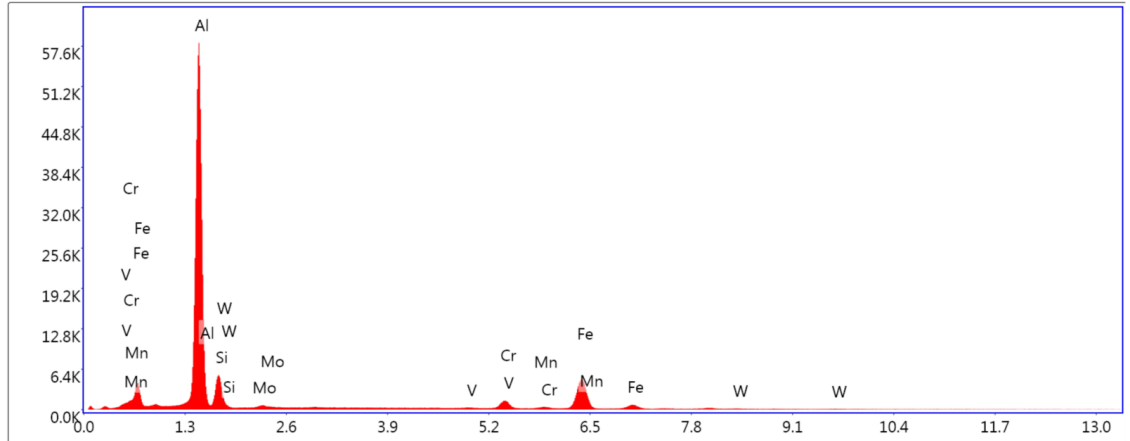


EDS Spot 1 - Det 1



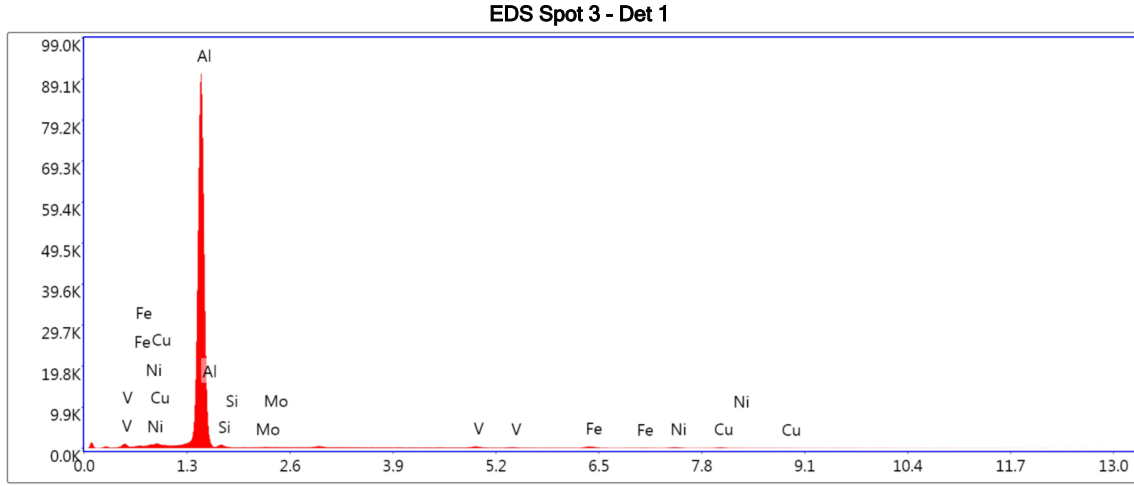
Element	Si	Mo	V	Cr	Mn	Fe	W
%ağ.	0,82	1,16	0,83	3,78	0,43	90,21	2,30

EDS Spot 2 - Det 1



Element	Al	Si	Mo	V	Cr	Mn	Fe	W
% ağ.	58,38	6,31	0,84	0,51	4,39	0,60	23,77	5,20

Şekil 6.8 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.



Element	Al	Si	Mo	V	Fe	Ni	Cu
%ağ.	92,82	1,48	0,13	1,20	1,89	1,24	1,25

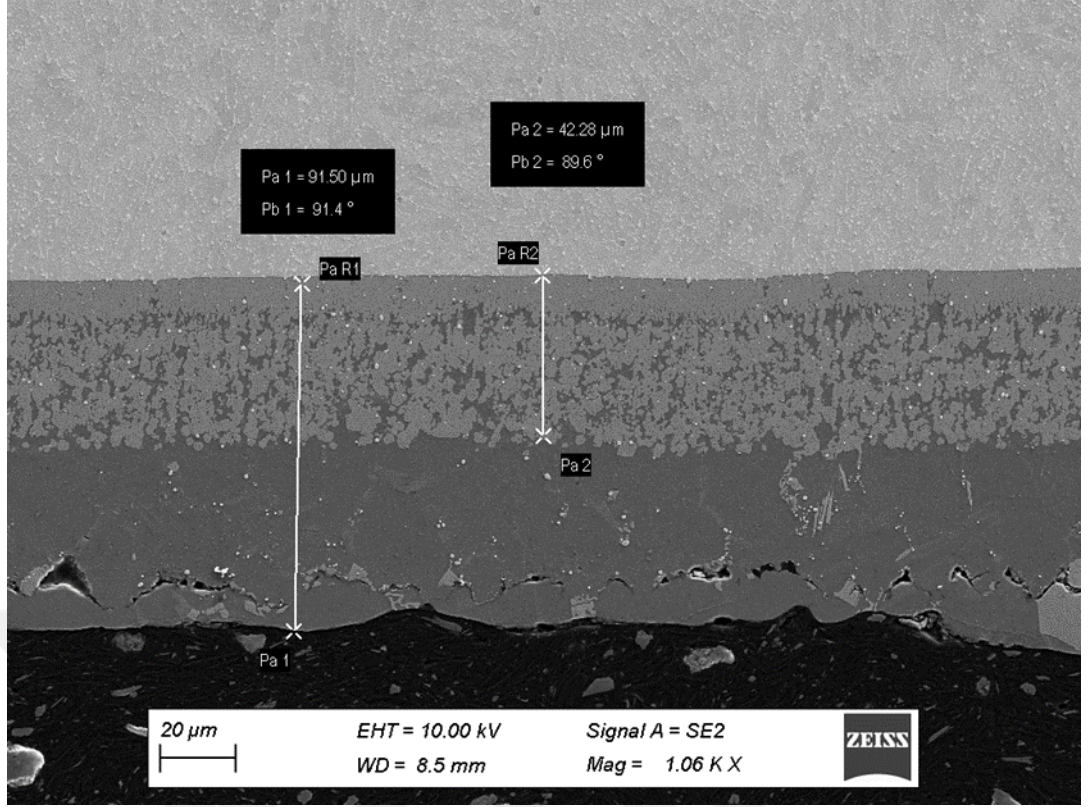
Şekil 6.8 (devam) : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.

Şekil 6.8’de verilen EDS noktasal analiz sonuçlarına göre, kaplama bölgesinin altlık malzemeye daha yakın bölgesinden alınan noktada daha ağırlıkça zengin Fe elementine rastlanılmıştır. Fe elementinin yanında diğer karbür yapıcı elementlere göre ağırlıkça yoğun olarak W, Mo ve Cr elementleri de tespit edilmiştir.

Difüzyon bölgesinden alınan noktasal EDS analiz sonucuna göre ise ağırlıkça alüminyumca zengin bir bölge görülmüştür. Fe element miktarının önemli miktarda azaldığı tespit edilmiş ve bu bölgede alüminyumun yanında kaplamanın malzemesinin bileşiminden gelen Si elementinin ağırlıkça daha fazla olduğu ve bu bölgeye difüze olduğu gözlenmiştir. Yine altlık malzemenin kimyasal bileşiminde bulunan W, Mo ve Cr gibi karbür yapıcı elementlerin ağırlıkça arttığı gözlenmiştir.

Kaplama bölgesinin en dış katmanından alınan analiz incelediğinde ise diğer iki bölgeye kıyasla önemli ölçüde Al elementince zengin bir bölgenin olduğu ve bunun yanında kaplama malzemesinden gelen Si elementinden ise difüzyon bölgesine göre ağırlıkça daha az bulunduğu görülmüştür.

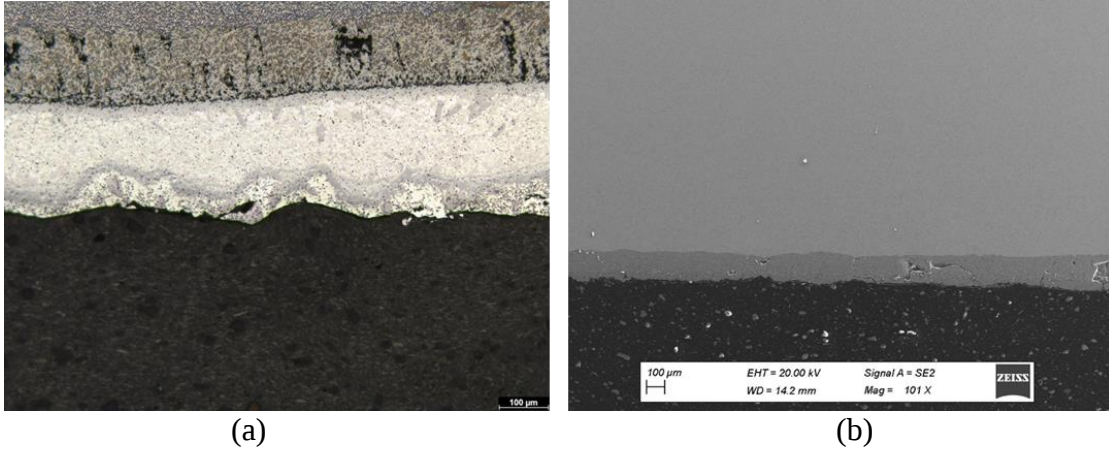
Al-%12Si alaşımı ile sadece SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama kalınlığı ortalama 80-95 µm arasındadır. Hat boyunca kaplama bölgesinden ölçümler yapılmış olup, temsili iki ölçüm detayı Şekil 6.9’da verilmiştir.



Şekil 6.9 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.

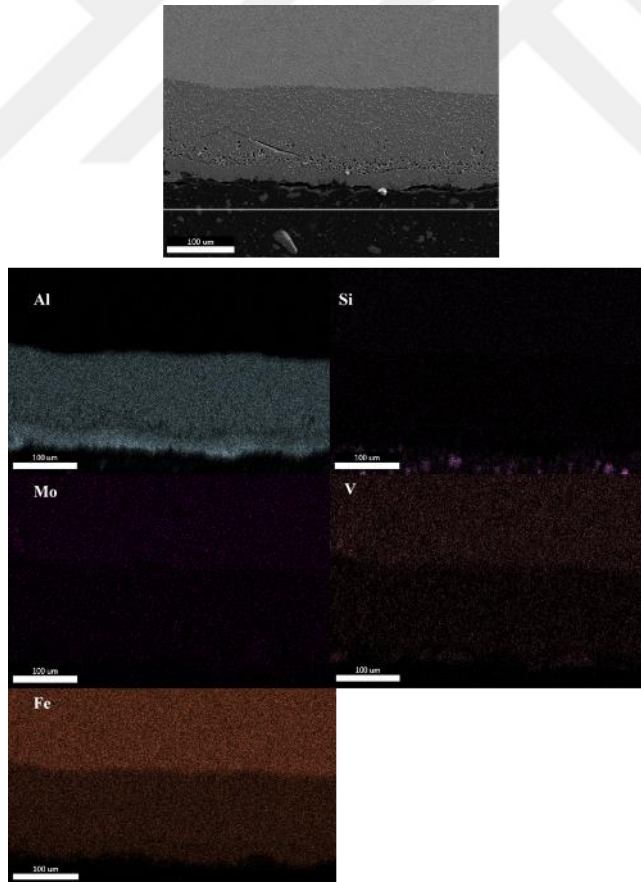
Şekil 6.5 ve Şekil 6.9’da görüldüğü üzere, Al-ağ. %12Si alaşımı ile SDA uygulanmış ASP 2012 kalite altlık malzemenin saf alüminyum ile SDA uygulanmış numunelere göre yaklaşık 2 kat daha fazla kalın bir kaplama bölgesinin oluştuğu gözlemlenmiştir.

Sıcak daldırma yöntemi ile saf alüminyum ve Al-ağ. %12Si alaşımı ile kaplama işlemi uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğine 800 °C’de difüzyon tavlama işlemi uygulanmıştır. Bu işlem ile kaplama kalınlığının artırılması ve kaplama bölgesinde alüminyumca zengin bir bölge elde edilmesi amaçlanmıştır. Sırası ile saf alüminyum ile kaplanmış altlık malzeme ve sonrasında Al-ağ. %12Si alaşımı ile kaplanmış altlık malzemenin kaplama bölgesi incelenmiştir. Şekil 6.10’da saf alüminyum ile SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin optik mikroskop ve SEM-EDS analiz resimleri görülmektedir. Şekil 6.11’de ise EDS haritalama analizi verilmiştir.



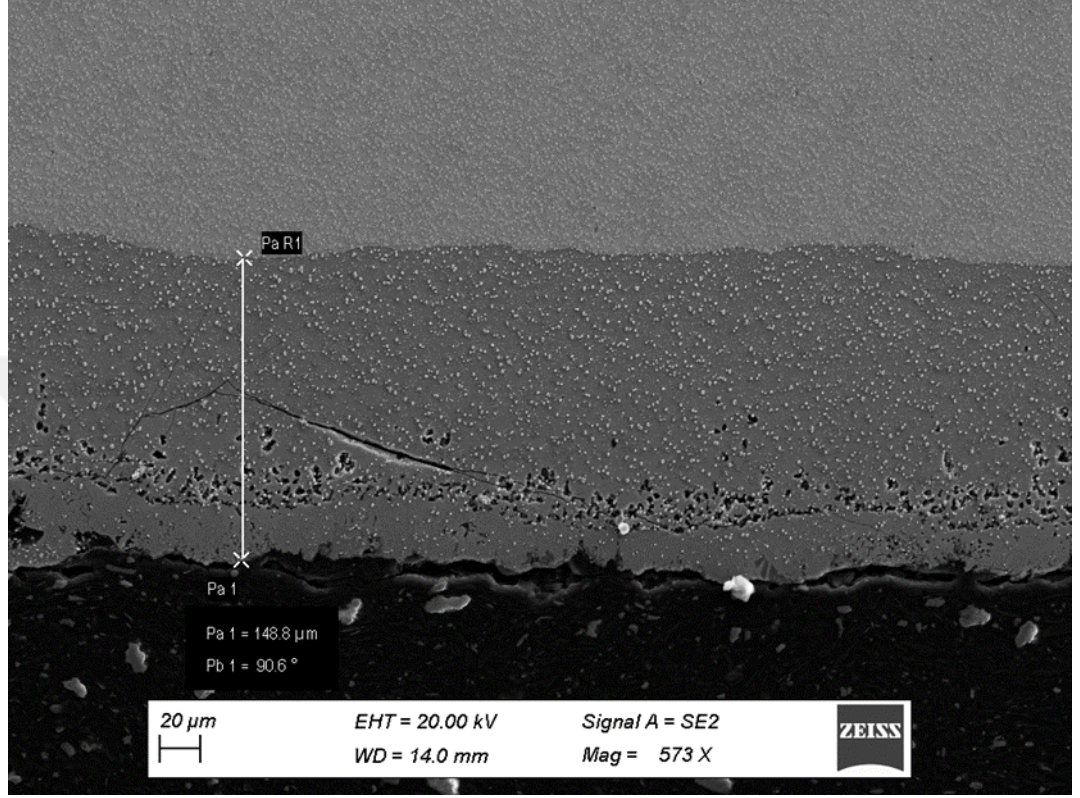
Şekil 6.10 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.

Şekil 6.11’de görüldüğü üzere saf alüminyum ile kaplanan ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinde alüminyumca daha zengin bölgenin oluştuğu ve bunun yanında eser miktarda silisyuma rastlanılmıştır. Altlık malzemesinin matriksinde daha yoğun olarak Fe, V ve Mo elementleri tespit edilmiştir.

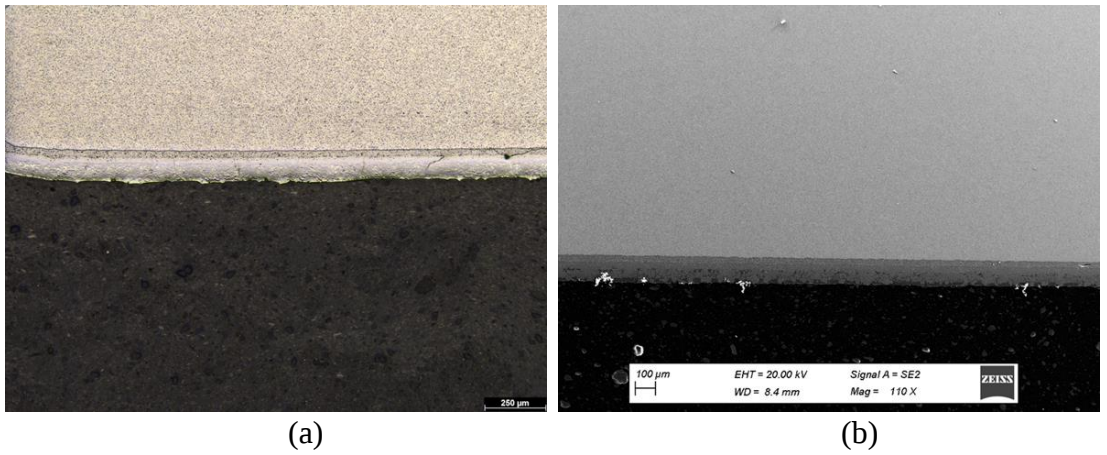


Şekil 6.11 : Sadece alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi.

Kaplama bölgesinde hat boyunca kaplama kalınlığı ortalama 120-150 μm arasında ölçülmüştür. Sadece SDA uygulanmış numunelere göre yaklaşık 5 kat daha derin bir kaplama tabakası oluşmuştur. Kaplama kalınlığı ile ilgili temsili ölçüm aşağıda Şekil 6.12’de verilmiştir.

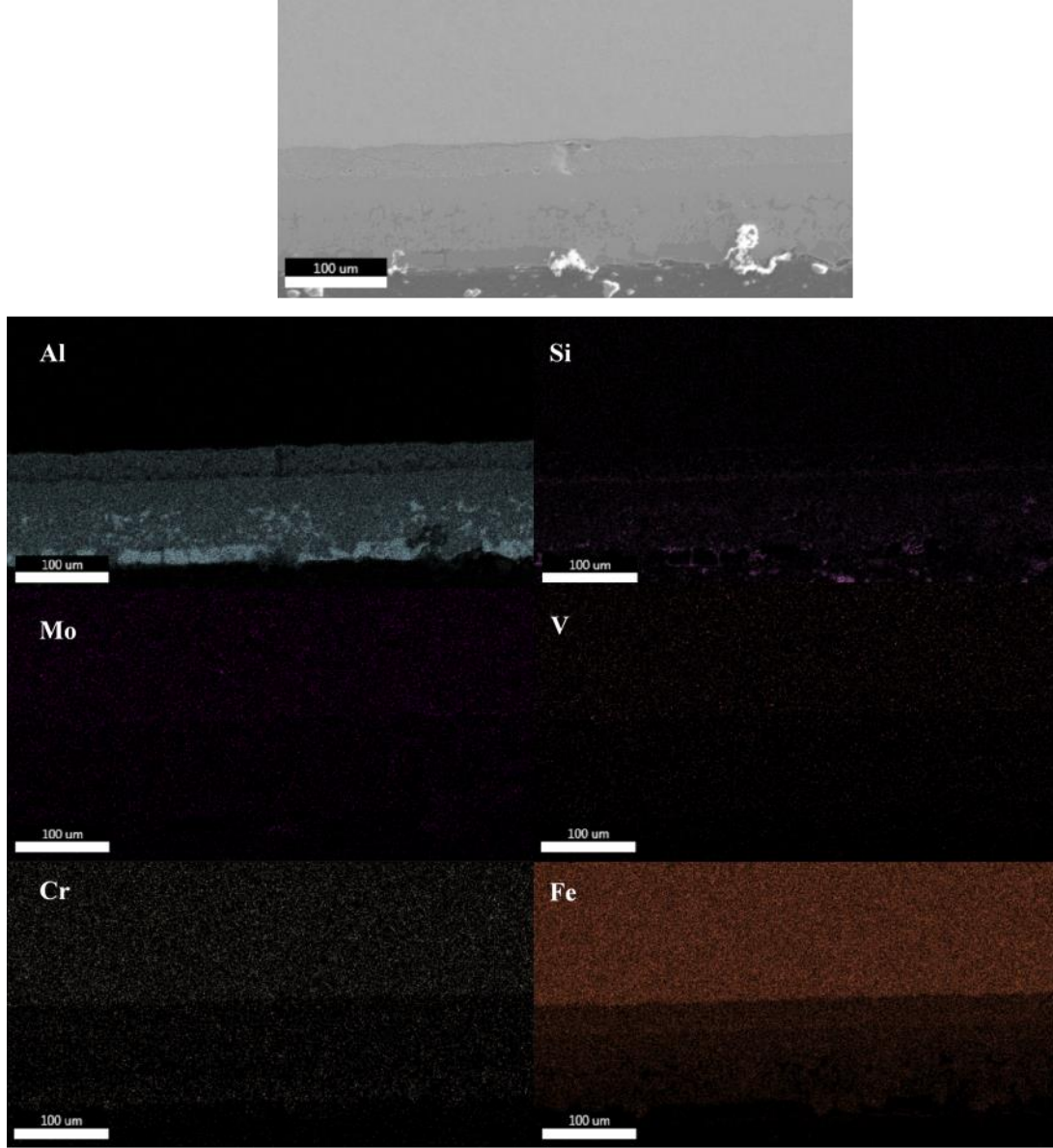


Şekil 6.12 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.13 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.

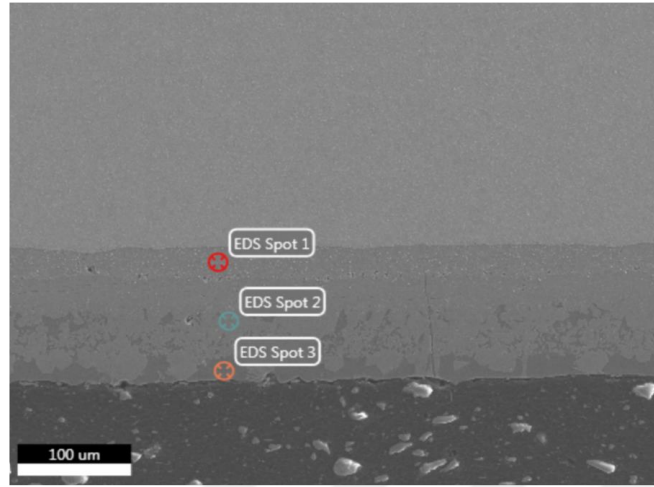
Al-ağ. %12Si alaşımı ile SDA+DT uygulanarak ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplama kalınlığı ve oluşan fazların dağılımı SEM-EDS analizi ve optik mikroskop ile incelenmiştir. Şekil 6.13 ve Şekil 6.14’de analiz sonuçları verilmiştir.



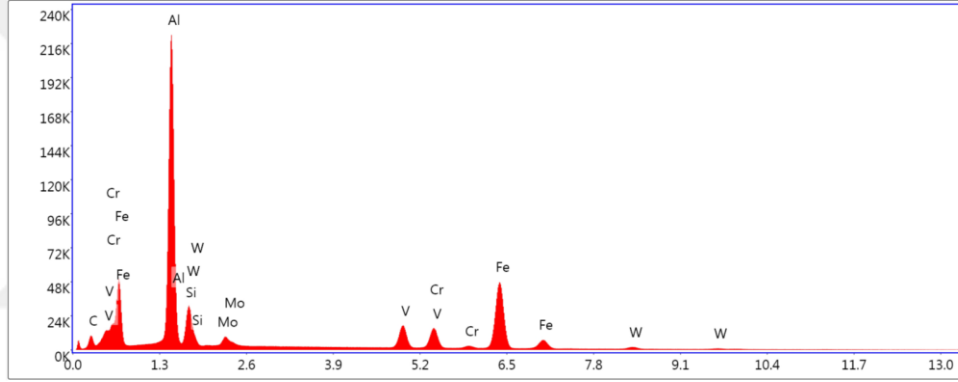
Şekil 6.14 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi.

Şekil 6.14 incelendiğinde, Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak kaplanan ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin matriksinde Fe ve Cr elementlerine ait sinyaller alınmıştır. Bu karbür tiplerinin yanı sıra altlık malzemenin kimyasal bileşiminden gelen Mo ve V elementleri de belirlenmiştir. Kaplama bölgesi incelendiğinde ise alüminyumca zengin bölgenin oluştuğu ve kaplama malzemesinin bileşiminden gelen

Si varlığı görülmüştür. Kaplama bölgesinden alınan 3 farklı noktasal EDS analiz sonucu ise Şekil 6.15’de verilmiştir.

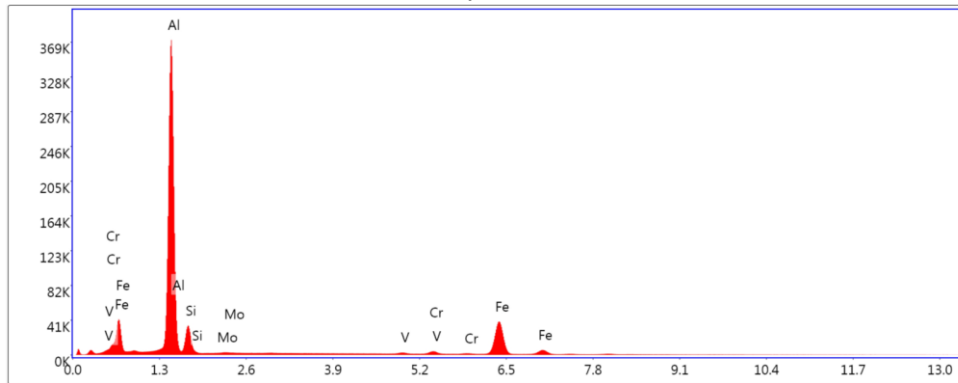


EDS Spot 1 - Det 1



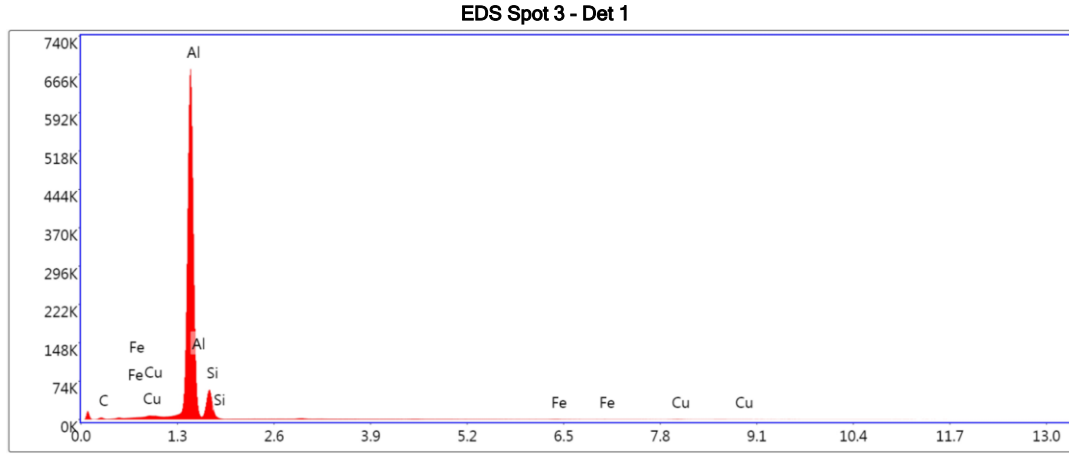
Element	Al	Si	Mo	V	Cr	Fe	W
% ağı.	36,24	3,66	2,53	7,33	6,14	34,37	4,86

EDS Spot 2 - Det 1



Element	Al	Si	Mo	V	Cr	Fe
% ağı.	58,93	7,38	0,28	0,76	1,69	30,95

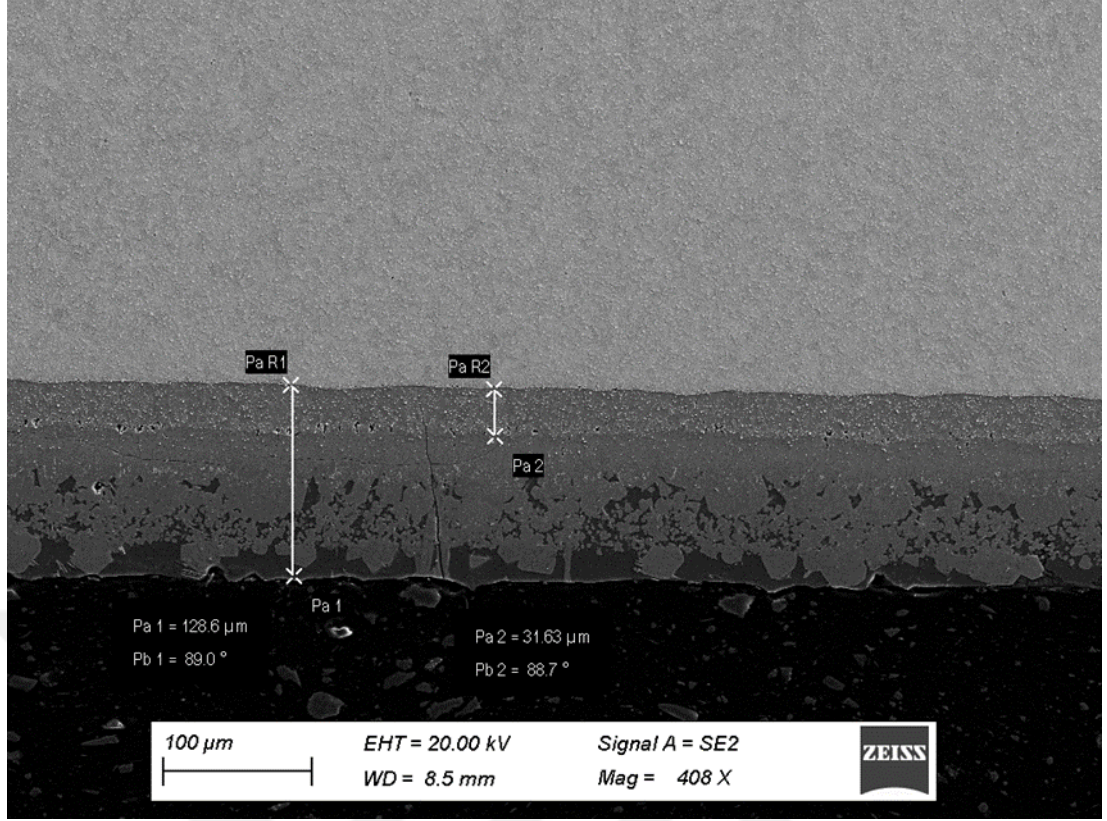
Şekil 6.15 : Al-ağı. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.



Element	Al	Si	Fe	Cu
% ağırlık	84,17	14,22	0,48	0,65

Şekil 6.15 (devam) : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.

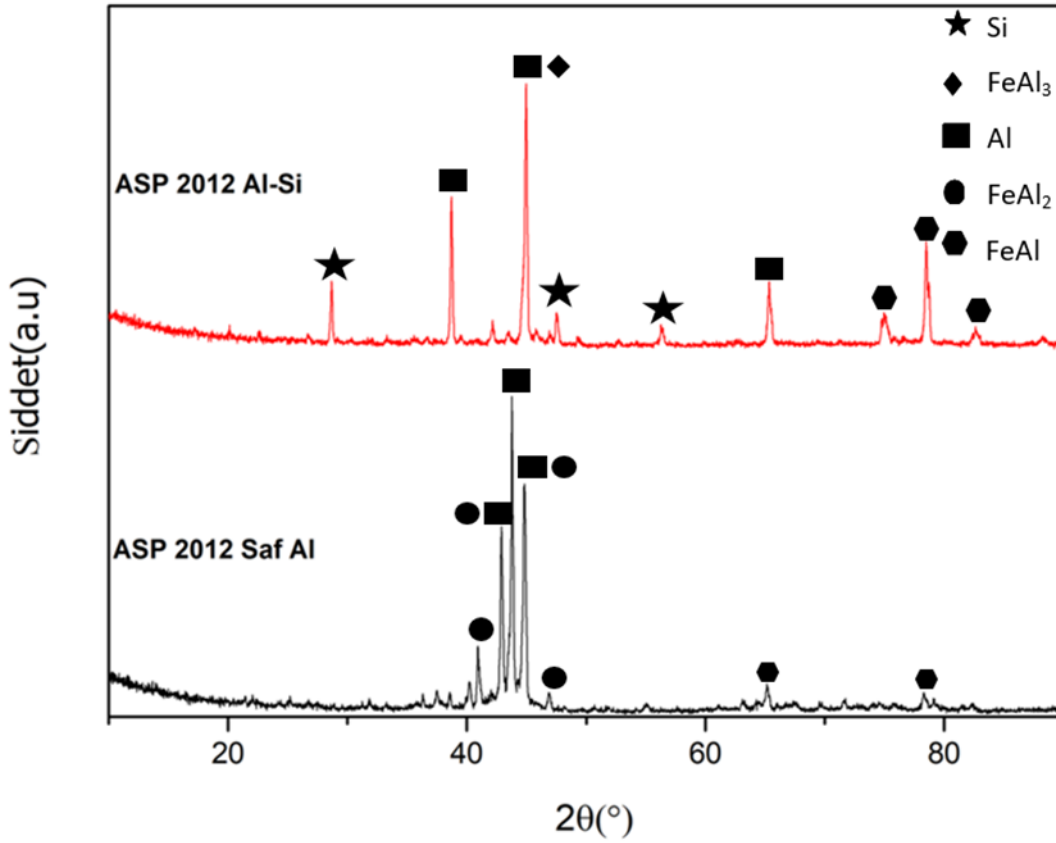
Şekil 6.15 incelendiğinde, kaplama bölgesinin altlık malzemeye yakın bölgesinden (1 numaralı konum) alınan noktasal EDS analizinde Fe elementine ve kaplama malzemesinin bileşiminde bulunan ana element olan alüminyuma rastlanmıştır. Bunların yanı sıra karbür yapıcı elementlerden, V, Cr ve W ile kaplama malzemesinin bileşiminden gelen Si elementi tespit edilmiştir. Difüzyon bölgesinden (2 numaralı konum) alınan noktasal EDS analizi incelendiğinde alüminyum oranında yaklaşık %50 artış gözlenirken, Fe ve diğer elementlerin oranının azaldığı, kaplama malzemesinin bileşiminden gelen Si elementinin oranının ise yaklaşık 2 kat arttığı görülmüştür. Kaplama tabakasının en dış bölgesinden (3 numaralı konum) alınan noktasal EDS analizinde ise, alüminyum oranının difüzyon bölgesine göre yaklaşık %50 artış gösterdiği, Si elementinin ise altlık malzemeye yakın bölgeden alınan sonuca göre ağırlıkça yaklaşık 4 kat arttığı bulunmuştur. Hat boyunca kaplama kalınlığı ortalama 90-120 μm arasında ölçülmüştür. Sadece SDA uygulanmış numunelere göre yaklaşık %33 daha kalın bir kaplama tabakası oluşmuştur. Kaplama kalınlığı ile ilgili temsili ölçümler aşağıda Şekil 6.16’da verilmiştir.



Şekil 6.16 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.

Bu tespitlere göre, kaplama için saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış olan ASP 2012 kalite takım çeliğinin kaplama kalınlığı sadece SDA uygulanmış numunelere göre yaklaşık 5 kat daha artmış olup, ortalama 120-150 µm arası ölçülmüştür. Diğer yandan Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış olan ASP 2012 kalite takım çeliğinin kaplama kalınlığı sadece SDA uygulanmış numunelere göre yaklaşık %33 kat daha artmış olup, ortalama 130 µm ölçülmüştür. Kaplama kalınlığının artmasının yanında DT işlemi ile altlık malzeme yüzeyindeki difüzyon bölgesi kalınlığının ve homojenliğinin de arttığı gözlenmiştir. Her iki kaplama malzemesinde de (saf Al ve Al-ağ. %12Si alaşımı), altlık malzemesinin en dış katmanındaki kaplama bölgesinde dik çatlaklar ve yer yer yüzeye yakın bölgelerde boşlukların oluştuğu görülmektedir. Altlık malzeme ile kaplama bölgesindeki katman isimlendirmeleri ve detayları ilerleyen bölümlerde belirtilecektir.

SDA+DT işlemleri uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin yüzeyinde oluşan fazlar XRD analizi yapılarak incelenmiştir. Analiz sonucu Şekil 6.17’de verilmiştir.

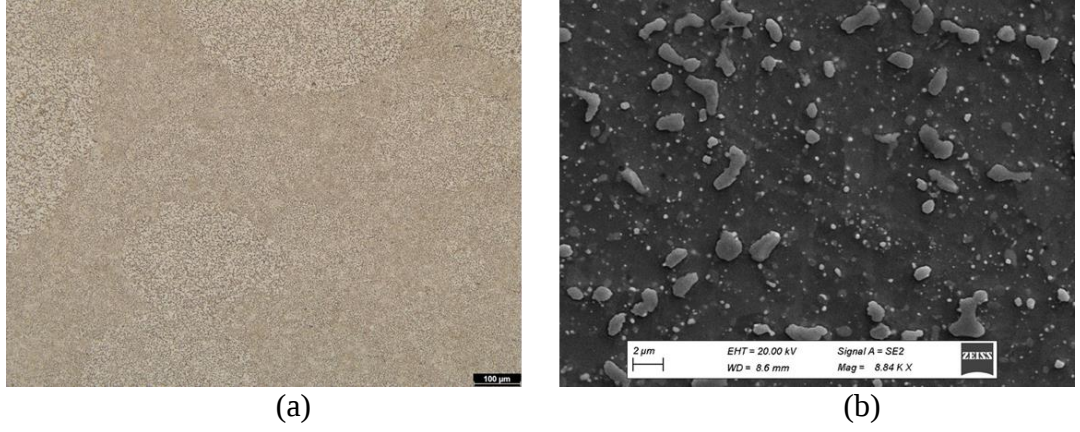


Şekil 6.17 : SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğın XRD paterni.

Kaplama kalınlığı ve oluşın fazların çeşitliliğı, kullanılan kaplama malzeme ve proses parametreleri ile ilişkilidir. Şekil 6.17’de görüldüğü üzere saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite takım çeliğindeki kaplama tabakasının Al, FeAl₂ ve FeAl fazlarını içerdğı görölürken, Al-ağ. %12Si alaşıımı kullanılarak SDA+DT işlemleri uygulanmış numunelerde ise kaplama bölgesinde alüminyum ve silisyumca zengin fazlar ile FeAl ve FeAl₃ fazlarını içerdğı görölmektedir. ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin optik mikroskop ve SEM görüntüsü Şekil 6.18’de, EDS haritalama analizi Şekil 6.19’da ve kimyasal bileşimi ise Çizelge 6.2’de verilmiştir [23].

Çizelge 6.2 : ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağı.).

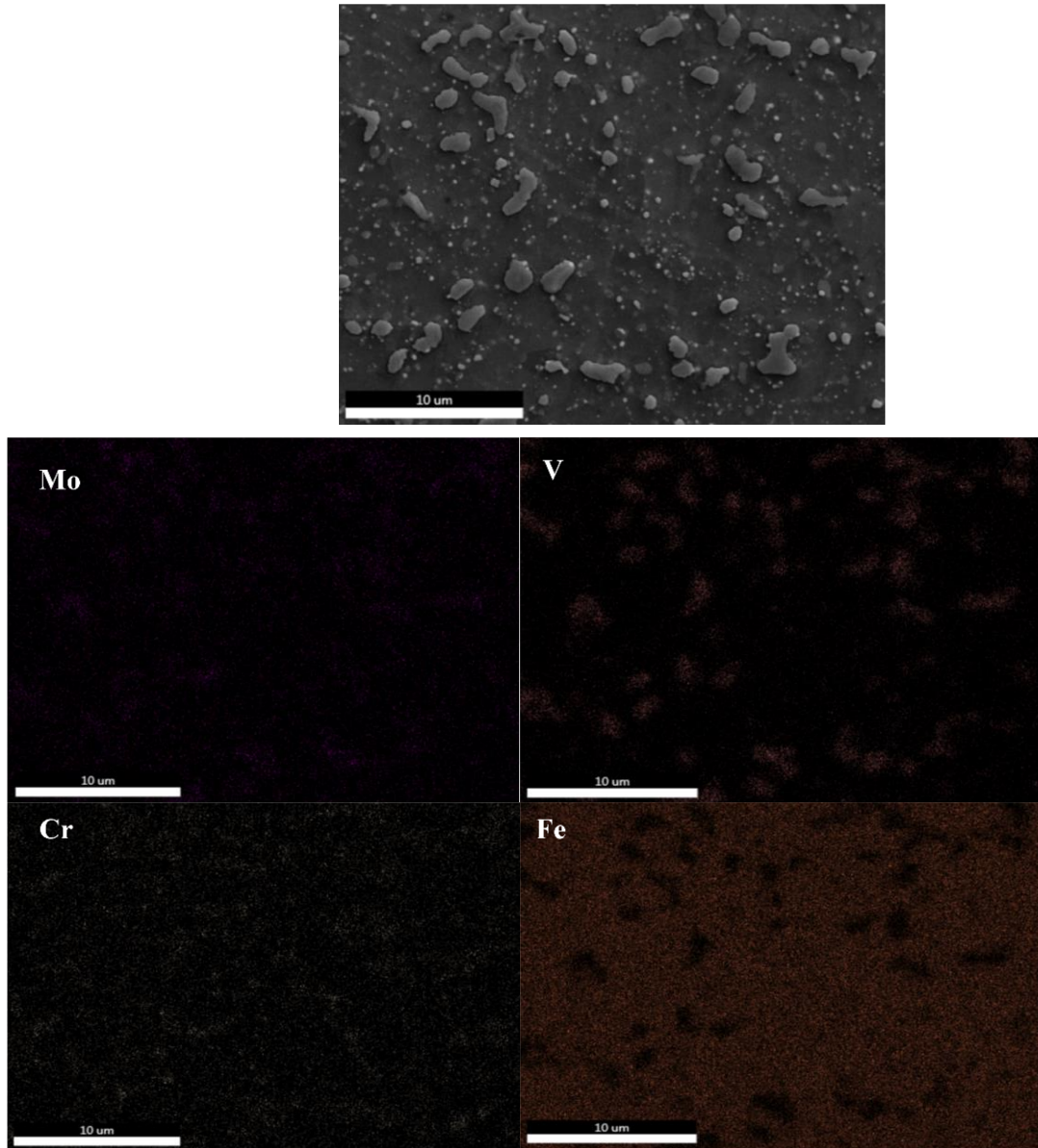
C	Cr	Mo	W	Co	V
2,48	4,2	3,1	4,2	-	8,0



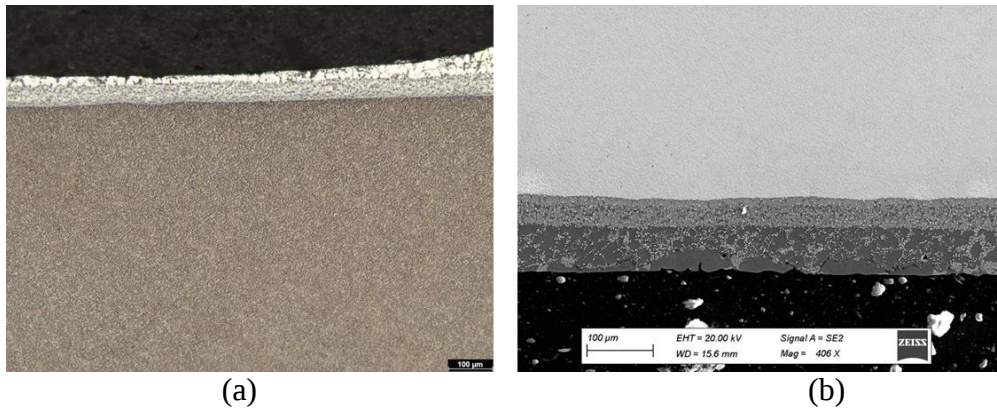
Şekil 6.18 : ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.

Şekil 6.18’de görüldüğü üzere ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin homojen bir mikroyapıya sahip olduğu görülmektedir. Karbür tiplerinin belirlenmesi için yapılan SEM-EDS analizi sonucu ise Şekil 6.19’da görülmektedir. Ana malzemenin matriksinde bulunan büyük boyutlu karbürlerin ($\sim 1 \mu\text{m}$) daha çok V içerikli olduğu ve bu karbürlere göre nispeten daha küçük olanların ise W ve Cr içerikli karbürler olduğu gözlenmektedir. Bu karbür tiplerinin yanı sıra parlak görünümlü (daha beyaz) küresel yapıdaki karbürlerin ise daha çok Fe içerikli olduğu tespit edilmiştir.

ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin, sıcak daldırma yöntemi ile kaplama işlemi için ASP 2012’de olduğu gibi saf alüminyum ve Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılmıştır. Şekil 6.20’de Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA işlemi uygulanmış ASP 2053 altlık malzemesinin optik mikroskop ve SEM fotoğrafı verilmiştir. Element dağılımının belirlenmesi için EDS haritalama analizi yapılmış olup sonuçlar Şekil 6.21’de verilmiştir.

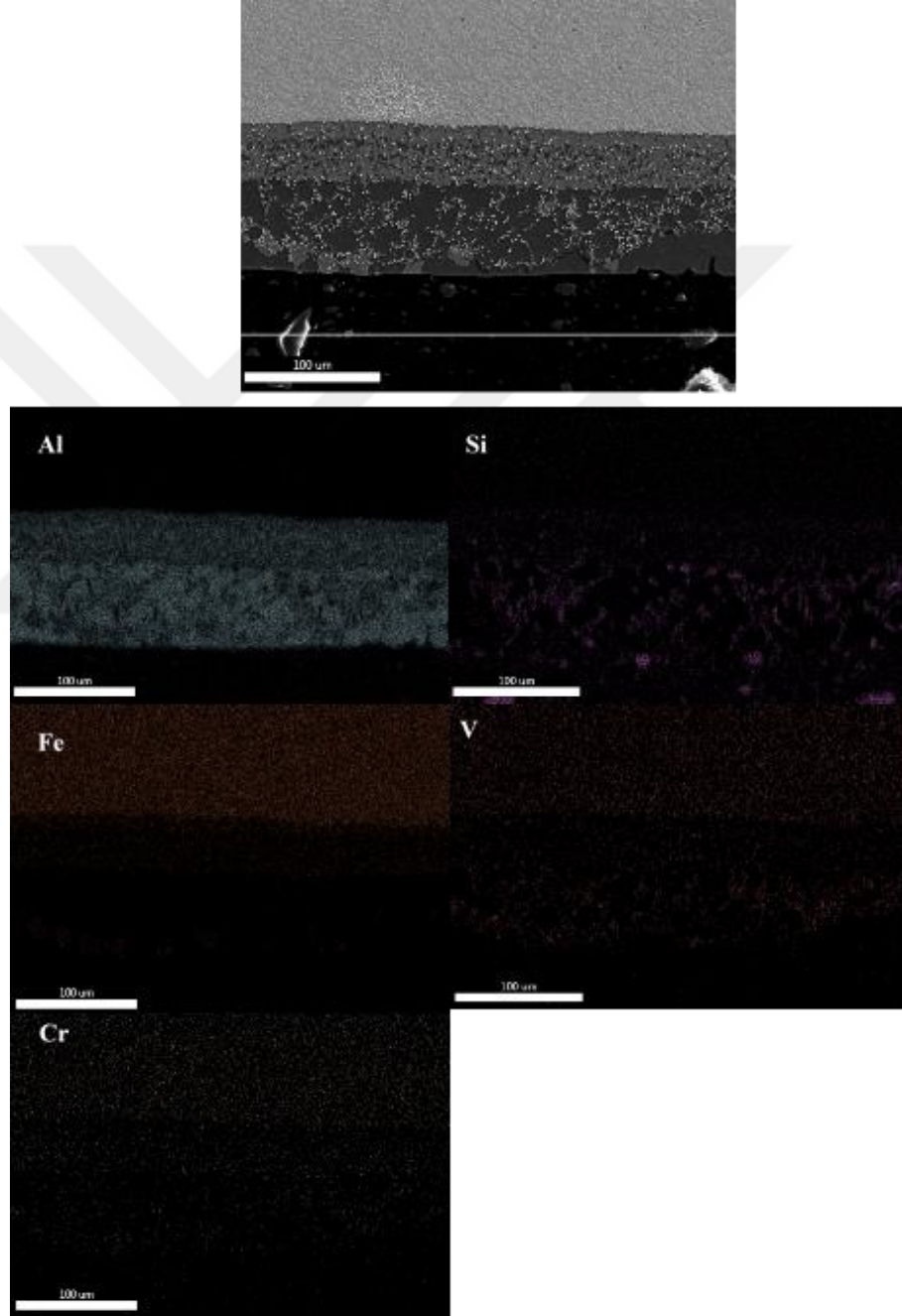


Şekil 6.19 : ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının EDS haritalama analizi.

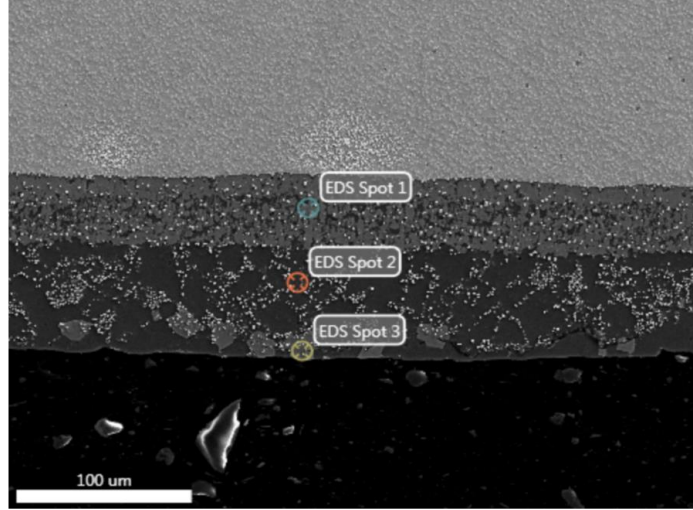


Şekil 6.20 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.

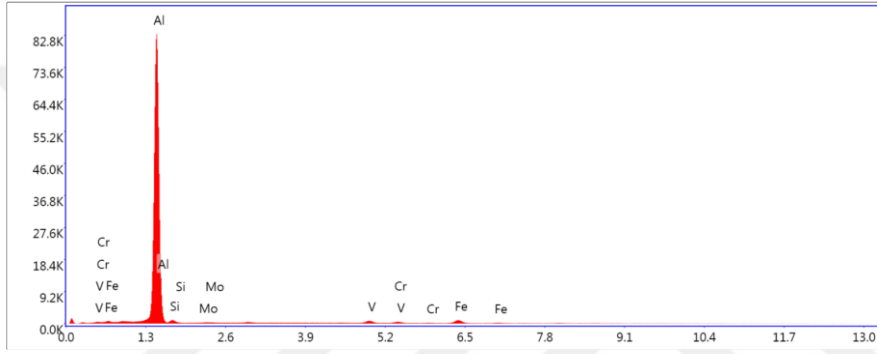
Şekil 6.21’de verilen EDS haritalama analizi incelendiğinde, Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin matriksinde yoğunlukça Fe bulunduğu görülmektedir. Altlık malzemenin kimyasal bileşimden gelen V, Cr ve Mo gibi elementlere ait sinyaller ise oldukça zayıftır. Kaplama bölgesinde ise kaplama malzemesinin bileşiminden gelen Si ve Al elementleri görülebilmektedir.



Şekil 6.21 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi.

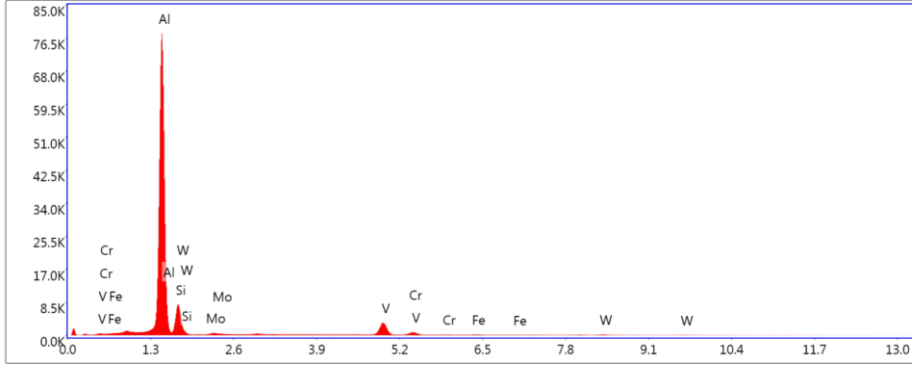


EDS Spot 1 - Det 1



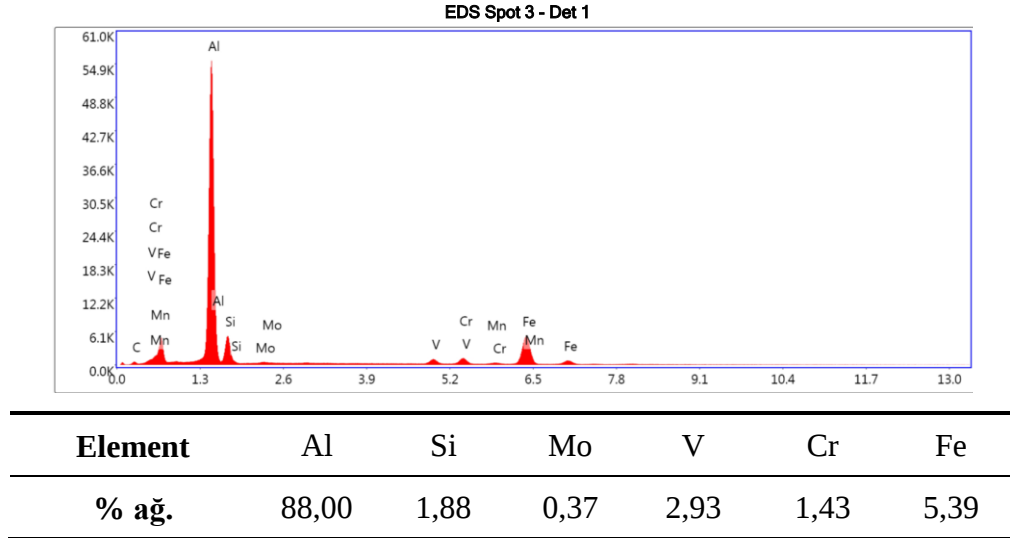
Element	Al	Si	Mo	V	Cr	Mn	Fe
% ağı.	58,58	7,66	0,46	2,73	3,31	0,58	26,65

EDS Spot 2 - Det 1



Element	Al	Si	Mo	V	Cr	Fe	W
% ağı.	70,98	9,96	0,94	11,55	1,25	0,41	4,91

Şekil 6.22 : Al-ağı. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.

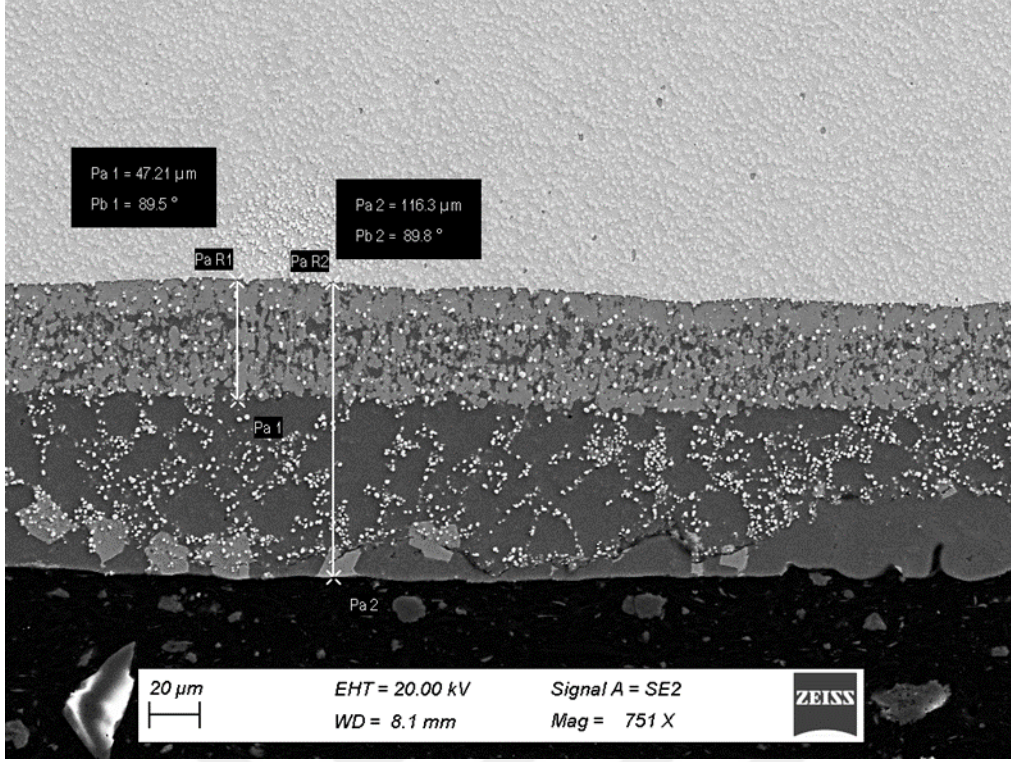


Şekil 6.22 (devam) : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.

Şekil 6.22’de görüldüğü gibi, kaplama bölgesinin altlık malzemeye en yakın bölgesinden alınan noktasal EDS analizinde alüminyumca zengin bir bölgenin olduğu görülmektedir. Alüminyum elementinin yanında yine kaplama malzemesinin içeriğinde bulunan Si elementinin ağırlıkça %7,66 olarak bulunduğu saptanmıştır. V ve Cr gibi karbür yapıcı elementlerin ise yaklaşık olarak ağırlıkça %3 civarında bu bölgede olduğu belirlenmiştir.

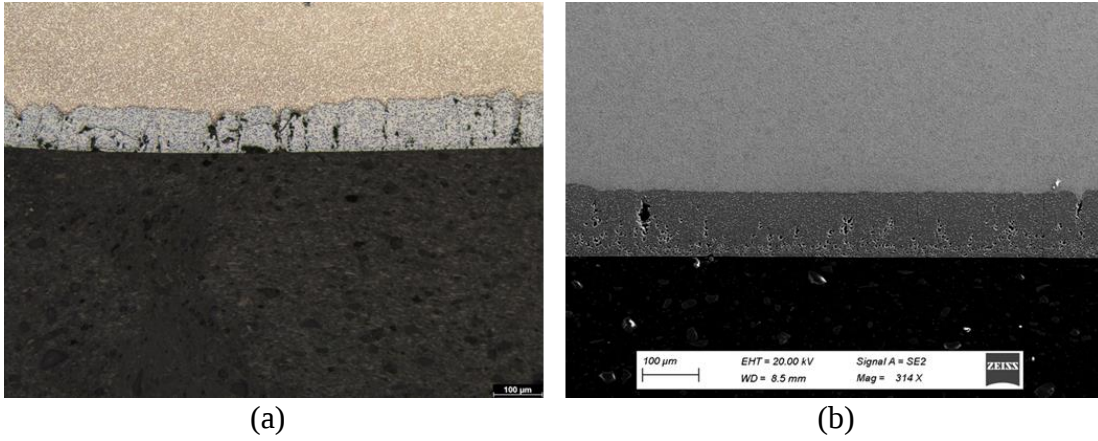
Difüzyon bölgesinden alınan noktasal analiz incelediğinde ise alüminyum oranı azalırken, Si oranı artmıştır. Difüzyon bölgesinde diğer karbür yapıcı elementlere göre yoğun bulunan element %11,55 ile V elementidir. Buradan difüzyon bölgesinde bulunan küçük küresel karbürlerin vanadyum esaslı karbürler olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaplama bölgesinin en dış katmanı incelediğinde ise, alüminyum oranının azaldığı, Si oranının arttığı görülmüştür. Bunun yanında katmanda sırasıyla % 2,73 ve % 3,31 oranında V ve Cr varlığı belirlenmiştir. Kaplama bölgesinden hat boyunca kalınlık için ölçümler yapılmıştır. Ortalama kaplama kalınlığı 110-120 µm arasında ölçülmüştür. Al-%12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama kalınlığı Şekil 6.23’de verilmiştir. En dış tabakada yer yer yatay çatlakların olduğu gözlemlenmiştir.

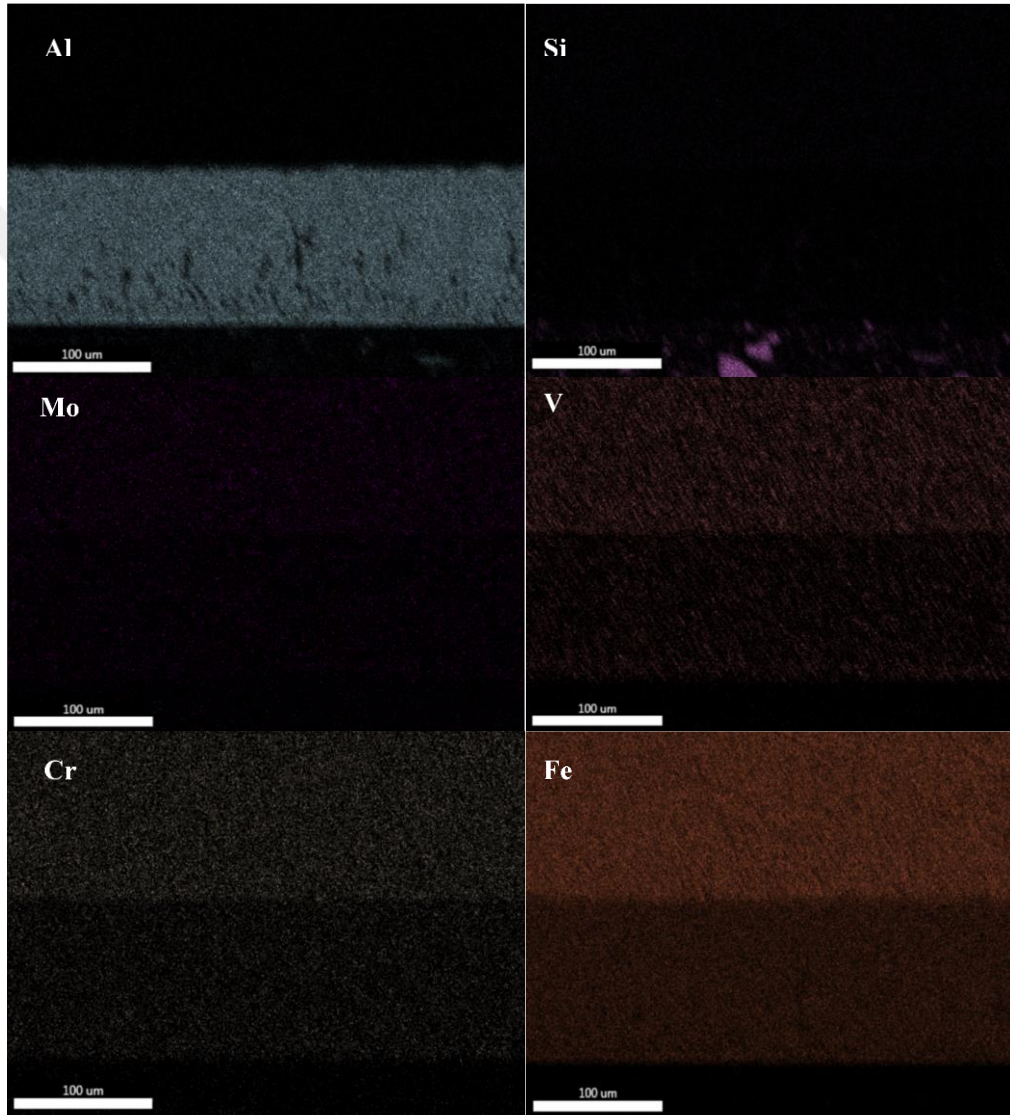
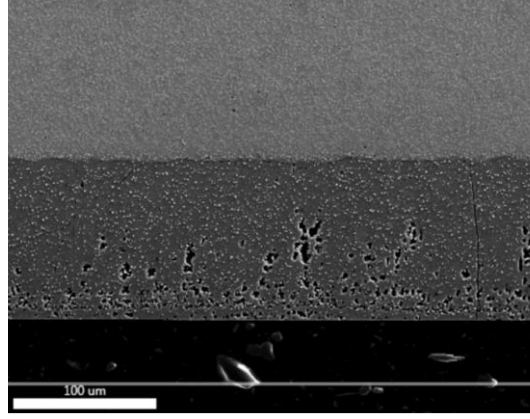


Şekil 6.23 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.

Saf alüminyum ile SDA+DT işlemleri uygulanmış ASP 2053 kalite altlık malzemesinin optik mikroskop ve SEM fotoğrafları Şekil 6.24’de verilmiştir. EDS haritalama analizi ise Şekil 6.25’de verilmiştir.



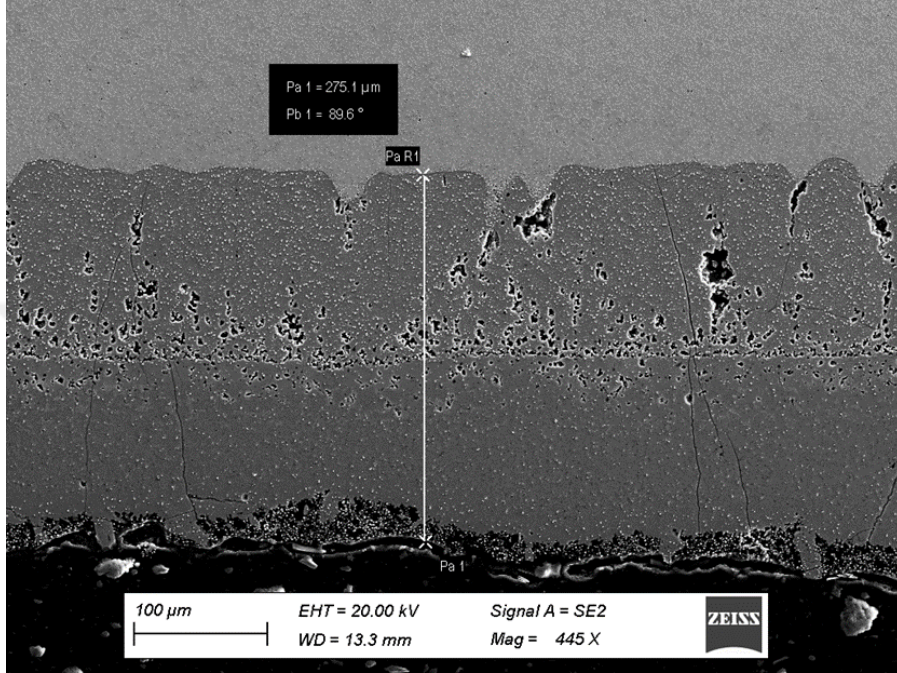
Şekil 6.24 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.



Şekil 6.25 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi.

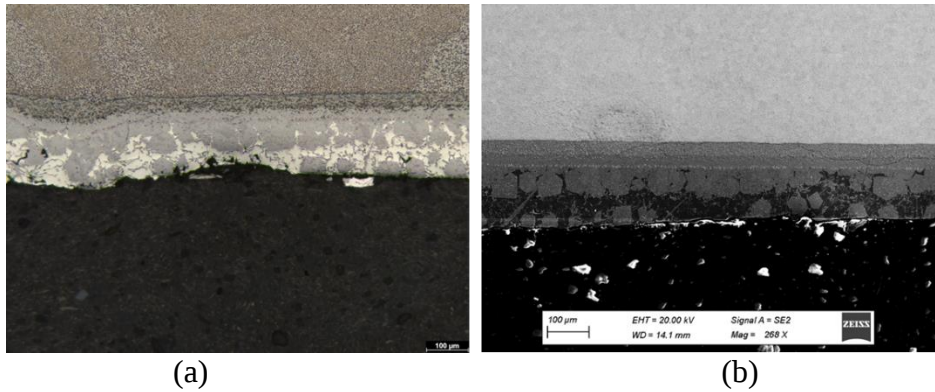
Şekil 6.25’de görüldüğü üzere saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin matriksinde yoğun olarak Fe görülmüştür. Altlık malzemesinin bileşiminden gelen V, Cr ve Mo daha yoğun bir şekilde matrikste bulunurken, az miktarda ise kaplama bölgesinde görülmüştür.

Kaplama bölgesinden hat boyunca kalınlık için ölçümler yapılmıştır. Ortalama kalınlık 110-120 μm arasında ölçülmüştür. Saf alüminyum kaplama malzemesi kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama kalınlığı Şekil 6.26’da verilmiştir. Kaplama bölgesinde en dış tabakaya doğru yer yer boşlukların ve dikey çatlakların da oluştuğu gözlemlenmiştir.



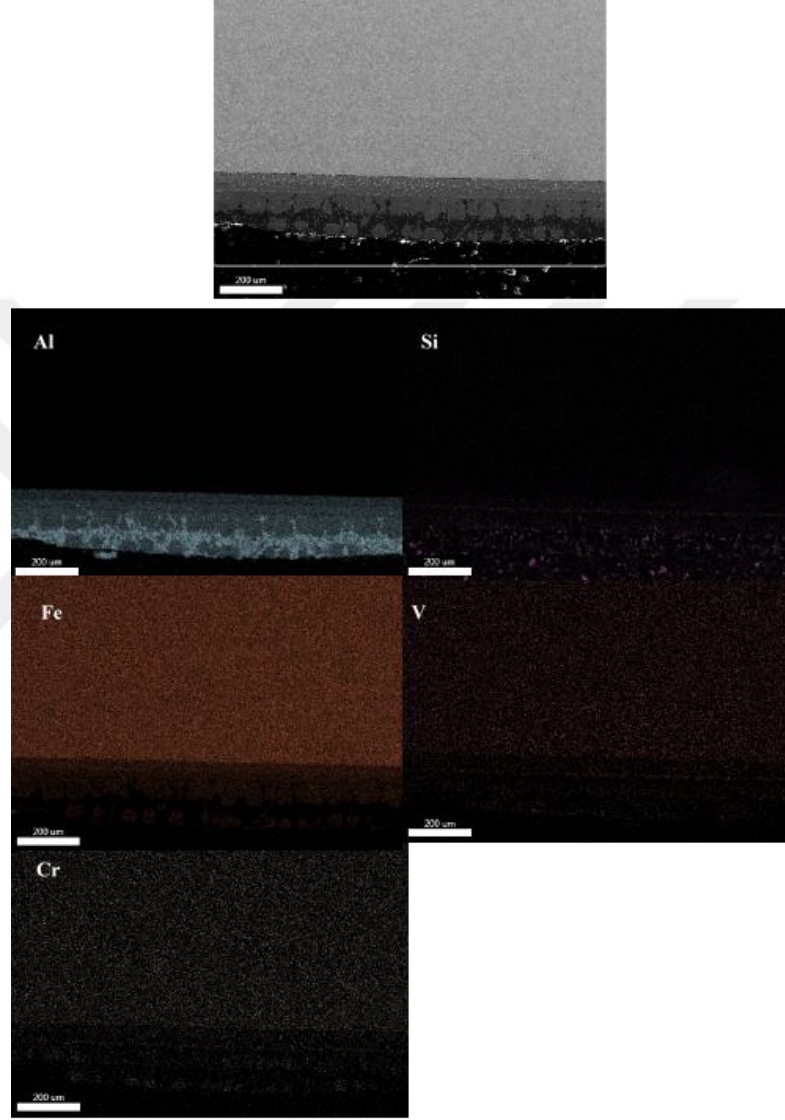
Şekil 6.26 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.

Son olarak, ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğine Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT işlemi uygulanmıştır. Optik mikroskop ve SEM fotoğrafı Şekil 6.27’de verilmiştir. EDS haritalama ve noktasal EDS analizi Şekil 6.28 ve Şekil 6.29’da verilmiştir.

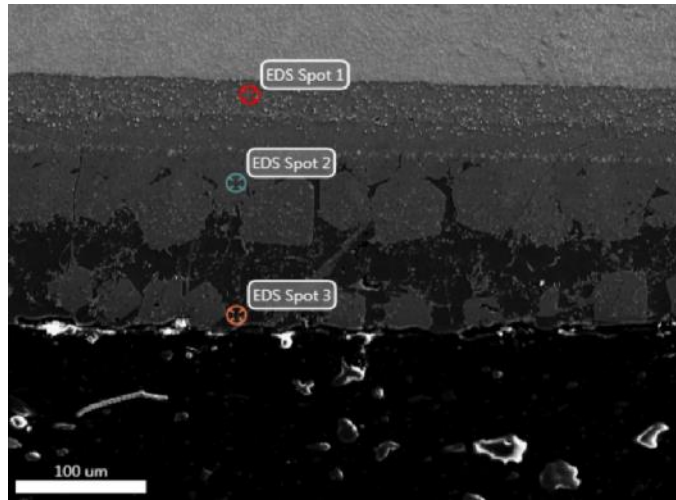


Şekil 6.27 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin mikroyapısının (a) optik mikroskop ve (b) SEM fotoğrafları.

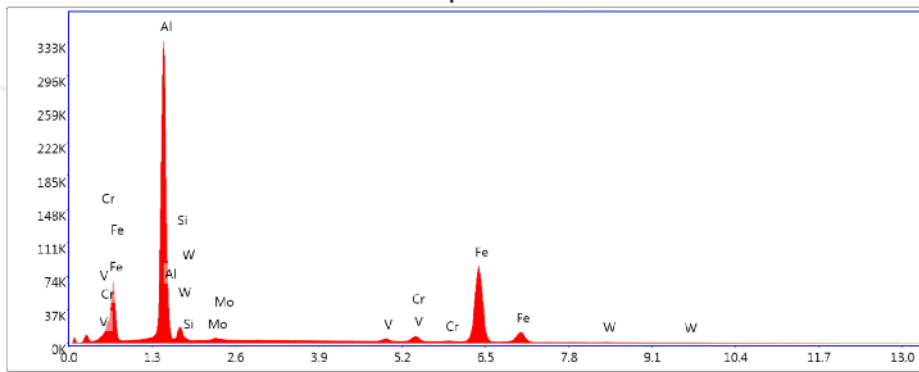
Şekil 6.28’de görüldüğü üzere Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT işlemi uygulanan ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinde daha yoğun Al ve Si varlığı gözlenmiş, matrikse bakıldığında ise yoğun bir Fe varlığı belirlenmiştir. Kimyasal bileşimdeki, Mo, Cr ve V varlığı da görülmüş, ancak sinyallerinin düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.28 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin EDS haritalama analizi.

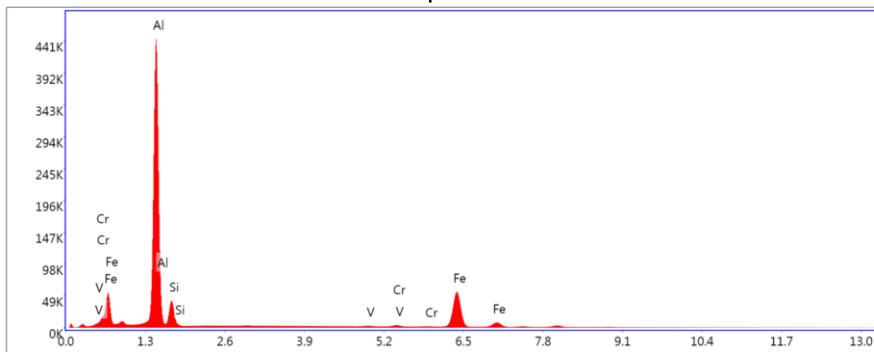


EDS Spot 1 - Det 1



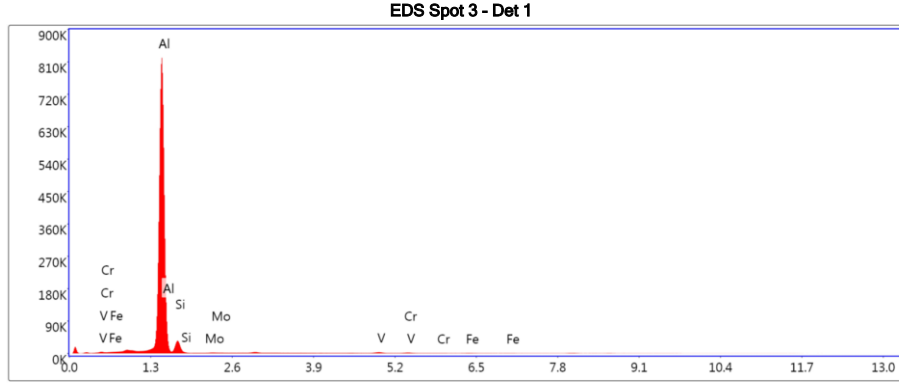
Element	Al	Si	Mo	V	Cr	W	Fe
% ağı.	45,64	1,73	0,44	1,03	2,32	1,24	47,60

EDS Spot 2 - Det 1



Element	Al	Si	V	Cr	Fe
% ağı.	57,71	7,16	0,62	1,11	33,40

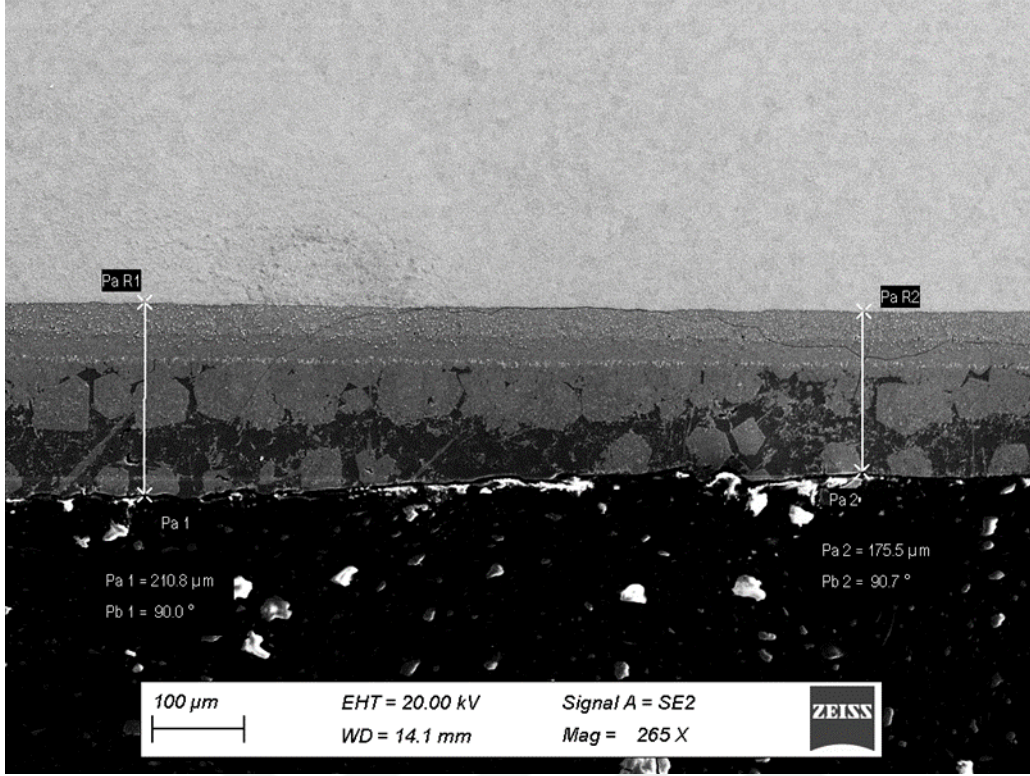
Şekil 6.29 : Al-ağı. %12Si alaşımı kullanılarak SDA +DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.



Element	Al	Si	Mo	V	Cr	Fe
% ağı.	89,42	8,20	0,19	1,16	0,60	0,43

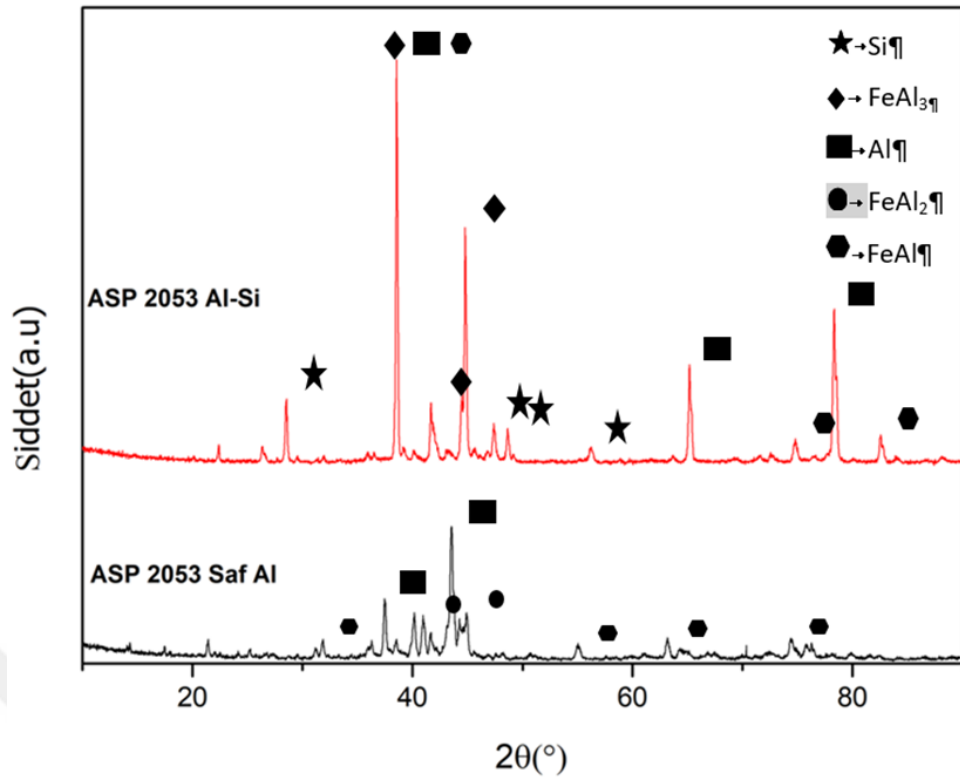
Şekil 6.29 (devam) : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA +DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama bölgesinin noktasal EDS analizi.

Şekil 6.29’da verilen noktasal EDS analizi incelendiğinde, kaplama bölgesinin altlık malzemesine yakın bölgesinden alınan noktada ağırlıkça Fe ve Al elementlerinin yakın değerlerde bulunduğu ortaya çıkmıştır. Bu elementlerin yanı sıra yaklaşık Mo, V ve Cr elementleri de tespit edilmiştir. Difüzyon bölgesine bakıldığında ise, Al elementinin ağırlıkça Fe elementine göre artış gösterdiği görülebilmektedir. Kaplama malzemesinden gelen Si elementi de ağırlıkça %7,16 olarak belirlenmiştir. Buradan yapılan kaplama sonucu olarak Fe yerine Al elementince zengin bir bölgenin oluştuğu saptanmıştır. Kaplama bölgesinin en dış katmanından alınan noktasal EDS sonucuna göre ise, alüminyum elementinde ağırlıkça ciddi bir artış olduğu görülmüştür. Kaplama malzemesinin bileşiminden gelen Si elementi ise ağırlıkça yaklaşık olarak %10 artış göstermiştir. Kaplama kalınlığı için hat boyunca ölçümler yapılmıştır. Ortalama kaplama kalınlığı 170-220 μm olarak ölçülmüştür. Kaplama bölgesinin en dış katmanına doğru dikey ve yatay çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. Kaplama kalınlığı Şekil 6.30’da verilmiştir.



Şekil 6.30 : Al-ağ. %12Si kaplama malzemesi kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakalarının kalınlığını gösteren SEM fotoğrafı.

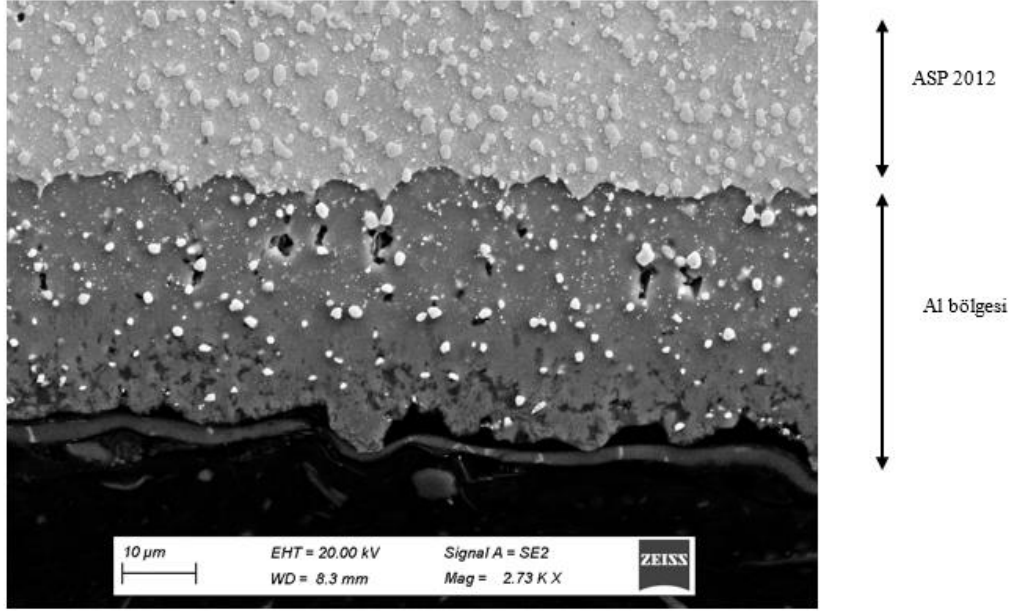
Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak sadece SDA işlemi uygulanmış numunelere göre, SDA+DT işlemi uygulanan altlık malzeme de oluşan yaklaşık %60 daha fazla derin bir kaplama bölgesi elde edildiği ve ayrıca DT işlemi ile beraber kaplama bölgesinde alüminyumca daha zengin bir bölgenin oluştuğu görülmüştür. Ayrıca Şekil 6.23’de verilen kaplama bölgesinin sadece SDA uygulanmış numune ile kıyaslandığında, SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite altlık malzemesinin kaplamanın daha homojen dağıldığı Şekil 6.30’te görülebilmektedir. Şekil 6.31’de XRD paterni verilmiştir.



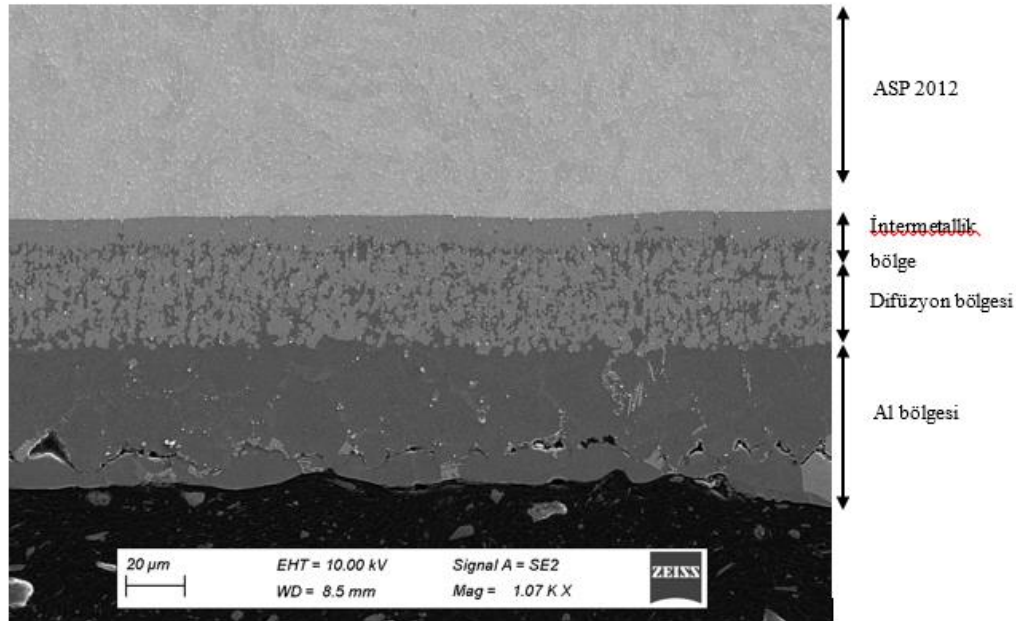
Şekil 6.31 : SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğın XRD paterni.

Kaplama kalınlığı ve oluşan fazların çeşitliliğı, kullanılan kaplama malzeme ve proses parametreleri ile ilişkilidir. Şekil 6.31’de görüldüğü üzere saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite takım çeliğindeki kaplama tabakasının Al, FeAl₂ ve FeAl fazlarını içerdığı görülmürken, Al-ağ.%12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT işlemleri uygulanmış numunelerde ise kaplama bölgesinde alüminyum ve silisyumca zengin fazlar ile FeAl ve FeAl₃ fazlarını içerdığı görülmektedir.

Şekil 6.32 ve Şekil 6.33’de verilen SEM fotoğrafında, saf alüminyum ve Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA işlemleri uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin en dış katmanında yer alan daha koyu bölgelerin yapılan EDS analiz sonuçları sonrası alüminyumca daha zengin olduğu, altlık malzemeye doğru gittikçe bu bölgede yer alan açık gri renkteki en alt katman, altlık malzemeyi ve difüzyon bölgesi olarak tanımlanmıştır. Difüzyon bölgesinin sadece Al-ağ.%12Si alaşımı kullanılarak kaplanan numunelerde gözlemlendiği ancak saf alüminyum ile kaplanan numunelerde bu bölgeye rastlanılmamıştır.



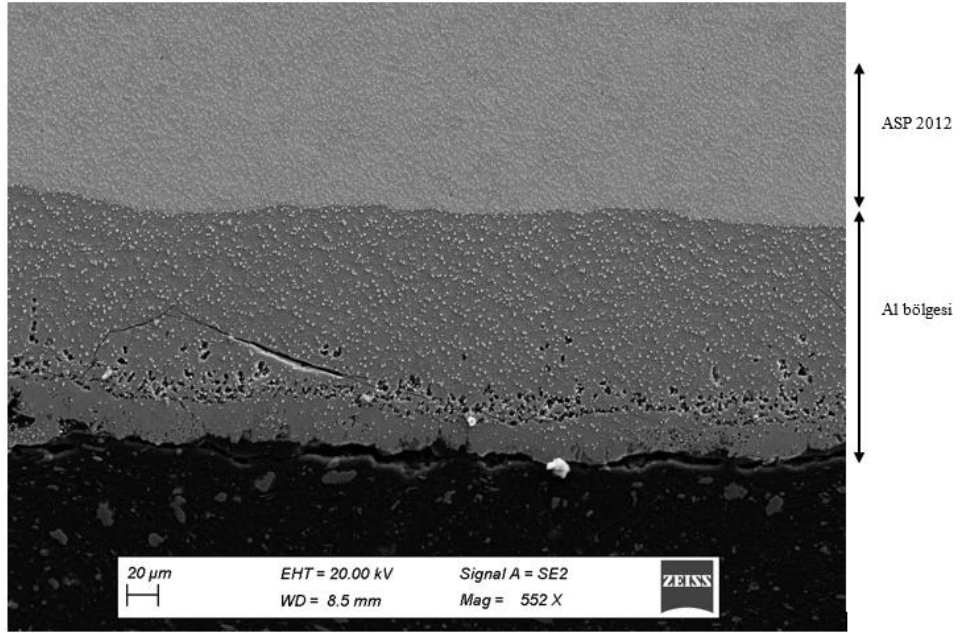
Şekil 6.32 : Saf alüminyum kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğın kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.



Şekil 6.33 : Al-ağ. %12Si alaşıımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğın kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.

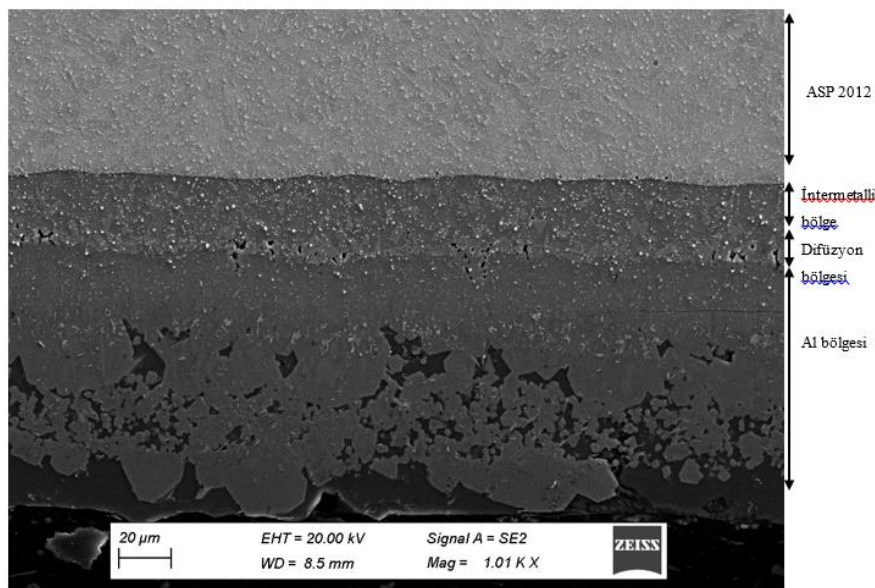
Şekil 6.33’de Al-ağ. %12Si alaşıımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2012 takım çeliğının alüminyum kaplanmış SEM kesit fotoğrafı verilmiştir. ASP 2012 altlık malzemesine sıcak daldırma yöntemi (SDA) ile saf alüminyum ile kaplanmış olan numuneye göre farklı fazlar, intermetallik ve difüzyon bölgesi görülmektedir. Diğer yandan Şekil 6.34 ve Şekil 6.35’de verilen saf alüminyum ve Al-ağ. %12Si alaşıımı kullanılarak ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğine SDA+DT işlemleri uygulanmış

numunelerde ise bu tanımlanan bölgelerin kalınlıkları DT işlemi sayesinde arttığı sonucuna varılmıştır.



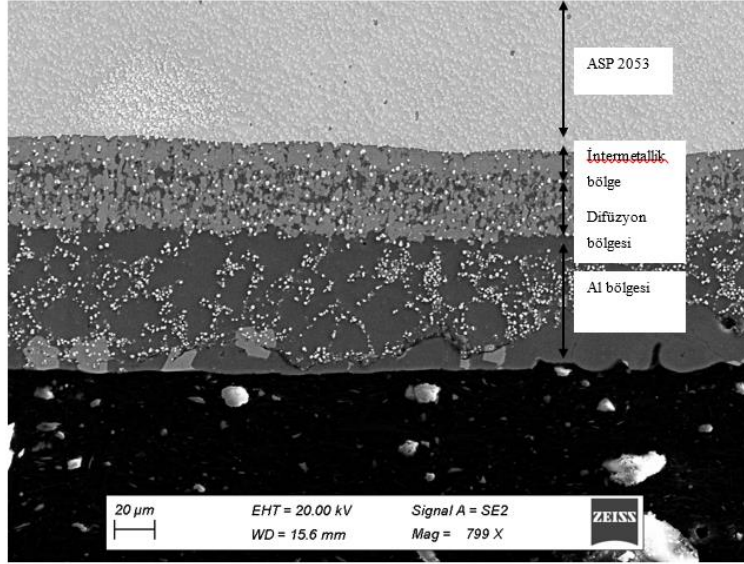
Şekil 6.34 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.

Saf alüminyum kullanılarak sıcak daldırma yöntemi ile alüminyum kaplanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kesit görüntüsünde intermetalik ve difüzyon bölgesine rastlanmamıştır. Bu bölgeler SDA+DT işlemi uygulanmış olan numunelerde de görülmemekte olup SEM kesit fotoğrafı Şekil 6.34’de verilmektedir.



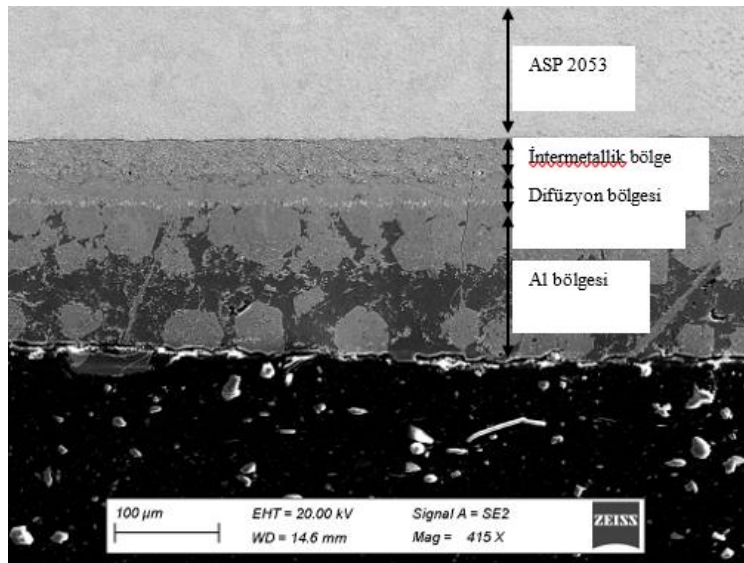
Şekil 6.35 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.

Şekil 6.36’da Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak sıcak daldırma yöntemi ile kaplanmış olan ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin SEM kesit görüntüsü verilmektedir. Kaplama sonrası oluşan farklı faz bölgeleri, intermetallik ve difüzyon bölgesi net bir şekilde gözükmemektedir.

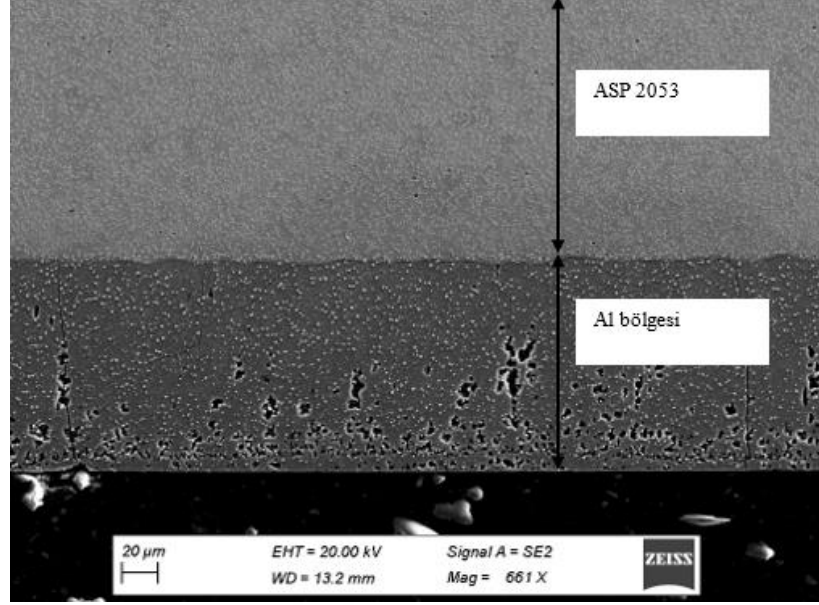


Şekil 6.36 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.

Şekil 6.37 ve Şekil 6.38’de ise saf alüminyum ve Al-%12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT işlemi uygulanan ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin SEM kesit fotoğrafları verilmektedir. DT işlemi ile beraber oluşan kaplama bölgesindeki katmanların kalınlıklarındaki artışlar görülebilmektedir.



Şekil 6.37 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.



Şekil 6.38 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğin kaplama tabakasının kesitinin SEM fotoğrafı.

Şekil 6.38’de görüldüğü üzere saf alüminyum ile kaplanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin SEM kesit görüntüsünde farklı fazlar ve difüzyon bölgesinin oluşmadığı görülmektedir. Genel olarak sıcak daldırma yöntemi ile alüminyum kaplanmış ASP 2012 ve ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliklerinin kaplama kalınlıkları uygulanan proses parametrelerine bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Buna bağlı olarak difüzyon tavlama işlemi ile sadece sıcak daldırma yöntemi (SDA) ile kaplanmış numunelere göre farklı fazların oluştuğu görülmüştür. Kaplama yapısının morfolojisi ve kalınlığı difüzyon tavlama işlemi ile artış görülmüştür. Bu işlem ayrıca kaplama bölgesinde farklı kalınlık ve morfolojideki tabakaların oluşmasını da sağlamıştır. Bu katmanlara yukarıda da bahsedildiği üzere difüzyon ve intermetalik bölge adı verilmiştir. İki çelik kıyaslandığında ise kaplama kalınlığında önemli bir farklılık görülmemiştir. Al-ağ. %12Si alaşımı ile SDA+DT işlemi uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinde alüminyumca zengin bölge 90 µm iken, intermetalik ve difüzyon bölgelerinin kalınlıkları 30 µm olarak ölçülmüştür. Saf alüminyum ile SDA+DT işlemi uygulanan ASP 2012 numunelerinde ise, alüminyumca zengin bölge yaklaşık 150 µm olarak ölçülmüştür.

Saf alüminyum ile sıcak daldırma yöntemi ile kaplanmış olan ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliği için alüminyumca zengin bölge kalınlığı yaklaşık 30-35 µm arası ölçülmüştür. Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak sıcak daldırma yöntemi ile kaplanmış ASP 2012 numunelerinde ise alüminyumca zengin bölge kalınlığı yaklaşık 50 µm

ölçülürken, difüzyon ve intermetalik bölgelerinin kalınlıkları yaklaşık 40 µm ölçülmüştür.

Al-ağ. %12Si alaşımı ile SDA+DT işlemi uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinde alüminyumca zengin bölge 160 µm iken, intermetalik ve difüzyon bölgelerinin kalınlıkları 35 µm olarak ölçülmüştür. Saf alüminyum ile SDA+DT işlemi uygulanan ASP 2053 numunelerinde ise, alüminyumca zengin bölge yaklaşık 275 µm olarak ölçülmüştür. Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak sıcak daldırma yöntemi ile kaplanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin alüminyumca zengin bölge kalınlığı yaklaşık 70 µm ölçülürken, difüzyon ve intermetalik bölgelerinin kalınlıkları yaklaşık 47 µm ölçülmüştür.

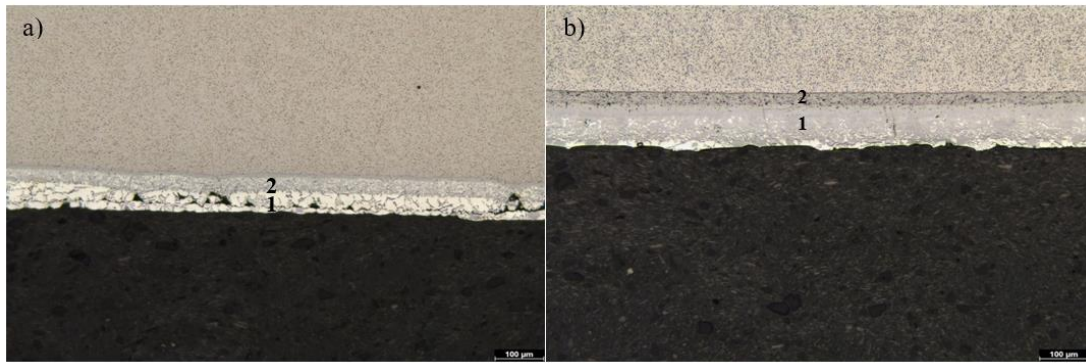
Endüstriyel olarak alüminyum kaplama yüzey işlemi dışında çelik alaşımlarına uygulanan karbürleme, nitrasyon ve borlama gibi işlemler de bulunmaktadır. W4 kalite düşük karbonlu çelik için Ekabor tozları kullanılarak 850 °C, 950 °C ve 1050 °C’de 2,4,6 ve 8 saat ve H11 kalite sıcak iş takım çeliğine ise 1030 °C’de 30,45,75 ve 150 dakika boyunca Durborid® tozları kullanılarak borlama yüzey kaplama işlemi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda W4 kalite çeliğin yüzeyinde oluşan kaplama kalınlığı 8-360 µm arasında ölçülürken, H11 kalite sıcak iş takım çeliğinin yüzeyinde ise ortalama 60-100 µm arasında bir kalınlığa sahip kaplama bölgesinin oluştuğu bulunmuştur [31,32].

Bir diğer yüzey işlemi olan karbürleme yapılan çalışmalar incelendiğinde ise, düşük karbon çeliğine 850 °C, 900 °C ve 950 °C’de 2 saat boyunca karbürleme işlemi uygulanmış ve kaplama kalınlığı 60-80 µm arasında ölçülürken, kaplama bölgesinden alınan sertlik ise ortalama 57 HRC olarak belirlenmiştir. Diğer bir çalışmada ise düşük karbon çeliğine 700 °C, 750 °C ve 800 °C’de 6 saat boyunca karbürleme işlemi uygulanmış ve kaplama kalınlığı 23-105 µm arasında ölçülmüştür [33, 34].

Son olarak yüzey işlem uygulamalarından biri olan nitrasyon işlemi kapsamında yapılan çalışmalar incelendiğinde, H11 kalite sıcak işlem takım çeliğine 530 °C’de 2 saat boyunca nitrasyon işlemi uygulanmış olup kaplama kalınlığı 77 µm olarak ölçülmüştür. Bir diğer çalışma da ise 1.2343 kalite sıcak iş takım çeliğine 530 °C’de 8 saat boyunca nitrasyon işlemi uygulanmıştır. İşlem sonrası kaplama kalınlığı 70-80 µm olarak ölçülmüştür [35,36].

6.2 Sertlik Deneyi Sonuçları

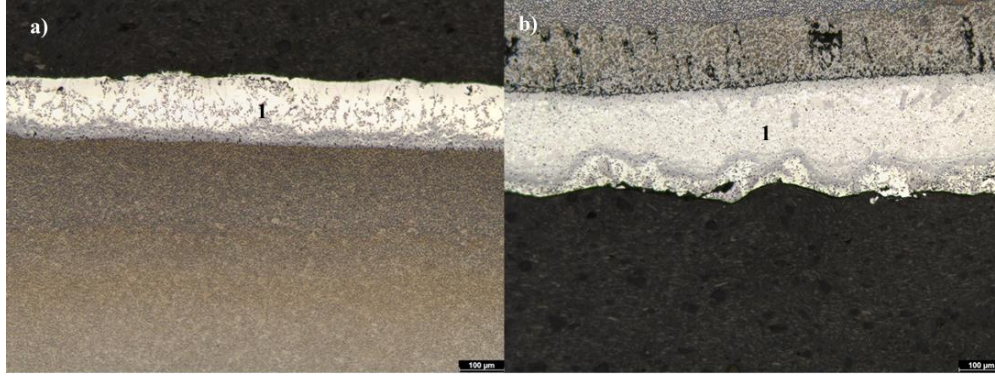
ASP 2012 ve ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliklerine Al-ağ. %12Si alaşımı ve saf alüminyum ile kaplandıktan sonra SDA ve SDA+DT işlemleri uygulanmış ve sonrasında numunelerin kesitlerinden sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.39'da Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA ve SDA+DT işlemi uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kesitinin farklı bölgelerinden alınan sertlik sonuçları verilmiştir.



Bölge Tanımı	Sertlik (HV _{0.025})	Bölge Tanımı	Sertlik (HV _{0.025})
1	392 ± 61	1	852 ± 95
2	302 ± 74	2	449 ± 19
Ana malzeme	288 ± 45	Ana malzeme	941 ± 9

Şekil 6.39 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak kaplanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kesitindeki sertlik ölçüm konumlarını gösteren optik mikroskop fotoğrafları ve sertlik değerleri (a) SDA uygulanmış (b) SDA+DT uygulanmış.

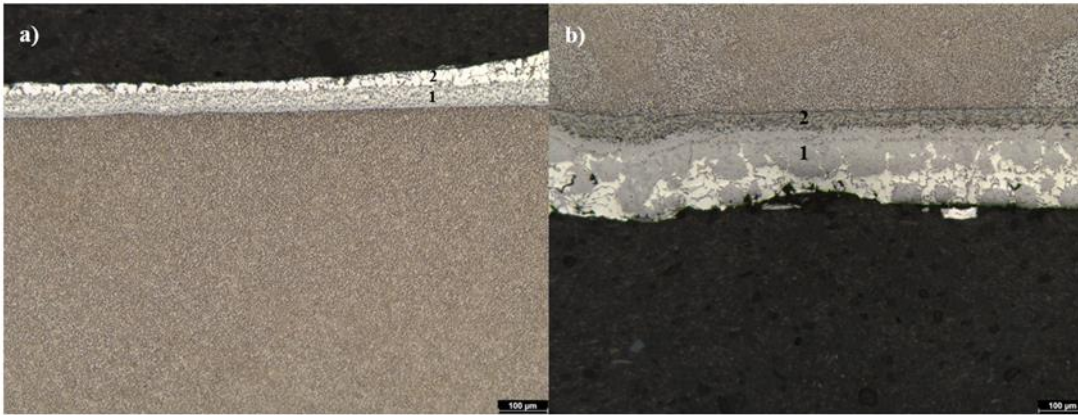
Şekil 6.39'da görüldüğü üzere difüzyon tavlama uygulanan numunelerin sadece SDA ile kaplanmış numunelere göre ana malzemede 3,5 kat, intermetalik difüzyon bölgesinde ise yaklaşık olarak % 45 ve kaplamanın en dış bölgesinde ise yaklaşık 2 kat daha yüksek sertliğe sahip olduğu görülmektedir. Şekil 6.40'da saf alüminyum kullanılarak SDA ve SDA+DT işlemi uygulanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kesitinin farklı bölgelerinden alınan sertlik sonuçları verilmiştir.



Bölge Tanımı	Sertlik (HV _{0.025})	Bölge Tanımı	Sertlik (HV _{0.025})
1	424 ± 36	1	866 ± 83
Ana malzeme	214 ± 41	Ana malzeme	927 ± 17

Şekil 6.40 : Saf alüminyum kullanılarak kaplanmış ASP 2012 kalite soğuk iş takım çeliğinin kesitindeki sertlik ölçüm konumlarını gösteren optik mikroskop fotoğrafları ve sertlik değerleri (a) SDA uygulanmış (b) SDA+DT uygulanmış.

Şekil 6.40’da görüldüğü üzere difüzyon tavlaması uygulanan numunelerin sadece SDA ile kaplanmış numunelere göre ana malzemede 4 kat, kaplama bölgesinde ise yaklaşık 2 kat daha yüksek sertliğe sahip olduğu görülmektedir. Şekil 6.41’de Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak SDA ve SDA+DT işlemi uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kesitinin farklı bölgelerinden alınan sertlik sonuçları verilmiştir.

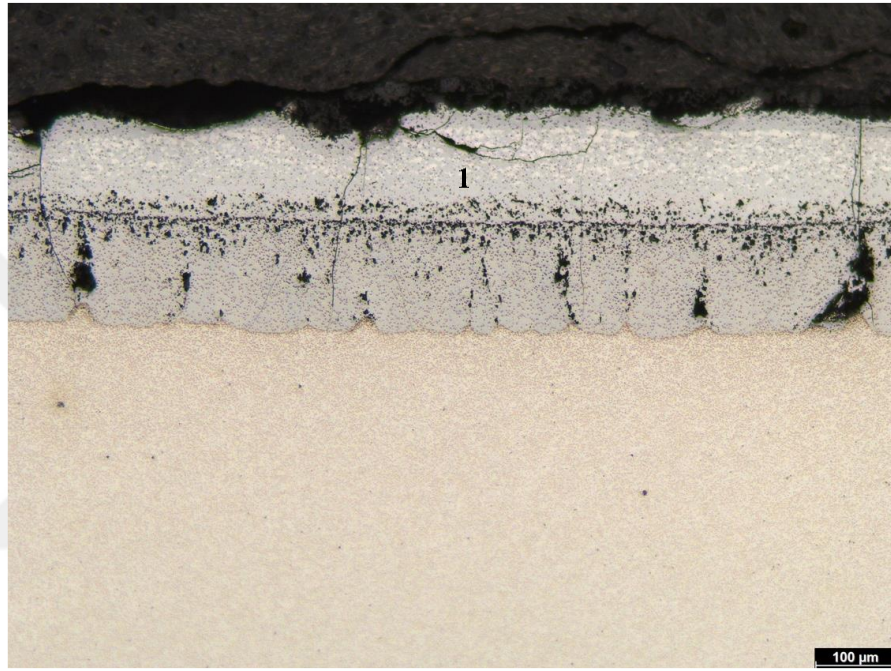


Bölge Tanımı	Sertlik (HV _{0.025})	Bölge Tanımı	Sertlik (HV _{0.025})
1	525 ± 34	1	910 ± 74
2	414 ± 58	2	582 ± 92
Ana malzeme	325 ± 123	Ana malzeme	1431 ± 27

Şekil 6.41 : Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak kaplanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kesitindeki sertlik ölçüm konumlarını gösteren optik mikroskop fotoğrafları ve sertlik değerleri (a) SDA uygulanmış (b) SDA+DT uygulanmış.

Şekil 6.41’de görüldüğü üzere difüzyon tavlaması uygulanan numunelerin sadece SDA ile kaplanmış numunelere göre ana malzemede 4,5 kat, intermetalik difüzyon bölgesinde ise yaklaşık olarak %40 ve kaplamanın en dış bölgesinde ise yaklaşık %73 daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 6.42’de saf alüminyum kullanılarak SDA+DT işlemi uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kesitinin farklı bölgelerinden alınan sertlik sonuçları verilmiştir.



Bölge Tanımı	Sertlik (HV _{0.025})
1	814 ± 45
Ana malzeme	1281 ± 94

Şekil 6.42 : Saf alüminyum kullanılarak SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite soğuk iş takım çeliğinin kesitindeki sertlik ölçüm konumlarını gösteren optik mikroskop fotoğrafı ve sertlik değerleri.

Şekil 6.41 ve Şekil 6.42 kıyaslandığı zaman, Al-ağ. %12Si alaşımı ile kaplanmış ve SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite numunelerin kaplama bölgesi ve ana malzeme sertlikleri saf alüminyum ile kaplanmış ve SDA+DT uygulanmış ASP 2053 kalite takım çeliği numunelerime göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.



7. GENEL SONUÇLAR

Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş olan ASP 2012 ve ASP 2053 kalite çelikleri 700 °C'de 3 dakika boyunca sıcak daldırma yöntemi (SDA) ile Al-ağ. %12Si ve saf alüminyum kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama kalınlığını arttırmak ve oluşan intermetallik difüzyon ve kaplama bölgesinde alüminyumca zengin bir bölge oluşturabilmek için 800 °C'de 1 saat difüzyon tavlama (DT) işlemi yapılmıştır. Difüzyon tavlama işlemi sonrası numuneler havada soğutularak yüzey modifikasyonun ve karakterizasyon incelemeleri için metalografik hazırlık süreci yapılmıştır. Son olarak numunelerin kaplama bölgesinden alınan kesitlerden mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu işlemlerin sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

1. ASP 2012 ve ASP 2053 kalite takım çelikleri, mikroyapısında yoğun olarak köşeli ve küresel morfolojiye sahip karbürleri bulundurmaktadır. Yapılan analiz ve incelemeler sonucunda mikroyapıdaki bulunan karbür tipleri; MC, M₂C, M₃C olarak belirlenmiştir. ASP 2053 kalite takım çeliğindeki karbür boyut ve oranı ASP 2012 kalite takım çeliğine kıyasla daha yüksektir.
2. Sıcak daldırma yöntemi sonrasında, her iki kalite de takım çeliğinin yüzeyi saf alüminyum ve Al-ağ. %12Si alaşımı ile kaplanmıştır. Kaplama ile ana malzeme arayüzeyinde herhangi bir süreksizliğe rastlanılmamıştır. Saf alüminyum kullanılarak kaplanan ASP 2012 kalite takım çeliğinde kaplama kalınlığı 91,50 µm ölçülmüştür.
3. Sıcak daldırma yöntemi (SDA) sonrası uygulanan DT işlemi, alaşım ve kaplama kalınlığına bağlı olarak kaplama kalınlığını ortalama olarak 2-3 kat arttırmıştır. Ayrıca SDA işlemi sonrasında yapılan SEM analizleri incelediğinde 2 katmanlı bir bölge oluşurken, DT işlemi sonrasında üç katmanlı bir kaplama bölgesi oluşmuştur. DT işlemi ayrıca kaplama kalınlığının artmasını sağlamıştır.

4. DT işlemleri sonrasında kaplama bölgesinin en dış katmanından altlık malzemeye doğru oluşan fazlar, saf alüminyum ile kaplanmış ASP 2012 kalite çelik numuneler için FeAl ve FeAl₂ fazlardır.
5. Mikrosertlik ölçümü SDA ve DT işlemleri uygulanmış numunelerin kesitlerinden alınmıştır. Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak sadece SDA işlemleri uygulanan ASP 2012 kalite takım çeliğinin altlık malzemedan alınan sertlik değeri $288 \pm 45 \text{ HV}_{0,025}$ iken SDA+DT işlemleri uygulanmış ASP 2012 kalite numunelerde bu değeri $941 \pm 9 \text{ HV}_{0,025}$ olarak ölçülmüştür. Difüzyon bölgesi ise SDA uygulanmış numunelerde $302 \pm 74 \text{ HV}_{0,025}$ iken, SDA+DT işlemleri uygulanmış numunelerde bu bölgenin sertliği $449 \pm 19 \text{ HV}_{0,025}$ olarak ölçülmüştür. Kaplama bölgesindeki en dış katmandan alınan sertlik değeri, sadece SDA işlemleri uygulanmış numunelerde $391 \pm 61 \text{ HV}_{0,025}$ iken, SDA+DT işlemleri uygulanmış numunelerde $852 \pm 95 \text{ HV}_{0,025}$ olarak ölçülmüştür. Saf alüminyum kullanılarak SDA işlemleri uygulanan ASP 2012 kalite takım çeliğinin kaplama bölgesindeki sertlik $424 \pm 36 \text{ HV}_{0,025}$ iken SDA+DT işlemleri uygulanmış ASP 2012 kalite numunelerde bu değeri $865 \pm 83 \text{ HV}_{0,025}$ olarak ölçülmüştür. Altlık malzemedan alınan sertlik sonucu ise SDA uygulanmış numunelerde $214 \pm 41 \text{ HV}_{0,025}$ iken, SDA+DT işlemleri uygulanmış numunelerde bu bölgenin sertliği $927 \pm 17 \text{ HV}_{0,025}$ olarak ölçülmüştür.
6. Al-ağ. %12Si alaşımı kullanılarak sadece SDA işlemleri uygulanan ASP 2053 kalite takım çeliğinin altlık malzemedan alınan sertlik değeri $325 \pm 123 \text{ HV}_{0,025}$ iken SDA+DT işlemleri uygulanmış ASP 2053 kalite numunelerde bu değeri $1431 \pm 27 \text{ HV}_{0,025}$ olarak ölçülmüştür. Difüzyon bölgesi ise SDA uygulanmış numunelerde $414 \pm 58 \text{ HV}_{0,025}$ iken, SDA+DT işlemleri uygulanmış numunelerde bu bölgenin sertliği $582 \pm 92 \text{ HV}_{0,025}$ olarak ölçülmüştür. Kaplama bölgesindeki en dış katmandan alınan sertlik değeri, sadece SDA işlemleri uygulanmış numunelerde $525 \pm 34 \text{ HV}_{0,025}$ iken, SDA+DT işlemleri uygulanmış numunelerde $910 \pm 74 \text{ HV}_{0,025}$ olarak ölçülmüştür. Saf alüminyum kullanılarak SDA işlemleri uygulanan ASP 2053 kalite takım çeliğinin kaplama bölgesindeki sertlik $814 \pm 45 \text{ HV}_{0,025}$, altlık malzemedan alınan sertlik sonucu ise $1281 \pm 94 \text{ HV}_{0,025}$ olarak ölçülmüştür.
7. Endüstride kullanılan karbürleme, nitrasyon ve borlama gibi diğer yüzey işlemleri sıcak daldırma yöntemi (SDA) ile kıyaslandığında kullanılan altlık

malzemenin alaşımına ve proses parametrelerine göre değişiklik gösterse de ortalama 2 kat daha fazla kaplama kalınlığı ve kaplama bölgesinden alınan sertlik değerlerinde % 30 daha yüksek bir değerin sağlandığı değerlendirilmiştir.





KAYNAKLAR

- [1] **Blau, Peter J.** (1998). Metals Handbook Desk Edition, Second Edition. ASM International.
- [2] **Mesquita , Rafael A.** (2016). Tool steels properties and properties (C. 1).
- [3] **Mussa, A.** (2020). Development of a New PM Tool Steel for Optimization of Cold Working of Advanced High-Strength Steels. *Metals*, 10(10), 1326.
- [4] **Kwaśny, W.** (2004). Ti+TiN, Ti+Ti(C_xN_{1-x}), Ti+TiC PVD coatings on the ASP 30 sintered high-speed steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 157-158, 370-379.
- [5] **Taşdöğen, H.** (2019). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Hazırlanan Çelik Malzemede Mikroyapı ve Darbe Tokluğunun İncelenmesi. 106.
- [6] **Uzun, M.** (2014). Kriyojenik İşlem Görmüş Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışının İncelenmesi. 66.
- [7] **Koçanaoğulları, S.** (2015). TM Malzemelerin Korozyon Direncine Sıcak Daldırma Alüminyum Kaplamanın Etkisi—The Effect of Hot Dip Aluminizing on the Corrosion Resistance of PM Materials. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 12.
- [8] **Rosso, M.** (2006). The challenge of PM tool steels for the innovation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 18(1), 5.
- [9] **Çel, T.** (2010). Soğuk İş Takım Çeliklerinde Sıfırlatı İşlem Derecesinin Mekanik Özelliklere Etkisi. 131.
- [10] **Roberts, G.** (1998). Tool Steels: 5th Edition. Tool Steels, 335.
- [11] **Toptop, G. O.** (2011). Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Uygulanan Isıl İşlemler ve Elde Edilen Özellikler Arasındaki İlişkilerin Fiziksel Metalurjik Yönden İncelenmesi. 134.
- [12] **Höjerslev, C.** (2001). Tool steels. Risø National Laboratory.
- [13] **Bayer, Alan M.** (1990). Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys. 1, 2520.
- [14] **Maalekian, M.** (2007). The Effects of Alloying Elements on Steels. 36.
- [15] **Bostan, B.** (2015). Yüksek Hız Takım Çeliklerinin Yüksek Sıcaklık Aşınma Dayanımına Nitrasyon İşleminin Etkisi. 113.
- [16] **Sarıççek, N.** (2012). Östemperlenmiş Toz Metal Çeliklerin Mekanik Ve Mikroyapı Özelliklerinin Araştırılması. 109.
- [17] **Url-1.** (2023). <https://www.erasteel.com/technologies/powder-metallurgy-asp/>, Erişim tarihi 23.07.2023

- [18] **Lee, Peter W.** (1984). Volume 7 of ASM Handbook. Powder Metal Technologies and Applications. ASM International.
- [19] **Krauss, G.** (2015). Steels: Processing, structure, and performance (Second edition). ASM International.
- [20] **Aydin, M.** (2018). Takım Çelikleri Üretiminde Kullanılan Vakum Ergitme Proseslerinin Metalurjik Karakterizasyonu. 6.
- [21] **Erasteel.** (2021). ASP 2012 Grade Technical Sheet.
- [22] **Erasteel.** (2021). ASP 2053 Grade Technical Sheet.
- [23] **Açıksöz, M.** (2017). Sıcak Daldırma Yöntemi ile Alüminyum Kaplanan Düşük Karbonlu Çeliğe Uygulanan Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Karakterizasyonu. 93.
- [24] **J. R. Davis & Associates (Ed.).** (1993). Aluminum and aluminum alloys. ASM International.
- [25] **Bahadur, Aruna.** (1991). Structural Studies of Hot Dip Aluminized Coatings on Mild Steels. 9.
- [26] **Awan, G. H.** (2008). Effect of Coating-thickness on the Formability of Hot Dip Aluminized Steel. 9.
- [27] **Prayitno, D.** (2020). Effect Of Hot Dipping Aluminizing On The Toughness Of Low Carbon Steel. Sinergi, 25(1), 75.
- [28] **Bardet, W. P.** (1998). ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering. 1998, 5, 810.
- [29] **Jakubéczyová, D.** (2005). The structure and properties of the PM material Vanadis 30 with surface treatment. Journal of Materials Science, 40(18), 4889-4891.
- [30] **Gürcan, Yasin.** (2019). Determination of microstructure and microhardness properties of Boronized Vanadis 4 steel. 5.
- [31] **Ozbek, I., & Bindal, C.** (2002). Mechanical properties of boronized AISI W4 steel. Surface and Coatings Technology, 154(1), 14-20.
- [32] **Jurči, P.** (2011). Diffusion Boronizing of H11 Hot Work Tool Steel. Journal of Materials Engineering and Performance, 20(7), 1180-1187.
- [33] **Gupta, Jaykant.** (2009). Mechanical And Wear Properties Of Carburized Mild Steel Samples.
- [34] **Alias, S. K.** (2013). Mechanical Properties of Paste Carburized ASTM A516 Steel. Procedia Engineering, 68, 525-530.
- [35] **Bakdemir, S. A.** (2020). Effect Of The Nitriding Process In The Wear Behaviour Of Din 1.2344 Hot Work Steel. 26.
- [36] **Hubicki, R.** (2020). An Experimental Study of Temperature Effect on Properties of Nitride Layers on X37CrMoV51 Tool Steel Used in Extrusion Aluminium Industry. *Materials*, 13(10), 2311.
- [37] **Bilim, B.** (2021). Sıcak Daldırma Yöntemiyle Alüminyum Kaplanmış Toz Metalurjisi ile Üretilen Takım Çeliklerinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Anıl ÇALIŞKAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2023, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Mühendisliği Programı