



PLAZMA SPREY YÖNTEMİ İLE KAPLAMA VE SPREY KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

(THE COATING WITH PLASMA SPRAY METHOD AND RESEARCH OF SPRAY CHARACTERISTICS)

Ruhi YEŞİLDAL*, Yusuf Ziya GÜNAY*

ÖZET/ABSTRACT

Günümüzde metal ve alaşımlarının, yüksek sıcaklık, korozyon, aşınma gibi ağırlaşan çalışma şartlarında arzu edilen özellikleri sayılamadığı durumlarda, plastikler, kompozitler, süper alaşımlar ve ileri teknoloji seramikleri gibi yeni malzeme gurupları devreye girmektedir. Bu nedenle ileri teknoloji seramikleri, metal malzeme yüzeyine oksit, karbür, nitrid, borür veya sermetler şeklinde farklı kaplama teknikleri ile (CVD, PVD, Termal Sprey vb.) uygulanmaktadır. Metallerin korozyona, yüksek sıcaklık oksidasyonuna ve aşınmaya karşı dirençlerinin artırılması seramik kaplamalarla gerçekleştirilmektedir. Bu tür kaplamaların uygulanması plazma sprej kaplama teknolojisiyle de mümkün olmaktadır. Bu çalışmada sprej mekanizması detaylı olarak incelenmiş ve atomizerler hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Plazma sprej kaplama prosesi tanımlanmış, AISI 1020 ve AISI 304 çelikleri üzerine seramik ve seramik ve metalik esaslı tozlar ile gerçekleştirilen kaplamaların, yapışma mukavemetlerini bulmak amacıyla çekme gerilmesi deneyi uygulanmış, ilgili kaplamaların metalografik incelemesi yapılmış, kaplamanın sertlik değerleri ölçülmüştür. Metalografik inceleme sonucu kaplama tabakalarının lamelli ve benzer katlardan oluşan bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Kaplama tabakasında bulunan oksit, boşluk ve ergimemiş partiküllerin miktarının tabakanın mekanik özelliklerini etkilediği tespit edilmiştir. Kaplama tabakalarının yapışma mukavemetlerinin tabaka kalınlığı ile azaldığı ve farklı tozlarla yapılan kaplamaların farklı mukavemet değerleri gösterdiği tespit edilmiştir.

Nowadays, if metal and metal alloys cannot provide desired quality for operating conditions, such as high temperature, corrosion and wear, which are gradually getting harder from day to day, new material groups such as plastics, composites, super alloys and hi tech ceramics have been used instead of them. For this reason, hi tech ceramics are being applied on metal surfaces as oxide, carbide, nitride, boride, or cermets by using different coating methods such as CVD, PVD, Thermal Spray and so on. Improving of metal resistance to corrosion, high temperature oxidation and wear are being realized through applied ceramic coatings. This kind of coatings can be applied by using plasma spray coating method. In this study, spray mechanism was analyzed in details and the atomizers were presented. Plasma spray coating process is defined, and then tensile tests applied to determine bonding strengths of coatings which were applied on AISI 1020 and AISI 304 steels with ceramic and based on metallic coating powders, metallographic investigation applied for related coatings, hardness measurements of the coatings measured in turn. At the end of applied metallographical observations it has been seen that coating layers have a laminated and serrated structure. The quantity of oxide, cavities and non-fused particulates present in the coating affects mechanical characteristics of the coatings. Additionally, it has been found that bonding strength of the coatings is reduced with the different coating thickness and the coatings applied with different coating powders gives different strength values.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Atomizasyon, metal sprej, plazma sprej, ark, kaplama
Atomization, metal spray, plasma spray, arc, coating

*Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü 25240 Erzurum.

1. GİRİŞ

Sıvıların püskürtülmesi; dizel motorlarda, gaz türbinlerinde, roket motorlarında ve endüstriyel fırınlardaki sıvı yakıtın yanması, yüksek karıştırma ve buharlaştırma oranının yanı sıra yakıt yüzey alanını artıran etkili bir püskürtmeye (atomizasyon) bağlıdır. Spreyler ve akış alanları arasındaki etkileşim ile ilgili detaylı bir bilgi yanma cihazları ve diğer spreylere sistemleri için gereklidir (Chiger, 1991). Sprey mekanizması üzerinde tam olarak anlaşılmış bir “sprey mekaniği modeli” henüz oluşturulamamıştır. Etkileşimli ve etkileşimsiz spreylere mekanizmalarının tam olarak anlaşılması amacıyla deneysel çalışmalara ihtiyaç vardır. Bir jetin başlangıç parçalanması, enjektör veya nozul içerisindeki akış özelliklerine, türbülans özelliklerine, parçalanmadan önceki sıvı merkezi boyunca türbülans bozulmasına ve jet boyunca oluşan dalga gelişimine bağlıdır (Faeth, 1987).

Metaller üzerine yapılan kaplamalar, kaplama ile metal arasında bir difüzyon bağı oluşturarak ve bir difüzyon bağı oluşturmaksızın kaplama ile altlık arasında mekanik bir yapışma şeklinde iki türlü yapılır. Difüzyonlu kaplamalarda altlık ile kaplama arasındaki bağı özellikleri malzeme bileşimiyle doğrudan ilişkilidir. Plazma spreylere yöntemi gibi difüzyonsuz kaplamalarda ise altlık ve kaplama arasındaki mekanik yapışma tamamen kaplama prosesi şartlarına bağlıdır (Vural, 1991). Plazma spreylere kaplamalarda bağlanma mukavemetini artırmak için kaplama öncesi altlık yüzeyinin pürüzlendirilmesi zorunludur. Kaplama uygulanacak yüzeye ergitilmiş partiküller hızla püskürtülür ve yüzeye çarpan partiküller hızla soğuyarak katılır. Altlık yüzeyindeki partiküller, ergimiş partiküllerin katılması sırasında gerilmelerin yoğunluk kazandığı bölgelerdir. Bu bölgesel gerilme noktaları yüzeye çarpan partiküllerin yüzeye tutunmasını sağlar (Demirci, 1994). Plazma spreylere kaplamaların yapısı yüzeye paralel tabakalar şeklindedir. Yüzeye dik bağlama kuvvetini artırmak için altlık yüzeyi pürüzlendirilir. Böylece kaplama işlemi sonucu yüzeye tamamen paralel tabakalar yerine dalgalı tabakalar oluşturulur.

Metallerin kaplanması işleminde yüzey pürüzlülüğünün yanında altlık ile kaplama malzemesi arasındaki termal genleşme uyumsuzlukları ve elastisite modülü gibi farklı özelliklerin olumsuz etkilerini gidermek amacıyla bir ara bağlayıcı kullanılmaktadır. Seramiklerin elastisite modülleri metaller göre daha yüksek, termal genleşme katsayıları ise daha düşüktür. Kaplamalarda kullanılan ara tabaka, kaplama ile altlık arasındaki bu tip uyumsuzlukları gidermek için kullanılmaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada (Cao vd., 2003) metallerin aksine seramiklerin daha iyi termal yalıtıcı olarak oksidasyona, korozyona ve aşınmaya karşı direnç gösterdikleri, bu malzemelerin ısıl genleşme katsayılarının altlık ile uyumlu hale getirilerek termal bariyer kaplama malzemesi olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Bu çalışmada türbin ve jet motorlarının yanma odası, türbin paleleri, alev tutucuları ve egzoz flapları gibi yüksek sıcaklıklara maruz kalan makine elamanlarının kaplanması kullanılan plazma spreylere kaplama yöntemi ile farklı seramik ve metal esaslı tozlar kullanılarak dairesel ve düzlemsel geometrilerdeki elamanlar için kaplamalar ve bu kaplamaların mekanik ve metalografik özellikleri belirlenmiştir. Aynı zamanda ana malzemenin cinsi, kaplanacak yüzeyin durumu ve kaplama tabakası arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışmanın amacı ilgili malzemelerin çalışma şartlarında maruz kaldıkları yüksek sıcaklıklardaki dayanım özelliklerini incelemektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Metal parçaların termal bariyer amaçlı seramik malzemelerle kaplanması türbin ve jet motorları yanma odası vb yerlerde kullanılmaktadır. Söz konusu teknolojiler kullanılarak

yüksek sıcaklıklara maruz kalan elamanların yüzey sıcaklıklarında 200 °C' ye kadar sıcaklık düşümleri sağlanabilmektedir. Bunun yanında farklı bir alan olan biomedikal uygulamalar da vardır. Zira diş ve kemiklerin kimyasal bileşimine benzerliğinden dolayı insan sert doku implantlarından biri olan kalsiyum-fosfat esaslı bir kaplama çalışması yapılmış ve bunun protez çevresindeki kemik gelişim prosesini geliştirdiği görülmüştür (Liang vd., 2004).

Bu çalışmada kimyasal bileşimleri Çizelge 1' de verilen çeşitli seramik ve metal esaslı tozlar kullanılarak kaplamalar yapılmış, altlık malzemesinin cinsi, kaplanacak yüzeyin durumu ve kaplama tabakası arasındaki ilişkinin araştırılması amaçlanmıştır. Altlık olarak AISI 1020 ve AISI 304 kullanılmıştır. Kaplama için seramik esaslı alumina (Metco 101-NS) ve zirkonya (Metco 204-NS) tozlar ile Co+Cr+Mo (Metco 68 F-NS), Al-Ni (Metco 404 NS) metalik esaslı tozlar kullanılmıştır. Ara bağlayıcı olarak da Al-Ni (Metco 450 NS) kaplama tozu kullanılmıştır.

Çizelge 1 Altlıkların kimyasal bileşimleri

Kimyasal Bileşim(%)	AISI 1020	AISI 304
C	0,18-0,23	0,08-0,10
Mn	0,30-0,60	0,40-0,80
Si	-	<1,00
P	0,040 max	<0,045
S	0,050 max	<0,030
Cr	-	18,0-20,0
Ni	-	8,0-10,5

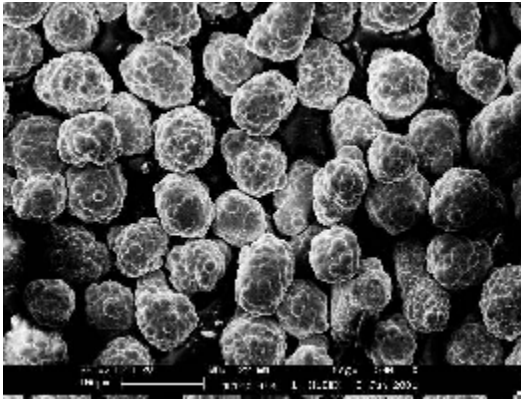
2.1. Altlıklar ve Kaplama Tozlarının Özellikleri

Deneyde kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 2' de, kullanılan tozların kimyasal bileşimleri Çizelge 2.'de ve kaplama da kullanılan tozların SEM görüntüleri Şekil 1' de verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde görsel olarak şu değerlendirmeleri yapmak mümkündür; Şekil 1 a' da görülen Metco 404 (Al-Ni) tozlarının SEM fotoğrafından kısmen küresel yapıda oldukları ve nispeten homojen bir dağılım sergiledikleri görülmektedir. Şekil 1 b' de verilen fotoğraftan Metco 101 (Al₂O₃) ün tanelerinin yuvarlak olmayan köşeli ve yüzey geçişlerinin keskin olduğu gözlenmektedir. Aynı zamanda tane boyutlarının farklılıklar arz ettiği görülmektedir. Geometrik olarak da taneler birbirine benzememektedirler. Şekil 1 c' de Metco 204 (ZrO₂) seramik tozların fotoğrafları verilmiştir. Bu tozların küresel şekilli fakat farklı tane boyutunda oldukları gözlenmektedir. Şekil 1 d' de ise Metco 68 (Co+Cr+Mo) metal esaslı tozlara ait SEM fotoğrafları gözlenmektedir. Bu tozların küresel boyutta fakat diğerlerine kıyasla daha küçük oldukları gözlenmektedir. Aynı zamanda tane boyutlarının birbirine eşit olmadıkları görülmektedir.

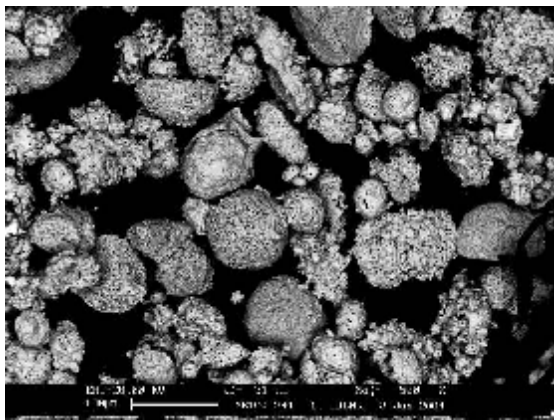
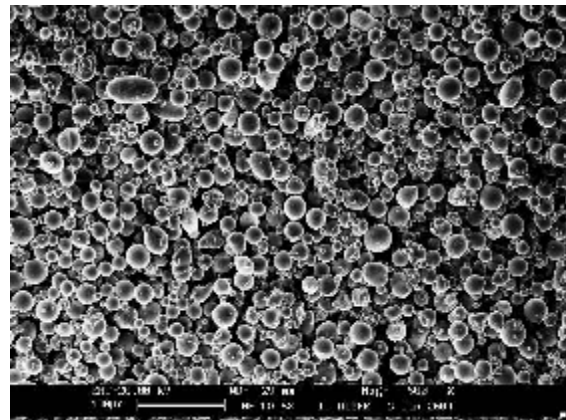
Genel olarak seramikler, farklı bileşimde kristal ve cam yapılı fazları içeren, gözenekli bir malzemedir. Seramiklerin kaplama malzemesi olarak seçilmesinin nedeni, yüksek sıcaklık dirençleri, kimyasal kararlılıkları, sertlikleri, düşük yoğunlukları, yüksek aşınma dirençleri, düşük ısı iletkenlik katsayıları, yüksek basma mukavemetleri ve kolay elde edilmeleridir. Mühendislik seramikleri başlıca: alumina, zirkonya, magnezya, berilya gibi saf oksitleri ve nitrür, karbür, borür gibi oksit olmayan seramikleri içerir. Kimyasal olarak homojen olan küresel kompozit alumina ve zirkon tozları bilya öğütme, sprej kurutma ve plazma püskürtme ile elde edilirler (Li vd., 1999).

Çizelge 2. Kullanılan kaplama tozlarının özellikleri

Toz Cinsi	Kimyasal Bileşim(%)	Tane Boyutu (μm)
Al ₂ O ₃ (Metco 101 NS)	Al ₂ O ₃ %97 TiO ₂ %3	-45+11
ZrO ₂ (Metco 204NS)	ZrO ₂ %92 Y ₂ O ₃ %8	-125+11
Co+Mo+Cr (Metco 68)	Co %51 Mo %29 Cr %17 Si %3	-128+56
Ni+Grafit Metco 308	Ni %85 Grafit %5	-90+30
Al-Ni (Metco 404 NS)	Ni %80 Al %20	-90+53
Al-Ni (Metco 450 NS)	Ni %93 Al %7	-325+40



Metco 404 (Al-Ni)

Metco 101 (Al₂O₃)Metco 204 (ZrO₂)

Metco 68 (Co+Mo+Cr)

Şekil 1. Muhtelif kaplama tozlarının SEM mikroyapıları a) Metco 404 (Al-Ni), b) Metco 101 (Al₂O₃), c) Metco 204 (ZrO₂) ve d) Metco 68 (Co+Mo+Cr)

2.2. Kaplanacak Malzeme Yüzeylerinin Hazırlanması

Kaplanacak yüzeylerin metalografik esaslara göre hazırlanmasını takiben ara vermeden kaplamanın uygulanması kaplanacak yüzeyin çevre şartlarından etkilenmemesi açısından önemlidir ve iyi bir yapışma için bu işlemin yapılması gerekir. Metalik yüzeylerin iyi temizlenmesi iyi bir yapışma için şarttır. Bu yüzden kaplanacak yüzey yağ, pas vb olumsuzluklardan temizlenmiş olmalıdır. Bu çalışmada da yüzeylerin temizliği için alkol kullanılmıştır. Ayrıca yüzeydeki yağ kalıntılarını tamamen ortadan kaldırmak için yapıyı etkilemeyecek şekilde yaklaşık 120 °C ön ısıtma ile yağlar yakılmıştır.

Bir sonraki aşama yüzey kumlama işlemi olup kaplama yapılacak yüzey kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Bilindiği gibi bu işlem yüzey pürüzlülüğünü artırmak için yapılmaktadır. Deneyde kullandığımız numunelerin yüzeyleri iki farklı boyuttaki kumlama malzemesi (35-60 grit ve Al_2O_3) kullanarak gerçekleştirilmiştir. Kumlama basıncı tüm numuneler için sabit (50 Psi) tutulmuştur. Kumlama işlemi sonunda her iki malzemenin yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüş ve AISI 1020 nin ortalama pürüzlülük değeri $Ra=277 \mu m$, AISI 304' ün ortalama pürüzlülük değeri $Ra=238 \mu m$ olarak tespit edilmiştir. Numunelerin kaplama öncesi ve sonrası fotoğrafları Şekil 2 'de görülmektedir.



Şekil 2. Plazma sprey sistemi ve kaplama işlemi deney numuneleri a) kumlanmamış, b) kumlanmış

2.3. Plazma Sprey Sistemi ve Kaplama İşlemi

Kaplama işlemleri, Metco firmasının manuel (3MB) ve robotik (9MB) plazma sprey sistemleri kullanılarak yapılmıştır. Sistem 40-220 kW lık bir güç ünitesine sahiptir. Sistemde bir gaz besleme ünitesi, toz besleme ünitesi (Robotik ve manuel) ve bir plazma sprey tabancasından ibarettir. Kaplama işlemi esnasında numunelerin kaplanması istenmeyen kısımları ısıya dayanıklı bir bant ve koruyucu boya ile izole edilmiş ve basınçlı hava ile soğutulmuştur. Şekil 3 farklı tozlarla kaplanmış numunelerin fotoğraflarını göstermektedir.

2.4. Metalografik İncelemeler

AISI 304 ve AISI 1020 malzemelerden yapılmış numuneler üzerine Al_2O_3 , ZrO_2 , Co+Cr+Mo ve Al-Ni esaslı kaplamalar 300-400 μm aralığında kalınlıklarda uygulanmıştır. Ara bağ tabakasının kalınlığı ise 50-100 μm aralığında uygulanmıştır.



Şekil 3. Farklı tozlarla kaplanmış deney numuneleri

Plazma sprej kaplama yöntemiyle üretilen seramik kaplamaların metalografik inceleme çalışmaları, metalik malzemelerin incelenmesinden farklılık arz etmektedir. Seramik tabakalarını meydana getiren oksitler, karbürler vb. gibi yapılar çok gevrekler. İnceleme için hazırlamaları daha uzun sürelidir ve itinalı çalışma gerektirmektedir. Seramik kaplanmış numunelerin kesme yüzeyleri metalografik incelemelerde kullanılmıştır. İncelemedeki işlem basamakları sıra ile şunlardır;

Kaplanmış numuneler 10x20 mm boyutlarında olacak şekilde, elmas kesme diskli kesme cihazıyla kesilmiştir. Kesme işlemi, metal kısımdan seramik kaplama tabakasına doğru gerçekleştirilmiştir. Bu kesme işleminde düşük kesme hızına sahip, kalınlığı 0.3-0.6 mm ve 100-125 mm çapında elmas diskler kullanılmıştır. Kesme işleminden sonra numuneler soğuk bakalite alma yöntemiyle kalıplanmıştır.

Zımparalama işlemlerinde SiC esaslı zımpara kağıtları kullanılmıştır. Bu işlemde numunenin yüzeye bastırılma kuvveti, 100 N olarak sabit tutulmuştur. Zımparalama işlemi, yarı otomatik zımparalama cihazında su besleme ve sabit dönme hızında yapılmıştır. Bu işlemde sırasıyla 120, 220, 320, 500, 800 ve 1200 grit zımparalar kullanılmıştır. 120-220 ve 320 gritlik zımparalarda 3 dk. süreyle 500-800 ve 1200 gritli zımparalamada ise 1 dk. süre ile zımparalama yapılmıştır. 1 dakikalık zımparalama kademeleri ikişer kez uygulanmıştır. Her kademe sonrası numune yüzeyi gözle kontrol edilmiş ve suyla temizlendikten sonra basınçlı hava ile yüzey temizlenmiştir .

Parlatma işlemleri yine aynı cihazla gerçekleştirilmiştir. İlk parlatma 3 µm elmas toz püskürtme ile 5 dakika uygulanmıştır. Nihai parlatma ise 1µm elmas pasta ile kumaş üzerinde 5 dakika süre ile yapılmıştır. Numunelerin parlatılması esnasında basınç 50 N olarak sabit tutulmuştur. Parlatılmış numunelerde herhangi bir dağlama işlemi uygulanmamıştır.

Parlatılmış numunelerin metalografik incelemesi, optik mikroskopla çeşitli büyütmelemlerde yapılmıştır. Tabakaların metalografik değerlendirilmesi, boşluk miktarı (kaplama tabakasında), ara yüzeydeki boşluk miktarı, ergimemiş partikül miktarı, oksit miktarı, ve kaplama tabakası kalınlığı parametreleri esas alınarak yapılmıştır.

2.5. Mekanik Deneyler

Seramik ve metal esaslı tozlarla kapladığımız numunelerin mekanik özelliklerini incelemek için çekme ve sertlik ölçüm testleri yapılmıştır. Bu çalışma için çekme deneyinde altlık olarak paslanmaz çelik ve karbon çeliği seçilmiştir. Söz konusu malzemelerden 25 mm çapında ve



Şekil 4. Çekme numunelerinin deneyden önceki görünümü

10 mm kalınlığında diskler hazırlanmıştır. Kaplama için Metco firmasının üretimi seramik ve metal esaslı tozlar kullanılmıştır. Ayrıca test kuponlarını çekme numuneleri üzerine yapıştırmak amacıyla yapıştırıcı kullanılmıştır.

Farklı tozlarla kaplanmış numunelerin her iki yüzeyine yapıştırıcı ince bir film şeklinde homojen olarak sürülmüştür. Çekme çubuklarının yüzeylerinde de bu işlem uygulanmıştır. Daha sonra numune ve çekme kuponları eksenleri birbiri ile çakışacak şekilde yerleştirilmiştir. Hazırlanan deney numuneleri 150 ila 170 °C sıcaklıktaki bir fırında iki saat pişirilmiştir. Pişirme işleminden sonra numuneler havada soğutulmuştur.

Çekme deneyleri, bütün numuneler için Universal çekme cihazında ve 5000 N/dak sabit yüklemde yapılmıştır. Deneyde her kaplama kalınlığı için üç numune kullanılmıştır. Deney esnasında elde edilen kopma değerleri kaydedilmiştir. Deney numunelerinin çekme çubukları üzerine yapıştırılmış durumu Şekil 4'te verilmiştir.

Ayrıca metalik esaslı tozlarla kapladığımız numunelerin sertlik ölçümleri yapılarak kaplamaların sertlik değerleri incelenmiştir. Sertlik ölçümleri Rockwel makro sertliği olarak belirlenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Metalografik Bulgular

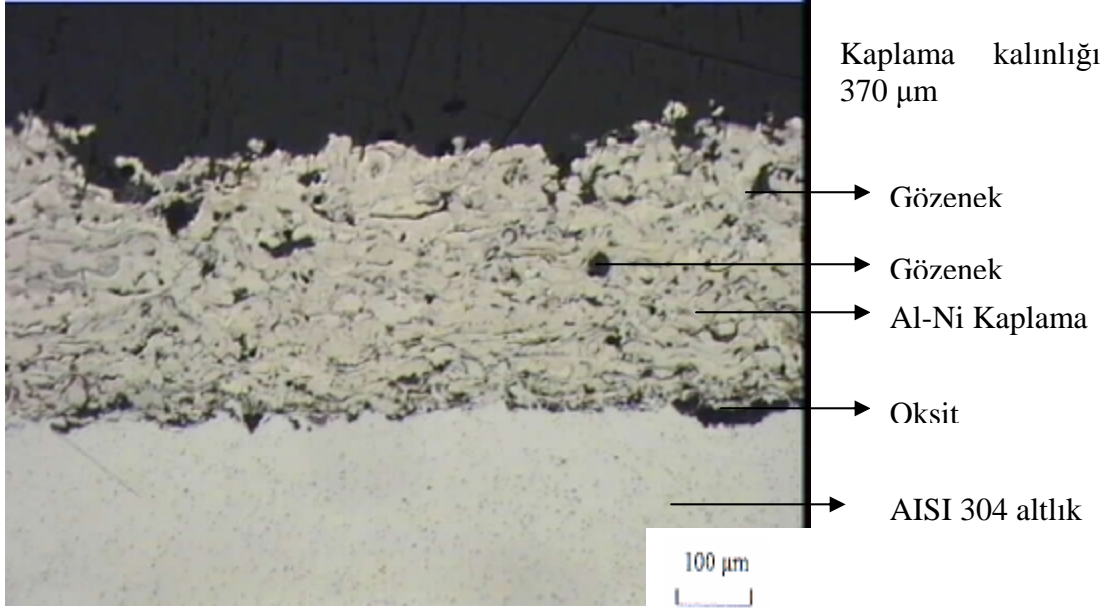
Farklı tozlarla yapılan kaplamaların metalografik incelemesi sonucu elde edilen mikroyapıları Şekil 5 ile Şekil 11 arasında verilmiştir. Şekil 5 AISI 304 paslanmaz çelik altlık üzerine Metco 404 Al-Ni esaslı kaplamanın kaplama yüzeyine dik kesitten alınan mikro yapısıdır. Kaplama yapısında nispeten küçük sayılabilecek oksitlerin mevcut olduğu görülmektedir. Şekil 6 AISI 1020 karbon çelik altlık üzerine Al-Ni kaplamanın mikro yapısıdır. Metal kaplama ara yüzeyinde büyük miktarda oksit oluştuğu görülmüştür. Ayrıca her iki kaplama içerisinde çok miktarda porozite oluştuğu da görülmektedir. Manuel sistem ile yapılan her iki kaplamada da kaplama kalınlığı 370 µm olarak ölçülmüştür. Şekil 7 ve Şekil 8 AISI 1020 karbon çelik altlık ve AISI 304 paslanmaz çelik altlık üzerine Metco 450 (Al-Ni) ara kaplamalı Metco 204 (ZrO₂) toz kaplamanın mikro yapılarıdır.

Kaplama ünitesinde kullanılan güç kaplamanın kalitesine etki etmektedir. Güç ünitesinin kaplama özelliklerine olan etkisi, katottan yayılan serbest elektronların hızının, anot ile olan potansiyel farkına bağlılığından dolayıdır. Bu durumda plazma gazı çarpmanın etkisiyle iyonize olur (Çelik et al 1999). Bu çalışmada da nispeten yüksek sayılabilecek bir güç olan 40 kW seçilmiştir. Bilindiği gibi besleme ünitelerinin gücü 2 ile 220 kW arasında değişmektedir. Ancak ünitenin gücünün azalması kaplamanın sertlik değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Nitekim bu konuda yapılan çalışmalardan birinde (Li vd., 2003) 2.2 ile 3.9 kW lık düşük plazma güç seviyesi altında düşük güçlü bir sprej torch kullanarak yapılan Al₂O₃ kaplamanın sertlik değerleri ölçülmüştür. Bunun devamında 39 kW lik güç seviyesine sahip konvansiyonel bir plazma sprej yöntemi ile yine Al₂O₃ kaplanmış ve her iki kaplamanın mukayesesinde sertlik değerlerinin birbirlerine benzer olduğu bulunmuştur. Bu durum kullanmış olduğumuz konvansiyonel plazma sprej yönteminin ve seçilen 40 kW lık besleme gücünün literatüre uygunluğu konusunda bizi desteklemektedir. Çalışmamızda kullanılan cihazın 40 kW lık güçte üretmiş olduğu sıcaklık 6700-14700 °C arasındadır. Bununla ilgili bir çalışmada (Williamson vd., 2003) bu sıcaklıklar 6700-11700 °C olarak ölçülmüştür. Bu durumda kullandığımız cihazın çıkış sıcaklığının kabul edilebilir değerler arasında olduğu söylenebilir.

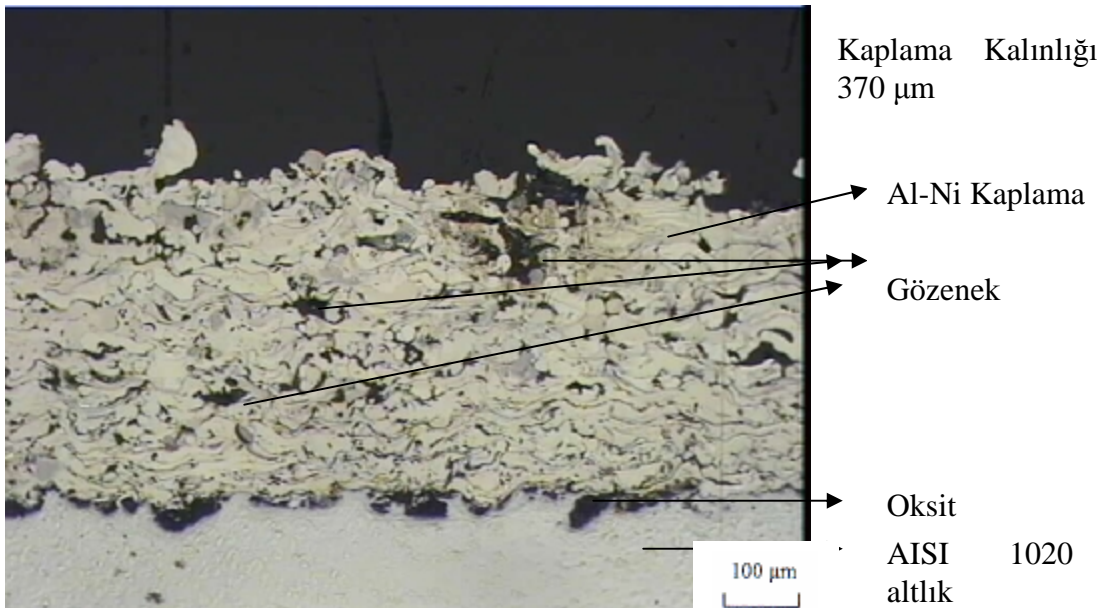
Plazma sprej kaplama prosesi esnasında kaplama yüzeyine çarpan erimiş parçacıkların yüzeye yayılması ve katılması sonuçta kalıntının mikroyapı ve özelliklerini tayin etmektedir. Altlık ve kaplamanın birbiriyle olan ilişkisi başta yüzey sıcaklığı, partikül hızı ve altlık pürüzlülüğü olmak üzere çok sayıda parametreye bağlıdır. Bu çalışmada kaplama esnasında yüzey sıcaklığı 200 °C civarında ölçülmüştür. Altlık malzemesi 120 °C ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Ayrıca kaplama tozu da 75 °C ön ısıtma ile beslenmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar (Sampath vd., 1999) depozitin özelliklerine yüzey sıcaklığının önemli etki yaptığını göstermektedir. Burada 150-200 °C düşük sıcaklık, 300-500 °C yüksek sıcaklık olarak belirtilmiştir ve düşük sıcaklıkta yüzeye çarpan partikül dağınık bir görünüm gösterirken yüksek sıcaklıkta dairesel bir dağılım sergilemektedir. Buna paralel olarak düşük sıcaklıkta daha gözenekli bir yapı gözlenmiştir. Şekil 5-Şekil 11 arası incelendiğinde özellikle yüzeye yakın bölgelerde nispeten dağınık bir yapı gözlenmektedir. Buradaki gözeneklerin çokluğu seçilen sıcaklığın nispeten düşük olmasıyla açıklanabilir ve bu durum yukarıda bahsi geçen yayın ile uyumludur.

Her iki kaplamada da ana kaplama kalınlığı 300 µm olarak ölçülmüş, ara kaplama kalınlıkları karbon çeliğinde 100 µm , paslanmaz çelikte 50 µm olarak belirlenmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10 AISI 1020 karbon çelik altlık ve AISI 304 paslanmaz çelik altlık üzerine ara kaplamasız Metco 68 (Co+Cr+Mo) esaslı metalik toz kaplamasının görüntüleridir. Karbon

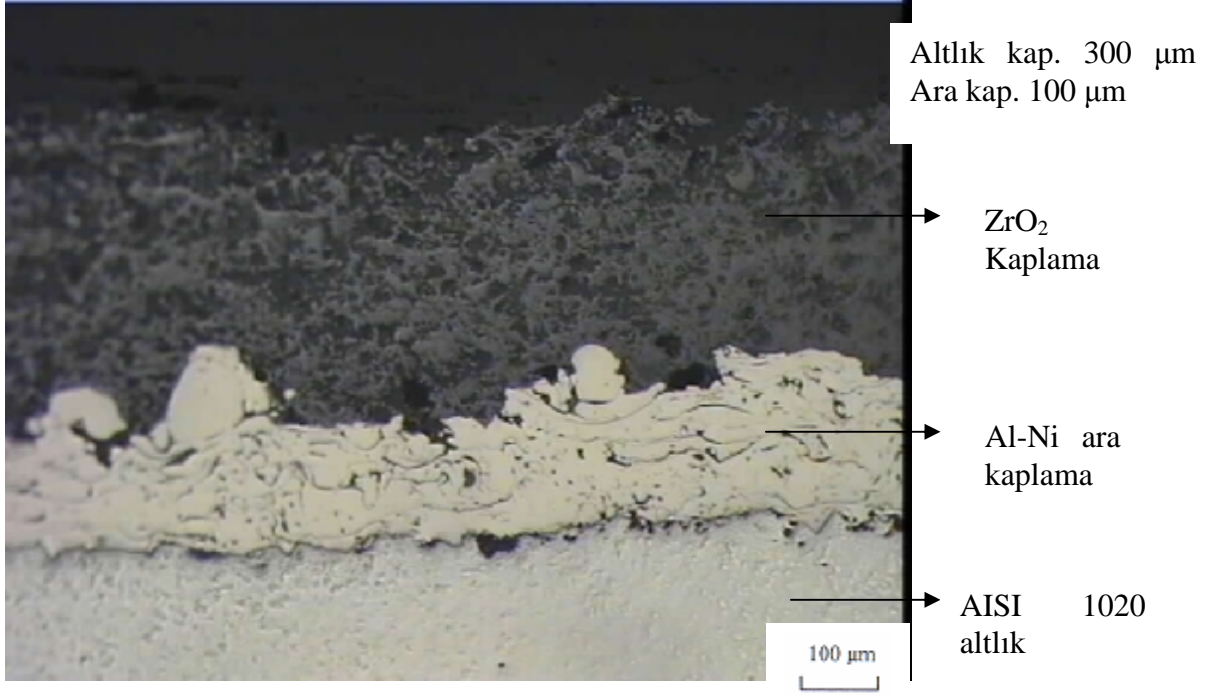
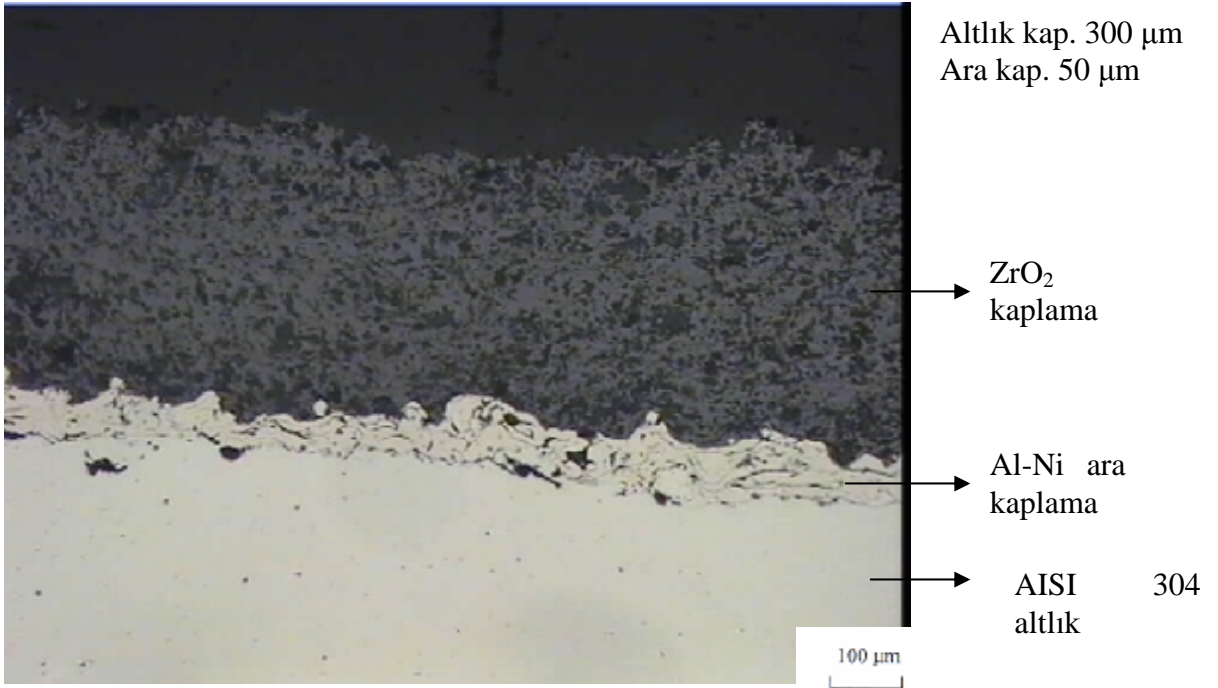
çeliği kaplama ara yüzeyinde oluşan oksitlerin daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 11 AISI 304 paslanmaz çelik altlık üzerine Metco 450 ara kaplamalı Metco 101 ve Metco 105 (Al_2O_3) kaplama görüntüleridir. Paslanmaz çelik üzerine yapılan kaplamada ara kaplama kalınlığının ana kaplama kalınlığından fazla olmasının nedeni kaplama işleminin manuel olarak yapılmasından dolayıdır. Ayrıca metalografik görüntüler incelendiğinde elde edilen kaplamaların lamelli ve tabakalı yapıya sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak kaplama üst bölgelerinde dağınık bir yapı tüm şekillerde gözlenmektedir. Bu durum nispeten düşük yüzey sıcaklıklarının bir sonucudur.

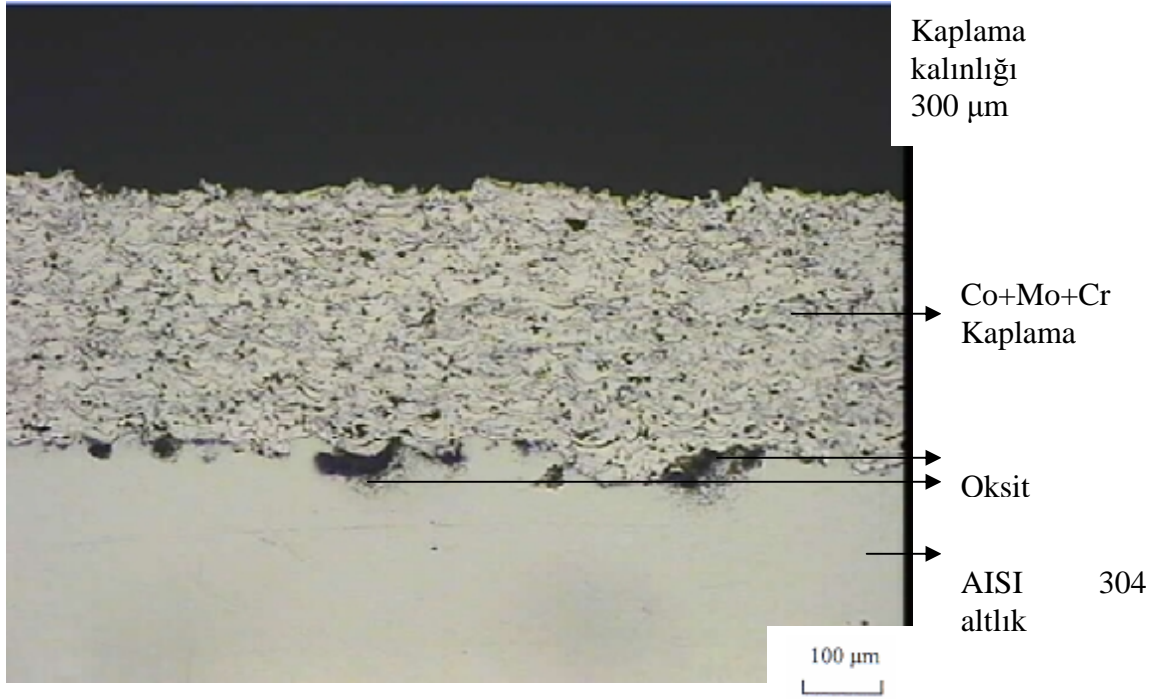


Şekil 5. AISI 304 malzeme üzerine Metco404 (Al-Ni) tozu ile kaplama

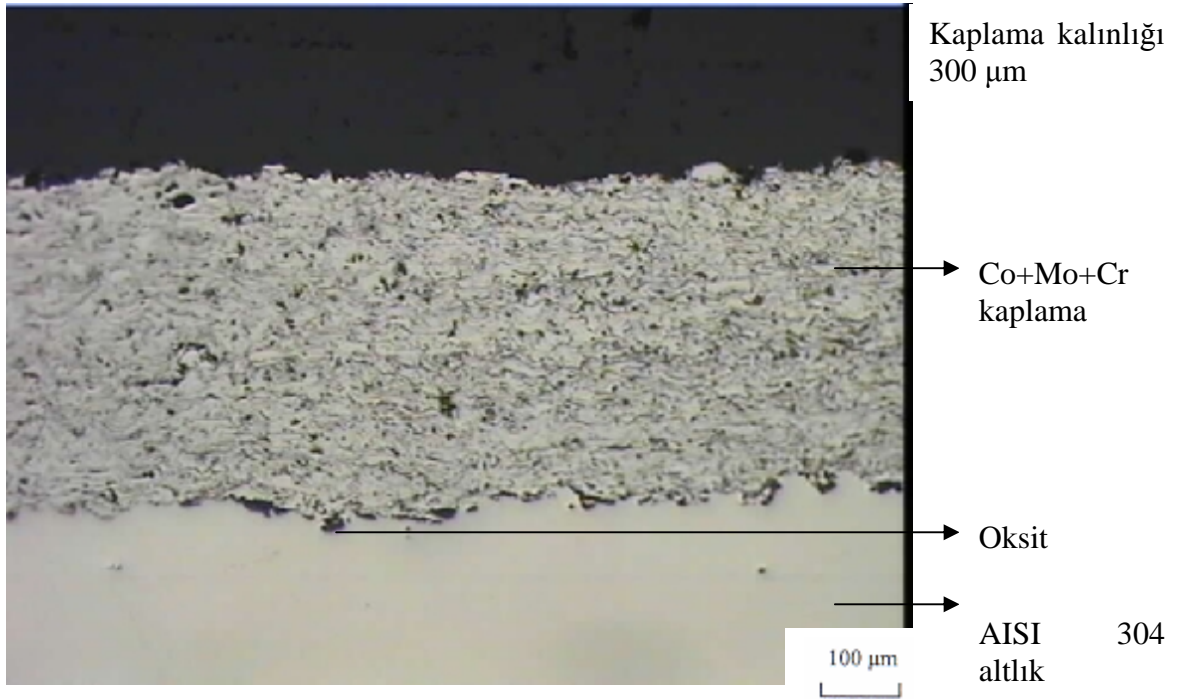


Şekil 6. AISI 1020 üzerine Metco 404 (Al-Ni) tozu ile kaplama

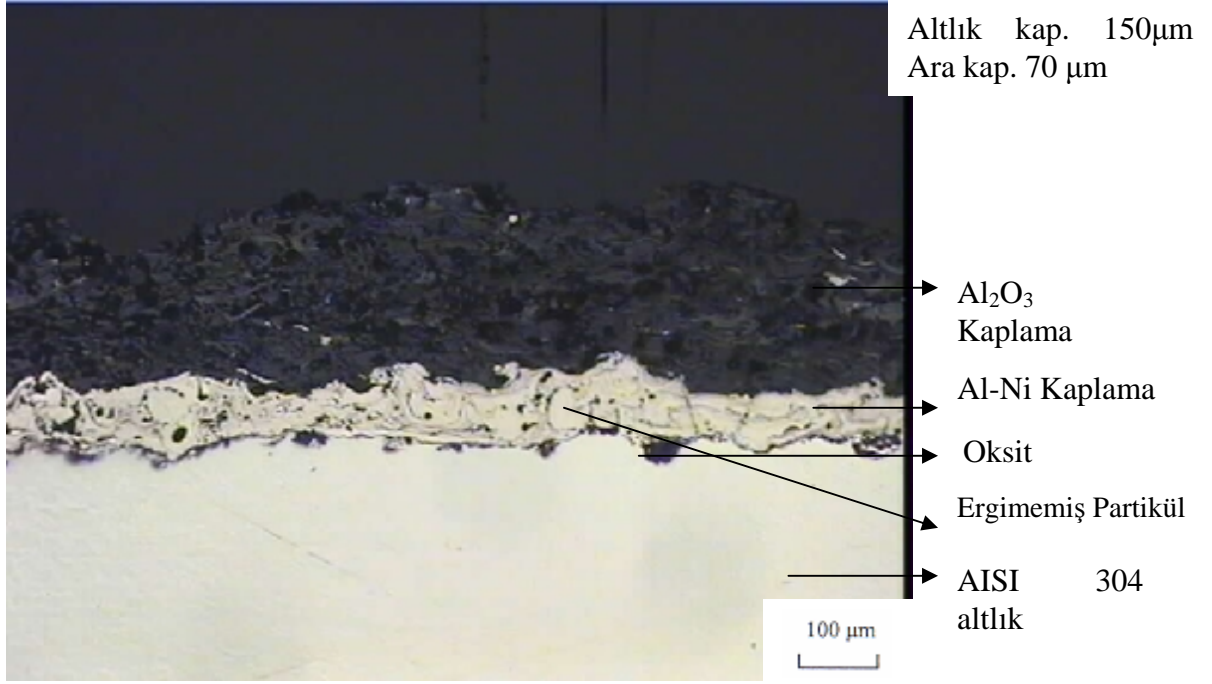
Şekil 7. AISI 1020 üzerine Metco 204 (ZrO₂) tozu ile kaplamaŞekil 8. AISI 304 üzerine Metco 204 (ZrO₂) tozu ile kaplama



Şekil 9. AISI 1020 üzerine Metco 68 (Co+Mo+Cr) tozu ile kaplama



Şekil 10. AISI 304 üzerine Metco 68 (Co+Mo+Cr) tozu ile kaplama

Şekil 11. AISI 304 üzerine Metco 101 (Al₂O₃) tozu ile kaplama

Çizelge 3. Kaplamada kullanılan dört farklı toza ait yapışma mukavemeti, sertlik ve film kalınlığı değerleri

Kaplama Malzemesi	AISI 304 Paslanmaz Çelik			AISI 1020 Karbon Çeliği		
	Ana/Ara Film Kalınlığı (μm)	Sertlik (HRC)	Yapışma Mukavemeti (MPa)	Ana/Ara Film Kalınlığı (μm)	Sertlik (HRC)	Yapışma Mukavemeti (MPa)
Al-Ni	370/-	57	54	370/-	50.5	46
ZrO ₂	300/100	67.7	33	300/50	65.2	30
Co+Cr+Mo	300/-	84	43	300/-		29
Al ₂ O ₃	150/70	66.2	34	50/100	62	32

Plazma kaplama işlemi esnasında altlık ve kaplanacak malzemenin sıcaklıkları önemlidir. Bu konuda yapılan bir başka çalışmada sırasıyla 35 °C, 116 °C, 193 °C, 345 °C ve 420 °C yüzey sıcaklıklarında kaplama deneyleri yapılmıştır. 35 °C de homojen olmayan ve katı partiküllerin çok olduğu uygun olmayan bir yapı gözlenmiştir. 116 °C ve 193 °C de farklı kaplama tane sınırları daha az gözlenmiş ve taneler matrix te daha homojen bir görünüm sergilemişlerdir. 345 °C de sıçrayan tanelerin sınırlarının giderek azaldığı görülmektedir. 420 °C de en homojen yapı ve en az porozite tespit edilmiştir (Baik vd., 2004). Ancak aynı çalışmada plazma prosesi esnasındaki yüzey sıcaklığının artmasıyla sertlik değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmada optimum sıcaklık aralığının 190-345 °C olduğu vurgulanmaktadır. Bizim çalışmamızda da yüzey sıcaklığı 200 °C civarındadır ve bu sıcaklığın, sertlik, porozite ve homojen yapı bakımından optimum sınırlar arasında olduğu görülmektedir. Çizelge 3 AISI 304 ve AISI 1020 altlık üzerine uygulanan dört farklı toza ait yapışma mukavemeti, sertlik ve film kalınlığı değerlerini göstermektedir.

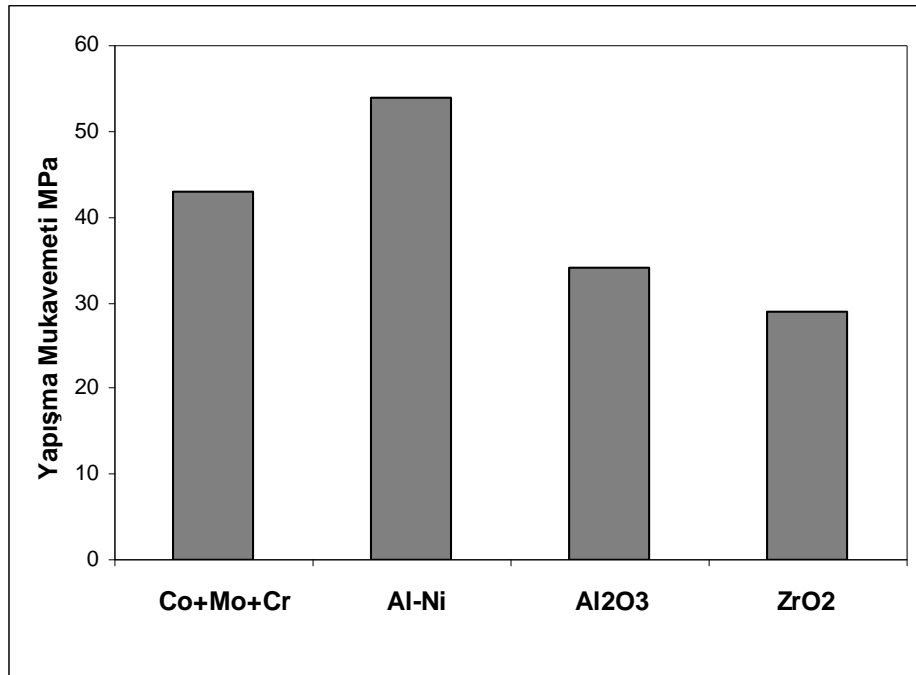
3.2. Mekanik Bulgular

Çekme deneyi sonrası bütün numunelerde kopma yüzeyi incelenmiştir. Gözle yapılan kontrollerde, kopmanın sistemin zayıf kısmının kaplamada mı yoksa kaplama/altlık ara yüzeyinde mi olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 12’de deney sonrası bazı numunelerin yüzey görüntüleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere kırılma yüzeylerindeki kopma kaplamada meydana gelmiştir. AISI 304 altlık üzerine yapılan Co+Mo+Cr, Al-Ni, Al₂O₃ ve ZrO₂ kaplamaların yapışma mukavemeti değerleri sırasıyla 43, 54, 34 ve 33 MPa olarak tespit edilmiştir. En yüksek yapışma değeri Al-Ni kaplamada tespit edilmiştir (Şekil 13). Aynı kaplamaların AISI 1020 altlık üzerine yapılan kaplamalarda yine sırasıyla 29, 46, 32 ve 30 MPa’lık yapışma mukavemeti değerleri elde edilmiştir (Şekil 14). Burada da Al-Ni kaplamanın en yüksek yapışma mukavemetine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 15 kaplama kalınlığı – yapışma mukavemeti ilişkisini vermektedir. Kaplama kalınlığı arttıkça yapışma mukavemetinin azaldığı görülmektedir.

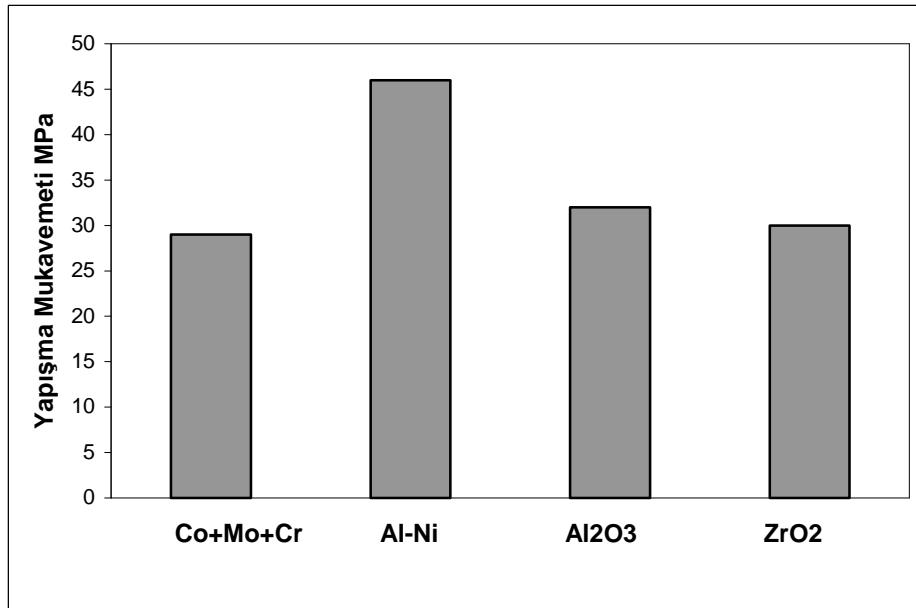
Çekme deneyi sonucu elde edilen mukavemet değerleri ile ilgili grafikler Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15’te verilmiştir.



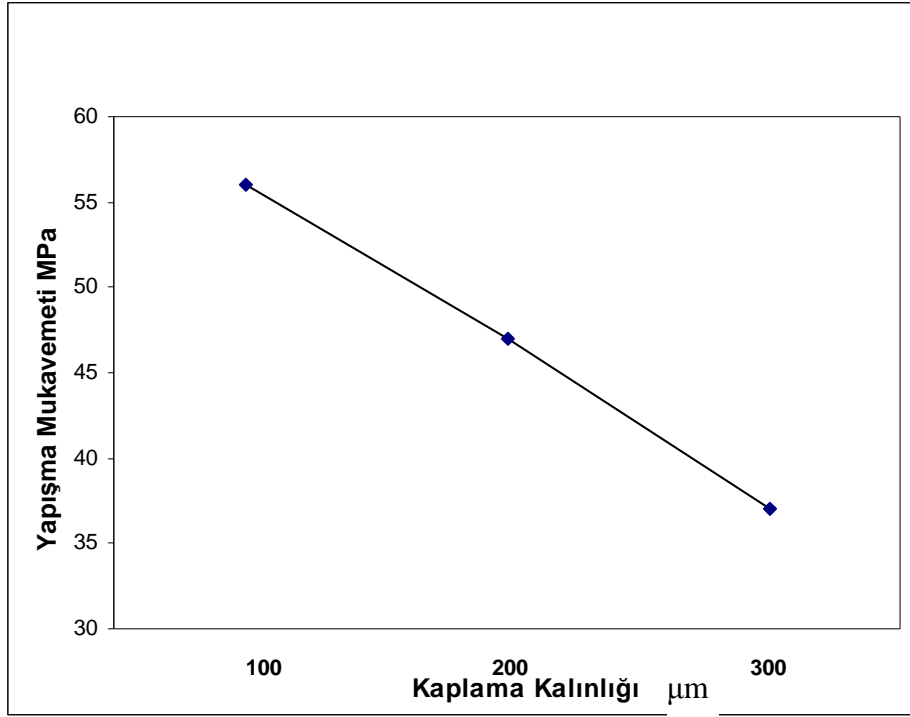
Şekil 12. Çekme deneyinden sonra oluşan kırılma yüzeyleri



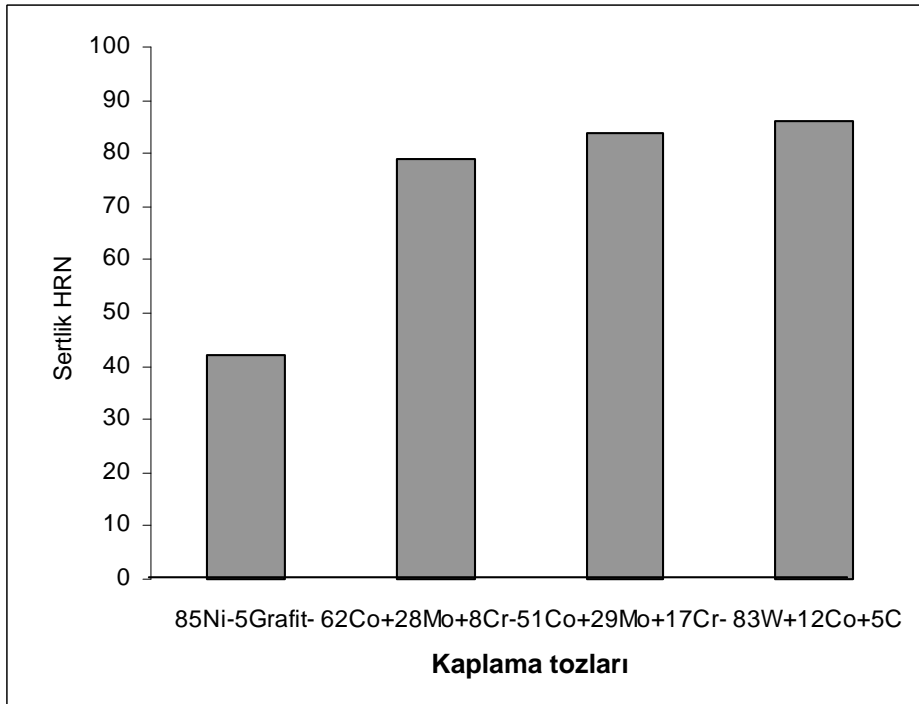
Şekil 13. AISI-304 üzerine kaplanmış muhtelif kaplamaların yapışma mukavemeti değerleri



Şekil 14. AISI-1020 üzerine kaplanmış muhtelif kaplamaların yapışma mukavemeti değerleri



Şekil 15. AISI-304 Paslanmaz malzemesi üzerine kaplanmış Co+Cr+Mo tabakasının kalınlığı ile yapışma mukavemetinin değişimi.



Şekil 16. Metalik esaslı kaplamaların sertlik değerleri

4. TARTIŞMA

Şekil 13 ve Şekil 14 AISI 304 paslanmaz çelik ve AISI 1020 karbon çeliği üzerine farklı tozlarla yapılan kaplamaların çekme deneyi sonucu elde edilen yapışma mukavemet değerlerini içermektedir. Her iki grafiğin kendi içinde değerlendirilmesinden Al-Ni kaplamanın adezyonunun daha iyi olduğu ve daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiş, ikinci yüksek mukavemetin Co+Cr+Mo kaplamadan elde edildiği görülmüştür. Seramik esaslı tozların ise daha düşük mukavemet değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni altlık ile kaplama tozların metal-metal kafes yapısında daha iyi bir uyum sağlayacak olmasıdır.

Deneyde kullanılan cihazın gücü 40 kw 'a ayarlanmış olup, bu maksakla kullanılan cihazlar 2 ile 220 kW güç aralığında çalışmaktadır. Plazma sprey prosesinde güç ile orantılı olan yüzey sıcaklıkları oluşan yapının özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Yüzey sıcaklığının artması mikro yapı açısından daha iyi kaplama özelliği sergilemekle birlikte kaplamanın sertliği açısından optimum yüzey sıcaklığı 190-345 °C aralığındadır. 200 °C civarında belirlemiş olduğumuz yüzey sıcaklığı yapı ve sertlik değerleri açısından optimum sınırlar arasındadır.

Kaplamaların toplu olarak incelenmesinde altlık ile ilk kaplama arsında daha fazla olmak üzere oksit tespit edilmiştir. Kaplamanın tamamında gözlenen oksitler ara kaplamalı yapılarda daha az bulunmuştur. Ara ve son kaplamalarda birbirine benzer oranda porozite tespit edilmiştir. Özellikle ara kaplamanın olmadığı kaplamalarda daha fazla olmak üzere genel olarak ergimemiş partikül oranının nispeten fazla olduğu gözlenmektedir. Bu durum seçilen yüzey sıcaklığının düşük olmasının bir sonucudur.

Şekil 15'de AISI paslanmaz çelik altlık üzerine metalik esaslı Co+Cr+Mo tozuyla farklı kalınlıklarda yapılan kaplamanın çekme deneyi sonucu elde edilen yapışma mukavemeti değerleri görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere kaplama kalınlığının artması ile kaplamanın yapışma mukavemeti değerinin azaldığı görülmektedir. Şekil 16'de ise farklı metalik esaslı tozlarla kaplanmış numunelerin sertlik değerleri verilmiştir.

Deneylerde kullanılan kaplamalar ağırlıklı olarak robotik sistem ile gerçekleştirilmiştir. Manuel kaplamaların kalınlıkları genel olarak üniform değildir. Buna karşılık robotik sistemle gerçekleştirilen kaplamalar oldukça üniform kalınlıktadır. Yeterince kalın kaplamalar için kalınlıktaki sapmalar aşırı olmamak kaydıyla önemli olmayabilir. Aksi takdirde plazma yüzeylerinin tesviye edilmesinde fayda vardır.

5. SONUÇLAR

Tabakaların metalografik incelemesi sonucunda altlık/kaplama ara yüzeyinde bazı porozitelere rastlanılmıştır. Bu poroziteler esasen iki nedenle meydana gelebilir: (i) Püskürtülen tozun metal üzerindeki pürüzlülüklere akmadan katılması, (ii) Metal yüzeyinde kalabilen oksit, yağ ve kirlilikler nedeniyle ıslatmanın yetersiz olması.

Altlık olarak paslanmaz çelik kullanıldığında, paslanmaz çeliğin oksidasyon direnci daha yüksek olduğundan; kaplama esnasında oluşan yüksek ısı ve gaz atmosferinden dolayı altlık/kaplama ara yüzeyinde yapılan kaplamalar için oksitlenmenin daha az olduğu görülmüştür.

Altlık/kaplama ara yüzeyinde oluşan oksitlenmenin daha az olması durumunda kaplama altlığına daha iyi tutunmaktadır. Şekil 13 ve Şekil 14'ten paslanmaz çelik malzeme üzerine yapılan kaplamaların yapışma mukavemeti değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Kaplamanın yapışma mukavemetine etki eden diğer önemli bir noktada altlık üzerine ara kaplama yapılmasıdır. Ara tabakalar altlık ile kaplama tabaksı arasındaki uyumsuzluğu azalttığı gibi termal bariyer kaplamalar içinde gereklidir. Bu açıdan, altlık/kaplama uyumsuzluğunu azaltması nedeniyle ara tabakalı kaplamaların da yapışma mukavemetlerinin yüksek olması beklenmelidir.

Benzer şekilde AISI-304 paslanmaz çelik üzerine ara bağlayıcı kullanmadan metal esaslı Co+Cr+Mo tozuyla farklı kalınlıklarda uygulanmıştır. Şekil 16.dan da anlaşılacağı üzere kaplama kalınlığının artması ile birlikte yapışma mukavemeti değerlerinin düştüğü görülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Manuel ve robotik sistemle üretilen plazma sprey kaplamaları lamelli ve tabakalı bir yapı göstermektedir. Metalografik incelemelerde kaplama tabakasında poroziteler, oksitler ve ergimemiş partiküller bulunmaktadır.
- Kaplama yüzeyinde oluşan yüzey oksitleri kaplamanın yapışma mukavemeti değerlerini düşürmektedir.
- Plazma sprey kaplamaların yapışma mukavemeti artan kaplama kalınlığı ile azalmaktadır. Ayrıca kaplama tabakalarının yapışma mukavemeti altlığın yüzey özelliklerine ve pürüzlülük derecesine bağlıdır.

KAYNAKLAR

- Baik, K.H., Grant, P.S., Cantor, B., The equiaxed-banded microstructural transition during low pressure plasma spraying, *Acta Materialia Inc.*52 (2004) 199-208
- Cao, X.Q., Vassen, R., and Stoeber, D. Ceramic materials for thermal barrier coatings. 2003. *Journal of the European Ceramic Society* 24 (2003) 1-10.
- Chiger, N. The Latest Advances in Spray Technology Vol.1 2-20
- Çelik, E., Demirkıran, A. Ş. and Avcı, E. Effect of grit blasting of substrate on the corrosion behaviour of plasma – sprayed Al₂O₃ coatings. 1999 *Surface and Coatings Technology* 116-119 (1999) 1061 - 1064
- Demirci, M. "Termal Püskürtme Kaplamalarının Mekanik Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim fakültesi, 1994
- Devi, M. U. New phase formation in Al₂O₃-based thermal spray coatings. 2003. *Ceramics International* 30 (2004) 555-565
- DIN 32530, " Thermisches Spritzen ", 1975
- Faeth, G.M., "Mixing Transport and Combustion in Sprays", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol.13, No. 4, pp 293-345, (1987)
- Li, Y. and Khor, K. A. The effect of plasma spraying conditions on the spheroidization of zircon and alumina mixtures. 1999. *Journal of Materials Processing Technology* 89-90 (1999) 532-537
- Li, C. J. and Sun, B. Microstructure and property of Al₂O₃ coating microplasma –sprayed using a novel hollow cathode torch. 2003. *Materials Letters* 58 (2003) 179-183.
- Li, C.J., Liao, H.L.,Gougeon, P., Montavon, G. and Coddet, C. Experimental determination of the relationship between flattening degree and Reynolds number for spray molten droplets. 2004 *Surface and Coatings Technology* (2004) (in press)
- Liang, H., Shi, B., Fairchild, A. and Cale, T. Applications of plasma coatings in artificial joints : an overview. 2004 *Vacuum* 73 (2004) 317-326
- Sampath, S., Jiang, X.Y., Matejcek, J.,Leger, A.C. and Vardelle, A. Substrate temperature effects on splat formation, microstructure development and properties of plasma sprayed

- coatings Part1: Case study for partially stabilized zirconia. 1999. Materials Science and Engineering. A272 (1999) 181 - 188
- Sarıkaya, O. Effect of the substrate temperature on properties of plasma sprayed Al₂O₃ coatings. 2004 Materials and Design (2004) (in press)
- Vural, M., " Plazma- Sprey ile Çelikler Üzerine Kaplanmış Oksit Seramiklerin Termal ve Mekanik Davranışları ", Yük. Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1991
- Wang, P., Yu, S.C.M. and Ng, H.W. Particle velocities, sizes and flux distribution in plasma spray with two powder injection ports. 2004. Materials Science and Engineering A (2004) (in press)
- Williamson, S.C., Swank, W.D., Fincke, J.R., Crawford, D.M., Snyder, S.C., Haggard, D.C., Entrainment in high-velocity, high-temperature plasma jets, International Journal of Heat and Mass Transfer, 46 (2003), 4215-4228