

Isıl Püskürtme Yöntemleri*

Thermal Spray Systems

Murat Tafralı Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Eylül 2006
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Cemil Çetinkaya - Gazi Üniversitesi

Isıl püskürtme kaplama tekniği, endüstriyel olarak ilk defa 1939'da Reinecke tarafından kullanılmış ve daha sonra amerikan şirketleri tarafından geliştirilmiş olduğunu bildirmiştir[1]. Bu yöntemle üretilen malzemelerin universal bir karaktere sahip olmasından dolayı yöntem hızlı bir gelişim göstermiş ve önem kazanmıştır.[2]

Değişik üreticiler tarafından ekipmanlar kendilerine özgü özelliklere sahip olacaklardır; ancak yöntemler, püskürtme malzemesi şeklinin tel veya toz olabilmesi ile ısı kaynağından oluşan iki ana değişkenin belirlenmesiyle özetlenebilir[3]. Bir başka deyişle, bütün metal püskürtme sistemlerinde püskürtme tabancasına beslenen malzeme, sıcakta atomların hareketi artar ve partiküller olarak örnek parçaya çarpar. Sıcak sıvı metal damlacıklar, yüzeye varışlarında ara yüzey ile bağlanır[4]. Bir kaplamanın yoğunluğu, yüzeye çarpma hızına ve enerjisine bağlıdır. Ayrıca ara yüzeye kaplamanın yapışması yüzeyin temizliğine de bağlıdır. Bu yöntemler, yöntemde kullanılan püskürtme malzemelerinin formuna (tel, toz, eriyik banyosu, çubuk) veya kullanım amacına göre (korozyon, izolasyon ve aşınmadan korunma) ve kullanılan enerji eldesine göre (alev, detonasyon veya patlama, indüksiyon, plazma ve elektrik boşalması) sınıflandırılmaktadır, Şekil 2.1[5]. Amaca uygun olarak püskürtme yöntemlerine iki kategoriye ayırabiliriz. Bunlar; 1-düşük enerjili ve 2-yüksek enerjili yöntemlerdir. Düşük enerjili yöntemler; elektrik ark ve alev püskürtmedir, enerjinin düşük olmasından dolayı bazı poroziteler kaplamada var olacaktır. Bu porozitelerin, kaplamadaki kalıntı geriliminin daha az olması ve daha kalın kaplamalarda ara yüzeyden kopma riski olmaksızın uygulanabilmesi gibi yararları olabilir, porozite aynı zamanda, mil yatağında çalışan bir mil için yağlama haznesi olarak da hizmet verebilir. Korozyonun ara yüzeye etkimesi için ilerleyişinde porozite siper olarak da karşı koyabilir[6].

Yüksek enerjili yöntemler; daha düşük poroziteli kaplamayı ve yüzeye daha iyi yapışmayı sağlar. İş parçasının yüzeyinde veya kaplama partiküllerindeki oksit filmlerinin kılcal damarlar (disruption) oluşmasından dolayı bağ kuvvetleri daha yüksektir. Bu oluştuğu zaman bazı difüzyon bağları yer değiştirir.

Ancak en iyi sonuç elde edilmek isteniyorsa, iş parçasının temizliği ve pürüzlülüğü, düşük enerjili yöntemlerde olduğu gibi bu yöntem içinde önemlidir[4]. Isıl püskürtme ile elde edilen kalınlıklar tipik olarak 0,025mm ile 3mm ve üzeri arasındadır, bunların uygulanması aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir: 1) Aşınmış mekanik aksamların onarımı, 2) Aksamların yüzey karakteristiklerinin iyileştirilmesi veya değiştirilmesi, 3) Yapı çelikleri için koruyucu kaplamalar. Örneğin, çinko ve alüminyum. Tanımlanan bütün durumlarda kaplama bir parçacığın diğeri üzerine yerleştirilmesi için kullanılır. Parçacık, çalışılan yüzeye çarparken yassılaşır ve hızla soğur. Bunun sonucunda kullanılan yöntem ve malzemeye bağlı olarak bir dereceye kadar geçirgenliğe sahip katmanlı bir yapı elde edilir. Temel avantajı, bütün durumlarda çalışılan yüzeyin püskürtme yöntemi sırasında yaklaşık olarak 100°C den fazla ısıtılmaktadır. Böylece, alt tabakada hiçbir bozulma veya metalürjik değişiklik olması riski yoktur. Bu yüksek ısıya sahip plazmalara bile uygulanır. Bütün durumlarda alev bir noktada yoğunlaştırılır tabanca ile çalışma yapılan yüzey arasındaki uzaklık, alt tabakanın ısısında hiçbir önemli artış olmayacak şekilde ayarlanır. Isıl püskürtmenin, diğer püskürtme yöntemlerine oranla çok önemli bir avantajı, tortulaştırılabilir çok çeşitli malzemelerin kullanılmasıdır. Tel durumuna getirilebilen malzemeler, plazma veya HVOF' un kendilerine özgü özellikleri gerekmedikçe, bu şekilde püskürtülür, ikinci durumda toz kullanılır. Toz metalürjisinin çok yönlü olması birçok özel malzemelerin hazırlanmasını olanaklı kılar ve bu nedenle bu şekil, birçok durumda ek maliyet getirmesine rağmen yeğlenir. Toz malzemeler şunlar olabilir; Molibden, nikel veya tantal gibi çeşitli elementler, alüminyum / grafit veya alüminyum / polyester gibi karışımlar veya tungsten karbür gibi katışmaçlar. Püskürtme yapılan kaplamalarda giderek artan şekilde kullanılan diğer bir malzeme grubu ise oksit seramiklerdir. Bunlar alüminyum oksit, zirkon oksit, krom oksit ve titanyum dioksittir. Kaplama için optimal karakteristikler elde etmek için bunlar metaller gibi karıştırılarak çeşitli malzemeler oluşturulabilir[3]. Düşük enerjili grup için düşük bir kapital ihtiyacı vardır ve kısmen taşınabilir. Yüksek enerji gereksinimi

*"Tel Püskürtme İle Kaplamada Püskürtme Parametrelerinin Mikroyapı ve Gözenekliliğe Etkisi" başlıklı yüksek lisans tezinden alınmıştır.

gösteren grup ise, daha yüksek kapitale ve bir yere bağımlı bir kuruluşa gereksinim göstermektedir. Isıl püskürtme yöntemlerini Smart and Moore (1979)'dan da yararlanarak aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz:

I. Yüksek Enerji Püskürtme Sistemleri; Plazma Sistemleri

1. Plazma Transfer Ark Sistemleri(Plasma Transfer Arc).
2. Plazma Ark Püskürtme Sistemleri(Plasma Ark Spraying in Air).
3. Vakum Plazma Püskürtme Sistemleri(Vacum Plasma Spraying).

II. Düşük Enerji Püskürtme Sistemleri;

1. Elektrik Arkı Tel Püskürtme Sistemleri (Arc Wire Spraying)
2. Yanıcı Gaz Tel Püskürtme Sistemleri(Oxyfuel Gas Wire Spraying)
3. Yanıcı Gaz Toz Püskürtme Sistemleri (Oxyfuel Gas Powder Spraying)

III:Yüksek Hız Yanmalı Püskürtme Sistemleri(HVOF), (High Velocity Combustion Spraying).

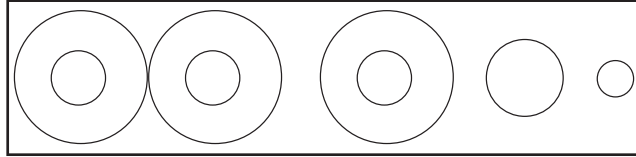
Burada HVOF yöntemi, en son bulunan ve gelişmeye açık bir yöntem olduğundan, düşük ve yüksek enerjili sistemleri sınıflandırmasına alınmayarak ayrı tutulmuştur.

2.1. Yüksek Enerjili (Plazma) Püskürtme Sistemleri

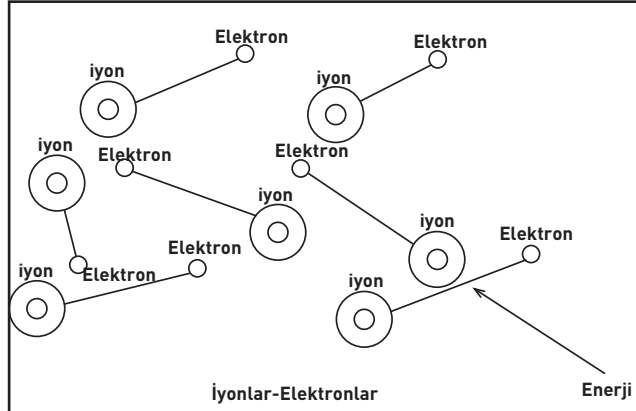
2.1.1.Plazmanın tanımı

Plazma, içerisinde iyon, elektron, nötral atom veya molekül, uyarılmış atom veya molekül, uyarılmış atom ve foton bulunduran bir karışımdır. Plazma, maddenin katı, sıvı ve gaz durumları yanında, maddenin dördüncü durumudur. Plazmanın da maddenin diğer durumlarında olduğu gibi kendine özgü özellikleri vardır. Plazma, yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuna, iyi elektrik ve ısı iletkenliğine sahiptir. Plazmaya elektrik ve manyetik alanla etki edinilebilir. Plazma dış ortama karşı elektriksel olarak nötr'dür. Plazmayı dışarıdan

manyetik ve termik olarak sıkıştırarak enerji yoğunluğu ve sıcaklığını sınırsız bir şekilde yükseltmek mümkündür. Plazmayla kesmede plazmanın termik olarak sıkıştırılıp, enerji yoğunluğunun yükseltilebilmesinden yani yüksek enerji yoğunluğundan yararlanır[7]. Normal gazlar (CO, CO₂, SO₂) ısıtıldıklarında klasik fizik ve termodinamik yasalara uygun davranış gösterirler. Plazma ise bu yasaların dışında bir davranış göstermektedir. Bu nedenle, bilinen gaz durumundan daha yüksek enerji düzeyine ulaşmış gaz durumunu tanımlamak için Plazma terimi kullanılmaktadır[8]. Bir gaz atomuna, o gazın iyonizasyon enerjisinden daha büyük bir enerji verildiği zaman, o atomdan bir elektron ayrılır ve atom iyonize olur(Şekil 2.2) Bu olay bir gaz kütlesi için gerçekleştirilirse plazma elde edilmiş olur.(Şekil 2.3) Plazmayı ısı, ışın, mekanik, manyetik ve elektrik enerjisiyle elde etmek olanaklıdır. Ancak pratikte plazma en çok elektrik enerjisi yardımıyla elde edilir.

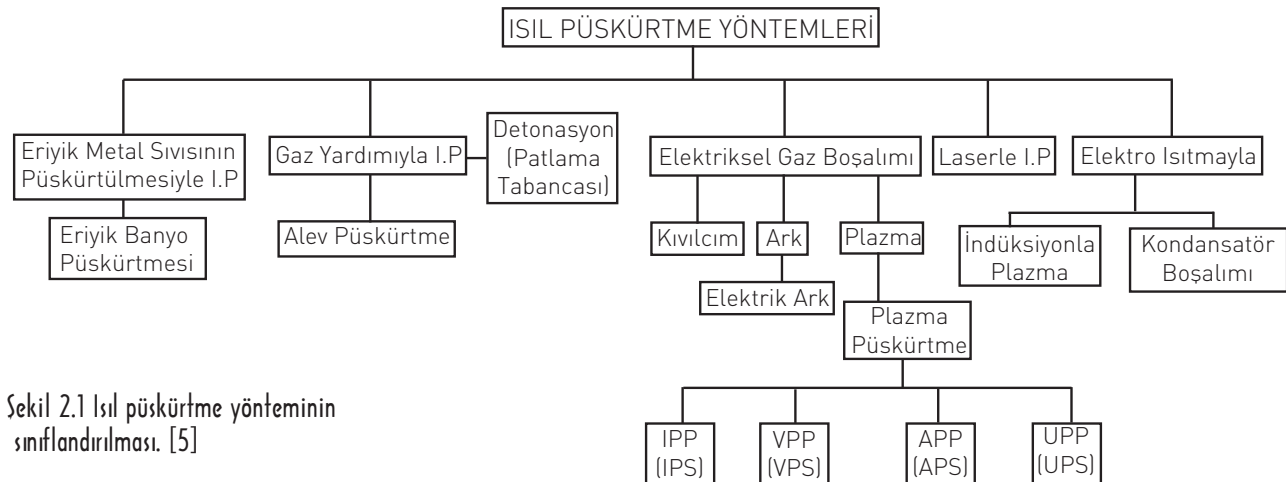


Şekil 2.2. Değişik partiküllerin sematik gösterimi [8].



Şekil 2.3. İyonlaşma ve plazma gazının oluşumu[8].

2.1.2 Plazma ile püskürtmenin prensibi



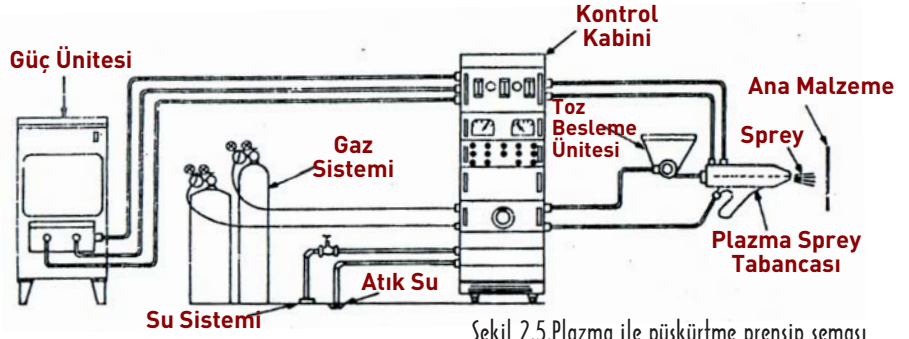
Şekil 2.1 Isıl püskürtme yönteminin sınıflandırılması. [5]

15.000°C'de(+) plazma püskürtme projesi: Argon veya azot gibi gazlar, bir plazma oluşturmak için iyonlaşırlar. Tipik olarak 500 amperli bir doğru akım, çok yüksek ısıda bir gaz buharı geliştirecek enerjiyi sağlar. Bu yöntemle tel kullanılması olanaklı olmasına rağmen oksit seramikleri gibi yüksek ergitme noktasına sahip çok çeşitli refrakter malzemelerinden en iyi şekilde yararlanmak bakımından toz daha yaygın olarak kullanılır. Bu yöntemle, 70 Mpa'yı aşan yapışma dayanımı yeteneğine sahip kaplamalar elde edilir. Metal kaplamalar için geçirgenlik %2 ile %5'e düşürülürken, oksit içeriği %2 ile %5 arasındadır. Bu yöntem, ikinci kategoride en yaygın olarak kullanılan uygulama yöntemidir; yüksek kaliteli kaplamalar nedeniyle, ergime noktaları ne olursa olsun çok çeşitli malzemelerden elde edilir. Plazma - püskürtme

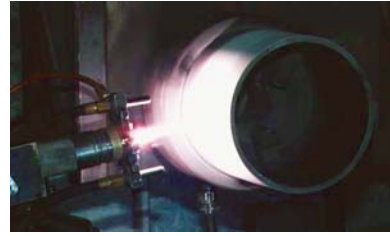
işleminin gerçekleştirildiği sistem ve toz püskürtmede kullanılan tabanca, Şekil 2.4 de gösterilmiştir. Sistem başlıca; **a)**Güç ünitesi, **b)**Gaz ünitesi, **c)**Toz besleme ünitesi, **d)**Soğutma ünitesi, **e)**Püskürtme tabancası, **f)**Kontrol ünitesini içermektedir.

Püskürtme hızı, kullanılan ekipmanların tipi ve tozlara göre değişebileceğinden 0.45kg/saat ile 14 kg/saat arasında değişebilir. Çoğu uygulamada kaplama kalınlığı 0,13mm ile 0,4 arasında değişir. Ancak uygulamaya bağlı olarak çok daha kalın kaplamaların yapılması da olanaklıdır. Genellikle ısı girdisi düşüktür (150°C'den az ısınır) ve iş parçasında, çok, çok az veya hiçbir distorsiyon oluşmaz. Kaplama malzemesi ile esas metal arasında bir çözünürlük söz konusu değildir. Oldukça düzgün ve parlak kaplama elde edildiğinden çoğu uygulama için, işlem sonrası işlemeye gerek kalmayabilir. Püskürtmede kullanılan jeneratörler normal plazma kaynağı jeneratörleri olup, ateşleme sistemi yüksek frekans jeneratörü ile yapılan impuls (itkili)ateşlemedir. Burada anot olarak bağlanmış olan 10....100 kw gücünde, endirek kısa arklı plazma üflecinin, anot memesine pnömatik olarak(genellikle radyol yönde) 10....100 p.m çapında metal, sert malzeme veya seramik toz verilir Şekil 2.5. Burada plazmaya

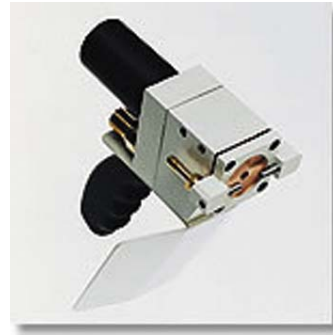
karışan tozun, plazma içinde dış kısmı veya tamamı ergir ve bir metal yüzeye püskürtülür. Püskürtme esnasında plazma ısınının püskürtülen parçayı aşırı ısıtmasını önlemek için plazma, soğuk bir plazma gazı ile yan tarafa üflenir. Sonuçta püskürtülen yüzeyde kısmen gözenekli bir tabaka elde edilir[6].



Şekil 2.5. Plazma ile püskürtme prensip şeması



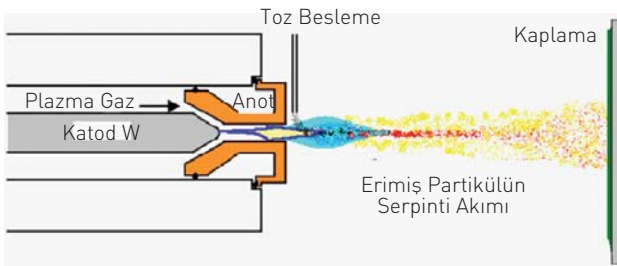
Resim 2.1. Plazma toz püskürtme uygulaması



Resim 2.2 Plazma toz püskürtme tabancası.

Resim 2.1 ve Resim 2.2 de bir plazma püskürtme tabancası görülmektedir.

Genellikle "Ar" , "N" veya ikisinin karışımı ve "H" ve "He'dan oluşan gaz, su ile soğutulan bakır anotların bulunduğu nozuldan geçer. Ark ise iç taraftaki bir "W" katotdan sağlanır, toz, plazma akımının içine beslenerek erir veya yarı ergimiş duruma gelerek yüksek hızlarda iş parçası üzerine gönderilir. Tozlar, plazma akımına ya nozuldan ayrılırken ya da nozul çıkışında beslenir. Toz besleme hızı önemlidir. Eğer besleme hızı çok yüksek olursa, kaplama verimliliği aniden düşer, ek olarak erimemiş tozlar kaplamanın sağlıklı olmasını engeller. Eğer çok yavaş beslenirse bu seferde operasyon masrafı önemli ölçüde artar. Plazma püskürtme için kullanılan malzemeler toz biçiminde olmalıdır. Yüksek kaplama için toz boyutu 44-10p.m (325mesh) idealdir ama 170 mesh boyutundaki daha kalın tozlar da kullanılabilir. Toz



Şekil 2.4. Plazma ile püskürtme prensip şeması.

şekli küresel olmalıdır, zira yüzey alanı azalır ve akış için uygundur. (Smart and moore 1990, kiskor, M.K.). Püskürtme malzemesi olarak en çok toz kullanılmasının nedeni ise; tel durumundaki malzeme relatif olarak zamana göre tam durağan olmayan erime miktarı verdiği gibi, kaplama malzemesinin tam ergimesini sağlar. Tam ergirmede, kaplanan sert kristalin malzeme özeliğini ortadan kaldırır. Püskürtmede kullanılan plazma üfleçlerinin, hemen, hemen hepsi kısa arklı olup, tabanca şeklinde üretilmişlerdir. Püskürtmede ortaya çıkan kaplama tabakasının özelliği, püskürtmenin asal gaz veya vakum içinde yapılması ile daha iyileştirilebilir. Plazma ile püskürtmede bazı durumlarda esas malzeme ile püskürtme tabakasının bir ara tabaka (malzeme) kullanmak gerekir[7].

2.1.3. Plazma püskürtmenin karakteristikleri

Plazma jetinde bölgesel sıcaklıklar yaklaşık olarak 2000°K'e (1093,3°°C'a) çıkabilmektedir ki çok yüksek ısıya dayanıklı malzemeler işlem görmektedir. Sıcaklık dağılımı ve hız şeklinde plazma jetinin karakteristikleri üfleç geometrisi, kullanılan plazma gazları ve elektrik akımı ile geniş bir şekilde değişebilir. Plazma gazlarının seçimi, ekonomiklik faktörüne, istenilmiş olan özelliklere ve işlem gören malzemelere bağlıdır. Jette uygun bir noktadaki tozun püskürtülmesi ve püskürtmenin düzenliliği, püskürtülen taneciklere ısının geçisi için önemlidir.

Tozun tanecik boyut dağılımı, morfolojisi ve fiziksel özellikleri, püskürtülen taneciklerde erişilen sıcaklıklar ve sıcaklık gradyanları üzerinde önemli etkiye sahiptir. Tozun, spesifik yüzey alanı, spesifik ısısı, ısı iletkenliği ve plazma gazından toza ısı transferi katsayısı, toz taneciklerindeki sıcaklık dağılımını etkileyen esaslı parametrelerdir. Erişilen sıcaklık, püskürtülen tanecikler arasındaki kohezyon (yapışma) üzerine diğer bir deyişle iç dayanım üzerine açık bir etki ortaya koyarlar[9]. Şekil 2.6 da, plazma-püskürtme işleminin belli başlı bileşenleri ve bunlara etki eden parametreler ana hatları ile gösterilmiştir. Belirli bir

kaplama işlemi için belirlenen işlem parametrelerinin bir kısmı, plazma-püskürtme işlemi yapan kişiye bağlıdır. Kaplama kalitesine bu parametrelerin etkisini yok etmek için, günümüzde püskürtme işlemi bilgisayar kontrollü plazma - püskürtme sistemlerinde gerçekleştirilmektedir. Çizelge 2.1 de Plazma püskürtme ile genel olarak uygulanan malzemeler verilmiştir[10].

KAYNAKLAR

1. Yigit, S., "Metal püskürtme ve uygulamaları", Devlet Bakanlığı yayımları no:59, Ankara, 11-12 (1998).
2. Lugscheider, E and JOKEL, P. "Plasmaspritzen - Verfahren, Anwendung, Entwicklung", Metal Heft ,3, 230-235 (1933)
3. Hoff, I.H. "Thermal Spraying and its Application". Welding & Metal Fabrikation, 55 (11); 266-269 (1995).
4. Aktın, I., "Elektrik Ark Kaynağı ve Toz Püskürtme Yöntemleri ile Zirhlanan Parçaların, Abrezi Aşınma davranışlarının incelenmesi" Yüksek Lisans Tezi İ.T.Ü.Fen bilimleri Ens. Metalurji mühendisliği Bölümü, , İstanbul,25-35 (1995).
5. Esschnauer, E. and Lungschider, "Fortschritte Beim Termischen Spritzen". Metal, Heft, 6(3); 218-224 (1985).
6. Sahin, K., "Isıl püskürme yöntemleri", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Fen Bilimleri Enstitüsü, 45-54 (1996).
7. Karadeniz, S. "Plazma ile kesme ve işleme". Pamukkale modern teknolojide malzeme sempozyumu-bildiri kitabı-Dokuz Eylül Üniv. Müh.-mimarlık.Böl, İzmir. 98-101 (1986).
8. Herman, H.. "Advances in Thermal-Spray Tecnoogy". Advances Metarials & Process,40; 45-41 (1990).
9. Barbezat, G. and Nicoll, A.R "Hight Velocity Flame Spraying - the oplement to Plasma Spraying". Welding and Cutting 2;25-27 (1993).
10. Geçkinli, E. "İleri Teknoloji Malzemeleri". İTÜ Kütüphanesi, Sayı:1454.,240-250 (1992).
11. American Welding society(AWS), "Thermal Spraying". (Welding Handbook- Welding Proseses). Eight Edition, Chapter , U.S.A, 28,(2); 864-889 (1991).

METALLER	KARBÜRLER	OKSİTLER	MADENİSERMLER
Alüminyum	Krom karbür	Alüminyumoksidi	Alüminyumoksidi-nikelalümini
Krom	Titanyum karbür	Krom oksit	Magnezya-Nikel
Bakır	Tungusten karbür	Magnezya	Zirkondioksit-Nikel
Molibden	-	Titanyum oksit	Zirkondioksit-Nikelalümid
Nikel	-	Zirkondioksit	-
Nikel-Krom Alaşımlar	-	-	-
Tantalyum	-	-	-
Tungsten	-	-	-

Çizelge-2.1. Plazma püskürtme ile genel olarak uygulanan malzemeler[11].

