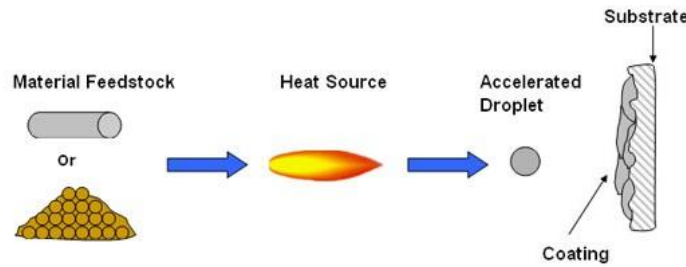


# TERMAL SPREY KAPLAMALAR

## 1.GİRİŞ

Termal sprej, metalik veya metalik olmayan kaplamaların uygulanabildiği, bir grup kaplama teknolojisinin genel adıdır. Kaplama malzemesi (toz/tel) bir enerji kaynağı yardımıyla ısıtılır ve eriyik/yarı eriyik forma dönüştürülür ve ardından ısıtılan partiküller gaz veya atomizasyon jetiyle hızlandırılır [1]. Isıtılan ve hızlandırılan partiküller önceden hazırlanmış altlık üzerine çarptırılır ve splat (yassı tanecik) şeklini alarak altlık ile birbirlerine bağlanırlar [2]. Şekil 1. 1'de şematik olarak termal sprej kaplama gösterilmiştir.



Şekil 1. 1. Termal sprej kaplamanın şematik görünümü [3]

Termal sprej kaplamalar korozyonu, abrazyon, erozyon, kazıma gibi aşınma olaylarını engellemek, oksidasyonu ve sıcak korozyonu önlemek, ısı yalıtımı, elektrik iletimi veya

yalıtımı amacıyla kullanılabilir. Ayrıca yenileme ve onarma, son hale yakın üretim, yenilenebilir kaplama ve dekoratif amaçlarla da kullanılabilir [4]. Şekil 1.2’de termal spreyn mucidi M. Ulrich Schoop görülmektedir.

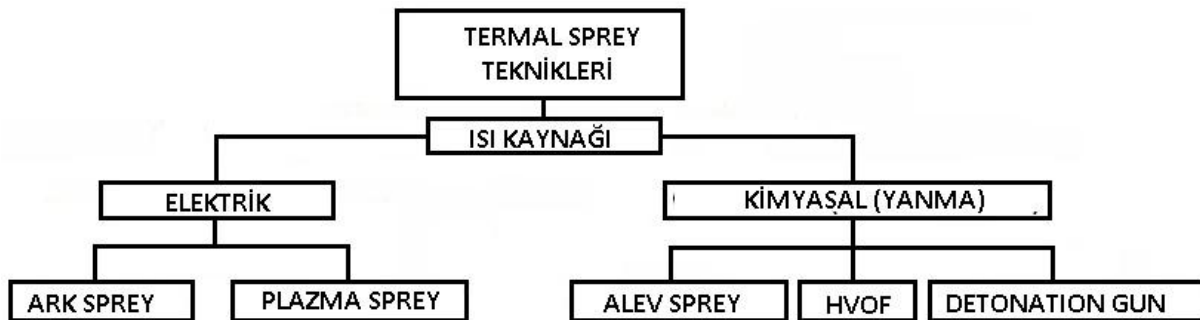


Şekil 1. 2. Max Ulrich Schoop [5]

Termal spreyn avantajları, hemen hemen kaplama için kullanılabilen tüm malzemelerin kompozisyonu bozulmadan ergitilebilmesi, altlığı çok ısıtmadan uygulanabilmesi, parçanın ölçülerini ve özelliklerini değiştirmeden aşınmış veya hasara uğramış kaplamaların çıkarılıp yeniden kaplanabilmesidir. Dezavantajları ise görüş açısının darlığı (kaplama sadece torc veya tabancanın gördüğü yere yapılabilir), boyut limitlerinin kısıtlı olması (tabancanın giremeyeceği küçük ve derin boşluklar) sayılabilir [1].

## 2. TERMAL SPRAY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

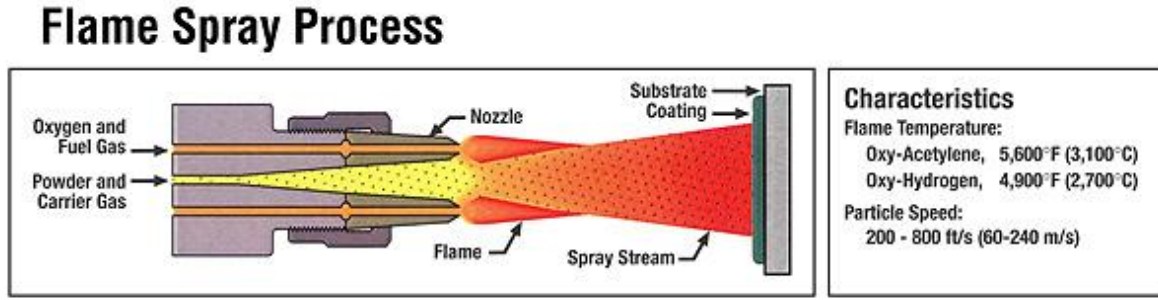
5 temel termal spreyn kaplama yöntemi ticari olarak kullanılmaktadır. HVOF ve detonasyon tabancası yöntemi ile aşırı yoğun kaplama üretilebilmekte ve bu sayede yüksek bağ mukavemeti elde edilebilmektedir. Soğuk spreyn HVOF’ten daha az termal enerjiye, daha fazla kinetik enerji ve hıza sahip yeni bir yöntemdir [4]. Isı kaynaklarına göre termal spreyn yöntemleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



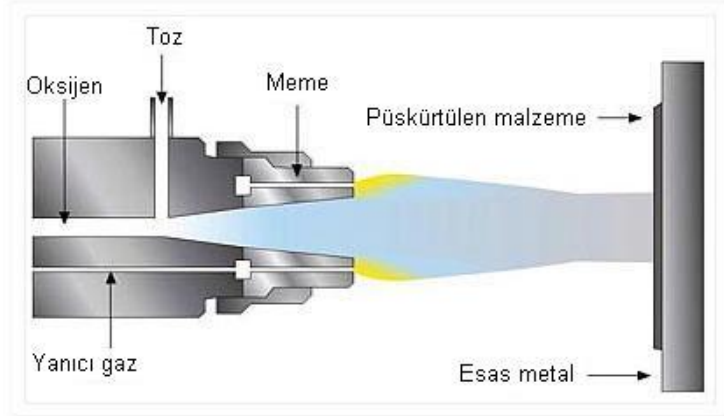
Şekil 2.1. Isı kaynaklarına göre termal spreyn kaplama yöntemleri [6]

## 2.1. Alev Sprey

Alev sprej Max Ulrich Schoop tarafından patentlenen bilinen en eski termal sprej yöntemidir, toz alev sprej ve tel alev sprej yöntemleri mevcuttur. İlk önceleri kalay ve kurşun telleri asetilenin oksijenle yakılarak elde edildiği alevde kaplama yapılırken; daha sonra toz kullanımına başlanmıştır. Alev sprej yönteminde asetilen, propan veya hidrojen, oksijen ile birlikte yakılarak alev elde edilir, düşük basınçlı oksijen yakıt kaplama sistemidir [7]. Şekil 2.2.a.'da tel alev sprej, b.'de toz alev sprej yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



(a)



(b)

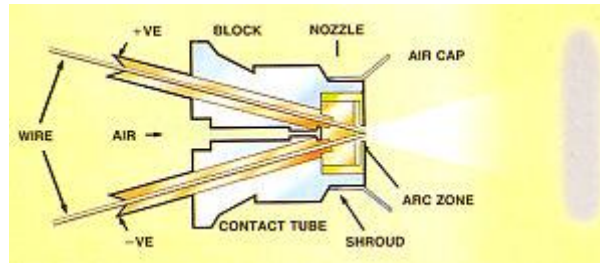
Şekil 2.2.a Tel, b. Toz Alev sprej şematik gösterimi [8]

Şekil 2.2.'de de görüldüğü gibi oksijen ve yakıt gazı karışımı yakılarak ve taşıyıcı gaz yardımıyla tozu alevde taşıyarak toz eriyik veya yarı eriyik forma getirilir. Gaz basınçlarının da etkisiyle hızlandırılan partiküller altlık üzerine kaplanır. Burada kısıtlayıcı faktör gazların alev sıcaklığıdır. Kaplama malzemesinin cinsine göre yakıt gazı seçilmelidir. Örneğin oksijen-asetilenin alev sıcaklığı 3100 °C iken oksijen-hidrojen yakıtın 2700 °C'dir. Termal sprej kaplamada amaç toz veya teli eriyik veya yarı eriyik forma getirmek olduğu için alev sıcaklığının yetersiz kaldığı durumlarda bu yöntem kullanılamamaktadır.

Alev püskürtme yönteminin düşük ilk yatırım maliyeti, yüksek dolgu oranı ve düşük bakım masrafı en önemli olan üstün özellikleridir. Ancak düşük bağ mukavemeti, kaplama tabakasındaki yüksek boşluk seviyesi ve düşük çalışma sıcaklığı yöntemin olumsuz olan özellikleridir [9].

## 2.2. Elektrik Ark Sprey

Elektrik ark sprej kaplama prosesinde gaz alevi veya elektrik ile elde edilen plazma gibi harici ısı kaynakları olmadığından diğer termal püskürtme proseslerinden farklılık göstermektedir [10]. Şekil 2.3'te şematik ark sprej prosesi gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ark Sprej Prosesi [9]

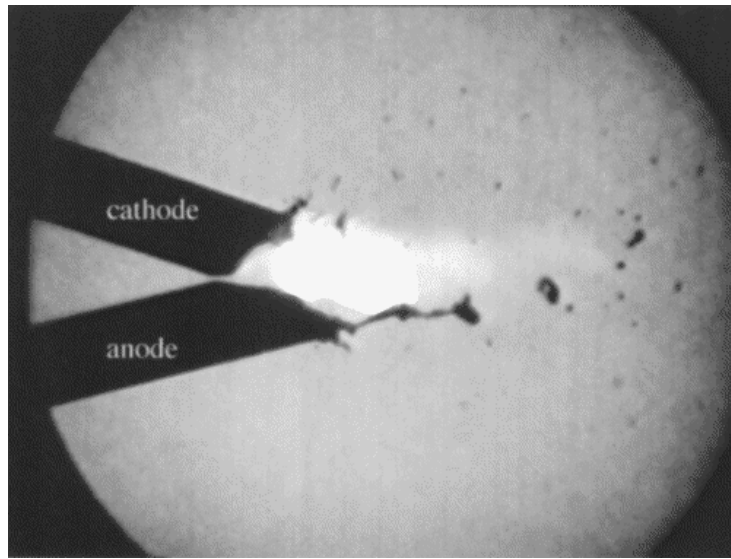
Elektriksel olarak zıt yüklenmiş, kaplama malzemesini içeren iki tel kesişme bölgesinde kontrollü bir ark oluşturmak üzere bir araya getirilerek ısıtılır ve ergime meydana gelir. Ergiyik metal sıkıştırılmış hava veya diğer gazların yardımı ile atomize edilir ve önceden hazırlanmış altlık malzeme üzerine püskürtülür [10]. Ark sprej yöntemi de Schoop tarafından patentlenmiştir [7].

Ark sprej, çinko, alüminyum veya alaşımlarının korozyondan korunma için kullanıldığı en ekonomik termal sprej kaplama yöntemlerinden biridir. Ark sprej elektrik iletebilen metal veya metal oksit karışımlarına uygulanabilir. Kaplama kalitesi ve özellikleri, atomizasyon basıncı, nozul şekli, tel besleme oranı, kaplama mesafesi gibi değişkenlere bağlıdır. Ark sprej kaplamalar yüksek adhesif ve kohezif mukavemet sergiler [2].

Ark sprejin avantajları; altlığın az ısıtılması sebebiyle düşük gerilme, alev sprejden daha yüksek bağ mukavemeti, daha kalın kaplamaların yapılabilme kabiliyeti, metalik olmayan malzemelerin üzerine (plastik, seramik, cam) kaplama yapılabilmesi, yoğun kaplama oluşturulabilmesi ve tamamen ergimiş partiküllerin elde edilmesidir [11]. Şekil 2.4'te gerçek bir kaplama görüntüsü verilmiştir.

Elektrik ark sprej kaplama teknolojisi ile üretilen kaplama tabakaları, kesin olarak tamamen ergimiş metalden oluşmaktadır. Bunun yanında ergiyen metalin oksijen afinitesi yüksek olduğu için, püskürtülen metal katılaşana kadar oksitlenebilir. Proses sırasında azot gibi gazlar kullanılırsa metal-nitrür bileşikler kaplamada elde edilebilir.

Kaplama sırasında anot ve katot olarak farklı teller beslenebilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus beslenen metallerin ergime dereceleridir. Tel sürme hızı metallerin ergime derecelerine göre ayarlanmalıdır. İstenilen oranlarda beslenmeyen tel, mikroyapıda istenmeyen bileşiklerin oluşmasına sebep olabilir.



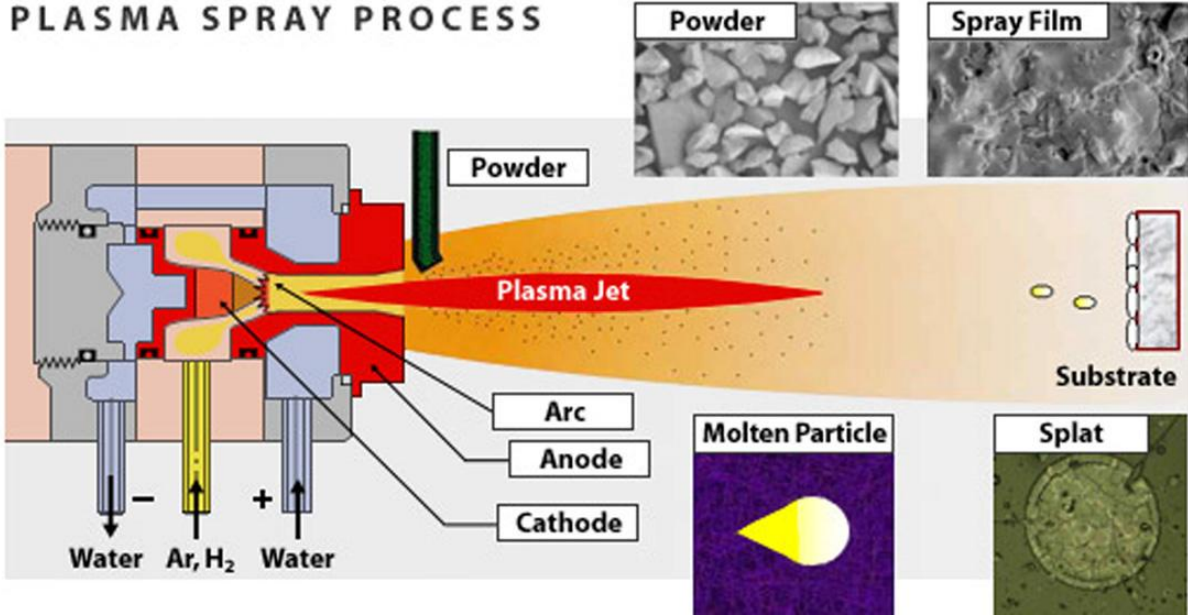
Şekil 2.4. Elektrik ark sprej kaplamada oluşan ark [12]

### 2.3. Plazma Sprej

Plazma sprej kaplama teknolojisi alev sprej ve ark sprejden sonra geliştirilmiştir [7]. Metallerin korozyona, yüksek sıcaklık oksidasyonuna ve aşınmaya karşı dirençlerinin artırılması seramik kaplamalarla mümkündür. Bu tür kaplamaların uygulanması plazma sprej teknolojisi ile de yapılabilmektedir [13]. Bu yöntemle gerçekleştirilen kaplama belirtilen özellikleri sağladığı gibi, ana malzemenin üstün özelliklerinden tokluk ve şekil değiştirilebilirlik özellikleri korunmaktadır ve böylece metal ve seramiklerin üstün özelliklerinden bir arada faydalanılmaktadır [14].

Plazma sprej kaplama ergime derecesi çok yüksek kaplamalar için uygulanır. Elektrik arkı, elektrot ve ikincil elektrot olarak davranan nozula uygulanır. Basıncı inert gaz (argon,

helyum, azot, hidrojen,) ve elektrotlar arasından geçirilir. Çok yüksek sıcaklığa ulaşan gaz, plazma formuna dönüşür. Plazma sprej sistemi, güç kaynağı, gaz kaynağı, tabanca ve toz besleme ünitelerini içerir [2]. Şekil 2.5'te plazma sprej yöntemi şematik olarak, kaplama, splat yapısı, kullanılan toz mikroyapısı ile birlikte gösterilmektedir.



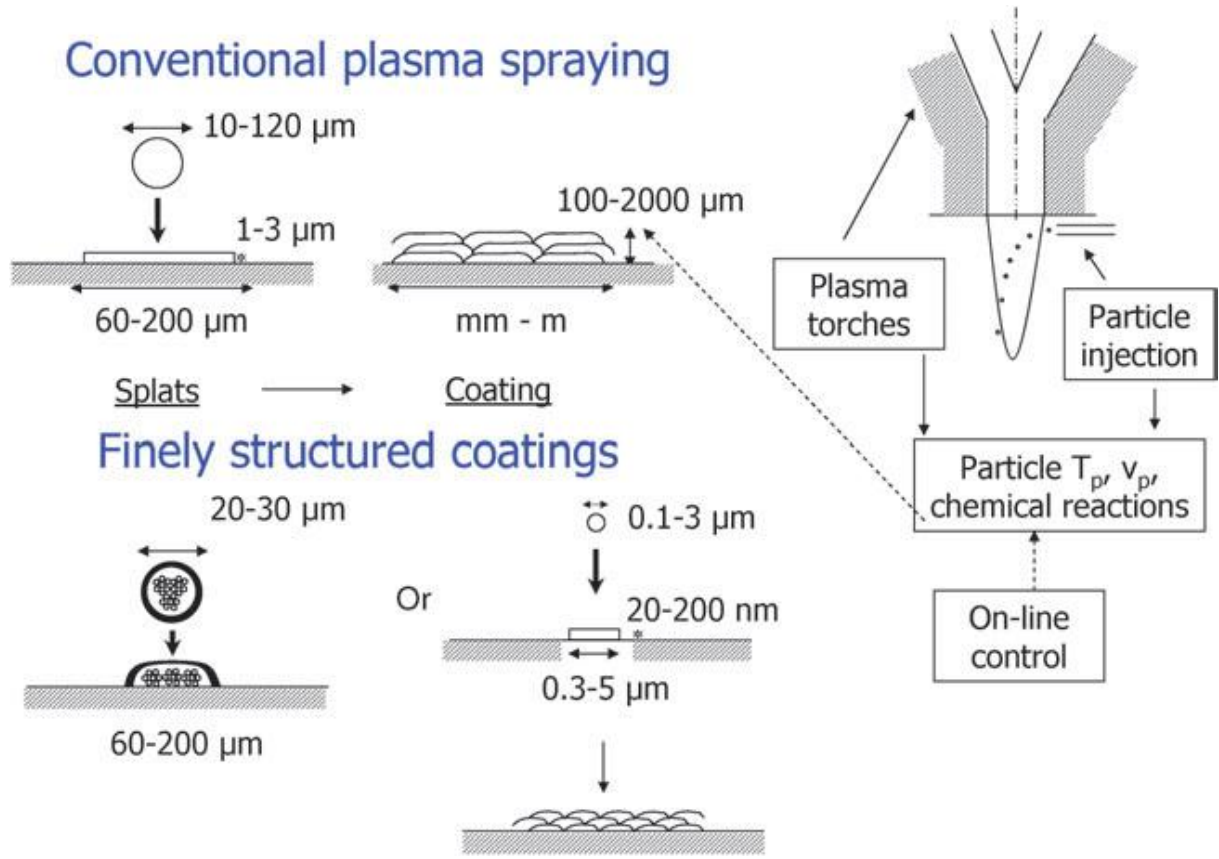
Şekil 2.5. Plazma sprej kaplama prosesi [15]

Plazma sprej kaplamaların yapısı yüzeye paralel tabakalar şeklindedir. Yüzeye dik bağlama kuvvetini arttırmak için altlık yüzeyi pürüzlendirilerek kaplama işlemi sonucu yüzeye tamamen paralel tabakalar yerine dalgalı tabakalar oluşturulur [13].

Geleneksel kaplama özellikleri 3 alt başlıkta toplanabilir [16].

- Plazmanın biçim ve çevreyle etkileşimi
- Toz besleme ve sonuçta oluşan partiküller (sıcaklık, boyut, hız, akış)
- Splat biçimi, splat katmanları ve kaplama biçimi

Plazma sprej kaplama yönteminde sıcaklık 20 000 °K üzerine ulaşır. Plazma ile üretilen bu yüksek sıcaklık kaplama malzemesini çok yüksek sıcaklıklara ulaştırır. Bu yüksek sıcaklığa rağmen altlık çok ısıya maruz kalmaz ve mikroyapısında herhangi bir değişim olmaz. Plazma sprej kaplama yöntemiyle, çok yüksek plazma sıcaklığı sebebiyle bilinen tüm malzemeler kaplanabilir (seramik, metal, polimer) [5]. Şekil 2.6'da plazma sprej kaplamaların oluşum mekanizması verilmiştir.



Şekil 2.6. Plazma sprey kaplamaların oluşum mekanizması [16]

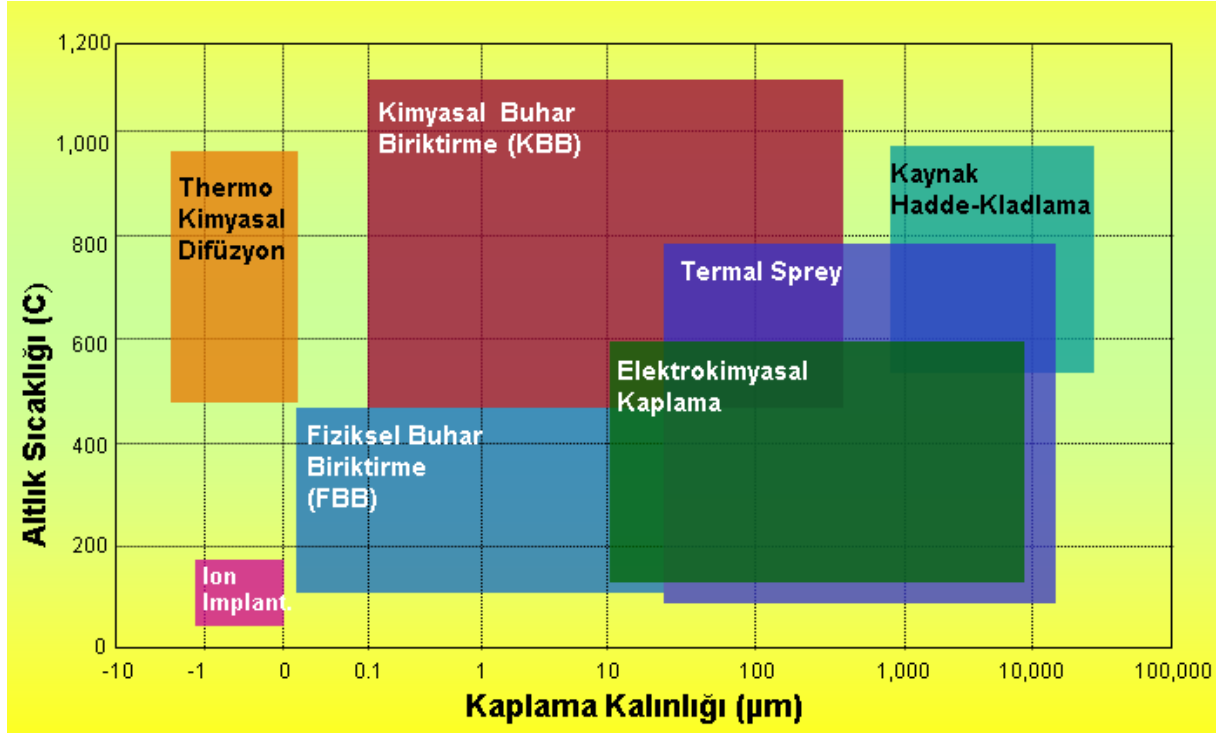
Kaplama tozu plazmaya üst kısımdan taşıyıcı gaz yardımıyla beslenir. Taşıyıcı gazın debisi bu noktada önemlidir çünkü, toz plazmaya sokulmak suretiyle ergiyik veya yarı ergiyik hale getirilir. Gaz debisinin az olması toz beslemenin yetersiz olmasına sebep olur ve toz plazma içerisine sokulamaz. Aksi durumda ise toz çok beslenir ve partiküller ergimeyebilir. Hatta plazmanın altına geçerek hiç kaplamaya girmeyebilir ve sonuçta prosesin verimi düşebilir. Tablo 2.1.'de termal sprey kaplama proseslerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.1. Termal sprey kaplama proseslerinin karşılaştırılması [4]

Proses	Partikül Hızı m/s	Proses Sıcaklığı (°C)
Soğuk sprey	800-900	500-900
Alev-toz	30-200	2500-3000
Alev-tel	30-100	2500-3000
HVOF	700-800	2500-3000
Plazma-APS	200-300	15000
Plazma-VPS	200-300	15000
Ark sprey	50-150	3000



Tablo 2.1’de görüldüğü üzere en yüksek hıza soğuk spreyde ulaşılrken, en yüksek proses sıcaklığına ise plazma sprey yöntemiyle ulaşılmaktadır. Şekil 2.7’de kaplama yöntemlerinin altlık sıcaklığı ve kaplama kalınlığı açısından değerlendirilmesi gösterilmiştir.



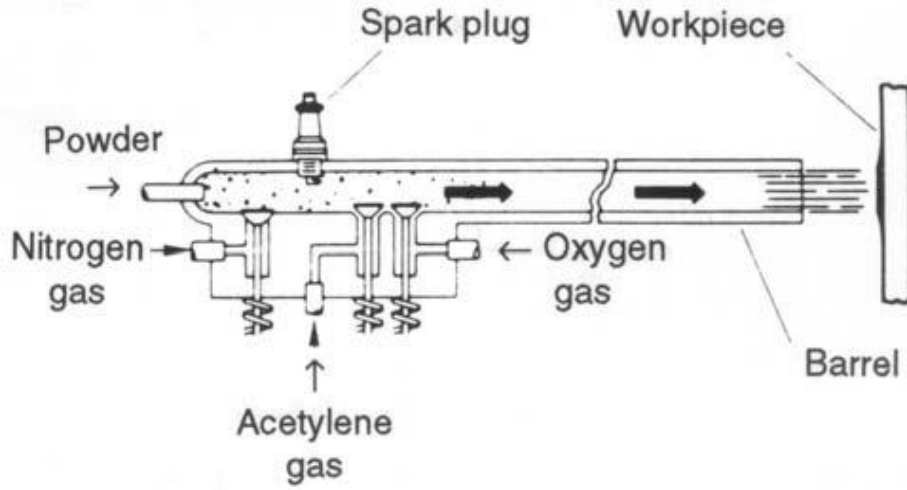
Şekil 2.7. Çeşitli kaplama yöntemlerinin altlık sıcaklığı ve kaplama kalınlığı açısından karşılaştırılması

#### 2.4. HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)

HVOF, termal sprey kaplama yöntemlerinin en yenilerinden bir tanesidir. Oksijen ve yakıt gazı yüksek basınçlarda kullanılır. Kullanılan gazlar propan, propilen ve hidrojenidir. Yanan gaz karışımı süpersonik hızlara ulaşır ve kaplama tozu alev beslenir. HVOF, termal enerji girişini minimize ederken, kinetik enerjiyi en yüksek derecelere ulaştırır. Böylece yüksek bağ mukavemetli, yoğun, porozitesi az kaplamalar elde edilir. Jet motoru parçalarında aşınma dayanımı uygulamaları için kullanılır [2]. Şekil 2.8’de HVOF tabancasının şematik gösterimi verilmiştir.

Havacılık ve uzay, petrol, petro-kimya, kağıt sektörü gibi sürtünme ve aşınma dayanımı gereksinimi olan sektörlerde sert krom kaplama HVOF ile yapılabildiği için PVD, CVD ve nitrüleme gibi kaplama yöntemlerine alternatiftir [17].



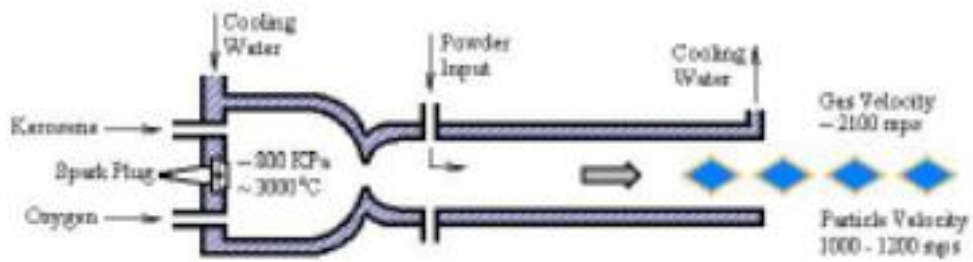


Şekil 2.8. HVOF tabancası [1]

HVOF kaplama yöntemiyle gaz hızı 2100 m/s hızı aşarken, partikülü 400-800 m/s hızı ulaştırır. Bu değer diğer alev sprej yöntemlerinden kat kat üstündür. Gaz yakıtların yanında kerosen gibi sıvı yakıtlarda kullanılabilir. Kinetik enerji dışındaki diğer avantajlar da listelenmiştir [4].

- Kalınlık kapasitesi artışı
- Nisbeten daha pürüzsüz yüzey eldesi
- Düşük oksit seviyesi

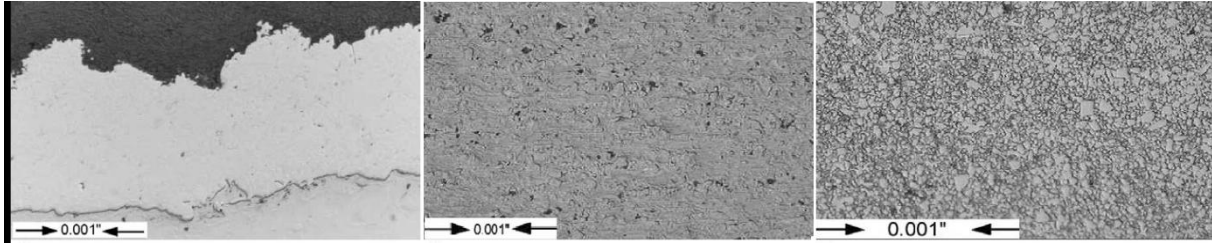
Kerosenli HVOF tabancasında toz besleme alevi dik olarak iki girişten yapıldığı Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Kerosenli HVOF tabancası [17]

Jetlerin süpersonik tabiatı gereği, HVOF prosesinde gaz çıkış hızlarının çok yüksek olması sebebiyle "shock diamonds" paternleri açıkça gaz jetinde görülür. Aynı paternler yüksek

performanslı jet motor eksozlarında görülebilir. Bu tarz yüksek hızlar genellikle çok yüksek gürültüye sebep olur, HVOF prosesi sırasında ses +133 dBA'ya kadar çıkabilir [1].



Şekil 2.10. HVOF ile WC-Co kaplama [1]

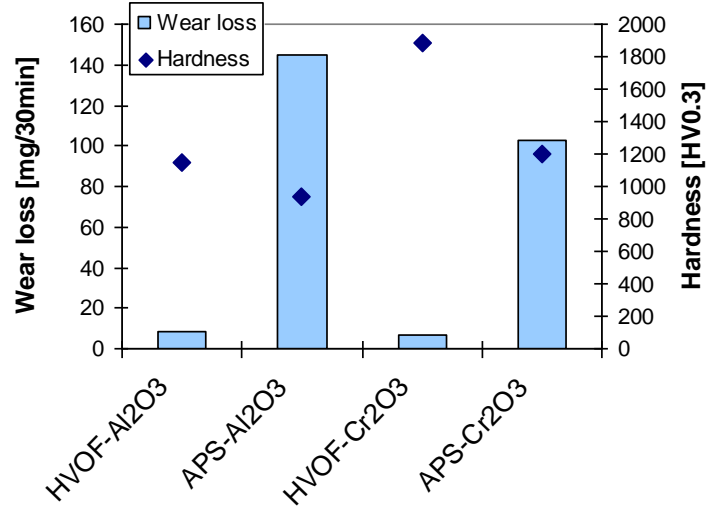
HVOF ile yüksek yoğunluklu kaplamalar üretilebildiği Şekil 2.10'da açıkça gösterilmiştir. Yüksek kinetik enerji sayesinde düşük poroziteli kaplama üretilmiştir.

Yüksek gürültü sebebiyle, işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından bu gibi kaplamalar özel yalıtımlı kabinde yapılmalıdır. HVOF ünitesi portatif de olabilir, bu durumda operatör kulaklık, maske, gözlük gibi iş güvenliği ekipmanları kullanılmalıdır. Şekil 2.11.'de HVOF ve plazma sprej yöntemiyle kaplanmış malzemelerin aşınma kaybı ve sertlik ilişkisi karşılaştırılmıştır.

## 2.5. Detonasyon Tabancası

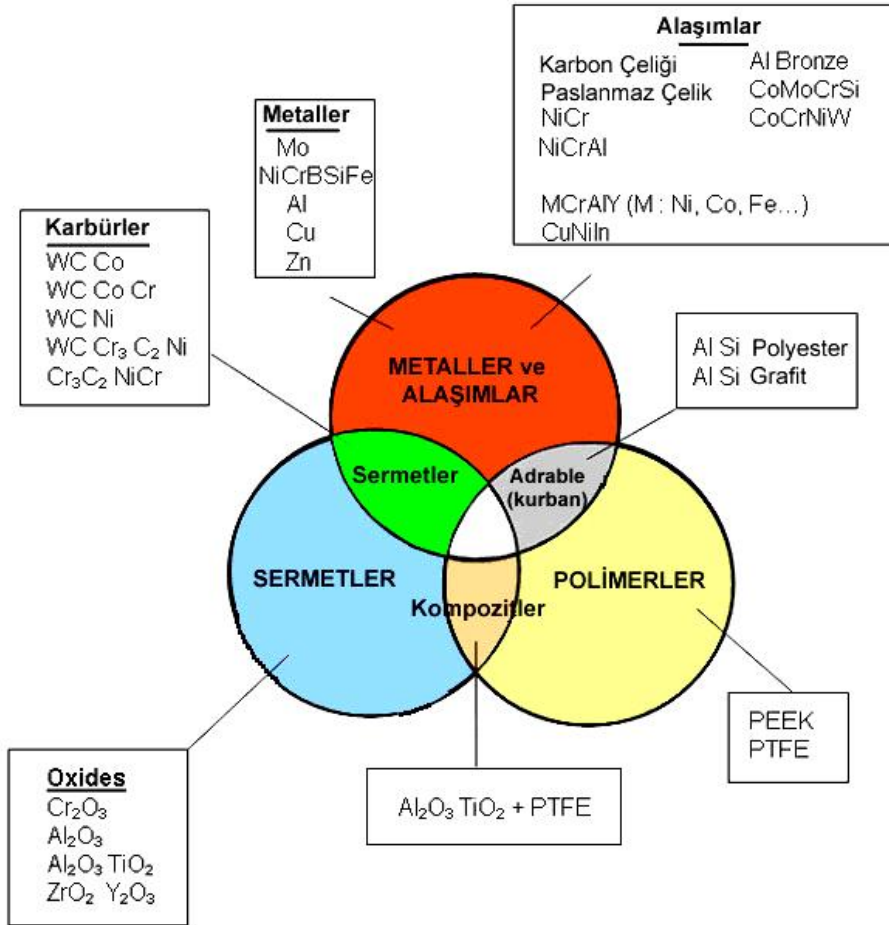
Bu teknikle kaplama, 2-3 cm iç çapında 1-1.5 m uzunluğunda su soğutmalı bir yanma odasında taşıyıcı gaz ve oksijen-asetilen gaz karışımının kontrollü bir şekilde infilak ettirilmesiyle (patlatılmasıyla) kaplama tozlarının eritilmesi ve yüzeye püskürtülmesiyle gerçekleşir. Gaz karışımı bir elektrik kıvılcımı ile saniyede 4 ila 8 kez infilak ettirilir, sistem sürekli olmayıp kesiklidir. Bu teknikle üretilen kaplamalar, yoğun, sert ve yüksek yapışma özelliğine sahiptir. İş parçasının az ısınması ve karbürler gibi ergime sıcaklığının yüksek olduğu malzemelerin kaplanması prosesin avantajıdır. Buna karşılık düşük biriktirme hızı, fleksibil olmaması ve pahalı bir proses olması tekniğin dezavantajlarıdır.

Yüksek sıcaklıklarda çeşitli aşınma türlerine karşı gaz türbin motor parçacıklarının korunmasında, tekstil makine parçaları, kağıt ve plastik sanayiinde, nükleer güç endüstrisinde ve kesici uçlarda Detonasyon tabancası tekniği uygulanmaktadır [18].



Şekil 2.12. HVOF ve plazma sprey yöntemiyle kaplanmış malzemelerin aşınma kaybı ve sertlik ilişkisi

### TERMAL SPREYDE KULLANILAN KAPLAMA MALZEMELERİ



Şekil 2.13. Termal sprey yönteminde kullanılan kaplama malzemeleri.

### 3. KAYNAKÇA

- [1] J. R. Davis, Introduction to Thermal Spray Processing, Handbook of Thermal Spray Technology, p 3, 2004
- [2] A. Bhatia, Thermal Spraying Technology and Applications. Washington: U.S. Army Corps. of Engineers., 1999
- [3] [http://www.namanhvublast.com/webapp/service\\_list.php?category\\_id=11](http://www.namanhvublast.com/webapp/service_list.php?category_id=11) (erişim tarihi 01.02.2013)
- [4] M. R. Dorfman, "19 - Thermal Spray Coatings," in Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition), Oxford: William Andrew Publishing, pp. 569–596, 2012.
- [5] Prof. Knight, Thermal Spray: Past, Present and Future, A Look at Canons and Nanosplats, USA (erişim tarihi 01.02.2013)
- [6] C. P. Bergmann and J. Vicenzi, "Protection against Erosive Wear Using Thermal Sprayed Cermet: A Review," in Protection against Erosive Wear Using Thermal Sprayed Cermet, Springer Berlin Heidelberg, pp. 1–77, 2011.
- [7] Simunovic K., Thermal Spraying, Welding Engineering and Technology, Eolss.net (erişim tarihi 01.02.2013)
- [8] [http://www.tungsten-powder.com/Molten\\_Metal\\_Flame\\_Spray.html](http://www.tungsten-powder.com/Molten_Metal_Flame_Spray.html) (erişim tarihi 01.02.2013)
- [9] <http://www.ytmk.sakarya.edu.tr/yuzey.html> (erişim tarihi 02.02.2013)
- [10] Yüksek E., Ark Sprey Teknolojisi ile Şekilli Parça Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2008
- [11] Wire Arc Spray vs. Wire Flame Spray, Polymet, USA (polymet.us – erişim tarihi 02.02.2013)
- [12] Watanabe T., Wang X., Pfender E., Heberlein J., Correlations Between Electrode Phenomena and Coating Properties in Wire Arc Spraying, Thin Solid Films, Volume 316, p 169-173, 1998.
- [13] Yeşildal R., Günay Y. Z., Plazma Sprey Yöntemi ile Kaplama ve Sprey Karakteristiklerinin İncelenmesi, DEÜ Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 2007
- [14] Evcin A., Kepekçi D. B., Barut İ., Hidroksiapatit Tozlarının Plazma Sprey Yöntemiyle Paslanmaz Çelik Üzerine Kaplanması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 2009
- [15] P. Robotti and G. Zappini, "Chapter 9 - Thermal Plasma Spray Deposition of Titanium and Hydroxyapatite on Polyaryletheretherketone Implants," in *PEEK Biomaterials Handbook*, Oxford: William Andrew Publishing, 2012, pp. 119–143.
- [16] Fauchais P., Understanding Plasma Spraying, Journal of Physics, 2004
- [17] David Hart K. W., Harper D. H., Gill M. J., Case Studies in Wear Resistance Using HVOF, PTAW and Spray Fusion Surfacing, Castolin, Switzerland.
- [18] Kharlamov, Y.A., "Materials Engineering Forum Detanation Spraying of Proctective Coatings", Voroshilavgrad Machine Building Institute, Voroshilovgrad, U.S.S.R. 9 Sept. 1986.