

75143

**ALÜMİNYUM BRONZU CAM KALIPLARININ SERT YÜZEY İLE
KAPLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER VE BU YÖNTEMLERİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Tunga LİMAN

75143

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19.Ocak.1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 12.Şubat .1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. E. Sabri KAYALI
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Lütfi ÖVEÇOĞLU
Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU

S. Kayalı
Lütfi Öveçoğlu
Hüseyin Çimenoglu

ŞUBAT 1998

ÖNSÖZ

Türk sanayine hizmet etmeyi hedeflemiş bu tezin hazırlanmasında ve hayata geçirilmesinde emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Öncelikle tezimin hayata geçmesi için kuvvetli destekleri, içten yardımları ve değerli fikir ve eleştirileri için sayın hocam, Bölüm Başkanımız, **Prof. Dr.Eyüp Sabri KAYALI**'ya, araştırmanın çıkış noktasını işaret eden ve desteğini ve yapıcı eleştirilerini hiç bir zaman esirgemeyen sayın hocam **Prof. Dr. Adnan TEKİN**'e, hassas çalışmaları ve yürekten destekleri ile tezimin sonucunu tayin eden gidiş yönünü belirleyen, sevgili ağabeyim **Dr. Gültekin GÖLLER**'e, tezde geçen çok önemli yapışma değerlerinin ortaya çıkmasında büyük emekleri olan **Met. Müh. Fahir ARISOY**'a ve SEM çalışmaları için sayın **Hüseyin SEZER**'e teşekkür ederim.

Bu çalışmamı hazırlamamda, bana her tür desteği ve imkanı veren, başta, Teknik İşler Müdürü Makine Yük.Müh.Sayın **Süha GÖNEN** ve Keşif-İş Hazırlama Şefi Makine Yük. Müh.Sayın **M. Bülent KIRCA** olmak üzere tüm **Camış Makina ve Kalıp Sanayii A.Ş.** çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin ve yöntemin tedariğini sağlayan **Eutectic+Castolin, Chpo Deloro, Wall Colmonoy, Senkron Metal ve Seramik Kaplama Ltd. Şti. ve Marmara Kaynak Mühendislik San. ve Tic. Ltd. Şti**'ne teşekkür ederim.

Bu tezi ve bu tezin sahibini asıl başarıya ulaştıran, emeklerini, maddi ve manevi imkanlarını tereddüt etmeksizin sunan, umutsuz günlerimde sürekli, içten ve umut verici yardımlarıyla daima arkamdaki ivmelendirici güç olarak hissettiğim, sevgili eşim Metalurji Mühendisi Sayın **Yelda GÜNEY** ve eşsiz aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 1998

Metalurji Mühendisi
Tunga LİMAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. IS MAKİNELERİ VE KALIPLARI	3
2.1. Kalıp parçaları	3
2.1.1. Kafa yapıcı kalıp parçaları	3
2.1.1.1. Müldebak	3
2.1.1.2. Ring	3
2.1.1.3. Mandren	4
2.1.1.4. Mastör	4
2.1.1.5. Mastör soğutucu	4
2.1.2. Hazırlayıcı kalıplar	4
2.1.2.1. Ebüşör	4
2.1.2.2. Tampon	4
2.1.2.3. Huni	4
2.1.3. Tamamlayıcı kalıplar	4
2.1.3.1. Finisör	4
2.1.3.2. Müldefon	5
2.1.3.3. Sufraj başlığı	5
2.1.3.4. Alıcı maşa	5
2.2. Cam kalıplarından istenen özellikler	9
2.2.1. İyi işlenebilirlik	10
2.2.1.1. Sertlik	11
2.2.1.2. Süneklik	11
2.2.1.3. Isıl iletkenlik	11
2.2.1.4. Deformasyonla sertleşme	12
2.2.1.5. İnküzyonlar	12
2.2.1.6. Serbest işleme ilaveleri	12
2.2.1.7. Malzeme yapısı	12
2.2.2. İyi parlatılabilirlik özelliği	13
2.2.3. Yüksek ısı iletkenlik	13
2.2.4. Düşük ısı genleşme	14
2.2.5. Korozyon direnci	14
2.2.6. Mekanik özellikler	17
2.2.7. Üretilen cam mamül başına düşük maliyet	19
2.2.8. Kaynaklanabilirlik	19
2.3. Cam kalıp malzemeleri	20

2.3.1. Çelik malzemeler	20
2.3.2. Dökme demir malzemeler	22
2.3.3. Bakır-alüminyum alaşımları	23
BÖLÜM 3. KAPLAMA AMAÇLI KULLANILAN ALAŞIMLAR	33
3.1. Nikel esaslı alaşımlar	34
3.2. Kobalt esaslı alaşımlar	36
3.3. Demir esaslı alaşımlar	37
3.4. Karbürler	38
3.5. Bakır esaslı alaşımlar	39
BÖLÜM 4. CAM TEMAS YÜZEYLERİNİN MODİFİYE EDİLMESİ	40
4.1. Proses seçimi	43
4.1.1. İş parçasının fiziksel karakteristiği	44
4.1.2. Taban malzemesinin metalurjik karakteristiği	44
4.1.3. Sert yüzeyle kaplama maliyetleri	45
4.2. Isıl püskürtme teknikleri	47
4.2.1. Alevle püskürtme	48
4.2.1.1. Sık rastlanılan	52
4.2.1.2. Sıcak prosesler	53
4.2.1.3. Soğuk prosesler	54
4.2.1.4. Bağ mekaniği	55
4.2.1.4.1. Mekanik bağ	55
4.2.1.4.2. Adhezyon	55
4.2.1.4.3. Epitaksi	56
4.2.1.4.4. Metalurjik etkileşim	56
4.2.1.4.5. Kısmi kaynama	56
4.2.2. Elektrik arkı ile püskürtme	56
4.2.3. Plazma ile püskürtme	57
4.2.4. PTA	58
4.2.5. HVOF	59
4.2.6. Isıl püskürtme tekniklerinde ön işlemler	59
4.2.6.1. Kaba diş çekme	60
4.2.6.2. Kuşlama	60
4.2.7. Kaplama sonrası soğutma	60
4.3. Elektrik ark kaynağı ile sert yüzey kaplama	61
4.3.1. TIG kaynağı ile sert yüzey kaplama	61
4.4. Alüminyum bronzlarının sert yüzey ile kaplanması	65
4.4.1. Alüminyum bronzlarının alevle püskürtme ile sert yüzeyle kaplanması	65
4.4.2. Alüminyum bronzlarının TIG kaynağı ile sert yüzeyle kaplanması	67
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA	68
5.1. Karşılaştırılan yöntemler	68
5.1.1. Deloro 40G ile TIG kaynağı	69
5.1.2. 309L TIG kaynağı üzerine CPM 8985 tozu ile alevle püskürtme	69
5.1.3. Colmonoy 234 tozu ile alevle püskürtme	71
5.1.4. 15283+PE 8988 tozları ile çift kat alevle püskürtme	71
5.2. Deney numuneleri	72
5.2.1. Çekme testi numuneleri	72

5.2.2. Mikroyapı karakterizasyonu	73
BÖLÜM 6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	74
6.1. Çekme testi sonuçları	74
6.2. Mikroyapı karakterizasyonu	77
6.3. Tartışma	82
6.4. Genel sonuçlar	86
BÖLÜM 7. ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	90



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	IS makinası kalıp ve aksesuarları	6
Şekil 2.2	IS'te üfleme-üfleme yöntemi	7
Şekil 2.3	IS'te pres-üfleme yöntemi	8
Şekil 2.4	Metaller için oksidasyon eğrileri	17
Şekil 2.5	Cu-Al denge diyagramı	24
Şekil 2.6	Incramet 800 ile dökme demir malzemenin ısı iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi	30
Şekil 2.7	Incramet 800 ile dökme demir malzemenin oksitlenme mekanizmaları	31
Şekil 3.1	Ni-Si denge diyagramına B ve Si'nin etkileri	34
Şekil 3.2	Ni-Cr-B-Si alaşımlarında alaşım elementlerinin korozyon direnci üzerine etkileri	35
Şekil 4.1	Yüzey olaylarının temel bileşenleri	40
Şekil 4.2	Yüzey yöntemleri	41
Şekil 4.3	Sert yüzeyle kaplama yöntemleri	42
Şekil 4.4	Alevle püskürtme tekniği	48
Şekil 4.5	Oksi-asetilen alevi formları	49
Şekil 4.6	Sıcak prosese örnek bir mikroyapı	53
Şekil 4.7	Ark ile püskürtme	57
Şekil 4.8	Plasma ile püskürtme	58
Şekil 4.9	PTA ile püskürtme	58

Şekil 4.10	HVOF ile püskürtme	59
Şekil 4.11	TIG kaynağı ile sert yüzey kaplama	62
Şekil 4.12	TIG kaynağında elektrod formuna bağlı olarak değişen çeşitli ark formları	63
Şekil 5.1	Eutalloy Superjet toz püskürtme tabancası	70
Şekil 5.2	Çekme testi numuneleri	73
Şekil 6.1	5.1.1 yöntemi uygulanmış numunenin kırılma yüzeyi fotoğrafları	75
Şekil 6.2	5.1.2 yöntemi uygulanmış numunenin kırılma yüzeyi fotoğrafları	76
Şekil 6.3	5.1.3 yöntemi uygulanmış numunenin kırılma yüzeyi fotoğrafları	76
Şekil 6.4	5.1.4 yöntemi uygulanmış numunenin kırılma yüzeyi fotoğrafları	77
Şekil 6.5	5.1.1 yöntemi uygulanmış yüzeye ait mikroyapı ve spektral analiz sonuçları	78
Şekil 6.6	5.1.2 yöntemi uygulanmış yüzeye ait mikroyapı ve spektral analiz sonuçları	79
Şekil 6.7	5.1.3 yöntemi uygulanmış yüzeye ait mikroyapı ve spektral analiz sonuçları	80
Şekil 6.8	5.1.4 yöntemi uygulanmış yüzeye ait mikroyapı ve spektral analiz sonuçları	81
Şekil 6.9	Ellingham Diyagramı	83
Şekil 6.10	Al-Cu-Ni üçlü denge diyagramı	84
Şekil 6.11	Al-Ni denge diyagramı	85

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Çeşitli metaller için Pilling-Bedworth oranları	16
Tablo 2.2	Çeşitli malzemelerin korozyon özellikleri	18
Tablo 2.3	Cam kalıplarında kullanılan çelikler	22
Tablo 2.4	Cam kalıplarında kullanılan alüminyum bronz malzemeler	28
Tablo 4.1	Çeşitli ısı kaynakları ile ulaşılabilecek maksimum sıcaklıklar	49
Tablo 5.1	Deneysel çalışmalarda kullanılan alaşımlar	69
Tablo 6.1	Çekme testi sonuçları	74

ÖZET

Bu çalışma, sınav kaplar denilen cam şişe ve kavanozların kalıplarında kullanılan ve cam sanayi için geliştirilmiş, alüminyum bronz cam kalıplarında kullanılan sert yüzeyle kaplama yöntemlerinin karakterizasyon çalışmalarını kapsamaktadır.

Camda çalışan kalıplardan beklenen en önemli özellikler; kalıbın cam ile yüksek sıcaklıkta temas anında korozyona karşı direnci ve makina devir hızını arttıracak yüksek ısı iletkenliktir. Bu nedenle alüminyum bronz malzemeler, yüksek ısı iletkenlikleri nedeniyle makina devir hızını önemli ölçüde artırabilen korozyona karşı direnci oldukça yüksek malzemelerdir.

Cam kalıplarında cam ile temas eden ve aşınan yüzeylerin, bu tür etkilere daha dayanıklı malzemeler ile kaplanması (sert yüzeyle kaplama-Hardfacing), en ekonomik yüzey modifikasyonu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Alüminyum bronz malzemelerin cam kalıplarında kullanılmalarına fırsat veren bu üstün özellikleri, sert yüzeyle kaplama prosesini ise olumsuz yönde etkilemektedir.

Deneyisel çalışmalarda, cam sanayine hizmet vermekte olan kuruluşların alüminyum bronz malzemelerde kullanılmak üzere tavsiye ettiği 4 yöntemin karşılaştırmasının yapılabilmesi için, (Deloro 40G ile TIG kaynağı, Colmonoy 234 ile toz püskürtme, 15283-8988 ile toz püskürtme, 309L TIG kaynağı-8985 toz püskürtme) bu yöntemlerle hazırlanan numuneler üzerinde yapışma dirençlerinin karşılaştırılmasında çekme testi, mikroyapı karşılaştırmaları ve yapışma durumlarının karakteriasyonunda tarama elektron mikroskopu ve enerji dağılım spektrometresi kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmalar sonucunda TIG kaynağı uygulanan yöntemlerin alevle toz püskürtme yöntemlerine nazaran çok daha iyi bir yapışma verdiği ve bunun nedeninin ise TIG kaynağında kullanılan yüksek ark sıcaklığı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

SUMMARY

THE HARDFACING PROCESSES OF ALUMINIUM BRONZES USED IN GLASS INDUSTRY AND THE COMPARISON OF THESE PROCESSES

Globalization and the accelerated development of technology, forced glass industry for more economical productions. Consumer demands are critical, that anytime they can be changed during this rapid development.

Speeding up the production rate in glass industry, includes the increase in the machine speed and decrease in non-production time. So the production must be fast and continuous.

Glass bottle and jar producing companies decided to change their materials, they used for moulds, in order to reach high production rates. Aluminium bronzes became popular so the producers interested with these series of alloys. After 1960, specific aluminium bronzes for the glass industry, have been developed.

Moulds for glass, under high temperatures, are always keep in touch with hot glass and therefore corrosion problems. Under this high temperature, the components of glass, which provides its mechanical properties can be abrasive for the mould surface. As any roughness of the mould surface can not be tolerated, these surfaces must be covered by a more resistant material against wear.

Hardfacing is the solution for that problem. Hardfacing the glass moulds, with more

resistant alloys against high temperature attack and wear, like nickel and cobalt base superalloys, is the most convenient way.

Aluminium bronzes gain their corrosion resistance properties by the oxide film forming over the surfaces. Especially the aluminium oxide layer, which is very dense and protective, has a starring role in the corrosion properties of these bronzes. Unfortunately, this oxide layer is a great problem when hardfacing is to be applied.

For hardfacing applications, there are several processes. In fact we can say any material can be applied on any other material. Under this condition the limitation is based upon the application where the hardfaced part will be used.

There are many companies, producing hardfacing materials and equipment. But in the hardfacing industry it is a common practice that, these companies are specialized on certain fields.

The companies, which are specialized on the glass industry's wear problems, are always in close contact with the technical development in this field and always presents new products and processes for the market. In this study, we are trying to find out the most convenient way to hardface aluminium bronzes, based upon the four suggested processes;

- TIG Welding with Deloro 40G rod,
- TIG Welding with 309L rod, followed by Flame Spraying CPM 8985 powder,
- Flame Spraying with 15283, followed by PE 8988 powder,

- Flame Spraying with Colmonoy 234 powder.

As seen above, there are three techniques used in the study;

- TIG Welding,
- Flame Spraying,
- TIG Welding, followed by Flame Spraying.

First of all tensile tests are done with the specimens covered and joined by the four processes. The test results supported that, the specimens covered and joined by TIG welding have very high bonding strengths, when compared with the flame sprayed specimens.

Characterisation with SEM (Scanning Electron Microscope), showed that the flame sprayed coatings have porosities and cracks on the interface, while the TIG welded interfaces show an excellent bonding character.

There, a diffusion zone have seen, formed all over the bonding interface and this zone provided the entire well-bonding characteristics. As seen in the Al-Cu-Ni equilibrium diagram, the composition we have as the aluminium bronzes is in the β zone. In this zone the most probable phase to occur is the NiAl phase and the spectral analysis results supports them. This phase occurs over 1640°C during welding and acts as a transition layer for the coating.

The target temperature, for the formation of NiAl phase is 1640°C and can be reached

by TIG welding, because the arc temperature raised during welding, is about 4000°C.

In the case of using flame spray technique, the flame temperature is about 3000°C, but as this high temperature can not be focussed on the metal to be hardfaced, flame could not rise the temperature on the surface to 1640°C.

In the flame spray technique, there is another way to remove the oxide layer from the surface, and that is using the reducing flame for reducing the aluminium oxide layer on the surface, so that the melted hardfacing metal particles can reach and wet the surface.

It is seen in the oxidation curves that; this reduction (Carbon coming from the acetylene reducing aluminium oxide) can only take place over 2000°C unfortunately. And therefore using a reducing flame will again not solve the problem.

The on-reduced oxide layer shows itself on the micrographs of the flame sprayed interfaces by not-bonded areas and porosities. Any porosity or crack is a great problem (even the tiniest ones), and can not be tolerated because the mould works with thermal cycles, causing thermal stresses and thermal fatigue.

As a result we could say that, hardfacing with flame spraying on aluminium bronzes is very difficult and optimum glass mould properties can not be reached.

TIG welding with nickel base superalloys, is the most probable way to hardface on aluminium bronze glass moulds, but there may be some problems caused by dilution. This dilution comes from the diffusion zone. As the NiAl phase forms on the interface, the aluminium and the nickel content of both the glass mould and the hardfacing

material decreases, causing some loss of excellent properties of both the aluminium bronze and the filler metal. But this problem can be overcome by applying more than one passes, instead of a single pass.



BÖLÜM 1. GİRİŞ

Küreselleşme ve çok hızlı teknoloji değişimleri her sektörü olduğu gibi cam sektörünü de etkilemiştir. Bu hareketlilik cam sektörünü büyük bir rekabet ortamının içine itmiştir. Özellikle plastik endüstrisinin gelişimi, camı kendisinden daha ekonomik olan plastikte rekabete sokmuştur. Büyük meşrubat şirketlerinin artan rekabet ortamı çerçevesinde, tüketici açısından daha ekonomik olan plastik maddelere dönüş yaparak ambalaj maliyetini en aza indirmeye çalışması cam ambalaj diye tanımladığımız, şişe, kavanoz, vb. üretimi yapmakta olan şirketleri, daha ekonomik üretimler yapmaya zorlamıştır. Bu çalışmada, cam şişe ve kavanoz üretimi için kullanılan kalıplar ve kalıp ömrünün ekonomik hale getirilmesi için, yapılan işlemlerin en önemlilerinden biri olan sert yüzeyle kaplama konusu incelenmiştir.

Cam şişe ve kavanozlar IS (Individual Section) denilen makinelerde üretilmektedir. Bu makinelerde kalıplar ve kalıp aksesuarları vasıtasıyla erimiş cam damlasından hareketle, şişe ve kavanoz üretimi yapılmaktadır. Kalıplar ve kalıp aksesuarları aynı mekanizma içinde çalışmalarına rağmen birbirinden çok farklı etkilere maruz kalmaktadır. Bu farklı etkiler sebebiyle, her bir parçanın malzemesinin seçimi ve dizaynı önem kazanmaktadır. Aşınma, korozyon, darbe, sıcaklık gibi malzeme seçiminde önemli etkenler, her parçaya farklı şekilde ve büyüklükte etki etmektedir. Yukarıda anlatılan ekonomik zorunluluklar gereği, kalıp tasarımcıları, bu önemli teknik zorunlulukların yanında, ekonomikliği de tasarımlarında ön plana çıkarmak zorundadırlar. Bu ekonomiklik, gerek malzemenin maliyetini ve gerekse de bu malzeme üzerinde uygulanacak işleme, parlatma, kaplama, ısıtma işlemler gibi proseslerin maliyetini aşağı çekmekle sağlanabilir.

Sanayileşmiş ülkelerde aşınma sebebi ile G.S.M.H.'nın %7'sine eşdeğer bir harcamanın yapıldığı tahmin edilmektedir. Aşınma süreci farklı makine ve teçhizatın çalışması esnasında büyük kayıplara sebep olmaktadır. Bu da makine ve konstrüksiyon tasarımı için son derece önemlidir; çünkü temas eden yüzeylerde sürtünme güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının kötüleşmesine yolaçar. Aşınmaya dayanıklı malzemeler genelde pahalı oldukları için parçanın sadece işleyen yüzeylerini aşınmaya dayanıklı malzeme ile kaplamak daha ekonomiktir[1].

Cam sanayiinde takım çeliği, paslanmaz çelik, sfero dökme demir, gri dökme demir, alaşımlı pik dökme demir ve bronz alaşımları kullanılmaktadır. Bu malzemeler çalışma şartlarına göre seçilmektedir. Bununla birlikte, rekabet şartları sebebiyle her biri üzerinde ve yeni cam kalıbı malzemeleri konusunda çalışmalar yapılmakta ve ilerlemeler kaydedilmektedir.

Bunun sonucunda, cam kalıplarının birleşme yerlerinde ve camla temas eden yüzeylerinde aşınma, korozyon ve sıcaklık etkilerine karşı modifikasyonlar gerçekleştirilmektedir. Bu modifikasyonlar daha pahalı olan alaşımlarla, kritik yüzey ve bölgelerin kaplanması şeklinde yapılmaktadır. Bu durumda gerek taban malzemesi, gerekse de kaplama malzemesi için ayrı ayrı seçimler yapmak ve bu iki ayrı malzemenin uyum şartlarını yaratmak gereklidir.

Kalıp malzemesi olarak daha verimli bir malzemenin kullanılması için yapılan çalışmalar sonucunda dökme demir yerine bakır esaslı malzemelerin kullanılması gündeme gelmiştir. Özellikle alüminyum bronzlarının kalıp malzemesi olarak sıkça kullanılmaya başlanması, çalışmaları bu yöne konsantre etmiştir. İçinde %14-15 oranında Ni içeren alüminyum bronzları günümüzde sıkça kullanılan alaşımlardır. Cam kalıbı malzemesi olarak öne çıkmasının sebebi yüksek ısı iletkenliğidir, ki bu değer artan sıcaklıkla birlikte artış gösterir. Yüksek ısı iletkenlik ise makina devrinin artmasını ve dolayısıyla ekonomikliğin artmasını sağlar.

Alüminyum bronzları birçok pozitif özelliğinin yanında bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Sert yüzeyle kaplanabilirliğinin zor olması sebebiyle kalıp üretimi esnasında problemler çıkarabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı; kalıp malzemesinden istenilen özellikler ve kaplama metotlarının optimizasyonu çerçevesinde alüminyum bronzlarının sert yüzeyle kaplanması için; Chpo Deloro, Eutectic+Castolin ve Wall Colmonoy Corporation gibi kaplama malzemesi üreticisi kuruluşların tavsiye ettiği yöntemlerin mukayesesinin yapılması ve buradan alüminyum bronz malzemelerin sert yüzeyle kaplanmasını etkileyen faktörlerin ortaya konarak karakterizasyonun gerçekleştirilmesidir.

BÖLÜM 2. IS MAKİNELERİ ve KALIPLARI

IS makineleri 1925 yılında ortaya çıkmış olup, şişe ve kavanoz üretiminde dünyanın her tarafında en çok kullanılan makine olmuştur. Bu makineler iki aşamalı olarak çalışmaktadır. Birinci aşamada parison denilen hazırlık formu pres veya üfleme yöntemiyle oluşturulur. Daha sonra cam, kabaşekliyle birlikte makinenin diğer kısmına aktarılır. Burada nihai ürün şekline dönüşeceği kalıba girer. Bu kalıpta üfleme yöntemiyle nihai ürün camın kalıp çeperlerine yapışması şeklinde oluşur. Buradan da anlaşılacağı gibi iki temel üretim yöntemi bulunmaktadır [2].

A) Üfleme-Üfleme Prosesi = Şişe gibi dar ağızlı ürünlerde, parison ve nihai ürün üfleme ile elde edilir.

B) Pres-Üfleme Prosesi = Kavanoz gibi geniş ağızlı ürünlerde kullanılır. Parison, camın mastör ve ebüşör denilen kalıp parçaları arasında sıkıştırılmasıyla, nihai ürün de üfleme ile elde edilir.

2.1. Kalıp Parçaları

Kalıp parçaları 3 ayrı bölümle incelenir. Bunlar; kafa yapıcı kalıp parçaları, hazırlayıcı kalıp parçaları, tamamlayıcı kalıp parçalarıdır[2].

2.1.1. Kafa Yapıcı Kalıp Parçaları

2.1.1.1. Müldebak:

Kafa dış profilinin yapımında kullanılır (Şekil 2.1a).

2.1.1.2. Ring:

Kafa ağız kısmının izsiz olmasını sağlar (Şekil 2.1b).

2.1.1.3. Mandren:

Ağız ölçüsünün istenilen ölçüde üretilmesi için kullanılır (Üfleme-Üfleme)(Şekil 2.1c).

2.1.1.4. Mastör:

Parisonun iç profilinin ve ağız içinin şekillendirilmesinde kullanılır. (Pres-Üfleme) (Şekil 2.1d).

2.1.1.5. Mastör Soğutucu:

Üretimde aşırı ısınan mastörün hava ile soğutulmasını sağlar.(Pres-Üfleme)

2.1.2. Hazırlayıcı Kalıplar**2.1.2.1. Ebüşör:**

Ürünün cam dağılımını yönlendirir ve parisonun gövde bölümünü oluşturur (Şekil 2.1e).

2.1.2.2. Tampon:

Ürünün dip kısmındaki cam dağılımını yönlendiren ve parisonun dip kısmını oluşturan kalıptır (Şekil 2.1f).

2.1.2.3. Huni:

Damlanın ebüşöre girerken merkezlenmesini sağlar.

2.1.3. Tamamlayıcı Kalıplar**2.1.3.1. Finisör:**

Ürün gövdesine son şeklini veren kalıptır (Şekil 2.1g).

2.1.3.2. Müldefon:

Ürünün dip kısmını oluşturan kalıptır (Şekil 2.1h).

2.1.3.3. Suflaj Başlığı:

Parisonun finisör içinde son şeklini alması için üfleme görevi yapar (Şekil 2.1i).

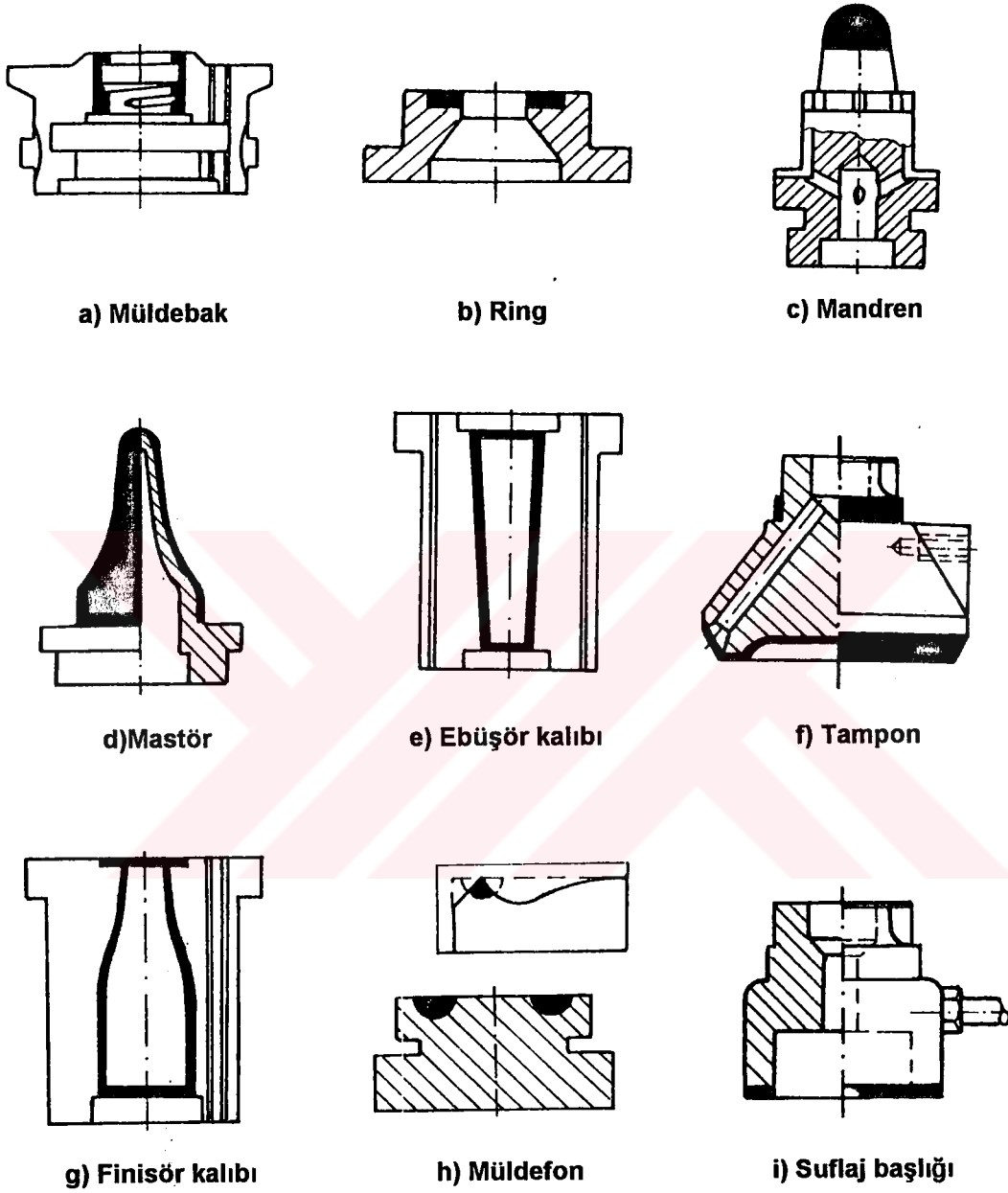
2.1.3.4. Alıcı Maşa:

İşi bitmiş ürünü finisörden alarak, soğutma fırınına götüren taşıyıcı banda binmeden önce beklediği dead plate'e bırakır.

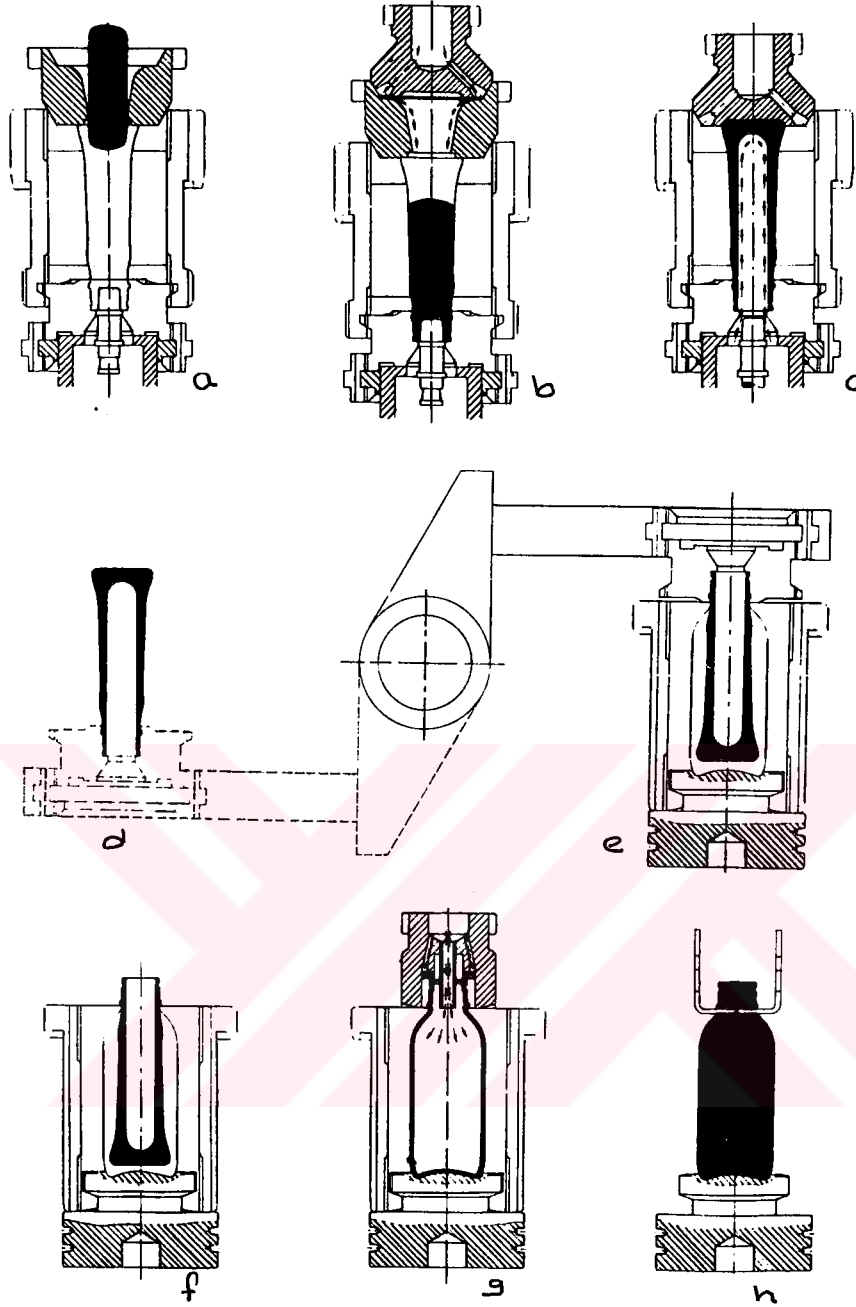
Şekil 2.1'de IS makinelerinde kullanılan kalıp ve kalıp aksesuarları görülmektedir[3].

Şekil 2.2'de adım adım, üfleme-üfleme üretim yöntemi verilmiştir[3].

Şekil 2.3'de adım adım, pres-üfleme üretim yöntemi verilmiştir[3].

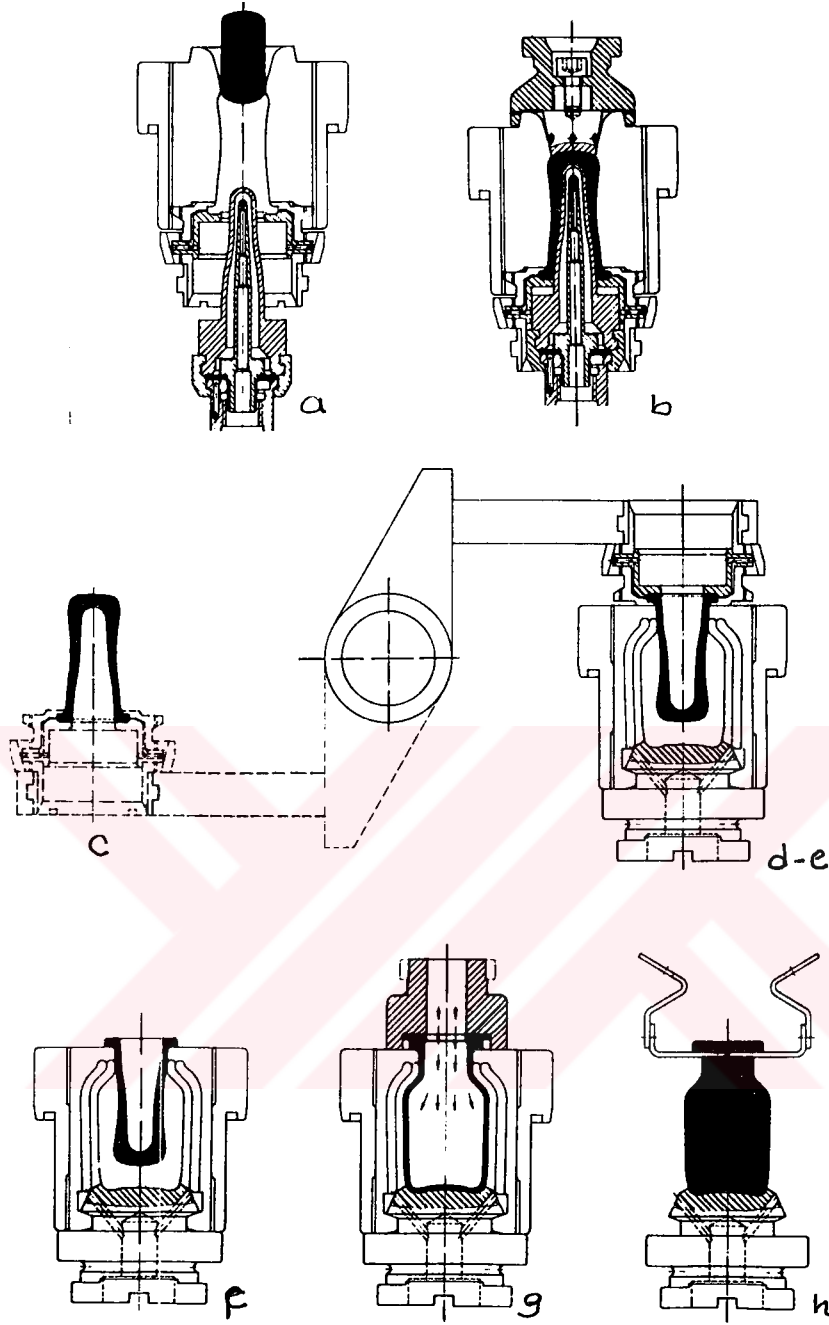


Şekil 2.1- IS kalıp ve aksesuarları



Şekil 2.2-IS'te Üfleme-Üfleme yöntemi

- | | |
|---|---|
| a cam damlasının huninin içinden geçerek ebüşör kalıbına girmesi | e müldebağın kalıptan ayrılması ile kalıbın finisörde kalması |
| b cam damlasının ebüşöre girmesi ve müldebağın içindeki mandren tarafından ağız içi profilinin oluşması | f suflaj başlığının ağız kısmına gelmesi ve 2. Üflemenin yapılması |
| c huninin yerine tamponun geçmesi ve 1. Üfleme ile parisonun oluşması | g üfleme neticesinde camın kalıp çeperlerine yapışarak nihai şeklini alması |
| d mandrenin geri çıkmasıyla birlikte müldebak tarafından tutulan parisonun ters çevrilerek finisör ve müldefondan oluşan tamamlayıcı kalıba bırakılması | h alıcı maşa tarafından şişenin kalıptan çıkarılması |



Şekil 2.3-IS'te Pres-Üfleme yöntemi

- | | |
|---|---|
| a cam damlası ebüşör kalıbının içine düşmesi | e suflaj başlığının ağız kısmına gelmesi ve üflemenin yapılması |
| b müldebağın içindeki mastör tarafından ebüşör içinde presle parisonun oluşturulması | g üfleme neticesinde camın kalıp çeperlerine yapışarak nihai şeklini alması |
| c mastörün geri çekilmesi ve müldebak tarafından tutulan parisonun ters çevrilerek finisör ve müldefondan oluşan tamamlayıcı kalıba bırakılması | h alıcı maşa tarafından şişenin kalıptan çıkarılması |
| d müldebağın kalıptan ayrılması ile kalıbın finisörde kalması | |

Kalıp içine camın girdiği sıcaklık, 750-1100°C arasında değişmektedir. Bu üretilen cam mamülün cinsi ve ebatlarına göre ve de üretim makinesinin üretim hızına göre değişmektedir [2].

Yukarıda da belirtildiği gibi bir cam ambalajın üretimi amacıyla ürün cinsi ve şekline bağlı olarak bir çok çeşitli kalıp ve kalıp aksesuarları kullanılmaktadır. Her bir kalıp ve aksesuar şekillendirme içindeki görevine bağlı olarak çeşitli şekillerde dizayn edilir ve malzemeleri de bu dizayna göre seçilir.

2.2. Cam Kalıplarından İstenen Özellikler

Cam sanayinde, bir kalıbın dizaynında en önemli kriter, daha uzun ömürlü kalıplarla, hacim toleransları içinde, dayanım sınırları dahilinde, olabildiğince hafif, verimli ve hızlı ürünler üretmektir. Bu kriterler içerisinde şüphesiz dizaynın ekonomikliği de yer almaktadır. Tasarım kriterine uygun ve hatta tasarımı yönlendiren, elbetteki çalışma şartlarına dayanıklı malzeme seçimidir. O halde dikkate alınması gerekli husus, bu kalıpların çalışma şartları olmalıdır [4].

Bu gereklilik üzerine kalıpların çalışma esnasında maruz kaldığı şartları şöyle ortaya koymamız daha uygun olacaktır;

Cam kalıp malzemesinin seçiminde göz önünde bulundurulması gerekli 3 temel nokta vardır. Bunlar;

- Üretilen cam mamülün kalite seviyesi
- Şekillendirme makinasının üretim hızı
- Kalıp ömrü'dür [5].

Birinci kriter, yani mamül kalitesi kalıbın parlatılabilme özelliği ve sıcaklık karşısındaki boyutsal kararlılık özellikleri ile yakından ilgilidir.

Kalıp malzemesinin üretim hızı ile ilişkisi de malzemenin ısı iletkenlik özelliği ile belirlenir.

Çatlamaya ve aşınmaya karşı olan direnç ise kalıp ömrünü belirler.

Maliyet artan rekabet koşullarında, önemli bir unsur haline gelmiştir. Bu konudaki belirleyici husus ise üretilen cam mamül başına düşen kalıp maliyetidir.

Bugün bir çok cam imalatçıları ve kullanıcıları tarafından kabul edilen ve yukarıda belirtilen unsurlar doğrultusunda bir cam kalıbının taşınması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- üretilen cam mamül başına düşük maliyet
- bileşimi saf, homojen ve sık bir yapı
- yüksek parlatılabilirlik özelliği ve bu özelliği yüksek sıcaklıklarda koruyabilme
- düşük toleranslarda iyi işlenebilirlik
- mekanik özellikler
- şeklini çarpılma olmadan koruyabilme
- düşük ısı genleşme
- ısıl çatlamalara ve yüzey bozulmalarına karşı direnç
- yüksek ısıl iletkenlik
- oksidasyon (korozyon) direnci
- iyi kaynaklanabilirlik

Sayılan bu özellikleri maksimumda olan bir kalıp malzemesi mükemmel olarak tarif edilebilir; ancak bu özelliklerin bazıları birbiri ile zıtlık gösterdiğinden, sonuçta mutlaka ürüne göre bir optimizasyon söz konusu olmaktadır [5].

2.2.1. İyi İşlenebilirlik:

Bilindiği gibi talaşlı olarak imal edilecek malzemelerde iki tür üretim söz konusudur. Bunlar malzeme ağırlıklı ve işleme ağırlıklı üretimlerdir. Cam kalıplarında istenen ürün formunun sağlanabilmesi için kalıp profillerinde, soğutma kanallarında, çalıştığı makine dolayısı ile ölçü toleranslarında kaplama ve ısıl işlemlerinde büyük bir hassasiyet söz konusudur. Üretim, hassasiyetin getirdiği bu yüksek işçilik giderleri sebebiyle, her ne kadar pahalı malzemeler de kullanılsa, işleme ağırlıklıdır. Dolayısıyla seçilecek malzemenin kolay işlenebilir olması üretime bir ekonomiklik kazandıracaktır.

British Glass Industry Research Association tarafından kalıp malzemeleri hakkında yapılan bir anketin neticesi, talaşlı işlemenin önemi üzerinde hayret edilecek kadar az önemle durulduğunu göstermiştir. Bunun sebebinin, araştırma kurumunun çoğunluk üyelerinin kalıp imalatçıları değil de, kalıp kullanıcıları olması düşünülecek olursa, onların görüş açısından talaşlı işlenebilirliğin bütün dikkati üzerinde toplayacak bir unsur olmayacağı açıktır [6].

İşlenebilirlik evrensel olarak standartlaştırılmış bir özellik değildir. Genel olarak bir iş parçasının ne kadar kolay işlenebileceği ve istenen boyutlara ne kadar hassas toleranslarda getirilebileceğinin göstergesidir. Bunun yanında değişen işleme metodları ve takımların geometrileri işlenebilirliği ortaya konulması güç bir özellik haline getirmiştir.

Kesici uç geometrisi, takım tutucu tipi, kesici takım ve işleme şartları yanında, parçanın metalurjik özelliği, kimyası, mekanik özellikleri, ısı işlemler, alaşımlar, inklüzyonlar ve yüzey katmanı da işlenebilirliğe etki eden faktörlerdir [7].

2.2.1.1. Sertlik :

Genellikle düşük mukavemet ve sertlik değerleri tercih edilir. Bunun istisnaları işleme sonrası oldukça bozuk bir yüzey veren çok sünek malzemelerdir. Sertliğin soğuk çekme ile sağlandığı durumlarda ise en iyi işlenebilirlik sağlanır [7].

2.2.1.2. Süneklik :

Genellikle istenen düşük süneklığe sahip malzemelerdir. Gevrek malzemeler talaş oluşumunu teşvik eder ve kesme işlemi enerji yönünden verimli hale gelmiş olur [7].

2.2.1.3. Isıl İletkenlik :

Yüksek ısı iletkenlik, kesme esnasında oluşan ısının kesme bölgesinden uzaklaşmasını kolaylaştırır, bu da kesmeyi olumsuz yönde etkileyen parametreleri azaltmış olur [7].

2.2.1.4. Deformasyonla Sertleşme :

Metallerin plastik deformasyona uğraması neticesi, mukavemetlerinde farklı artışlar görülür. Mukavemetteki artış deformasyon oranına ve malzemenin deformasyonla sertleşme kabiliyetine bağlıdır. İşlenebilirlik açısından bakıldığında malzemenin bu özelliğinin, yani işleme esnasında sertleşen tabakanın kalınlığının düşük olması, işleme esnasında sürekli olarak artacak gerilmeleri de azaltacağından istenen bir durumdur [7].

2.2.1.5. İnküzyonlar :

Malzeme içerisindeki makro inküzyonlar, genelde sert ve abrasivdir. Bu nedenle işleme esnasında hem takım ucunu köreltirler hem de makinenin darbeli çalışmasına, dolayısıyla da bozuk bir yüzey eldesine sebep olurlar [7].

Bunun yanında mikro inküzyonları etkilerine göre 3 gruba ayırmak mümkündür;

- Al_2O_3 ve Ca gibi sert ve abrasiv alümina ve spineller
- Deforme edilebilirlikleri daha iyi olan demir ve mangan oksitler
- kesme sıcaklığında yumuşayan ve kesme bölgesinde işlemeye avantajlı bir tabaka oluşturan silikatlar.

2.2.1.6. Serbest İşleme İlaveleri :

Malzemeye işlenebilirliği artırıcı yönde alaşım ilaveleri yapılabilir. Bu ilavelerle malzeme yüzeyinde talaş kırılmasına ve kalkmasına uygun bir katman oluşturulur [7].

2.2.1.7. Malzeme Yapısı :

Malzemenin mikroyapısında sert fazların veya çökelti partiküllerinin abrasivliği ve yapıda dağılımı oldukça önemlidir. Matriksin de abrasiv bir yapıda olması işlenebilirliği bozacak bir durumdur. Bu nedenle malzemeye uygulanacak işlemler (ısıl işlem gibi) işleme sonrası yapılmalı, işleme öncesi gerekirse yapıyı yumuşatacak bir tavlama işlemi uygulanmalıdır [7].

2.2.2. İyi Parlatılabilirlik Özelliği :

Parlatılabilirlik kalıplardan istenen en önemli özelliklerden biridir. Bunun iki sebebi vardır. İlk olarak camın estetik bir ürün olması gelir. Dolayısıyla parlak bir kalıptan çıkarılacak mamülün de parlak ve şeffaflığının yüksek olması beklenmektedir. Kalıptaki herhangi bir pürüzün aynı zamanda kalıbın kendisine de zararlı olacak bir özellik mevcuttur. Kalıpta bulunan bu pürüzler ve boşluklar içine ergimiş cam penetre olur ve cam kalıptan çıkarılırken boşlukların içine girmiş olan cam uzantıları kalıp yüzeyini çizerekler. Bu durumda oluşan çizikler ise kalıbı kullanılamaz hale getirir. Malzemenin parlatılabilirliğinden bahsedildiğinde yüzeyinde sık bir dokunun oluşması zorunluluğu vardır [6].

2.2.3. Yüksek Isıl İletkenlik :

Cam kalıbı olarak kullanılan malzemelerin ısı iletkenliğinin yüksek olması, makine devir hızını arttıracığından aranan özelliklerden biridir. Kalıp hızlı ısınıp soğudukça üretim hızlanmaktadır.

Cam damlası yaklaşık 1100°C'de ebüşör kalıbına girer ve alıcı maşalar tarafından finisörden alınana kadar yaklaşık 780°C'a kadar soğutulması gerekir. Bu ısının kontrollü bir şekilde verilebilme imkanı imalatın hızını tayin eder [4].

Metallerin ısı iletkenlikleri sıcaklıkla çok sıkı bir ilişki halindedir. Isı iletkenliğin yüksek olması, cam üreten makinedeki sıcaklık gradyanına bağlı olarak oluşabilecek ısı gerilme oluşumu, dolayısıyla da ısı yorulma tehlikesini azaltacaktır.

Alaşımlar elementleri, malzemenin gerek ısı gerekse de elektrik iletkenliğinin aleyhine rol oynarlar. Bu nedenle diğer özellikleri sağlayan en az alaşım elementi içeren alaşımlar ısı iletkenlik yönünden optimum olanlardır. Malzemelerin ısı iletkenlikleri sıcaklık karşısında iki farklı şekilde davranırlar. Birinci tür malzemelerin ısı iletkenlikleri artan sıcaklık ile birlikte yükselir (alüminyum bronzları). Diğer tür malzemelerin ısı iletkenlikleri ise artan sıcaklıkla birlikte düşer (örneğin Cr-Ni-Mo alaşımlı dökme demir). Cam kalıplarının kullanım esnasında erişeceği sıcaklık düzeyi önceden belirlenecek olursa bu sıcaklık şartlarına göre ısı iletkenliği yüksek malzemeler seçilir.

2.2.4. Düşük Isıl Genleşme :

Bir malzemenin ısınma ve soğuma karşısındaki davranışı malzemenin kimyasal bileşimi ve geçirdiği ön işlemlere bağlıdır. Bu konu oldukça geniş kapsamlı olmasına rağmen genel olarak; ısınma ve soğuma karşısında büyük boyutlarda hacim ve mikroyapı değişikliğine uğrayan malzemelerin cam kalıbı malzemesi olarak kullanılmaları uygun değildir.

Kalıp malzemeleri sürekli ısıl çevrimler içerisinde çalışmaktadır. Bu ısı çevrimleri esnasında kalıp yüzeyi 700°C'a kadar ısınıp tekrar yaklaşık 300°C'ye kadar soğumaktadır. Yüksek ısıl genleşimine sahip malzemelerde bu çevrim esnasında yüksek gerilimler oluşur. Bu zıt yönlü gerilimler malzemenin ısıl yorulma etkisi altında kalmasına da sebep olur.

Düşük ısıl genleşme ve yüksek ısıl iletkenlik malzemelerin ısıl gerilimler karşısındaki mukavemetini arttıracak, dolayısıyla kalıp ömrünü ekonomik kılacaktır.

2.2.5. Korozyon Direnci :

Kalıplar çalışma şartlarında ergimiş cam, gazlar ve soğutma havası ile yüksek sıcaklıkta temas halindedir. Bu şartlar çalışma ortamını oldukça korozif kılar. Bu nedenle yüksek korozyon direnci de kalıp malzemeleri için aranan özelliklerden biridir.

Camın kalıp içerisinde şekillendirilmesi esnasında yapışma problemi önemli bir sorundur. Şekillendirme esnasında cam-kalıp yapışması geniş bir şekilde araştırılmış olup, bu problemin kalıp malzemesi olarak kullanılan metalin oksitlenme direnci ile ilgili olduğu bilinmektedir.

Cam ile temas halinde olan metallerin davranışlarını ortaya koymak için sadece oda sıcaklığı davranışlarını düşünmek, uygulamada oldukça büyük ekonomik kayıplara yol açabilecek cam-metal arası kimyasal reaksiyonları görmemek anlamına gelmektedir.

Bütün metaller oksijen ile reaksiyona girebileceklerinden, pratikteki kullanımları bu reaksiyonun hızı ile belirlenir. Bu reaksiyonun hızı bir yılda korozyona dayalı milimetre olarak metal yüzeyinden kaybolan malzeme kalınlığı olarak belirlenir. Burada korozif ortam, metalin kullanım esnasında içinde bulunacağı ortamdır. Pratik uygulamalarda

malzemenin gram olarak kütle kaybından yola çıkılarak belirli bir sıcaklık için hesaplanır.

Metal yüzeyinde oksidasyon sonucu bir oksit filmi oluşur. Oksidasyon hızı işte bu filmin karakteri ile belirlenir. Adhezyon, filmin sürekliliği, porozite gibi makro özellikler ve filmin yayılımı esastır. Kural olarak oksidasyon, yüzey filminin koruyucu bir kalkan olarak davrandığı esnada oksijenin bu yüzey filminin içinden geçip, yüzeye ulaşp, metale saldırması hızının bir fonksiyonudur.

Yüzey filminin sağladığı korumanın büyüklüğü Pilling-Bedworth kuralı ile şu şekilde verilir [8];

$$\emptyset = \frac{\text{MeO}_x \text{ oksitin molar hacmi}}{\text{Me metalin molar hacmi}} \quad (2.1)$$

Genelde çokça kullanılan metaller için bu $\emptyset$ değerleri bu metallerin ve onların oksitlerinin yoğunluklarından yola çıkılarak, bunlara karşılık gelen atomik ve moleküler kütleleri ile hesaplanmıştır (Tablo 2.1)[8].

Eğer $\emptyset < 1$ ise, metal yüzey oksit tabakası ile tam olarak çevrelenmemiştir. Bundan sonra oksidasyona karşı koruma mevcut değildir ve oksidasyon heterojen olarak daha da hızlı bir şekilde ilerler.

$\emptyset = 1-2$ olan filmler en iyi korumayı verir ancak, daha yüksek $\emptyset$ değerlerine sahip filmler, kırılmaya eğilimlidir ve oksidasyon homojen olmayan bir şekilde ilerler.

Bu olay kompleks ortamlarda çalışan alaşımlar için oldukça karmaşıktır. Yüzey filmi, bu durumda oksitler, silikatlar, spineller, kükürt bileşikler ve diğer bileşikler içerirler.

Film özellikleri ancak belirli yaklaşımlarla ortaya konabilir [8].

Tablo 2.1-Çeşitli metaller için Pilling-Bedworth oranları[8]

Metal	Oksit	Ø oranı	Metal	Oksit	Ø oranı
Na	Na ₂ O	0.55	Mn	MnO	1.79
Mg	MgO	0.81	Fe	Fe ₂ O ₃	2.14
Ca	CaO	0.64		Fe ₃ O ₄	2.10
Ti	TiO ₂	1.7	Co	CoO	1.86
Zr	ZrO ₂	1.5	Ni	NiO	1.65
V	V ₂ O ₅	3.19	Cu	CuO	1.72
Cr	Cr ₂ O ₃	2.07	Al	Al ₂ O ₃	1.28
Mo	MoO ₃	3.3-uçucu	Sn	SnO ₂	1.32
W	WO ₃	3.35	Pb	PbO	1.31

Saf malzemelerin oksidasyonu için geliştirilen denklemlerden elde edilen değerler çalışma ortamları çok karmaşık olduğundan, pratikte elde edilen ölçülmüş değerlerle uyumlu değillerdir. Bu sebeple kullanılabilirlikleri oldukça sınırlıdır.

400°C'nin üzerinde oluşan oksidasyonu en iyi aşağıdaki denklem ifade edebilir [8]:

$$\Delta m = k \tau^n \quad (2.2)$$

Δm = kütle azalması (gr cm⁻²) (oksitlenen metalin oksit derinliği ile orantılı)

k ve n = sabitler (n için en çok rastlanılanı=0.33-1.0)

τ = belirli bir sıcaklıktaki süre

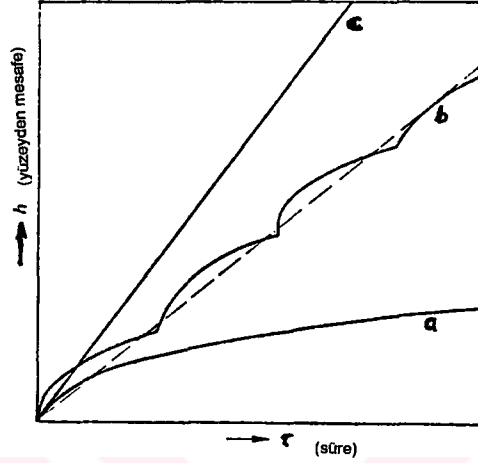
k malzemeye ve sıcaklığa bağlı olarak şu şekilde tanımlanmaktadır [8]:

$$\log k = B - C/T \quad (2.3)$$

T = °K cinsinden sıcaklık

B ve C = malzeme sabitleri

Eğer koruyucu bir film oluşmazsa, oksidasyon lineer olarak ilerler. Uzun süreli ve gerçeğe uygun şartlarda oksidasyon benzer bir lineer özelliğe sahiptir ve eğri paraboller içerir. Bununla birlikte bu parabollerden bir doğru geçirilebilir (Şekil 2.4)[8].



Şekil 2.4- Metaller için oksidasyon eğrileri [8]

a) parabolik b) psedo-lineer c) lineer oksidasyon

Tablo 2.2'de çeşitli çalışmalar sonucu elde edilmiş olan kalıp malzemelerinin havadaki korozyon davranışları verilmiştir. Tablodaki değerler 50 saat ısıtma sonucunda kütle kaybı olarak verilmiştir [8].

Bu tablodan da görülmektedir ki **alüminyum bronz malzemeler** diğer malzemelere kıyasla sıcaklık altında korozyona en dayanıklı malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

2.2.6. Mekanik Özellikler :

Kalıp malzemeleri çalıştıkları ortamlarda her ne kadar yüksek mekanik zorlamalarla karşılaşsa da, ısı etkileri sebebiyle oluşan gerilmelere maruz kalırlar. Bu gerilmeler sonucu malzemede, ısı yorulmaya bağlı çatlaklar ve yine ısı etkileri sebebiyle oluşacak sürünme deformasyonları görülmektedir.

Bu etkileri ortadan kaldırabilmek için malzeme yapısının yüksek sıcaklıklara dayanıklı

Tablo 2.2- Çeşitli malzemelerin korozyon özellikleri [8]

MALZEME	verilen sıcaklıklarda 50 saat sonrası (gr m ⁻²) cinsinden kütle kaybı						
	415	505	604	702	804	897	991
ince grafitli ferritik dökme demir	1.6	6.4	23	99	390		
kaba grafitli ferritik dökme demir	4.4	8.6	87	200	540		
ince grafitli perlitik dökme demir	2.9	6.3	37	145	540		
kaba grafitli perlitik dökme demir	2.1	8.8	58	265	600		
% 0.5 Cr ile alaşımlandırılmış dökme demir	2.8	9.2	40	125	600		
% 0.5 Cr, %1.1 Ni ile alaşımlandırılmış dökme demir	2.3	12.5	62	175	550		
% 0.8 Cr, %1.6 Ni, %0.3 Mo ile alaşımlandırılmış dökme demir	2.6	9.2	64	195	370		
sfero dökme demir	3.7	12.5	55	220	300		
karbon çeliği		24	46	215	620		
Cr 13 çeliği				1.2	2.6	800	
Cr 17 çeliği				0.7	1.4	9	520
Cr 25 çeliği					2.6	7	13
Cr 18 Ni 10 çeliği					1,6	6	560
Cr 23 Ni 19					1.1	5	10
saf nikel				3.4	8.8	27	66
alüminyum bronz				0.9	2.6	9	

ve içyapının bu sıcaklıklarda kararlı olması gerekmektedir. Bu sebeple cam kalıbı malzemelerine özel ilaveler yapılmaktadır.

Kalıplar, kullanım şartlarında yüksek mekanik zorlamalarla karşılaşmasa da belirli bir sertlik değerine sahip olmalıdırlar. Bu sertlik değeri kalıp veya aksesuarın cam şekillendirmedeki görevine ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Şişe ve kavanoz olarak isimlendirilen sınav kapları, içerdikleri hacime göre sınıflandırılırlar. Bu sebeple kalıbın üreteceği mamülün belirli hacim değerlerini aşmaması, dolayısıyla hacim toleransları içerisinde kalması gereklidir. Bu durumun getirdiği diğer gereklilikler ise malzemenin tokluğu ve aşınma direncidir.

2.2.7. Üretilen Cam Mamül Başına Düşük Maliyet :

Daha önce de belirtildiği gibi cam üretimi ekonomikliği sağlamak amacıyla çeşitli eğilimler içerisinde. Bu amaçla elle imalattan, üretimi oldukça hızlandırıp kaliteyi sürekli belirli seviyelerde tutabilen otomatik makineler kullanılmaya başlanmıştır. Bu makineler çok hızlı üretim yapma kapasiteleri olması sebebiyle duruş maliyetleri de oldukça yüksektir.

Kalıplar ise imalat makinesinin üretim verimliliğini etkileyen önemli parametrelerdir. Kalıptan ve dolayısıyla kalıp malzemesinden istenilen, makinenin hızını en yüksek seviyede kullanabilmesini sağlamasıdır.

Bu bölümde maliyetten kasıt kalıp malzemesinin birim fiyatı değil, ürettiği cam mamül başına maliyetidir [5].

2.2.8. Kaynaklanabilirlik :

Cam kalıpların cam ile temas halinde çalışan ve birbiri ile arayüzey oluşturduğu yerlerde aşınmaya ve oksidasyona uğrarlar. İmalatta duruşsuz ve bakımsız üretim süresini arttırabilmek için önceden belirlenen bu yüzeyler aşınmaya ana metalden daha dayanıklı ve aynı zamanda maliyeti de oldukça yüksek olan alaşımlarla kaplanırlar. Bu kaplama işlemi daha çok kaynak yöntemleri ile olmaktadır. Aynı zamanda, kullanım esnasında aşınmış yüzeyler de tekrar kaynak veya ısıl püskürtme teknikleri ile kaplanır. Bu nedenle malzemenin kaynaklanabilirliği önem kazanmaktadır.

Kullanım şartlarına dayanım için aşınmaya dayanıklı malzeme seçimi esastır, bunun yanında kaynaklanabilirlik daha az öneme sahip bir seçim kriteridir.

Yukarıda sayılan malzeme özellikleri en iyi cam kalıbı malzemesi için gerekli özelliklerdir. Bu özelliklerin hepsini tam olarak sağlayacak malzemelerin mükemmel kalıp malzemesi olabileceği düşünülürse de, aslında bu başlıklardan bazıları birbirleri ile çelişki halindedir. Önemli olan bu özellikleri en iyi şekilde sağlayan kalıp malzemesini bulmak değil, kullanım şartlarına göre bu özelliklerin optimize edildiği malzemeleri bulmak veya malzemeleri bu şartlara getirmektir.

2.3. Cam Kalıp Malzemeleri

Cam sanayinin tarihte gelişimi oldukça eskilere uzanmaktadır. Bu gelişme süreci içerisinde, cam üretimi konvansiyonel yöntemlerden, otomatik kontrollü imalat yapabilen hızlı makinelere kaymıştır. Bu ise cam dışında da gelişmekte olan ve cam ile rekabet edebilecek sanayi kollarının gelişmesi sonucu oluşan baskılar nedeniyledir.

O günlere kadar insanların kişisel becerilerine dayalı olarak uygulanan üretim yöntemleri yerlerini, ekonomikiği, kaliteyi ve tekrarlanabilirliği sağlaması açısından otomatik makinalara bırakmıştır. Dolayısıyla cam sanayi içine mekanik bilimi girmiş olup, buna göre yeni dizaynlar geliştirilmiştir. Bir çok farklı malzemeler günün koşullarına göre bu dizaynlar içerisine dahil olmuştur.

Cam sanayi için ekonomiklikten bahsedildiğinde bu, cam makinasının üretim hızını arttıracak dizaynla, camın özelliklerinin geliştirilmesi ile veya cam oluşturucu kalıplarla sağlanabilmektedir.

Cam kalıpları, cam üretiminin en hassas bileşeni, bir başka deyişle; üzerinde etkili bir çok parametrelerin bulunduğu aşamasıdır. Cam kalıplarının dizaynı ile gerek makine üretim hızının artırılması, gerekse de kaliteli cam üretimi arasında sıkı bir ilişki vardır. Kalıplar ortaya konmuş genel parametrelere göre üretilebilir. Kalıp dizaynında ise en önemli nokta malzeme olmaktadır.

Cam kalıp malzemesi olarak dünyanın bir çok yerinde farklı malzemeler kullanılmaktadır. Bu farklılık, kalıp veya aksesuarın üretim içindeki görevine bağlı olmakla birlikte, aynı zamanda farklı ülke ve firmalardaki farklı teknolojilere göre değişmektedir. Genel olarak cam kalıplarında paslanmaz çelikler ve takım çelikleri, nikel ve kobalt esaslı yüksek sürünme ve aşınma direncine sahip alaşımlar, sfero ve alaşımlı pik dökme demirler, alüminyum bronzları kullanılırlar.

2.3.1. Çelik Malzemeler :

Camın şekillendirme makinesinden sıfır hata ile çıkabilmesi, kalıp ve aksesuarlarının mükemmel şekilde uyumu ve yine o derece mükemmel bir kalıp yüzeyi gerektirir. Yüzey pürüzlülüğünün gerekli olduğu yerlerde çelikler kullanılmaktadır. Çelik malzemeler

içerisinde ise paslanmaz çelikler sınıfına giren malzemeler daha iyi yüzey özellikleri , oksitlenme direnci dolayısıyla daha uzun ömürlü olmaları gibi nedenlerle özellikle züccaciye cam ürünlerinde kalıp malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin iki önemli dezavantajı ise yüksek fiyat ve düşük ısı iletkenlikleridir [5].

Camın kalıp içerisinde şekillendirilmesi esnasında yapışması önemli bir sorundur. Şekillendirme sırasında cam-kalıp yapışması ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu problemin kalıp malzemesi olarak kullanılan metalin oksitlenme direnci ile doğrudan ilgili olduğu bilinmektedir.

Kalıp ile metal arasındaki etkileşim, metal kalıp yüzeyinin yüksek sıcaklıkta oksitlenmesi ile başlar. Metal yüzeyinde oluşan oksit, camdaki oksitlerle etkileşime girerek yapışmayı meydana getirir. Fe-Ni-Cr sisteminde yer alan birçok ısı dirençli malzemelerin oksitlenme direnci, yüzeylerinde film şeklinde oluşan Cr_2O_3 tabakasının kalınlığına bağlıdır. Bu tabakanın kararlı bir yapıda olabilmesi için ise bileşimindeki %Cr miktarının belirli bir seviyenin üzerinde olması (genellikle %10) gereklidir. Cam sanayinde en çok kullanılan paslanmaz çelikler; AISI 431, AISI 420 ve AISI 304'tür[5].

Cam sanayinde çokça kullanılan bir başka malzeme grubu ise takım çelikleridir. Soğuk iş takım çelikleri grubundan DIN numarası 1.2601, 1.2101 ve 1.2080 olan çelikler özellikle pres mastörlerinde kullanılmaktadır. Sıcak iş takım çelikleri ise pres kalıplarında kullanılmaktadır.

Yeni bir teknoloji sayılabilecek pres kalıplarının soğuk şekillendirme presi ile şekillendirilmesi ise yüksek hız takım çelikleri grubundan DIN numarası 1.3343 olan zımbalar ile gerçekleştirilmektedir. Tablo 2.3'te adı geçen çelik malzemelerin çeşitli özellikleri görülmektedir.

Tablo 2.3- Cam kalıplarında kullanılan çelikler.

MALZEME	AISI	W. Nr.	Isıl İletkenlik W/(m°K)	Isıl Genleşme 500°C'de 10 ⁻⁶ K ⁻¹	Bileşim (%Ağ.)
Martensitik paslanmaz	431	1.4057	25	11	0.17C, 16Cr, 1.8Ni
Martensitik paslanmaz	420	1.4021	30	12	0.43C, 13.5Cr
Östenitik Paslanmaz	304	1.4301	15	18	0.05C, 18.5Cr, 9.5Ni
Takım çeliği spğuk iş	D2	1.2601	20	12	1.6C, 11.5Cr, 0.6Mo, 0.3V, 0.5W
Takım çeliği soğuk iş	-	1.2101	30	13	0.6C, 0.5Cr
Takım çeliği soğuk iş	D3	1.2080	20	12	2C, 11.5Cr
Takım çeliği sıcak iş	H13	1.2344	25	12.9	0.4C, 5.2Cr, 1.4Mo, 0.95V
Takım çeliği sıcak iş	H10	1.2365	30	13.2	0.3C, 3Cr, 2.8Mo, 0.5V
Takım çeliği yüksek hız	M2	1.3343	19	12.7	0.9C, 4.1Cr, 5Mo, 1.8V, 6.4W

2.3.2. Dökme Demir Malzemeler:

Cam kalıplarında genellikle malzeme maliyetini en aza indirebilmek için kullanılırlar. İşlenebilirlikleri ise diğer cam kalıp malzemelerine göre daha kolaydır.

Dünyada çok çeşitli dizaynlarda farklı yapıda dökme demirler kullanılabilmektedir.

Sfero dökme demirler, mastör ve mandren gibi parçalarda kullanılmaktadır. Oksitlenme dirençleri, ısı şok dirençleri ve mekanik özellikler açısından, gri dökme demirlere göre daha iyi özellikler gösterirler. En önemli dezavantajları ise gri dökme demire göre %20 daha düşük olan ısı iletkenlikleridir. Bu yüzden ısı iletkenliğin önemli olduğu kalıp parçalarında bu özelliği dikkate almak gereklidir.

Cam kalıp malzemesi olarak kullanılan gri dökme demirlerde dikkat edilmesi gerekli en önemli noktalar grafit dağılımı ve büyüklüğü ile ana yapıdır. Cam kalıplarında hızlı soğumaya müteakip oluşan D-tipi grafit, kalıbın geç soğuyan dış bölgelerinde ise daha yavaş soğumadan kaynaklanan A-tipi grafitlerin oluşumu istenir [9].

Buna göre kalıplarda, cam ile temas eden yüzeyde D-tipi bir grafit dağılımı bulunması gerekir. Aşırı soğumuş olarak ta tanımlanan bu grafit dağılımı, iyi bir yüzey düzgünlüğünü elde etmek ve oksitlenme direncini arttırmak için gereklidir.

Dökme demir cam kalıplarında ana yapının ferritik olması istenir. Bu ise, iyi bir ısı iletkenlik, işleme kolaylığı ve yüksek sıcaklıktaki boyutsal değişimler açısından önemlidir.

Bazı uygulamalarda, çeşitli alaşım elementleriyle (Cr, Ni, Ti, Mo, V gibi) dökme demirlere birtakım mekanik ve fiziksel özellikler kazandırılabilir; ancak malzemeye bu özellikler kazandırılırken, kullanım yerine uygunluğunun doğru bir biçimde saptanması gereklidir [10].

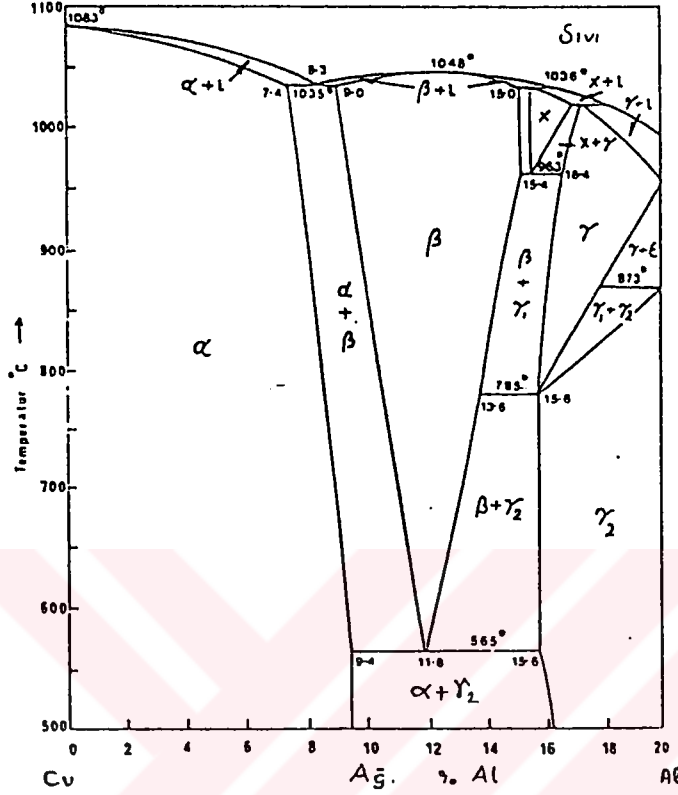
2.3.3. Bakır Alüminyum Alaşımları (Alüminyum Bronzları) :

Alüminyum bronzu olarak bilinen bakır-Alüminyum alaşımları yaklaşık %15 Al'a kadar değişik bileşimlerde olabilir. Şekil 2.5'te Cu-Al denge diyagramı verilmiştir [11].

Diyagramdan görüldüğü gibi, (α) katı eriyiğinin çözünürlük sınırı 1035°C'de %7.4 alüminyum ve 565°C'de %9.4 alüminyumdur. 1035°C'de %9 alüminyum (β) fazının hakim olduğu noktanın başlangıcı, 565°C ve %11.8 alüminyum bileşimi ise ötektoid dönüşüm noktasıdır. Bakır ve alüminyumun oluşturduğu bu denge diyagramına göre endüstriyel uygulamalarda ticari alüminyum bronzları, içerdikleri alüminyum miktarlarına bağlı olarak iki gruba ayrılarak sınıflandırılmaktadırlar.

Birinci grup alüminyum bronzları yaklaşık %4 ile %9 miktarlarında alüminyum içerirler. Şekil 2.5'teki denge diyagramından da görülebileceği gibi (α) katı eriyiğinden oluşmuş homojen bir yapıya sahip olan bu alaşımlar oldukça sünek ve yumuşaktırlar, mukavemetlerini arttırmak için ısıtım işlem uygulanmaz. Nikel, demir veya mangan ilavesi

ile mekanik özellikler iyileştirilir. İkinci grup alüminyum bronzlarına nazaran daha iyi korozyon dirençleri vardır.



Şekil 2.5- Cu-Al Denge Diyagramı [11]

İkinci grup alüminyum bronzları %9 ile %14 civarında alüminyum içerirler ve iki fazlı bir yapıya sahiptirler. α ve β fazları içeren bu alaşımlarda ilk oluşan faz β 'dir.

Sıcaklığın düşmesi ile (β) fazının ara bölgelerinde ötektik reaksiyon sonucu (α) fazı oluşur. 565°C'de ötektoid dönüşümü ile sert, kırılkan ve mikro yapıda küçük tanecikler halinde dağılmış (γ) fazı çöker. Hızlı soğuma bu olayı bastırabilir ve mikroyapı yalnızca (α) ve (β) fazlarından ibaret şekillenebilir. Her zaman soğuma hızı kontrol edilemediği için (γ) fazının oluşumu engellenemez. Bu nedenle alaşıma Ni ve Fe ilave edilerek ötektoid sıcaklığı düşürülür ve normal soğuma hızlarında bu faz görülmez. Diğer bir yöntem ise ısıtma işlemi ile (γ) fazını gidermektir. 565°C ve %11.8 alüminyumda mevcut ötektoid dönüşüm, bu grup alaşımlara çeliklere benzer usulde ısıtma işlemi yapılabilme imkanını verir ve iyi bir mukavemet, sertlik ile sünekliğin en iyi kombinasyonu elde

edilebilir. Örneğin 800°C'de alaşıma su verilir ise, martensitik tipte bir mikroyapı oluşur. Martensitik yapı ikizlenmiş (β) ve çok ince iğneler şeklindeki (α) fazından ibarettir. Bu yapıdaki malzeme çelikler gibi temperlenebilir.

Gerçekte bu ikinci grup iki alt gruba ayrılarak düşünülmektedir. Birinci alt grup yaklaşık %9'dan %11 alüminyuma kadardır. Bileşim itibariyle oluşabilecek (α) ve (β) fazlarının oranı, alüminyum miktarı ve soğuma hızına bağlıdır. Bununla beraber 565°C'nin altında yavaş soğuma ile ötektoid yapı ve veya (β) fazı dönüşerek ($\alpha + \gamma_2$) fazları meydana gelir. %11'den fazla alüminyum içeren ikinci alt grup alaşımlar büyük oranda (β) ve ($\beta + \gamma_2$) fazlarından oluşmuş yapı gösterir. Bunlar özel amaç için üretilen döküm alaşımlarıdır.

Bakır alüminyum denge diyagramında alüminyum bronzlarının mikroyapılarında bulunabilecek fazların (α), (β), (γ_2) ve bunların ikili yapılarının olabileceği görülmektedir. Bu fazlar ve ikili yapılar aşağıda incelenmiştir.

(α) fazı : Maksimum %9 Al içerebilmesine rağmen, %7.5 Al içeren bileşimlerde bu faz solidüsün altındaki bütün sıcaklıklarda kararlıdır. %9-9.4 bileşim aralığındaki alaşımlar katılaşıırken, önce (β) fazı oluşur. 1035°C ötektik yatayı altında ($\alpha + \beta$) ötektik fazı teşekkül eder ve bu ($\alpha + \beta$) bölgesinden çıkıldığında katı fazda (α) dönüşümü oluşur.

(β) fazı : %7.4-11.8 Al bileşim aralığındaki alaşımların mikroyapısı, ısı işlem ve su verme sonucu tek faz halinde elde edilebilir. Ayrıca %11.8'den yüksek oranlarda alüminyum içeren alaşımlarda 565°C altında ötektoid reaksiyon ile ($\alpha + \gamma_2$) yapısına dönüşebileceğinden, yüksek soğuma hızları ile bu reaksiyon gelişmeden martensitik (β) fazı oluşturulabilir.

(γ_2) fazı : Tek faz olarak, %16'dan fazla alüminyum içeren alaşımlarda görülebilir, ancak alüminyum bronzları maksimum %15'e kadar alüminyum içerdiklerinden, (γ_2) fazının tek faz halinde ticari alaşımlarda bulunması söz konusu değildir [11].

Ticari alaşımlarda (α) veya (β) fazları ile birlikte ikili yapılar bulunur.

($\alpha + \beta$) fazı : %7.4-11.8 Al içeren alaşımların yüksek sıcaklıkta su verilmesi ve tekrar

565°C üzerine ısıtılması ile martensitik (β) fazından (α) fazının çökmesi sonucu elde edilir.

($\alpha + \gamma_2$) fazı : %11.8'den fazla alüminyum içeren alaşımlar katılaştırken önce (β) fazı oluşur ve katılama süresince 565°C'ta ötektoid dönüşüm sonucu ($\beta \rightarrow \alpha + \gamma_2$) fazları oluşur.

Genel olarak Cu-Al denge diyagramı incelenecek olursa, ticari alaşımların bazı özellikleri buradan çıkarılabilir.

- 1- Alüminyum bronzları yüksek ergime sıcaklığına sahiptir (Yaklaşık 1030°C).
- 2- Dar katılama aralığı vardır (liküdüs-solidüs arası yaklaşık 11°C).
- 3- Sıcaklığın artması ile (α) ve ($\alpha + \beta$) fazlarının çözünürlük sınırları değişir.
- 4- 565°C ve %11.8 Al'da meydana gelen ötektoid dönüşüm, ısıl işlemle sertleşebilme karakteristiğini vurgular [11].

2.3.3.1. Alaşım Elementlerinin Etkileri

Kurşun: Alaşıma mükemmel işlenebilirlik kabiliyeti kazandırır. Bununla birlikte kaplamanın sıcak çatlamaya karşı direncini düşürür. Alaşımda %0.05'in üstünde miktarlarda bulunduğu zaman çatlak oluşumunu teşvik eder [11-13].

Kobalt: İlavesi ile alüminyum bronzlarının akma ve çekme mukavemetlerindeki artış çözeltiye geçen kobalt miktarı ile orantılıdır, çünkü bu artış çökme sertleşmesi sonucu ortaya çıkmaktadır [11-13].

Silisyum: Alüminyum bronzları için zararlı bir element olmasına rağmen uygun alüminyum miktarları ile yüksek akıcılığa ve oldukça iyi mekanik özelliklere sahip döküm alaşımları geliştirmek mümkündür. Silisyum ilavesinde dikkat edilmesi gerekli önemli noktalardan biri de oksit filmi oluşturmasıdır. Bunun belirli oranlarda alaşıma zararlı etkisi vardır [11-13].

Manganez: %1'e kadar Mn ilavesi alaşımın korozyon direncini ve mukavemetini artırır. Aynı zamanda deoksidasyon amacıyla yaklaşık %2 oranında kullanılır [11-13].

Demir: Alüminyum bronzlarında %3 oranında katı fazda çözünür. Bunun üzerindeki ilavelerde ikinci faz şeklinde şekillenir. Diğer bir özelliği ise tane küçültücü etkisi ile çekme mukavemetini arttırmasıdır. Belirli oranlarda demir ilavesi, çil uygulamasının yerini alabilir, böylece çil uygulamasından gelen ve homojen olmayan tane boyutu dağılımının önüne geçilmiş olunur [11-13].

Nikel: Alaşımın korozyona karşı direncini kontrol altına alır. Bunu ise alüminyumun sıcaklığa maruz kaldığında veya yavaş soğumada katı çözültiden çökmesini önleyecek şekilde yapıyı kararlı hale getirerek sağlar [11-13].

Alüminyum: Alaşımın sertliği, mukavemeti ve korozyon direncini belirleyen en önemli elementtir. %7'nin altında Al içeren alaşımlar oldukça yumuşaktırlar ve kalıp malzemesi olarak kullanılmaya uygun değildir. %12'nin üzerinde işlenebilirliği oldukça zor çok gevrek yapılar oluştururlar [11-13].

2.3.3.2. Cam Kalıbı Olarak Alüminyum Bronzları

Tarihsel gelişme sürecinde kullanım şartlarına göre değerlendirilen bir kaç pirinç alaşımı içerisinde, alüminyum bronzları 1930-40'lı yıllardan beri en çok kullanılan alaşımlar olarak göze çarpar. Bu alaşımlardaki Al yüzdesi 8-11 arasındadır. Diğer alaşım elementleri, nikel, demir, mangan, çinko, kobalt veya hatta berilyum ve magnezyumdur [8].

Alüminyum bronzlarının kullanımının ana amacı, artan sıcaklıkla birlikte yükselen, yüksek ısı iletkenlikleridir. Bu özellikleri sayesinde makine verimini %10-15 arttırdığı belirlenmiştir. Diğer avantaj yaratan özellikleri ise çok iyi korozyon direnci, mekanik özellikleri ve yorulma ve sürünme dirençlerinden oluşur. Bu özelliklerinin yanında sınırlayıcı özellikleri ise pahalı alaşımlar olmalarıdır [14].

Tablo 2.4'te cam kalıplarında kullanılabilecek çeşitli alüminyum bronz alaşımlar verilmiştir. Bu malzemeler aşınmaya ve oyuklanma korozyonuna iyi direnç göstermeleri ile birlikte, işlenebilirlikleri de diğer alüminyum bronzlarına nazaran daha iyidir.

Tablo 2.4- Cam sanayinde kullanılan alüminyum bronzları

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm³)	Sertlik (HB)	Isıl iletkenlik (W/m²K)	Lineer Isıl Genleşme Katsayısı (10⁻⁶ K⁻¹)	Mukavemet (MPa)	Kimyasal Bileşim %Ağ
Minox	7.47	190-220	54.4	16	650	10Al, 14Ni, 10Zn
Incramet 800	8	208-228	45	16-18	627-671	10Al, 15Ni, 1Fe, 2Co
Eballoy 690	-	210	62.4	17	689	11Al, 4 Ni, 4Fe
Eballoy 700	-	190	64.1	16	586	10Al, 4Ni, 1Fe, 9Zn
Veralloy 92	7.5	195	74.9	16.2	637	10Al, 4 Ni, 5Fe, 1.5Mn

Alüminyum bronzlarının korozyona karşı iyi dirençleri, yüzeylerinde oluşan gözeneksiz oksit tabakasından kaynaklanmaktadır (alüminyum ve bakır oksitler). Bu oksitler ana metale oldukça iyi yapışma gösterirler ve yüzeyin korozif reaksiyona girmesini yavaşlatırlar. Bu direnç artan alüminyum miktarı ile artar ve Al içeriği %8'e ulaştığında bir maksimuma ulaşır. Pirinçlerdeki çinkosuzlaşmaya benzer olarak, alüminyumsuzlaşma olayı seçici korozyona sebep olabilir. Bu olay heterojen yapıli bronzlarda destek görür. Oluşan korozyon mekanizması malzemenin yüzeyinden iç kısımlarına doğru ilerler. Alüminyumsuzlaşma γ_2 fazının varlığı ile oluşur. Bu da β fazının yavaş soğuma sırasında dönüşmesi ile veya 300-600°C'ye ısıtma ile oluşur. Çok küçük oranlarda ilave metaller bile (min.%1.5 Ni, min.%1.5Fe ve Mn), β fazını kararlı hale getirir [8].

Alüminyum bronzları 800°C'ye kadar ulaşabilen servis sıcaklıklarına sahiptirler. Yüzeydeki oksitler bu sıcaklığa kadar taban metale sıkı sıkıya yapışmış haldedirler.

Ana ilavelere bağıli olarak, cam kalıplarında kullanılan alüminyum bronzları 3 grup halinde toplanabilir:

- i) %4 Ni, %4 Fe içeren bronzlar,
- ii) %17 Ni, %8Zn içeren bronzlar,
- iii) % 16 Ni, %2 Co içeren bronzlar.

Birinci grup ekonomik açıdan en uygun ve en çok rastlanılan gruptur. % 10 Al, %5 Ni, %2.5 Fe içeren alüminyum bronzunun çekme mukavemeti 735 Mpa ve sertliği 170-220HB arasındadır. Bu tip malzeme cam kalıbı olarak kullanılmaya uygundur, ancak yüzey çatlaklarına sebebiyet verebilecek yapısal dönüşümlere dikkat etmek gereklidir.

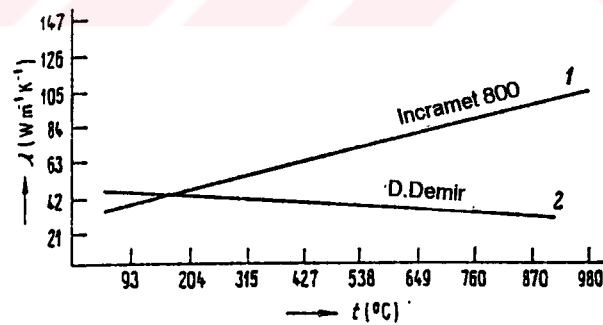
İkinci grup alaşımlar, içerdikleri çinko sebebiyle diğer gruplardan farklılık gösterirler. Kobalt içeren pahalı bronzlar, günümüzde yerini çinko içeren alüminyum bronzlarına terk etmektedir. Bu bronzlar kalıp ömrü, ekonomikliğı ve dolayısıyla cam kalıbına uygunluğu açısından çeşitli farklılıklarla bulunabilmektedir. Ticari adı Eballoy, ABX ve minox olan çeşitli alaşımlar cam sanayii içinde özellikle müldebak ve müldefonlarda çok sık kullanılmaktadır. Isı transferinin dökme demirin iki misli olması yanında, yağlama ihtiyacı göstermeyen performansı, kalıp çalışma sıcaklığı olan 500°C'de dahi oldukça

yüksektir. Oyuklanma korozyonuna olan hassasiyeti ise bronzun kaba yapısına ve kükürtlü yağlama maddelerinin davranışına bağlıdır [8].

Ülkemizin ve dünyanın sayılı cam üreticilerinden biri olan ŞİŞECAM, sınai kaplar üretiminde kalıp malzemesi olarak bu tipteki alaşımları kullanmaktadır.

Üçüncü grubun en bilinen temsilcisi, ticari adı Incramet 800 olan alaşımdır. Bu tip alaşımların ayırıcı özelliği ise sahip oldukları kobalt içeriğidir. Kobalt alaşıma yüksek sıcaklıkta kararlılık ve yapısal özelliklerini koruyabilmesi amacıyla ilave edilir. Çinkonun alaşım kompozisyonu dışında tutulmasının sebebi ise oyuklanma korozyonunun önüne geçilebilmesidir. Kurşun ve kalay statik-mekanik özellikleri bozmaları ve buna bağlı ısı yorulma ve çatlak oluşumunu hızlandırmaları sebebiyle belirli limitler altında tutulmuşlardır.

Bu alaşımın fiziksel özellikler açısından en belirgin avantajı, yüksek ısı iletkenliği ve bu iletkenliğin artan çalışma sıcaklıklarında artmasıdır. %3.19C, %1.57Si, ve %0.9Mn içeren bir dökme demirle Incramet 800'ün ısı iletkenliklerinin artan sıcaklıkla birlikte karşılaştırılması aşağıda Şekil 2.6'da verilmiştir [8].

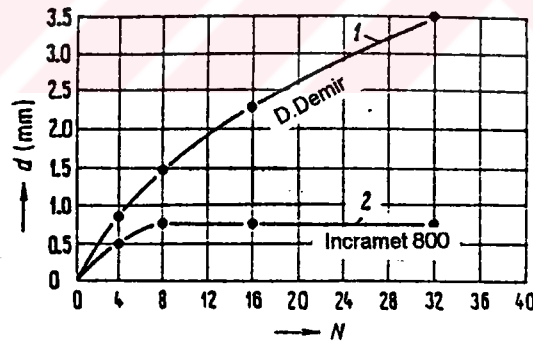


Şekil 2.6- Incramet 800 ile dökme demir malzemenin ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi [8]

Bu şekilden de anlaşılabileceği gibi, 540°C'de Incramet 800'ün ısı iletkenliği dökme demirden yaklaşık %70 daha iyidir. Oldukça yüksek olan bu yüksek ısı iletkenliği herhangi diğer bir kalıp malzemesine kıyasla kalıp performansını oldukça büyük oranda yükseltecektir.

Cam kalıplarında kullanılan alüminyum bronzlarının bir başka temel özelliği yüksek ısı yorulma dirençleridir. Incramet 800 alaşımı sürekli ısıtılıp soğutulduğu, çalışma şartlarının simüle edildiği bir çevrime tabi tutulmuş ve yorulma davranışı gözlemlenmiştir. Yukarıda verilen bileşime sahip dökme demir malzeme 64 çevrim sonucunda hasara uğrarken, Incramet 800 1540 çevrim sonunda hiç bir hasar görmemiştir [8].

Cam kalıplarında kullanılan alüminyum bronzlarının oksidasyon ve tufal oluşturmaya karşı dirençleri ise oldukça yüksek olmakla birlikte, nikel-krom alaşımlarından ve östenitik krom-nikel çeliklerinden düşüktür. Şekil 2.7'de daha önce verilen bileşime sahip dökme demir ile Incramet 800'ün oksidasyon hızları verilmiştir. Şekil 2.7'de 2 nolu eğride, 800°C'ye ısıtılıp havada soğutma ile gerçekleştirilen bir kaç ısıtma çevriminden sonra oluşan oksit tabakası kararlı hale gelir, oysa bu esnada dökme demir yüzeyindeki oksidasyon devam etmektedir. Bronz üzerindeki oksit tabakası kalınlığı 0.5mm'dir ve daha fazla artmaz iken, 32 çevrim sonucunda dökme demir oksit tabakası oluşturmaya devam eder ve kalınlığı 3.5mm'ye ulaşır [8].



Şekil 2.7- Incramet 800 ile dökme demir malzemenin oksitlenme mekanizmaları [8]

Cam sanayi, alüminyum bronzlarının üstün özelliklerinden habersiz bir şekilde konvansiyonel malzemelerle üretim yapmaktaydı. Endüstri bu alaşımı dökkebilmeye yeteri kadar başaramaması ve alaşımın fiyatının pahalı olması alaşımın cam üreticilerine ulaşamaz gelmesine sebep olmuştu. Bu konuda ilk adımı Copper Research Association 1960 yılında atmış ve cam sanayi için alüminyum bronz kalıplı malzemesini üretmişti. O yıllarda üretilmiş olan kalitesiz dökümleri talaşlı imalatında

yaşanılan problemler dolayısıyla cam sanayinde bu alaşımın kullanılması kolay olmamıştır. Yoğun çalışmalar sonucunda, alaşım sorunsuz olarak dökülebilmiş ve alüminyum bronzları standart cam kalıp malzemeleri arasında yerini almıştır. Ekonomik rekabetin artması ve enerji darboğazları gibi zorlayıcı sebeplerle alüminyum bronzları vazgeçilemez cam kalıp malzemeleri olmuşlardır [15].

Normal şartlar altında fiyatları dökme demirlerden 5 kat fazla olan alüminyum bronzları, talaşlı imalatının da zor olması sebebiyle $5 \times 1.8 = 9$ kat daha pahalı malzemelerdir. Bununla birlikte, makina hızlarını yaklaşık %15 arttırmaktadır. Aynı zamanda, korozyonun olumsuz etkisinin oldukça düşük olması sebebiyle kalıp başına cam mamül oranını %100-150 arasında arttırmaktadır. Çalışma esnasında temizlik gibi duruşa sebep veren işlemler yapılmasına gerek bırakmamakla duruşuz üretim sürelerini oldukça arttırmaktadırlar [14].

Alüminyum bronzlarından istenilen yüksek verimin alınabilmesi için, özellikle yüksek devirli ürünlerle çalışılan kalıplarda kullanılmaları uygundur. Bir başka sınırlayıcı özellikleri ise, 350-400gr'ı geçen ürünler için maliyetlerinin yüksek olacağıdır, çünkü bu tür ürünlerde ısı transferinde belirleyici etken camın ısı iletiminin yanında cam-kalıp, kalıp-hava arayüzeyleridir [16].

BÖLÜM 3. KAPLAMA AMAÇLI KULLANILAN ALAŞIMLAR

Kaplama amaçlı malzeme seçimini kolaylaştırmak için, bütün aşınma mekanizmalarına direnç gösterecek tek bir alaşım kullanılabilmesi gerekirdi. Bununla birlikte kullanım ortamlarının oldukça kompleks olması ve ekonomik zorunluluklar dolayısı ile, bir çok farklı kaplama alaşımı geliştirilmiştir. İşçilik ve üretim maliyetleri sebebiyle ise, bir çok farklı uygulama yöntemi ve ürün formu geliştirilmiştir [17].

Beliri bir uygulama için en uygun alaşım seçiminin yapılabilmesi için, servis şartlarının çok iyi çözümlenmesi gereklidir. Aşınma şekli, ortam direnci ve kaynaklanabilirliğin çok iyi dengelenmesi gereklidir. Her bir alaşım sistemi için bu dengelemenin yapılması, bir çok farklı kaplama alaşımının geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır.

Kaplama malzemeleri, çok geniş bir yelpaze altındadır. En çok bilinen sert yüzeyle kaplama alaşımları; çelikler, düşük alaşımlı demir esaslı malzemeler, kromlu beyaz dökme demir malzemeler veya yüksek alaşımlı demir esaslı malzemeler, karbürler, nikel esaslı alaşımlar, kobalt esaslı alaşımlar olmak üzere gruplandırılırlar. Bazı bakır alaşımları da sert yüzeyle kaplama amaçlı kullanılmaktadır.

Mikroyapı açısından incelendiğinde, sert yüzeyle kaplama alaşımları, borürler, karbürler veya metaller arası bileşikler gibi sert çökelti fazlarını, daha yumuşak olan nikel, kobalt veya demir esaslı bir matriks içinde bulundururlar [17].

Kobalt ve demir esaslı alaşımlarda, karbürler en baskın sert fazlardır. Bu tip alaşımlarda karbon içeriği %4'e kadar ulaşabilmektedir. Karbürlerle birlikte, borürler ise, nikel esaslı alaşımlarda baskın olan sert fazlardır. Bu tip alaşımlarda C+B oranı %5'e ulaşabilmektedir.

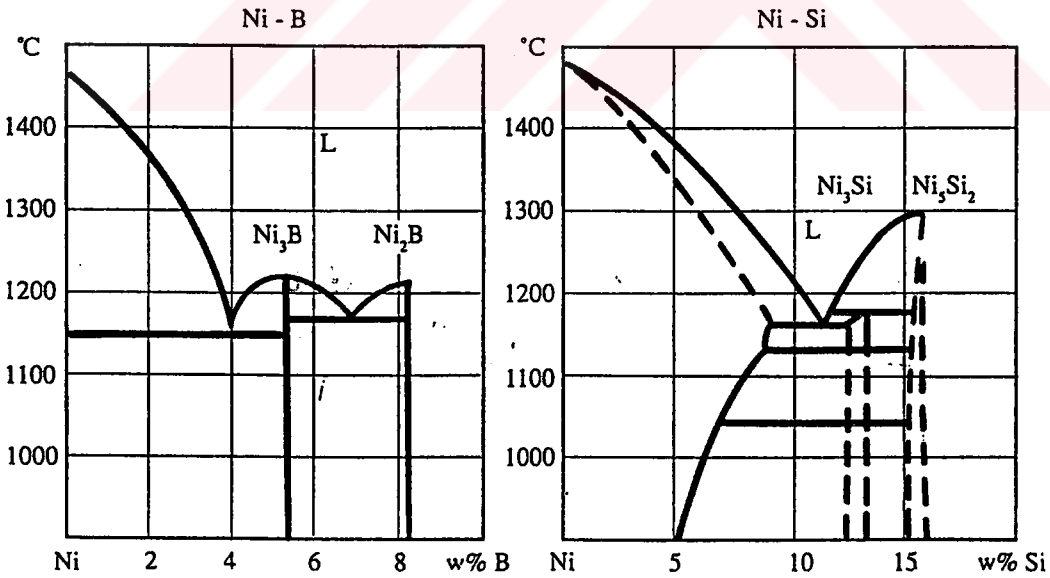
Co-esaslı, Ni-esaslı ve yüksek alaşımlı Fe-esaslı malzemelerde, matriks alaşımı %35'e kadar Cr, %20'ye kadar da Mo ve/veya W ile küçük oranlarda Si içerebilmektedirler [17].

3.1. Nikel Esaslı Alaşımlar

Nikel esaslı malzemeler genellikle, korozif ortamlara ve yüksek sıcaklık direncine gerek duyulan uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Ticari olarak en çok rastlanılan nikel esaslı sert yüzeyle kaplama alaşımları, sert faz olarak borür içerenler, karbür içerenler ve lave fazı içerenler olarak gruplandırılırlar [17].

Borür içeren alaşımlar ilk olarak sıcak yöntemle alevle püskürtme amaçlı kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Bu grup alaşımlar genellikle Ni, Cr, B, Si ve C içerirler. %0'dan 15'e kadar değişebilen krom içeriğine göre, %1.5-3.5 arası bor içeriğine sahiptirler. Artan krom ile birlikte bor oranı da artar. Böylece yaklaşık 1800DPH (kg/mm²) sertliğe sahip krom borür oluşumu teşvik edilmiş olur [17].

Bileşimdeki Si ve B'un likidüs sıcaklığı üzerinde önemli etkileri vardır (Şekil 3.1). Saf nikelin ergime sıcaklığı olan 1455°C ile kıyaslandığında alaşımın oldukça düşük olan ergime sıcaklığı, artan Si+B içeriği ile birlikte 1000°C'ye kadar düşebilmektedir. Ergime sıcaklığının düşük olması ise bir çok malzemenin ergime göstermeden kaplanabilirliğini sağlar [18].



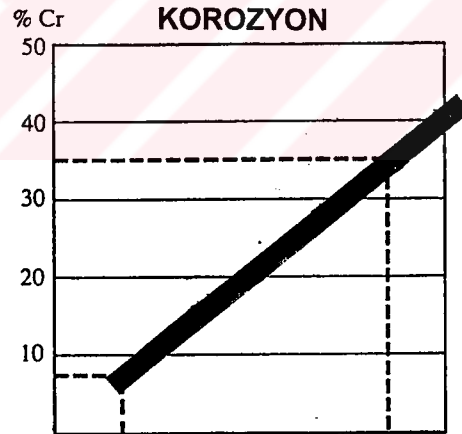
Şekil 3.1- Ni-B ve Ni-Si denge diyagramlarında B ve Si'nin etkileri [18]

Si ve B aynı zamanda bünyesinde Fe ve Ni oksitler gibi diğer metalik bileşikler de çözündürerek düşük ergime sıcaklıklı silikatlar oluştururlar. Bu silikatlar, B+Si curufu olarak davranıp, alevle püskürtme esnasında bir fluks olarak davranması açısından

önemlidir. Böylelikle ergime havuzu oksitlerden korunmuş olur ve sıvı metalin ısılatma özelliği arttırılmış olur.

Ni, Cr, B, Si alaşımlarının mikroyapıları yumuşak bir nikel matriks içerisinde sert partiküller içerirler. Artan alaşım elementi içeriği, alaşımın sert partikül oranını ve dolayısı ile sertliğini arttırırken, işlenebilirliği de olumsuz yönde önemli ölçüde etkilemektedir [18].

Si, B ve Cr'un düşük oranlarda bulunduğu yumuşak alaşımlarda ilk oluşacak sert faz Ni_3B fazıdır. Daha yüksek oranlarda Si ve Cr içeren alaşımlarda oluşacak CrB ve CrC oranı da artarken, Ni_3Si fazı da oluşabilir. Ni-Cr-B-Si alaşımlarının yüksek aşınma dirençleri yüzeylerinde oluşan krom oksitler sayesinde. Bu tabaka camın aşınma direncini arttırmak için ilave edilen silisyum oksit tarafından parçalanamaz. Bu etki özellikle 600°C civarındaki çalışma şartlarında önem kazanır. Daha düşük servis sıcaklığı olan uygulamalarda krom oranı düşük alaşımlar da kullanılabilir. Alaşım elementlerinin korozyon direnci üzerine etkileri Şekil 3.2'de verilmiştir [18].



Şekil 3.2- Ni-Cr-B-Si alaşımlarında alaşım elementlerinin korozyon direnci üzerine etkileri [18]

Ni oluşan krom oksit tabakasını kararlı hale getirerek koruyucu özellik kazanmasını sağlar. Kromu oksitleyen fakat nikeli redükleyen ortamlarda iç korozyon görülür. Bunun önüne geçmek için, ilave edilen Fe, iç korozyona karşı hasasiyeti önemli ölçüde düşürür [19].

aşınma direncini yükseltmektir. Sert faz ise abrasiv aşınma direnci sağlar.

Yüksek oranda karbür içeren alaşımlar ötektiküstü karbürler oluştururlar. Bunlarda birincil karbürler M_7C_3 yapısındadır. Hegzagonal yapıdadılar ve ötektik karbürlerden büyüktürler. Yapıda bunlarla beraber M_6C tipi karbürler de mevcuttur [17].

Mikroyapılarında Lave Fazları içeren alaşımlar; Lave Fazları topolojik olarak sıkı paketli metallere bileşiklerdir. Literatürde TRIBALLOY olarak karşımıza çıkan bu tür alaşımlar % 50 (min) lave fazı içerirler. Bunların kristal yapısı M_7C_3 'üne benzer şekilde hegzagonal yapıdadır ancak sertliği daha düşüktür, dolayısıyla daha az abrasivdir. Bunlar belirli oranlarda Mo ve W içerirler (Co-Mo-Cr-Si). Bu tip alaşımlar yüksek sıcaklıkta sertliklerini en iyi koruyan gruptur [17].

Kobalt esaslı alaşımlara, tokluğu ve kararlılığı arttırmak için Fe ve Ni modifikasyonu , püskürtmeyi kolaylaştırmak için (özellikle alevle püskürtme uygulaması için) B ve Si modifikasyonu uygulanır [20].

Stellite 6 ve Stellite 12 olarak adlandırılan alaşımlar cam sanayinde genellikle tel veya PTA uygulamalarında toz olarak kullanılırlar. Bu durumda toz boyutu $-150\mu m$ 'dur.

3.3. Demir Esaslı Alaşımlar

Çok geniş özellik yelpazeleriyle ve düşük maliyetleri nedeniyle dikkat çekerler.

En uygun sınıflandırma kimyasal kompozisyonlarına göre değil mikroyapılarına ve maruz kalacakları aşınma tipine göre yapılır.

PERLİTİK ÇELİKLER; Düşük karbonlu (% 0.25) ve çok küçük oranlarda diğer alaşım elementlerini içerir. Sonuçta elde edilen yapı perlitiktir. Bu tip alaşımların darbe direnci yüksek olmasına rağmen sertlikleri diğerlerine nazaran daha düşüktür (25-35HRc).

ÖSTENİTİK ÇELİKLER; Mangan ilavesiyle stabilize edilmiş çeliklerdir ve düşük ve yüksek kromlu olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

DÜŞÜK KROMLU Ö.Ç.; Yaklaşık %4 Cr ve % 12-15 Mn içerirler. Tamir

ve bakım amaçlı, yüksek darbe kuvvetlerine maruz uygulamalarda kullanılırlar. Malzemede Mn içeriğinin düşük olduğu bölgelerde martenzit oluşumu dolayısıyla çatlak oluşumu görülebilir.

YÜKSEK KROMLU Ö.Ç.; % 12-17 Cr, % 15 Mn içerirler. Manganlı ve karbonlu çeliklerin tamirinde ve metal metale aşınmanın görüldüğü yerlerde kullanılır.

MARTENZİTİK ÇELİKLER; Havada soğuduğunda dahi martenzitik yapıya dönebilen çeliklerdir. Bu nedenle bunlara kendinden sertleşen veya havada sertleşen çelikler de denmektedir. 40-45 HRC'ye varan sertlikleri nedeniyle takım çeliklerine benzerler. %0.5'e kadar C, % 3'e kadar Mo,W,Ni ve % 15'e kadar Cr içerirler. Krom martenzit oluşumunu aktive eder, Mn+Si kaynaklanabilirliği artırır. Yağlamasız, metal metale sürtünmenin olduğu uygulama şartları için kullanılırlar.

YÜKSEKALAŞIMLI DEMİRLER; Büyük miktarlarda Cr veya Mo karbür içerirler. Karbür miktarının büyük olmasının sebebi içerdiği %2-6 karbondan ileri gelir. Darbe dirençleri diğerlerine nazaran daha düşüktür. Gerilim çatlakları oluşturmaya olan eğilimleri nedeniyle bir veya iki paso ile sınırlıdır. % 4-8 arası Mn, % 5'e kadar Ni içerenlerin matriksinde östenitik yapı kararlıdır ve bu yapı soğutma esnasında çatlamaya olan hassasiyeti düşürür. Birçoğunun basma mukavemeti yüksek olmasına rağmen çekme mukavemetleri düşüktür. Sertlikleri 52-62 HRC arasındadır.

Genel olarak, demir esaslı alaşımların korozyon, oksidasyon ve sürünme dirençleri, Ni ve Co esaslılara nazaran daha düşük olduğu için uygulama alanları sınırlıdır [17].

3.4. Karbürler

Genelde ergime sıcaklıkları yüksek, kaynak havuzuna alındıklarında da ayrılmaya eğilimlidirler. Bu nedenlerle kendi başlarına püskürtülemezler. Çelik veya alaşımlı bir tüpün içine yerleştirilirler (Bu kaynak esnasında tüketilecek elektrottur).

Abrasyon direncinin yanında, korozyon direncinin de istendiği uygulamalarda sinter karbürler içeren kaynak telleri korozyona direçli matriks içerisinde toz metalurjisi metodlarıyla üretilirler. PTA ve püskürtme-ergitme uygulamaları için de Fe, Ni ve Co

bazlı karbür içeren alaşımlar mevcuttur.

WC kompozit kaplamaların mikroyapılarında alaşımlı çelik matriks içinde WC partikülleri vardır. Çözünen karbür sayısı arttıkça martenzitin mukavemeti de artar. Kullanılan prosese göre çözünen WC miktarı farklılaşır.

Yapısında yüksek miktarda W veya Mo içerenler, soğuma esnasında martenzite dönüşebilirler. Martenzitik matriks karbürleri daha kuvvetli tutacak bir yapı verir, dolayısıyla abrasiv aşınma direncini de yükseltir. Yapıda M_6C tipinde karbürlere de rastlanabilir.

İyi bir bağ mukavemeti sağlayabilmek için kaplama kalınlıkları 0.254 - 0.5 mm olmalıdır [17].

3.5. Bakır Esaslı Alaşımlar

Bakır esaslı sert yüzey kaplama alaşımlarının özellikleri, benzer kompozisyondaki bronzlarınkı gibidir. Korozyon, kavitasyon erozyonu, metal metale aşınma gibi uygulamalar için kullanılmaktadırlar. Kükürt bileşiklerine karşı düşük korozyon dirençleri, düşük aşınma dirençleri, düşük yüksek sıcaklık sürünmesi ve kolay kaynaklanabilir olmaması gibi özellikleri nedeniyle kullanım alanlarında bazı sınırlamalar mevcuttur [17].

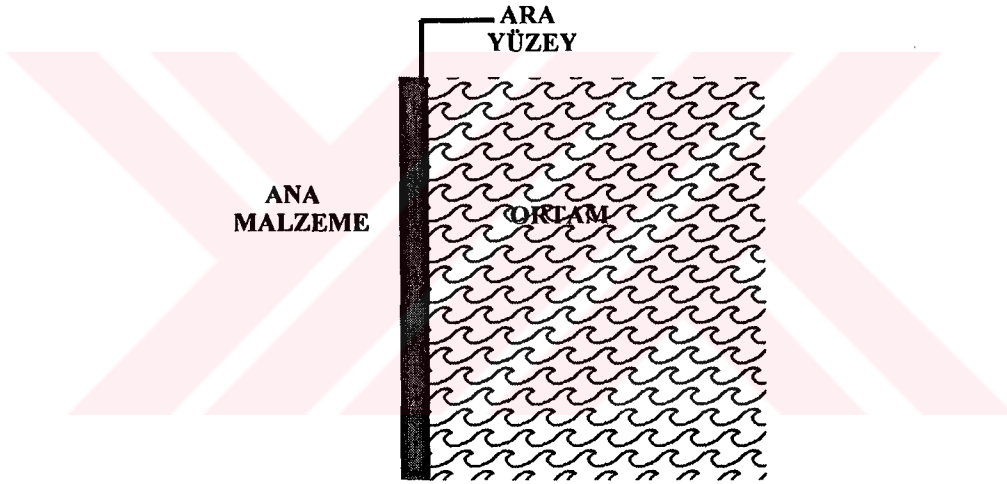
Yukarıda anlatılan bilgiler çerçevesinde aşınma tipi, maliyet, çevre faktörleri, taban metali, uygulanacak proses, darbe, korozyon, oksidasyon ve ısı gereklilikler dikkate alınarak dikkatli bir alaşım seçimi yapılmalıdır. Kullanılacak alaşımlar ;

- Bar rod
- Flux kaplı rod
- Uzun teller
- Tozlar şeklinde olabilir [17].

BÖLÜM 4. CAM TEMAS YÜZEYLERİNİN MODİFİYE EDİLMESİ

Cam kalıplarının, birbiri üzerinde çalışan veya cam ile temas eden yüzeylerinde aşınma ve korozyon gibi etkilerle malzeme, ürün ve işgücü kayıpları oluşmaktadır. Bu kayıpların önüne geçilebilmesi dolayısı ile verimliliğin artırılabilmesi için aşınma veya korozyon mekanizmalarının işleyişini bozacak yöntemler uygulanmalıdır.

Bahsi geçen mekanizmalar yüzey olayları ile çalışır. Gerek aşınma ve gerekse de korozyon, üç bileşenin sebep olduğu olaylardır; malzeme, arayüzey, ortam (Şekil4.1).



Şekil 4.1- Yüzey olaylarında temel bileşenler.

Aşınma ve korozyon mekanizmalarının önüne geçilebilmesi için bu üç bileşenin en az birinin değiştirilmesi gereklidir.

Uygulamada aşınma ve korozyona dayanıklı olan malzemelerin kullanılması ekonomik açıdan imkansız, bir çok uygulama için ise sakıncalıdır. Bu durumda malzemeyi değiştirip, bu tür hasarlara dayanıklı malzeme seçimi verimliliği arttırmayacaktır.

Bu kalıplarla üretilen cam mamülün kompozisyonu ise, mamülün hafifliği, saydamlığı ve mukavemeti gibi camın rekabet gücünü arttıracak özelliklerini etkileyeceğinden, değiştirilmesi mümkün değildir.

YÜZEY TEKNİKLERİ

Yüzey İşlemleri

Bitirme İşlemleri	Isıl İşlemler	Isıl Kimyasal İşlemler	İyon Aşılama
Zımparalama	Alevle Sertleştirme	Borlama	Azot Aşılama
Tornalama / Frezalama	Lazerle İşlemler	Nitrürasyon	
Kum Püskürtme	Elektron Işınıyla İşlemler	Karbürizasyon	
Çekilme	İndüksiyonla Sertleştirme	Alüminyumlanma	
Hatırlama		Kromlama	
		Plazmanın Değişik İşlemleri	

Yüzey Kaplamaları

Kimyasal İşlemler	Elektiriksel Çökeltilme	Fiziksel Buhar Çöktürme	Kimyasal Buhar Çöktürme	Isıl Püskürtme	Kaynak	Metal Giydirme
Sol-Jel	Elektrooskula Kaplama	Saçılım - Dıyod - Magnetron - İyon Işını - Triyod - RF/DC	Atmosferik	Havayla Plazma	Gaz - Çubuk - Toz - Homur	Sürtünmeli Kaplama
Anodik İşlemler	Elektrolizle Kaplama		Düşük Basınçta	Vakumlu Plazma		Elektro Kivircik Çöktürme
Elektroforez / Elektrokineetik	Yağınlaştırma ile Kaplama	Buharlaştırma - Dirençli - İndüktif - Elektron Işını - Ark	Lazerle	D-Tabancası	Lazer	Lehimleme
Boya/Çeşitli Tozların Sıvı Kurşunların Püskürtülmesi		Plazmanın Değişik İşlemleri - İyon Plazma - Şokla Plazma	Isınan Flamen	Yüksek Hızda Alevle	Ark - TIG - MIG - Elektro Çırtıf - Tozlu Ark - Örtülü Elektrod ile Ark	Diffüzyonla Bağlama
Elektrostatik Püskürtme			Plazmanın Değişik İşlemleri - Doğru Akım - Şok Plazma - RF/AC - Mikrodalga	Sıvıya Stabilize Edilerek		İnfilakla Metal Giydirme
		İyon kardiomya Kaplama		Alevle Toz Püskürtme		Osprey
				Alevle Tel Püskürtme		
				Ark Yardımıyla Püskürtme		
				İndüktif Plazma		
				Lazerle		

Şekil 4.2- Yüzey yöntemleri

Geriye arayüzeyin değiştirilmesi kalmaktadır. Bu amaçla kullanılabilecek çok çeşitli yüzey yöntemleri içinden seçim yapmak zorunludur (Şekil 4.2) [21].

Bölüm 2.2'de verilen kalıp malzemesi özelliklerine bakıldığında, en ekonomik, en verimli yöntemlerin ısı püskürtme ve kaynak olduğu ortaya çıkmaktadır.

Cam kalıplarının kritik olan yüzeylerinin modifikasyonunda kaynak ve ısı püskürtme teknikleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin ikisine birden sert yüzey ile kaplama denmektedir.

Sert yüzeyle kaplama yöntemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır (Şekil 4.3).

SERT YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ			
KAYNAK YÖNTEMLERİ	TIG		
	OKSİ-ASETİLEN		
	MIG / MAG		
	PLAZMA ARK		
	DARBELİ ARK		
	ELEKTRİK ARK		
ISIL PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİ	TEL SİSTEMLİ	ELEKTRİK ARK	
		ALEVLE PÜSKÜRTME	SICAK PÜSKÜRTME SOĞUK PÜSKÜRTME
	TOZ SİSTEMLİ	ALEVLE PÜSKÜRTME	SICAK PÜSKÜRTME SOĞUK PÜSKÜRTME
		DETONASYON TABANCASI	
		HVOF	
		PLAZMA PÜSKÜRTME	
		PLAZMA TRANSFER ARK	

Şekil 4.3- Sert yüzeyle kaplama yöntemleri

4.1. Proses Seçimi

Sert yüzey kaplama işlemi için kullanılabilecek yöntemlerin seçiminde göz önüne alınması gerekli hususlar şunlardır;

- .servis performansı gereklilikleri
- .sert yüzey kaplama özellikleri ve kalite gereklilikleri
- .iş parçasının fiziksel karakteristikleri
- .taban malzemesinin metalurjik yapısı
- .sert yüzey kaplama alaşımının formu ve kompozisyonu
- .kaynakçının becerisi
- .ekonomiklik.

Bu faktörlere bağlı olarak seçilebilecek yöntemler sadece kaynak yöntemleriyle sınırlı değildir. Günümüzde modern uygulamalar olarak kabul edilen Isıl Püskürtme Yöntemleri de sert yüzey kaplama tekniği olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla proses seçiminde ilk aşama, kaynak yönteminin mi, yoksa püskürtme yönteminin mi uygulanacağını belirlenmesidir.

KAYNAK YÖNTEMLERİ ; genelde yoğun, ana metalle arasındaki bağ mukavemeti yüksek olan kalın kaplamalarda,

PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİ ; ince, ana metali az distorsiyona uğratacak, sert kaplamalarda uygundur.

Kaynaklı kaplamalar, kaplamanın mikroyapısını etkileyen katılaşma kinetiği ve değişebilen kompozisyon (segregasyon-seyrelme) ile karakterize edilen mini dökümlerdir. Bu olay oksiasetilen kaynağında kaplamanın karbon kapması, ark kaynağında ise çözücünün buharlaşması şeklinde görülebilir. Bu kaplama içindeki ana metal yüzdesi ile belirlenir. Dolayısıyla kaplamanın içindeki ana metal yüzdesi arttıkça, kaplama verimliliğinin düştüğünü söylemek yanlış sayılmaz. Kaynaklı kaplamalarda parametreler öyle seçilmelidir ki, seyrelme %20'yi geçmemelidir.

Seyrelme püskürtme yöntemlerinde hemen hemen hiç görülmez. Ticari olarak uygulanan oksiasetilen proseslerinde ise kabul edilebilir derecede düşüktür. Bu aslında ark püskürtme proseslerinde rastlanılan önemli bir problemdir (plasma ark kaynağında

%5, darbeli ark kaynağında %60). Birden fazla katmanlı, kalın kaplamalarda ise yüksek seyrelmeye müsaade edilebilir.

Isıl püskürtme yöntemlerinde soğuma çok hızlı olacağından, düzenli bir mikroyapı elde etmek zordur. Bu çok hızlı katılaşma nedeniyle amorfa yakın yapılar elde edilebilir. Bununla birlikte ticari olarak kullanılan kaynak yöntemlerinde katılaşma daha yavaştır. Kaynak proseslerinde de oksitasetilen kaynaklı kaplamalar, ark kaynaklılara göre daha yavaş soğur [17].

4.1.1. İş Parçasının Fiziksel Karakteristiği

Fiziksel karakteristikten kasıt; malzemenin boyutu, şekli ve ağırlığıdır. Büyük boyutlu ve ağırlıklı parçalar elle veya yarı otomatik proseslerle kaplanır. Portatif teçhizatın bulunabildiği yerlerde , açık ark veya gaz altı metal kaynağı uygulanabilir. Bu tür uygulamalarda ısı püskürtme yöntemleri de kullanılabilir. Genel olarak ısı püskürtme yöntemleri ve oksitasetilen, darbeli akım, TIG, plazma ark, ve MIG kaynak yöntemlerinin küçük parçalar için uygun olduğunu söyleyebiliriz. İnce ve hassas kaplamalarda ise ısı püskürtme veya oksitasetilen ve TIG yöntemleri uygundur [17].

4.1.2. Taban Malzemesinin Metalurjik Karakteristikleri

Isıl püskürtme yöntemlerinde ön hazırlık önemli bir işlem olarak karşımıza çıkar. Bununla birlikte

.kompozisyon

.ergime sıcaklık aralığı

.ısı genleşme ve çekme özellikleri de kaynak prosesi seçiminde etkilidir.

Çelikler genellikle sert yüzey kaplamaya uygundur. Düşük alaşımlı, %0.4C'a kadar orta karbonlular kaynağa genelde uygundur. Daha yüksek karbona sahip olanlar ise ancak ısı tesiri altındaki bölgede oluşabilecek martensitik reaksiyonlara karşı ön ısıtma uygulamasıyla kaynaklanabilir. Serbest işlenebilir veya titanyumla stabilize edilmiş olanlar dışındaki östenitik paslanmaz çelikler, birçok nikel esaslı alaşımla kolaylıkla kaplanabilir. Martensitik paslanmaz çelikler, takım çelikleri, kalıp çelikleri ve dökme demirler gene sert yüzey kaplamaya uyumludur; ancak ön ısıtma, ara geçiş sıcaklığı ve son ısıtma gerektirirler. Yaşlandırılabilir taban malzemeleri için öncelikle aşırı

yaşlandırma veya çözeltiye alma ısıt işlemleri gereklidir.

Kaynak prosesleri uygulandığında taban metal ile kaplamanın ergime aralıkları birbirine yakın olmalıdır.

Katılaşma gerilimini taban metalin genleşme ve çekilmesi etkiler. Bu nedenle çatlaksız, sert, gevrek sert yüzey alaşımları elde etmek için yüksek sıcaklıkta homojen bir ön ısıtma yapılır. Kaynak prosesi seçimi direkt olarak ısı girişini ve ön ısıtma gerekliliklerini etkilediğinden, önem kazanır.

Isıl genleşme ve büzülme farklılıkları, ısıt döngüler içeren uygulamalarda önem kazanır. Büyük farklar, ısıt püskürtme yöntemlerinde kesme hasarları, kaynak yöntemlerinde ısıt çatlama hasarları ile sonuçlanır. İki katman arasındaki ısıt genleşme farklılıklarını en aza indirmek için ara katman uygulanır. Bu ara katman farklı bir malzeme olabileceği gibi bu amaçla seyrelmeden de faydalanılabilir.

Proses seçiminde bazen uygun olan dolgu malzemesinin ürün formu da etkili olabilir (kaplama malzemesine göre proses seçimi). Bütün alaşımlar toz şeklinde üretilebilir. Bir çoğu çubuk formunda da üretilebilir. Daha sünek alaşımlar soğuk çekme tel, daha gevrek olanlar ekstrüzyonla yekpare tel şeklinde olarak düşük maliyetlerle elde edilebilir.

Elle yapılan oksii-asetilen ve TIG büyük kaynakçı becerisi gerektirir. Bunun yanında darbeli akım kaynağı gibi otomatik olanlarda bu daha az gereklidir. TIG kaynağının elle uygulanması küçük alanlarda, yüksek kalitede kaplama elde etmek için uygundur. Bu uygulamalarda %10'a kadar düşük seyrelmeli ince kaplamalar elde edilebilir; ancak uygulamanın başarılı olabilmesi için çok yüksek kaynakçı becerisi ve prosesin sıkı kontrolü gereklidir [17].

4.1.3. Sert Yüzey Kaplama Maliyetleri

Genelde

i-istenen kaynakçı becerisine bağlı işçilik maliyeti (yüzey hazırlama ve son işleme de dahil)

ii-malzeme

- iii-(bazı hallerde) yeni teçhizat maliyeti
- iv-taşıma, vs'den oluşur.

Daha yüksek verim elde etmek için yüksek kaplama hızlarının kullanıldığı proseslerde, buna bağlı olarak seyrelme de fazla olacaktır. Bu nedenle kaplama hızı ile seyrelmenin optimizasyonu bize en verimli, ideal kaplama prosesini verir.

W, Co ve Ni esaslı alaşımlarda maliyet hammadde ağırlıklıdır. Fe esaslı alaşımlarda ise maliyet ürün formu ağırlıklıdır.

- Çubuk, tel -----en ucuz ürün formu
- Sarılmış, soğuk çekme tel-----en pahalı ürün formu
- Toz ve döküm çubuk ----- ikisinin arasında (toz boyut ve boyut dağılımına göre tozun fiyatı değişebilir.

Bununla birlikte toz tüketen sistemlerin kaplama verimliliği, rod tüketenlere nazaran daha düşüktür. Bu açıdan ısı püskürtme yöntemleri verimlilik açısından daha zayıftır (verimlilik % 70'e kadar düşük).

Sert yüzey uygulamasının maliyetinin tahmini ve ön belirlemesi kolay olmasına rağmen, değerini belirlemek oldukça zordur.

Tadilat uygulamalarında :

$$CA(\text{maliyet avantajı}) = CN / PN - CR / PR \quad (4.1)$$

CN= yeni bileşenin maliyeti

PN= yeni bileşenin servis ömründeki iş girdisi

CR= sert yüzey kaplama+duruş zamanı maliyeti

PR= sert yüzeyle kaplanmış bileşenin servis ömründeki iş girdisi

Burada en zor olanı PR'nin tahminidir. PR için ancak laboratuvar test sonuçlarına göre bir tahmin edilebilir.

Eğer tahrip olan metalle aynı türden bir malzeme ile sert yüzey kaplama yapılacaksa

PR=PN'dir. Diğer taraftan, eğer tahrip olmuş metalden aşınma direnci daha yüksek bir metalle kaplama işlemi yapılacaksa, bu durumda PR>PN olur. Böyle olunca CA pozitif olacak gibi görünür; ki bu sert yüzey kaplamanın birinci amacıdır [17].

Cam kalıplarında pratikte alevle püskürtme, plasma ile püskürtme, HVOF, TIG kaynağı yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise genel uygulamanın hemen hemen tamamını, IS kalıplarının ise tamamını kapsayan alev ile püskürtme ve TIG kaynağının alüminyum bronzuna uygulaması kıyaslanacaktır.

4.2. Isıl Püskürtme Teknikleri

Isıl püskürtme, enerji kaynağına bağlı olarak, bir kaç farklı prosesi içerir. Bununla birlikte bu proseslerin her biri aşağıdaki aşamaları içerir.

- Alaşım parçacıklarının ergitilmesi
- Alaşımın ivmelendirilmesi/pulverizasyonu ve bunu takiben kısmen veya tamamen ergime
- Parçacıkların hava itiş ile yüksek sıcaklıklara ısıtılması
- Bu parçacıkların taban malzemesi üzerine çarparak bağ oluşturması [22].

Eğer ergime olmayacaksa, kaplama karakteristikleri toz itiş gücü ve çarpma etkisi ile belirlenir.

Kullanılacak ilave alaşım, tel, çubuk veya toz şeklinde olabilir, fakat taban malzemesi ile temas ettikleri anda küçük damlacıklar halindedirler.

Püskürtülebilecek malzeme yelpazesi içerisinde, bir çok metalle birlikte, oksitler, karbürler, nitrürler gibi pek çok sert malzeme de bulunmaktadır.

Ayrışma göstermeden ergiyen her tür metal, ısı püskürtme yöntemlerinde kullanılabilir. Bu yöntemin bir başka avantajı ise, ana malzemeye fazla birisi girdisi olmadan yüzeyin kaplanabilmesidir. Hassas işlenmiş, ısı işleminden çıkmış parçalar üzerine, parçayı distorsiyona uğratmadan ve özelliklerini bozmadan uygulanabilir. Bir diğer önemli avantajı ise, hasar görmüş kaplamalar üzerine parça ölçülerini bozmadan kaplama yapılabilmesinin mümkün olmasıdır [23].

En önemli dezavantajı ise yöntemin ölçüsel açıdan torç ve torç ucuna bağlı uygulama limitidir.

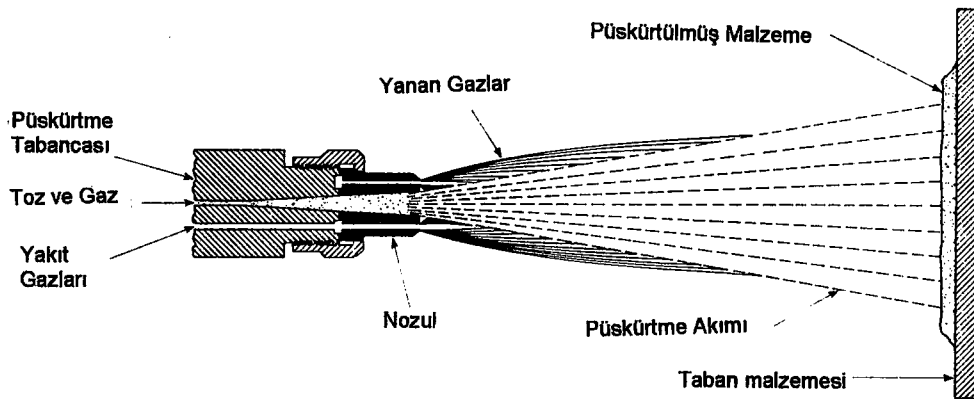
Isıl püskürtme ile uygulanan kaplamalar, genellikle torç ile birden fazla paso ile elde edilirler. Ana malzemenin yapısına ve uygulanan tekniğe bağlı olarak bir çok farklı mikroyapılara ulaşmak olasıdır. Sonuçta oluşacak kaplamanın özellikleri de buna bağlı olarak değişecektir. Bu nedenle bir kaplama işlemi belirlenirken uygulanacak ilave metalin alaşım kompozisyonu yanında, ilave metal formu ile uygulanacak prosesin de belirtilmesi gereklidir [23].

Isıl püskürtme teknikleri bir çok farklı amaç için kullanılabilir. Uygulamada ise en çok aşınma ve/veya korozyona direncin artırılması gerekli uygulamalarda kullanılırlar.

Isıl püskürtme teknikleri tel veya toz şeklinde uygulanabilir. Kullanılacak yöntem ve uygulamaya göre ürün formu belirlenir.

4.2.1. Alevle Püskürtme

Alevle püskürtme tekniği (Şekil 4.4), kaplama malzemesini eritecek ısı kaynağı olarak yanıcı bir gazın kullanıldığı bir tekniktir. Yakalanmak istenen kaplama özellikleri ve maliyete göre bir gaz seçimi yapılabilir. Aşağıda Tablo 4.1'de çeşitli ısı kaynakları ile ulaşılabilecek maksimum sıcaklık değerleri verilmiştir [23].



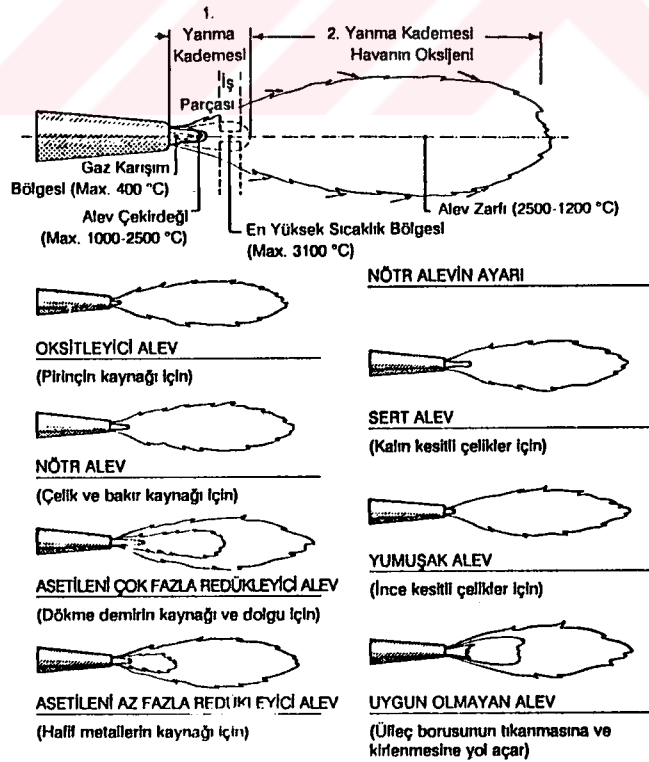
Şekil 4.4- Alevle püskürtme tekniği [23]

Tablo 4.1- Çeşitli ısı kaynakları ile ulaşılabilecek sıcaklık değerleri [23]

ISI KAYNAĞI	YAKLAŞIK SICAKLIK (STOKİOMETRİK YANMADA)
PROPAN - OKSİJEN	2526°C(4579°F)
DOĞAL GAZ - OKSİJEN	2538 °C(4600°F)
HİDROJEN - OKSİJEN	2660°C(4820°F)
PROPİLEN - OKSİJEN	2843°C(5240°F)
METİLASETİLEN / PROPADİEN - OKSİJEN	2927°C(5301°F)
ASETİLEN - OKSİJEN	3087°C(5589°F)
PLASMA ARK	2200'den 28000°C'ye kadar (4000-50000°F)

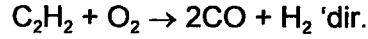
Kullanılabilecek farklı gaz, ürün formu ve alaşım için yapılması gerekli olan şey, torç ucundaki nozulun değiştirilerek uygun olanının monte edilmesidir.

Alev özellikleri ve sıcaklıkları oksijen/yakıt oranına bağlıdır. Alev formu ve buna bağlı özellikleri aşağıda Şekil 4.5'te verilmiştir [24].

**Şekil 4.5-** Oksi-asetilen alevi formları ve oksiasetilen alevi ile ulaşılan sıcaklıklar [24]

Alevle püskürtme prosesi, düşük sermaye gereksinimi, yüksek yığma oranları ve yüksek verimlilikleri ile ifade edilirken, yüksek oranlarda kişisel beceri gerektirir. Buna sebep hem gazın, hem de ilave metalin ayrı ayrı ayarlar gerektirmesidir.

Tanklardan gelerek, kontrollü debilerde ve oranlarda karışımı sağlayan teçhizattan geçen oksijen ve yakıt, basınç regülatöründen de geçerek buradan giriş valfine, oradan karıştırma haznesine girer. Buradan çıkan karışım kaplanacak malzemenin kalınlığı ve kütlesine göre özel olarak tablolar halinde verilen kaynak ucuna gider (genel bir kural olarak tavsiye edilenden bir numara büyük kaynak ucu kullanılmalı). Kaynak ucunda alev çekirdeği (iç çekirdek) ve alev zarfından oluşan çok renkli bir alev meydana gelir. Alev çekirdeğinin rengi mat mavidir. Burada oluşan reaksiyon;



Bu çekirdeğin ucunda maksimum sıcaklığa ulaşılır. Alevin sıcaklığı ve atmosferi C_2H_2 ve O_2 'nin miktarlarını değiştirerek kontrol edilir. Maksimum sıcaklığın olduğu bu uç iş parçasına değmeyecek kadar yaklaştırılır. Alev çekirdeğinin yanma reaksiyonu hemen hemen eşit miktarlarda C_2H_2 ve O_2 gerektirir.

- * asetilen fazla olduğunda --- redükleyici alev (max. Alev sic. 2927-3040°C)
- * eşit ise --- nötr alev (max. Alev sic. >3040°C)

Alev zarfı (açık mavi renkte), alev çekirdeğinde yanmış ürünlerin çevre oksijeni ile tam yanmasını gösterir. Bu reaksiyon ise;



Asetilen fazla olduğunda alev çekirdeği ile alev zarfı arasında oksit-asetilen tüyü olarak adlandırılan bir ara bölge oluşur. Bu bölge sıcak karbon partikülleri içerir ve beyaz renktedir. Bu zondaki karbon partikülleri ergimiş kaplama malzemesi içinde kısmen çözünürler, böylece kaplamanın sertliğini ve aşınma direncini artırırlar. Bu karbürler aynı zamanda kaplama esnasında oluşan oksitleri indirgemeye de yararlar. Fazla asetilen alevi bu nedenle hem karbonlayıcı hem de indirgeyicidir. Bu fazla asetilen miktarı alaşım kompozisyonuyla değişir. İç çekirdek ile asetilen tüyünün oranı alev geometrisini verir ve bu geometri kaplama prosesine göre değiştirilir.

ALEV ÇEKİRDEĞİ UZUNLUĞU = X (torç ucundan alev çekirdeğinin en uç noktasına)

OKSİ-ASETİLEN TÜYÜ UZUNLUĞU = (torç ucundan ara zonun en uç noktasına)

$$1X = \text{NÖTR ALEV}$$

Ni esaslı alaşımlar için 1X; ancak alaşımın iş parçası üzerinde akışını arttırmak için 2X'i geçmeyecek şekilde artırılabilir.

Demir esaslılar genelde 2X, Kobalt esaslılar genelde 3X ve WC içeren alaşımlarda ise taban alaşımı matrisine bağlı alev formlarını kullanırlar.

Bir çok çelik parçaya alevle püskürtme tekniği ile sert yüzey kaplaması uygulanabilir. Yüksek manganlı ve yüksek kükürtlü çelikler ise istisnalardır. HSS malzemeleri sert yüzey kaplama yöntemiyle kaplamak zordur ve bu nedenle kaplama öncesi tam olarak tavlanmalıdır. Dökme demirler de sert yüzey kaplama yöntemleri ile kaplanabilir; ancak flux ve özel kaynak talimatları gerektirir.

Alevle püskürtmede setrelme genelde düşüktür, çünkü malzemenin sadece kaplanacak yüzeyi ergime sıcaklık aralığına çıkartılır. Sert yüzey kaplama rodu ertitilir ve iş parçasının yüzeyine püskürtölür, taban malzemesiyle değıl ertimış yüzeyle karışır ve alaşım yapar. Çelik parçaların aşırı ertitilmesinde ıslak bir görünüş oluşur ve buna "terleme" adı verilir.

İşlem öncesi parçaların yüzeyi tamamen temizlenmelidir. Eğer iş parçası yüzeyinde empüriteler veya ısıtma esnasında aşırı oksit oluşmuşsa (bu nedenle nötr veya redükleyici alev kullanılır) bu katı yüzey pisliklerini temizlemek için sert yüzey kaplama rodunun ucuyla sürterek temizlenir. Oksitler giderilmezse kaplama esnasında alaşımla reaksiyona girerek gaz oluşturur ki, bu da daha sonra poroziteye sebep olur. Bu nedenledir ki, kaplama alaşımları oksidasyonu kontrol eden oksit gidericiler içerirler.

Kaplama öncesi, yöntem ne olursa olsun, genelde bir ön ısıtma gereklidir. Ön ısıtma sadece termal etkileşim farklılıklarından kaynaklanan çekme gerilmelerini önlemekle kalmaz, aynı zamanda alevle püskürtme prosesinde daha az setrelme ile sonuçlanan daha yumuşak bir alev kullanımını da mümkün kılar. Küçük boyutlu, düşük karbonlu

elik parçalar elle (torla) ısıtılabilir, ancak büyük iş parçaları için kontrollü bir fırında, yeterli ergime süresince ısıtma yapmak gereklidir.

Alevle püskürtme uygulanacağında imalatçı firmanın nozül boyutu ve gaz basıları ile ilgili tavsiyelerine uyulması gerekir. Deneyimlerin gösterdiği; bu tür kaplama işlemlerinde porozite oluşmaması için nötr veya hafif redükleyici bir alev kullanılması gerektiğidir [23].

Bu tip prosesin alaşımları B ve Si içerirler. Bunlar bünyelerinde demir ve nikel oksitler gibi oksitleri kolaylıkla çözebilen silikatlar oluştururlar. Si-B curufu bir kaynak flux'ı gibi davranır ve ergimiş metalin daha iyi kaynaklanabilmesini sağlayarak toz metal yüzeyini oksite karşı korur. Böylelikle redükleyici alev kullanmadan kaplama yapmak mümkündür [18].

İş parçası yüzeyi yine temiz olmalı; ancak ön ısıtma iş parçasının oksidasyon aralığına göre sınırlandırılmalıdır. Torç ucu iş parçasına dik ve 12.7mm mesafede tutulmalıdır. Gaz alevi, mat kırmızı bir renk alana kadar iş parçası yüzey alanna konsantre edilmelidir. Daha sonra ince bir kaplama astarı atılır. Bu katman tam olarak ergitilip metal yüzeyini ıslatınca, yeni katman ergimiş metal havuzuna atılır. 1.6 ila 4.8 mm'lik kaplamalar bu yöntemle atılabilir (Paso başına 1.6mm kalınlık) [23].

4.2.1.1. Sık Rastlanan Kusurlar;

Genelde alevle püskürtülmüş kaplamalar düşük seyrelme ve yüksek kaplama kalitesiyle karakterize edilirler. Kaynakçı becerisinin ve alaşımın kalitesine göre bazı süreksizlikler görülebilir.

Porozite en bilinen alevle püskürtme kusurudur. Tıpkı dökümde olduğu gibi yetersiz besleme ve gaz oluşumundan kaynaklanır. Yetersiz beslemeden kaynaklanan porozite, mikro- çekilme olarak adlandırılır. Alev kaplamanın üzerinden aniden çekildiğinde görülür. Dolayısıyla kaplama işlemi bittikten sonra alev, kaplamanın üzerinden yavaş ve bağ çizgisinden yüzeye doğru kaydırılarak çekilmelidir.

Porozite ergimiş kaplamanın toplam gaz içeriğinin katı çözünürlük sınırından büyük olduğu durumda, gaz oluşumu ile görülebilir. Bu da genellikle taban malzemesinin

yüzeyinin içinde veya üstünde sıkışıp kalmış metalik olmayan ve curuf inkluzyonları sebebiyle oluşur. Bununla birlikte, dolgu malzemelerinin başlangıç gaz içerikleri, alevle püskürtme sırasında mümkün olabilecek gaz kapması ile birlikte rekabet eden faktörlerdir [23].

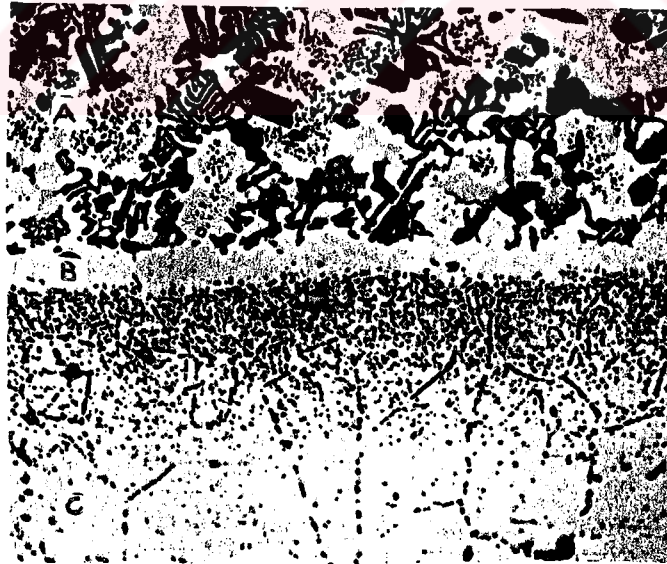
Günümüzde alevle püskürtme tekniği 3 ayrı şekilde uygulanır.

- oksiasetilen alevi ile püskürtme ve ergitme
- oksiasetilen alevi ile püskürtme ve ardından ergitme
- oksiasetilen alevi ile ergitme olmaksızın püskürtme.

Ergitme içeren prosesler, "sıcak prosesler", içermeyenler ise "soğuk prosesler" olarak adlandırılırlar.

4.2.1.2. Sıcak Prosesler

İlave malzeme ile taban malzemesinin bağ kurması, lehimlemeye benzer şekilde; sıvı fazın katı bir faza difüzyonu şeklindedir (Şekil 4.6). Oksitlerden arındırılmış bir yüzey gerektirir. İlave metallerin ergime sıcaklığı 960-1150°C arasındadır [22].



Şekil 4.6-Paslanmaz çelik üzerine nikel esaslı malzeme ile uygulanmış sert yüzeyle kaplama sonrası, seyrelme görülmeyen metalurjik bağlanma(x500) [22]

a ilave metal

b difüzyon bölgesi

c ana metal

Bu metod ile ergime sıcaklığı, tozun ergime sıcaklığından yüksek her türlü malzeme prensip olarak kaplanabilir.

Bir çok kaynak yönteminde de olduğu gibi, öncelikle taban malzemesi için bir önısıtma sıcaklığı ve eritme yöntemi seçilmelidir. Aynı zamanda kaplama sonrası, yavaş soğutma uygulanmalıdır (5°C/sn 'nin altında bir soğutma hızı) [22].

Bu metod ile 0.1mm'den birkaç milimetreye ulaşabilen kaplamalar uygulanabilir. Püskürtmenin ve ergitmenin ayrı ayrı yapıldığı uygulamalar ise 0.05mm'ye kadar ince kaplamalar yapılabilir. Püskürtme mesafeleri 6-20mm arasında değişmektedir[22].

4.2.1.3. Soğuk Prosesler

Havanın itişisi ile tozun ilerlemesi esnasında, parçacık enerji kaynağı ile kaplanacak malzeme arasında iken, çeşitli faktörler devreye girer. Bunlar;

- * büyük yüzey alanına sahip yarı-ergimiş haldeki parçacıklar,
- * gaz atmosferi,
- * alev sıcaklığının bir fonksiyonu olarak, parçacığın gaz absorpsiyon hızı.

Püskürtme torçu, parçacıkları yüksek sıcaklığa çıkartıp, ivmelendirir. Ana malzemenin sıcaklığı ve partikül hızı farklı enerji kaynakları tarafından belirlenir. Toz parçacığının ilerlemesi, yanıcı gazın genleşmesi ile ivme kazanır. Alevle püskürtmede parçanın ivmesi 30-250mm/sn arasındadır [22].

Ergimiş ya da yarı ergimiş haldeki toz parçacıkları, sahip oldukları kinetik enerji sebebiyle yüzeye çarparak parçalanırlar. Bu parçacıkların yüzeydeki dağılımları, damla boyutuna, akışkanlıklarına, yüzey gerilimi ve hızlarına bağlıdır. Yüzeyde bir oksit filmi mevcut ise, darbe etkisi ile bu film parçalanır ve yüzey ile bağ sağlamış olur.

Enerjinin açığa çıkması ile mekanik deformasyonun olduğu an, kaplamanın adhezyonu, tribolojik özellikleri belirler.

Saniyenin çok küçük bir bölümü içerisinde aşağıdaki durumlar yer alır:

- parçacık içyapısında dengesizlik,
- Her bir parçacığın birbirinden farklı metalurjik yapı göstermesi.

Doğru adhezyonun sağlanabilmesi için, taban malzemesinin yüzeyinin temizlenmesi gereklidir. Diğer bir çok kaplama prosesinde de olduğu gibi, özellikle soğuk proseste, oldukça aktif ve reaksiyona girmeye hazır bir tabakaya ihtiyaç vardır; yani yüzeyde bulunan ve aktif olmayan yağ ve nem gibi maddeler kesinlikle giderilmelidir.

4.2.1.4. Bağ Mekaniği

Uygun yüzey hazırlama, bağ katmanının yapışma direncini doğrudan etkilemektedir. Bağ mekaniği;

- mekanik bağlanma,
- adhezyon,
- epitaksi,
- metalurjik etkileşim,
- kısmi kaynamadan oluşur [22].

4.2.1.4.1. Mekanik Bağ

Pürüzlendirilmiş yüzey ile parçacıkların etkileşimi ile oluşur.

4.2.1.4.2. Adhezyon

Burada fiziksel adhezyon ile kimyasal adhezyon arasında bir ayrım yapılmalıdır.

Fiziksel adhezyon, iki metalik yüzeyin yapısal seviyede birbirleri ile karşılaşmaları esnasında, ilave metal alaşım parçacığının darbe etkisi ile taban malzemesini islatması ile oluşur. Taban malzemesi ile ilave malzeme arasındaki herhangi bir gaz veya su tabakası, parçacık tarafından absorblanmalı ya da giderilmelidir.

Kimyasal adhezyon, taban malzemesi ile ilave metal arasındaki afinite ile oluşur. Mekanizma değerlik elektronların yer değiştirmesinden ibarettir. Püskürtme öncesinde temizlik iyi yapılmamışsa, örneğin ana malzeme üzerinde kirlenme mevcutsa, kimyasal

adhezyonun oluşması engellenmiş olur [22].

4.2.1.4.3. Epitaksi

Bu ifadeden kasıt, ana malzeme üzerinde yabancı bir malzemenin kontrollü olarak ve ana malzemeye benzer bir şekilde büyümesidir. Metalurjik yapı ana malzemeye benzer olmalıdır. Yüksek enerjiye sahip yüzeyin süper aktif durumu, epitaksiyel katmanların gelişimine yardımcı olur [22].

4.2.1.4.4. Metalurjik Etkileşim

Belirli şartlar altında, taban malzemesi ile püskürtülen malzeme arasında, ayrı bir faz olarak ifade edilebilecek bir reaksiyon oluşabilir. Bu tür reaksiyonların gerçekleşmesi için ise gene malzemeler arasında belirli bir afinite gereklidir [22].

4.2.1.4.5. Kısmi Kaynama

Kısmi kaynama kaplama tabakasının tamamında görülebileceği gibi, asıl geçiş bölgelerinde oluşur. Genel olarak, metal partiküllerin oluşturduğu tabakalar arası adhezyon mukavemeti, ilave yığının oksit içeriği tarafından belirlenir.

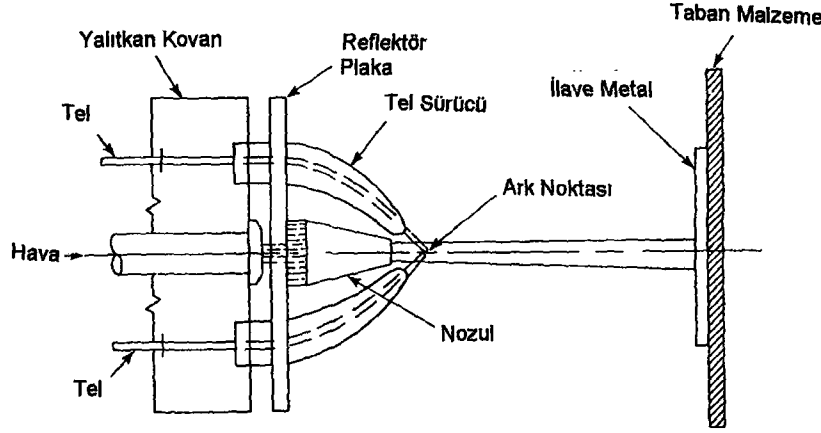
Yukarıda açıklananlardan sonra, püskürtülen parçacıkları ana metal üzerine adhezyonunun yüzeyin enerji seviyesi, sıcaklık ve parçacıkların enerjileri tarafından belirleneceği ortaya çıkmaktadır. Daha yüksek sıcaklık gerektiren ilave metaller için alternatif bir enerji kaynağının gerekeceği söylenebilmekle birlikte, bağ katmanı olarak eksotermik reaksiyon veren malzemeler de kullanılabilir [22].

4.2.2. Elektrik Arkı ile Püskürtme

Bu proseste ilave metal formu tel şeklindedir. Prosesi diğerlerinden ayıran özellik, dışarıdan gaz alevi ya da elektriksel olarak oluşturulan plazma gibi harici bir ısı kaynağının olmayışıdır. Isıtma ve eritme, elektriksel açıdan zıt yük ile yüklenmiş, kontrollü olarak ilerleme verilen iki tel arasında oluşan ark ile sağlanır.

Tellerin ucunda oluşan damlacıklar, basınçlı hava ile atomize edilerek, taban malzeme

üzerine püskürtülür (Şekil 4.7)[23].



Şekil 4.7- Elektrik arkı ile püskürtme [23]

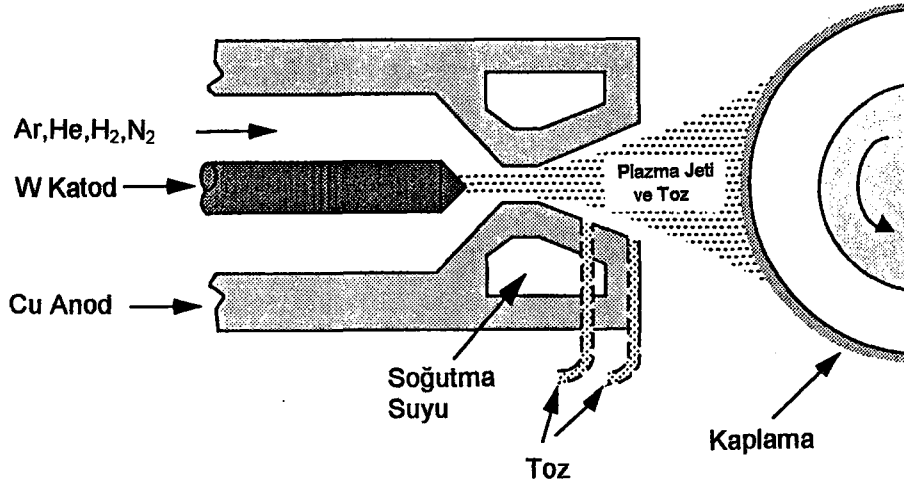
Elektrik arkı ile püskürtme yöntemi, alevle püskürtmeye kıyasla daha yüksek bağ mukavemetine sahip kaplamalar verir. Taban malzemesine ısı girdisi, alevle püskürtmeye oranla daha düşüktür.

Düşük voltajlarda çalışılabilme imkanı, argon gibi pahalı gaz sarfiyatına ihtiyacı olmaması ve sistemin genelde ekonomik olması gibi avantajları vardır. Önemli olan elektriksel olarak iletken tellerin kullanılması gerekliliğidir [23].

4.2.3. Plasma ile Püskürtme

Plazma ile püskürtmede (Şekil 4.8), genellikle argon, belli bazı uygulamalarda da azot, hidrojen ve helyum gazı, tungsten katot ile su soğutmalı bakır bir anot arasından geçer. Yüksek frekanslı bir deşarj uygulanarak, iki elektrot arasında bir ark oluşturulur ve daha sonra DC ile bu ark stabilize edilir. Oluşan ark, gazı iyonize eder ve yüksek basınçlı bir plazma oluşturur. Bu esnada gaz sıcaklığı 3000°C'lere kadar yükselir. Bu ise gazın genişlemesine, dolayısı ile basıncın artıp nozülde hızla geçmesine neden olur [23].

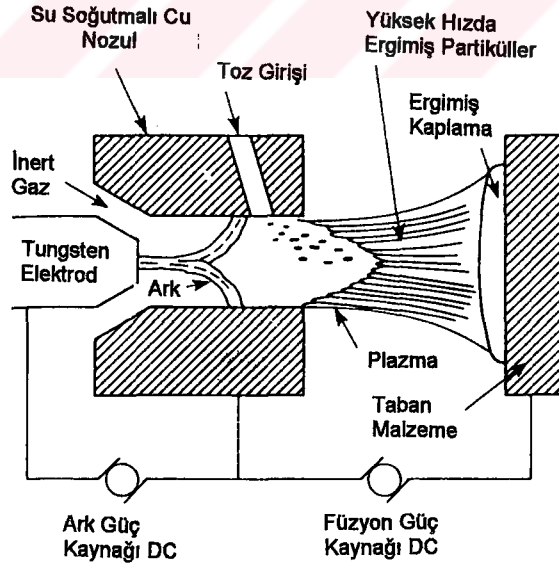
Gaz olarak kimyasal açıdan inert olduğu ve iyonizasyon özellikleri için argon seçilir. Diatomi gazların ilavesi ile (H_2 , N_2), ise entalpi arttırılır.



Şekil 4.8- Plazma ile püskürtme [23]

4.2.4. PTA (Plasma Transfer Ark)

Plazma ile püskürtme yöntemine, ana metal yüzeyinin ısıtılması ve ergitilmesini kazandıran bir yöntemdir (Şekil 4.9). Plazma ile malzeme arasında oluşturulan ikincil bir ark akımı ile yüzeyin ergitilmesi ve nüfuziyet derinliği kontrol edilebilir [23].



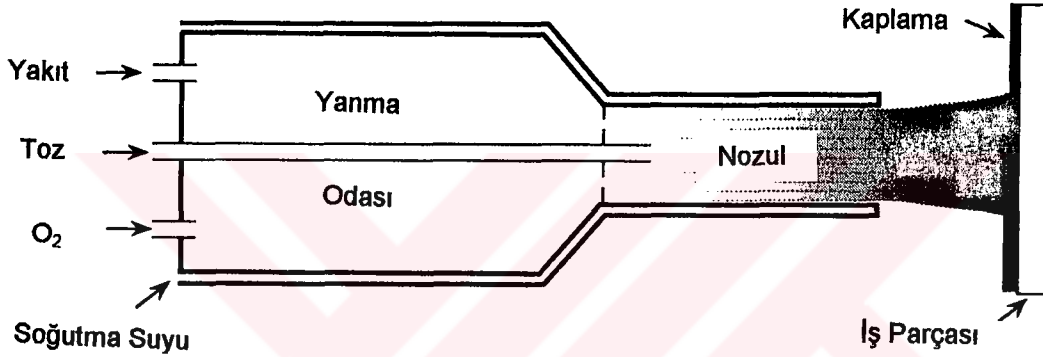
Şekil 4.9- PTA ile püskürtme[23]

Bu direk ısıtma ile, metalurjik bağlanma, yoğunluğu yüksek kaplamalar, yüksek yağma hızları ve paso başına büyük kalınlık gibi avantajlar sağlanabilir. Aynı zamanda PTA daha düşük elektrik gücü gerektirmektedir.

Ana malzemede ısınma meydana geleceği için, mikroyapı değişiklikleri olasıdır. Yöntem elektriksel olarak iletken olan malzemeler ile sınırlıdır [23].

4.2.5. HVOF (Yüksek Hız Oksi-Yakıt / High Velocity Oxy-Fuel)

Genellikle propan, propilen veya hidrojen, oksijen ile karıştırılarak bir yanma odası içerisinde yakılır (şekil 4.10). Yanma ürünleri nozul boyunca genişlerken ses üstü hızlarda parçacıklar püskürtülür. Toz genellikle eksenel bir şekilde yanma odasına beslenir, ısıtılır ve ivmelendirilir. Toz kısmen veya tamamen ergimiş halde olabilir [23].



Şekil 4.10- HVOF ile püskürtme [23]

Uygun teçhizat, işlem parametreleri ve toz seçimi ile yüksek yoğunluklu ve yüksek bağ mukavemetli kaplamalar yapılabilir.

4.2.6. Isıl Püskürtme Tekniklerinde Ön İşlemler

Isıl püskürtme öncesi yüzey oldukça hassas bir şekilde temizlenmelidir. Bu amaçla çeşitli yöntemler mevcuttur.

Isıl püskürtme ile tam bir bağlanmanın sağlanması için, taban malzemesinin yüzeyinin dikkatlice, doğru olarak hazırlanması oldukça kritiktir. Yüzeyler, temizlenmeli ve temizlemeden sonra kumlama veya başka bir yöntem ile kabalaştırılmalıdır. Hazırlık amacıyla çeşitli yöntemler uygulanabilir. Bunlar ;

* Temizleme ve yağdan arındırma;

Kazıma, telle fırçalama, işleme, kumlama, kimyasal işlem.

* Yüzey Pürüzlendirme

- Kaba diş çekme
- Kumlama
- Kaba diş çekme+Kumlama'dır [23].

4.2.6.1. Kaba Diş Çekme

Silindirik ve kalın kesitli kaplamalarda kullanılan bir yöntemdir. Parça tornaya bağlanır ve tek ağızlı diş çekilir. Bu aşamadaki malzemenin, kaplanacak kısmın keskin köşelerine 45° pah kırılmalıdır. Bu işlemde kesme derinliği kaplama kalınlığına göre ayarlanır. Bu dişi açmak için 60° - 70° uç açılı, hafif negatif rake'e sahip takımla diş açılır. İlerleme yaklaşık 0.78-1.26 diş/mm'dir. Eğer kesme sıvısı kullanılma zorunluluğu varsa, bu sıvı, işlemi takiben derhal giderilmelidir [23].

4.2.6.2. Kumlama

Bu işlemde de dikkat edilmesi gereken konular bulunmaktadır. Bunlar ;

- Grit malzemesi ve boyutu
- Grit püskürtmede kullanılan havanın kuru ve temiz olması
- Kumlanacak malzemenin kesit kalınlığı
- Kullanılan kumlama sistemi başka amaçlar için kullanılmamalı ki; gritler bozulmasın

Kumlama sonrası malzeme kuru ve temiz hava ile temizlenmelidir [23].

4.2.7. Kaplama Sonrası Soğutma

Kaplama sonrası mikroyapılar, hızlı soğumuş döküm yapılarına benzerdir. Bu ani soğuma özellikle sert kaplama alaşımları için çatlak oluşumunu teşvik edebilir.

Ani çatlamanın önüne geçebilmek için, kaplama sonrası malzeme oldukça yavaş ve her tür hava akımından uzak bir ortamda soğutma yapmak gereklidir. Bunun dışındaki özel uygulamalar için ise (örneğin IS mastörlerinde), kaplama sonrası döner aparatlarda soğutma yapılmalıdır. Bu tür uygulamalarda, kaplama ardından döner aparat mastör

büyüklüğüne göre belirlenen sabit bir hızla döndürülür ve soğuma gerçekleştirilir [18,22-23].

4.3. Elektrik Ark (Kaynak Tekniği) ile Sert Yüzey Kaplama

Ana metal üzerine kaplanacak alaşım arkın oluşturduğu ısı ile eritilir. Bu ark iş parçası ile elektrod arasına voltaj uygulanarak sağlanır. Arkı muhafaza etmek için gerekli voltaj, elektrodla iş parçası arasındaki mesafeye ve uygulanacak prosese göre değişir. Dolgu malzemesi ya doğrudan doğruya arkı oluşturan elektrottur (harcanan elektrodlu proses) ya da dışardan arka ilave edilen bir malzeme(harcanmayan elektrodlu proses) olabilir. Genel bir kural olarak, harcanmayan elektrodlu prosesler, diğerine nazaran daha düşük güçlerle çalışır, dolayısıyla daha az seyrelme ve daha düşük kaplama hızları karşımıza çıkar. Her iki tip elektrodlu proses de ergitilip ana malzemeye bağlanırken oksitlenmeye karşı korunmalıdır [17].

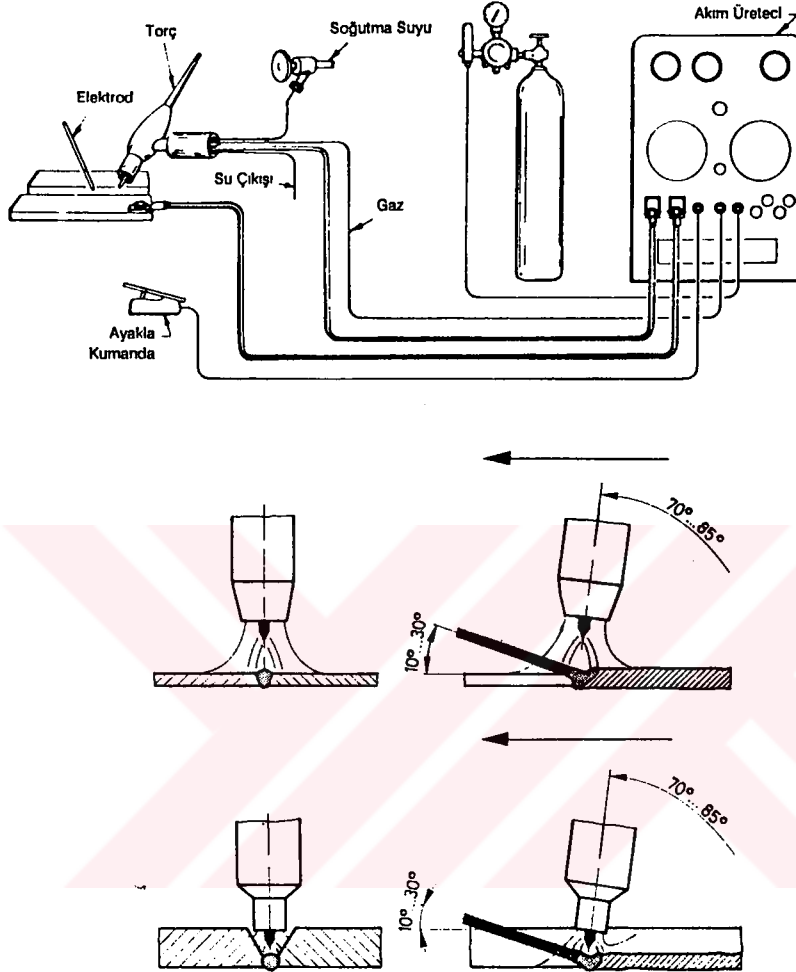
4.3.1. TIG Kaynağı İle Sert Yüzey Kaplama

TIG kaynağı (Şekil 4.11) erimeyen elektrodla yapılan bir gazaltı kaynağı türüdür. Bu yöntemde tungsten elektrotla iş parçası arasında ark teşekkül ettirilir ve bu ark havanın tesirinden argon veya helyum gazı atmosferi ile korunur. Kaynak işlemi için ayrıca ilave bir kaynak metaline (kaynak teli veya çubuğu) ihtiyaç vardır. TIG kaynağı üfleci kaynak esnasında su veya hava ile soğutulmaktadır. Ayrıca bir otomatik kumanda tertibatı vardır. Bu tertibat soğutma devresi için bir güvenlik tertibatı, koruyucu gaz için ayar ventili, akım için otomatik şalter ve yüksek frekans jeneratörü ihtiva eder. Böylece koruyucu gaz sarfiyatı ihtiyaca göre ayarlanır, soğutma tertibatı çalışmadan ark tutuşmaz ve üfleç korunmuş olur [17, 24].

TIG kaynağında koruyucu gaz olarak argon ve nadiren de helyum kullanılır. Helyum gazı havadan hafif, argon ise ağırdır. Bu sebepten helyum uçar ve arkı koruma kabiliyeti daha azdır, argon ise erimiş metali daha iyi korur. Yüksek akımşiddetinin kullanılması gereken hallerde ise daha yüksek ark gerilimi oluşturduğu için helyum gazı kullanılır.

Hafif metal ve alaşımların kaynağında kullanılan argon gazının çok saf olması gereklidir. İçerisinde bulunabilecek su buharı, oksijen ve azot gibi gayri safiyetler kaynağın kalitesini düşürür. Argon gazı 150-180 atm basınçta ve içerisinde 6 ila 9 m³ gaz ihtiva

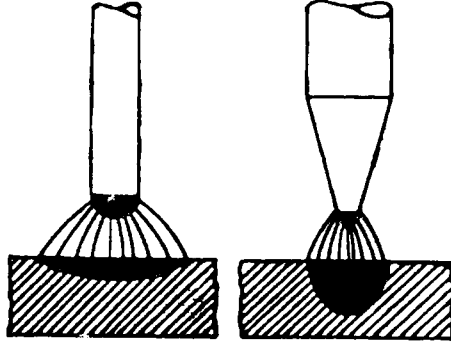
eden tüplerde taşınır. Tüpteki basınç, basınç düşürme manometreleriyle kullanma basıncına düşürülür.



Şekil 4.11- TIG kaynağı ile sert yüzeyle kaplama [24]

TIG kaynağında kullanılan elektrotlar saf tungsten veya tungstenin toryum ve zirkonyum ile alaşımlandırılmasıyla elde edilen elektrotlardır. Bu elektrotlar, toz haldeki malzemenin sinterlenmesiyle elde edilir. Elektrotların uygun akım şiddetiyle yüklenmeleri gerekir. Aksi halde; aşırı yüklemeye, elektrot ucunda erime olur ve bu sebepten kararsız bir ark meydana gelir. Elektrot ucunun sıcaklığı akım yoğunluğu, akım cinsi, kutup durumu ve elektrotun çapına bağlıdır. Aynı zamanda, kaynaklanan parçaya verilen ısı elektrot ucunun formuna bağlıdır. Buna bağlı olarak dikiş formu da

değişmektedir. Elektrot ucunun dairesel olması halinde; nüfuziyeti az, genişliği fazla bir dikiş ve konik uçlu bir elektrotla genişliği az nüfuziyeti fazla olan dikişler elde edilmektedir (Şekil 4.12) [24].



Şekil 4.12- TIG kaynağında elektrot ucuna bağlı olarak çeşitli ark formları [24]

TIG kaynağında kullanılan ve hamlaç olarak ta bilinen üfleçler elektrot tutucu, gaz memesi ve soğutma zarfından meydana gelir. Gaz memeleri seramik veya metalden yapılır. Metal memeler su ile soğutulur.

TIG kaynağında doğru veya alternatif akım kullanılabilir. Fakat alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağında alternatif akım kullanılmalıdır.

Doğru akımda elektrodun negatif kutuba bağlanması durumunda (direkt kutuplama) derin bir nüfuziyet sağlanır, fakat erimiş banyoda elektriksel temizleme tesiri yoktur. Bu sebepten yüzeyde oksit tabakasının meydana geldiği hafif metallerin kaynağında böyle bir kutuplama uygun değildir. Direk kutuplama bakır ve paslanmaz çelik gibi malzemelerin kaynağında uygun olmaktadır.

Ters kutuplama halinde elektrot fazla ısınır ve bu kutuplama hafif metallerde ince saçların kaynağında kullanılır.

Alternatif akım kullanılması halinde, direk ve ters kutuplamadakinin arası bir dikiş formu elde edilir. Akım üretici olarak jeneratörler, redresörler ve transformatörler kullanılabilir. Fakat iki tür akımı da verebilmesi sebebiyle daha çok redresörler kullanılmaktadır.

Kaynak kalitesinin yüksek olması için kaynak ağızlarının ve ilave metalin iyi temizlenmesi gerekir. Kir ve pisliklerin mekanik olarak temizlenmesi gereklidir. Kimyasal temizleyicilerin kullanılması, ark sıcaklığında zehirli gazların teşekküllerine sebep olabilir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kalınlığın 16mm'yi aştığı durumlarda 150°C'lik bir ön tavlama faydalı olur. Ark önce başka bir parça üzerinde tutuşturulduktan sonra esas kaynak edilecek parçalar üzerine getirilmelidir. Parçalarda meydana gelebilecek distorsiyonları azaltmak için parçaların kaynaktan önce tesbiti veya aksi yönde tertiplenmesi gereklidir. Dökme parçaların kaynağında da çatlama meyli sebebiyle 150 ila 250°C arasında bir ön tavlama tatbik etmek gerekir [25].

Genel olarak hafif metal ve alaşımlarla, bakır ve paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan TIG kaynağı ile 15mm kalınlığa kadar olan parçaların kaynağı yapılabilir. Ayrıca kaynak kabiliyeti kötü olan bronzlar, titanyum alaşımları, zirkonyum gibi malzemelerin kaynağı gözeneksiz olarak yapılabilir. TIG kaynağında seyrelme %15 mertebelerindedir.

Kaynak özelliklerini belirleyen 3 temel değişken vardır. Bunlar;

- 1- İlerleme hızı : telin ilerleme hızı arttıkça, erimenin görülmeyeceği noktaya kadar setrelme azaltılabilir.
- 2- Kaynak akımı : Akım arttıkça, setrelme de artar, kaynak dikişleri genişler ve yayılma görülür.
- 3- İş parçasının hareket hızı [25]

Kabul edilebilir seyrelme seviyelerine ulaşabilmek için 100-150A arası bir akım, 4-5mm kalınlığında bir tel ve saniyede 1-2mm'lik bir ilerleme seçilmelidir. 130A'in altında akım seçimlerinde hareket hızının setrelmeye etkisi daha azdır. Bununla birlikte 150A'in üzerinde maksimum setrelme 3-4mm'lik ilerlemelerde görülür. Kaynak havuzunun tungsten tarafından kirlenmesini önlemek için, doldurma olayı DC elektrodu negatif kutupta kullanmak ve uygun en büyük tungsten elektrodu kullanmak gereklidir [25].

Penetrasyonu minimuma indirmek için, yüzeyi eritmede gerekli en düşük akımı kullanmak ve arkı doğrudan alaşım havuzuna veya telin erimemiş ucuna tutmak gereklidir.

Çekilme veya krater çatlakları akım bozunumu, ergimenin aşağıdan yukarıya doğru olabileceği şekilde sağlanması için kontrollü olmalıdır. Akım bozma teçhizatının bulunmadığı durumlarda ark kaynak havuzundan yavaş yavaş çekilmelidir.

TIG kaynağının üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- a) kaynak hızı yüksektir
- b) kaynak ısısı bir bölgeye odaklanabilir
- c) ısı distorsiyonlar azdır
- d) kaynak dikişleri temizdir
- e) kaynaktan sonra dikişin temizlenmesine gerek yoktur
- f) kolay mekanize edilebilir.

Manuel olarak uygulanan TIG prosesi oksiasetlen kaynağına alternatif bir kaynak yöntemi olarak karşımıza çıkar. Özellikle büyük boyutlu ve reaktif matriksli parçalarda çok yerde oksiasetlen kaynağı yerine kullanılır. Oksiasetlen kaynağında taban metal üzerinden karbon kapmayı önlemek çoğu zaman mümkün olmadığı için, böyle durumlarda da TIG kaynağı daha uygun olur [17].

4.4. Alüminyum Bronzlarının Sert Yüzey İle Kaplanması

Alüminyum bronzları, kalıp parçası olarak günümüzde dökme demir malzemelerin yerini almakta olan alaşımlardır. Bu değişikliğin en önemli nedeni, alüminyum bronzlarının yüksek ısı iletkenliği ve yüksek korozyon dirençleridir. Bu çok önemli iki avantaj, bu tip alaşımların sert yüzey ile kaplanmasını ise olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple, alüminyum bronzlarının kaynağı özel prosedürler gerektirmektedir.

4.4.1. Alüminyum Bronzlarının Alevle Püskürtme Tekniği ile Sert Yüzey Kaplaması

Alüminyum bronzlarının alevle püskürtme ile sert yüzey kaplaması esnasında öncelikle dikkat edilmesi gerekli faktörler; ön ısıtma sıcaklığı ve alev ayarıdır.

Öncelikle yüzeyde çok kararlı olan alüminyum ve nikel oksitler mekanik yöntemlerle (örneğin kumlama) temizlenmelidir. Yüzey her türlü yağdan (işleme sıvılarından gelen

yağlar, vücut yağlarından) arındırılmalıdır.

Yüksek ısı iletkenlikleri sebebiyle, ön ısıtma esnasında verilecek ısıyı, malzeme çok hızlı bir şekilde dışarı vererek bu tekniğin en önemli unsurlarından biri olan ön ısıtma sıcaklığını düşürmektedir. Dolayısıyla malzeme üzerine ergimiş halde çarpan ilave metal parçacıkları ana malzeme ile temas ettiği esnada hızla soğur ve yapışma tam olarak gerçekleşmemiş olur.

Alüminyum bronz bir malzemeye alevle püskürtme uygularken, parça mutlak suretle 650-700°C'lerde bir ön ısıtma gerektirir. Kaplama işlemi başladıktan sonra ise kaplama yapılan bölgenin uzağında kalan ve henüz kaplanmamış bölgeler bu esnada soğumaya başlar. Belirli bir bölge kaplandıktan sonra, soğumaya yüz tutmuş bölgeler püskürtme torçu ile püskürtmeye devam etmeden önce tekrar ısıtılmalıdır.

Yüksek korozyon direncini sağlayan sık yapı iletkenlikleri sebebiyle, ön ısıtma esnasında verilecek ısıyı, malzeme çok hızlı bir şekilde dışarı vererek bu tekniğin en önemli unsurlarından biri olan ön ısıtma sıcaklığını düşürmektedir. Dolayısıyla malzeme üzerine ergimiş halde çarpan ilave metal parçacıkları ana malzeme ile temas ettiği esnada hızla soğur ve yapışma tam olarak gerçekleşmemiş olur.

Alaşımların bileşiminde Pb, Te, S içeriği %005'i bulduğunda kaplamada sıcak çatlama olayı oluşur. Özellikle Pb, alaşımların çatlamaya olan direncini olumsuz yönde önemli oranda etkiler.

Bileşimde bulunan Zn ve Sn gibi uçucu elementler ise oluşturdıkları gaz boşlukları sebebiyle kaplamayı olumsuz yönde etkilerler.

Kaplama sonrası, soğutma oldukça kontrollü ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Aksi takdirde, hızlı katılaşma sonucu, ergimiş metal banyosuna girmiş olan gazlar banyodan çıkmaya vakit bulamayıp, gözenekli bir arayüzey oluştururlar. Soğutmanın kontrollü olması aynı zamanda alüminyum bronz ile kaplama alaşımı arasındaki yüksek ısı genleşme farklılıkları sebebiyle oluşabilecek çatlakları da önlemiş olur.

4.4.2. Alüminyum Bronzlarının TIG Kaynağı ile Sert Yüzeyle Kaplanması

TIG kaynağı ile uygulanacak yüzeyler de kaynak öncesi hassas olarak temizlenmelidir.

Bileşimde bulunabilecek zararlı elementlerin etkileri alevle püskürtme ile verilenlerle aynı etkiye sahiptir.

TIG kaynağı ön ısıtmaya karşı, alevle püskürtmeden daha az duyarlıdır. Burada ise gerekli elektriksel ayarlar önem kazanır.

Yüzeyde oluşan oksit filmi, arkın oluşturduğu yüksek sıcaklıklar ile parçalanmaktadır. Bu yöntemde ark sıcaklığı 4000°C'ye kadar ulaşmaktadır. Bu sıcaklık altında, yüzeydeki oksit filmleri parçalanır ve ilave malzeme erimiş damlalar halinde kaplanacak yüzeyi doldurur.

Ark sıcaklığı, alev püskürtme prosesindeki alev sıcaklığına nazaran daha odaklıdır. Bunun yanında oluşan sıcaklık alevin sıcaklığından daha yüksektir. Ark sıcaklığı alüminyum oksitin ergime sıcaklığından yüksek olduğu için bu problemin de önüne geçilmiş olur. TIG kaynağı alüminyum bronz malzemelerin sert yüzeyle kaplanmasında oldukça etkili görünmesine rağmen, bu tekniğin bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

TIG uygulanmış yüzeylerde kaynak ile ana metal arasında kendini seyrelme ile gösteren karışma, kalıp cam ile çalışmaya başladığı zaman cam yüzeyine yansımaktadır. Cam yüzeyine bu izlerin yansımaları istenmeyen bir durum olduğu için seyrilmeyi düşük seviyede tutacak şekilde sistem parametreleri ayarlanmalıdır.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Cam sanayinde kullanılan alüminyum bronz kalıpların sert yüzeyle kaplama işlemi oldukça zor olmakla birlikte, cam üreticisi şirketlerin dökme demir kalıplardan bronzlara süratli geçişleri ve artan talepleri, kalıp üreticilerini çeşitli arayışlar içine itmiştir. Alüminyum bronzlarının sert yüzeyle kaplanması için çeşitli üretici kuruluşların AR-GE bölümlerinin tavsiye ettiği mamül ve yöntemlerin mukayese edilebilmesi amacıyla, bu yöntemler sonucu elde edilen yapılaşma durumlarının karakterizasyonu yapılmış ve bunlar çekme testleri ile desteklenmiştir.

Bu araştırma kapsamında kullanılacak alüminyum bronz malzemenin kimyasal bileşimi;

%9.2-10.2 Al, %14-15.5Ni, %7.5-9.5 Zn şeklindedir.

5.1. Karşılaştırılan Yöntemler

Bu araştırma kapsamında cam sanayine hizmet veren kuruluşların, alüminyum bronz cam kalıpları için önerdiği 4 farklı sert yüzeyle kaplama yöntemi mukayese edilmiştir. Bu yöntemler şunlardır;

- Deloro 40G (Chpo Deloro) kaynak çubuğu (TIG kaynağı),
- AISI 309L paslanmaz çubuk + CPM 8985 (Eutectic+Castolin) ısıt püskürtme tozu (TIG + alevle püskürtme),
- Colmonoy 234 (Wall Colmonoy) ısıt püskürtme tozu (alevle püskürtme),
- 15283 ısıt püskürtme tozu + glass flux + PE 8988 (Eutectic+Castolin) ısıt püskürtme tozu (alevle püskürtme).

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1- Deneysel çalışmalarda kullanılan alaşımlar

	%C	%Cr	%Ni	%B	%Si	%Fe	%Mn	%Mo	%Cu
Deloro 40G	0.2	7.5	81.6	1.2	4	5.5	0	0	0
309L	0	24	13	0	0.5	60	1	0.75	0.75
CPM 8985	0.25	7.5	84.6	1.6	3.5	2.5	0	0	0
PE 8988	0.2	6	82	1.5	3	2	0	0	5
15283	% 7 P, %93 Cu								
Colmonoy 234	0.13	4.63	86.66	1.2	2.64	0.22	0	4.52	0

5.1.1. Deloro 40G ile TIG Kaynağı

Deloro 40G, Chpo Deloro firmasının üretmiş olduğu ve alüminyum bronz malzemeler üzerinde kullanılması için tavsiye ettiği nikel esaslı bir kaplama alaşımıdır.

Alaşım firmanın tavsiye ettiği şekilde, 50mm uzunluklarda Ø3.5mm'lik çubuklar halinde sağlanmış ve TIG kaynağı ile alüminyum bronz yüzeye uygulanmıştır.

Bu şekilde yapılan kaplamalar, ön temizlemeye büyük bir hassasiyet göstermemesine rağmen, öncelikle korundum kumu parçacıklar ile kumlanmıştır. Kumlanan yüzeye herhangi bir ön ısıtma uygulanmadan kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi ise numune boyutlarının küçük olmasıdır. Numune boyutu küçük olduğundan, malzeme kaynak esnasında homojen olarak ısınmakta dolayısı ile ısı genleşme farklılıklarından doğan çarpılma ve çatlamaların önüne geçilmektedir. Çekme testi için kullanılacak numuneler, pim ile bir araya getirilmiştir. Pimler kopma mukavemetini etkilemeyecek şekilde, boşluklu geçme şeklindedir. Parçalara kaynak işlemi, motorlu döner aparat aynasına bağlanarak, uygulanmıştır.

Kaynak esnasında direk kutuplama ve 100A DC kullanılmıştır. TIG kaynak makinesi olarak Messer Greisheim kaynak makinesi kullanılmıştır.

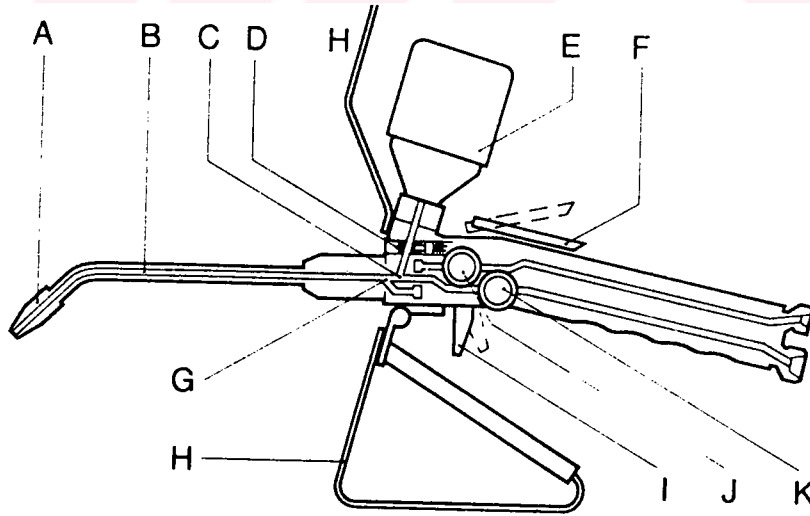
5.1.2. 309L TIG Kaynağı Üzerine CPM 8985 Tozu Alevle Püskürtme

Alüminyum bronz malzemelerin sert yüzeyle kaplanmasında Eutectic+Castolin

firmasının tavsiye ettiği, östenitik paslanmaz çelik üzerine CPM 8985 toz ile alevle püskürtme tekniğidir. CPM 8985 toz, nikel esaslı bir kaplama tozudur. Bu uygulamada östenitik paslanmaz çelik olarak 309L malzeme kullanılmıştır.

Öncelikle kaplamanın uygulanacağı bölge korundum kumu ile temizlenmiştir. Ardından parçaya herhangi bir ön ısıtma uygulanmadan Ø3.5'lik 309L çubuk ile direk kutuplama, 100A DC ark kullanılarak 309L malzeme uygulanmıştır. Daha sonra parçanın kaynak uygulanmış kaba yüzeyi işlenmiş ve toz püskürtme için uygun bir yüzey haline getirilmiştir. İşlenmiş yüzeye kaplama öncesi korundum kumu ile ön temizleme uygulanmıştır. Kumlama sonrası parçaya alevle püskürtme tabancası ile 650°C'ye kadar ön ısıtma uygulanmıştır. Bu ön ısıtma esnasında, parça yaklaşık 200-300°C arasında iken çok ince bir katman toz uygulanmıştır ki; parça yüzeyinin yüksek ön ısıtma sıcaklığına ulaşırken oksitlenmesi önlenmiştir. Ön ısıtma sonrası parça 650°C'ye ulaştığında öncelikle atılan ilk kat toz ısılanma gösterene kadar püskürtme tabancası ile ısıtıldı. Daha sonra 1½ X redükleyici alev kullanılarak (alev zarfı uzunluğu yaklaşık 13mm) parça kaplandı.

Parçalara kaynak işlemi, motorlu döner aparat aynasına bağlanarak, uygulanmıştır. Alevle toz püskürtme işleminde Eutectic+Castolin firmasına ait Eutalloy Superjet tabancası (Şekil 5.1) kullanılmıştır.



A	nozül	D	toz besleme valfi	G	gaz karıştırıcısı	J	asetilen valfi
B	ayarlanabilir bek	E	toz modülü	H	ısı kalkanı	K	oksijen valfi
C	toz emme	F	kontrol manivelası	I	ani kapatma tetiği		

Şekil 5.1- Eutalloy Superjet toz püskürtme tabancası[26]

5.1.3. Colmonoy 234 Tozu ile Alevle Püskürtme

Alüminyum bronz malzemelerin sert yüzeyle kaplanmasında Wall Colmonoy Corp.'un tavsiye ettiği Colmonoy 234 toz nikel esaslı bir kaplama alaşımı olup bileşimi Tablo 5.1'de verilmiştir. -106 μ m tane boyutundaki bu toz ile redükleyici 1½ X alev kullanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle numuneler, korundum kumu ile kumlanmıştır. Kumlama sonrası parçaya alevle püskürtme tabancası ile 650°C'ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Bu ön ısıtma esnasında, parça yaklaşık 200-300°C arasında iken, parçanın ön ısıtma sıcaklığına ulaşırken oksitlenmemesi için çok ince bir katman toz atılmıştır. Ön ısıtma sonunda, parça 650°C'ye ulaştığında öncelikle ilk kat toz ergitilene kadar püskürtme tabancası ile ısıtılmıştır. Daha sonra 1½ X redükleyici alev kullanılarak (alev zarfı uzunluğu yaklaşık 13mm) parça kaplanmıştır.

Parçalara kaynak işlemi, motorlu döner aparat aynasına bağlanarak, uygulanmıştır. Alevle toz püskürtme işleminde Eutectic+Castolin firmasına ait Eutalloy Superjet tabancası (Şekil 5.1) kullanılmıştır.

5.1.4. 15283+PE 8988 Tozları ile Çift Kat Alevle Püskürtme

Alüminyum bronz malzemelerin sert yüzeyle kaplanmasında kullanılması Eutectic+Castolin firması tarafından tavsiye edilen bir diğer yöntemde iki adet toz malzeme olan 15283 ve PE 8988 tozları ile alevle püskürtme tekniği kullanılmıştır.

Öncelikle malzemeler korundum kumu ile kumlanmıştır. Kumlama sonrası parçaya alevle püskürtme tabancası ile, parça yaklaşık 50-100°C arasında iken ince bir katman halinde (1-1.5mm) 15283 toz atılmıştır. Parçanın 15283 tozu ile kaplanmış yüzeyine Eutectic+Castolin firmasına ait Glass-Flux dekapanı sürülmüştür. Dekapan yüzeyine doğrudan alev temas ettirilmeden parça ısıtılmış ve dekapanın iyice ıslanma gösterdiği (terleme) görülmüştür. Soğuduktan sonra üzeri ten fırça ile temizlenen parça, alevle püskürtme tabancası ile 650°C'ye ısıtılır. Bu ön ısıtma esnasında parça yaklaşık 200-300°C arasında iken, oksit oluşumunu önlemek için çok ince bir katman PE 8988 toz atılmıştır. Parça tam olarak 650°C'ye ısıtıldıktan sonra 1X nötr alev ile (alev zarfı uzunluğu yaklaşık 13mm) PE 8988 toz uygulanmıştır.

Parçalara kaynak işlemi, motorlu döner aparat aynasına bağlanarak, uygulanmıştır. Alevle toz püskürtme işleminde Eutectic+Castolin firmasına ait Eutalloy Superjet tabancası (Şekil 5.1) kullanılmıştır.

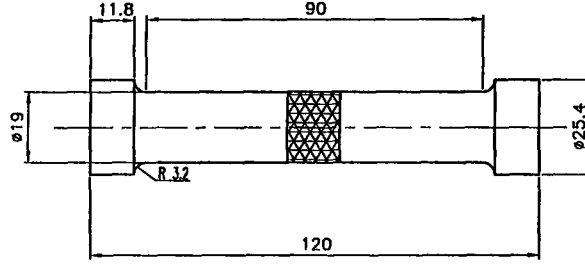
5.2. Deney Numuneleri

Alüminyum bronz malzemelere sert yüzeyle kaplama uygulaması için önerilen 4 adet yöntemin karakterizasyonu için 4 adet mikroyapı karakterizasyon numunesi ve 4 adet çekme testi numunesi kullanılmıştır.

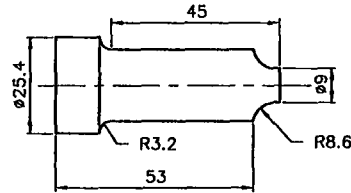
5.2.1. Çekme Testi Numuneleri

Alüminyum bronz cam kalıplarında kullanılması çeşitli araştırma kurumlarınca tavsiye edilen 4 farklı yöntem sonucu elde edilen kaplamaların yapışma mukavemetlerinin karşılaştırılabilmesi için çekme testi uygulanmıştır. Karşılaştırılması yapılacak yöntemlerde üç farklı sert yüzey ile kaplama teknolojisi uygulanmıştır. Bunlar; TIG (tungsten inert gaz) kaynağı, alevle püskürtme (flame spray-simultaneous fusion) ve bunların her ikisinin de uygulandığı yöntemlerdir. Gerek ısı püskürtme ile gerekse de TIG kaynağı ile elde edilen kaplamalar için belirli yapışma testi standart numuneleri mevcuttur. Bununla birlikte, alüminyum bronzları üzerinde uygulanacak olan bu üç farklı teknik için aynı standardı kullanmak mümkün değildir. Bu nedenle, standart dışı, fakat yöntemlerin hepsinin karşılaştırılmasının yapılabilceği çekme numuneleri hazırlanmıştır.

Öncelikle, üzerine kaplamanın yapılacağı alüminyum bronz müldebaklardan aşağıdaki Şekil 5.2'de gösterildiği şekilde kesilmiş ve tornalanmıştır. Şekil 5.2'de gösterilen bu parçalar çekme numunesinin yarı parçasını teşkil etmektedir. Bu parçalardan iki tanesi, kaynak yuvalarının açıldığı yerden, kesme numunesini oluşturacak şekilde birleştirilmiştir. Kaplama yönteminin uygulandığı esnada iki parçanın merkezlenmesinin sağlanabilmesi için parçaların her ikisinin birleşme yüzeylerine birer adet pim yuvası açılmış ve çekme testini etkilemeyecek şekilde bu yuvalardan pim ile birleştirilmiştir.



ÇEKME NUMUNESİ



HER BİR NUMUNE İÇİN 2 ADET

Şekil 5.2- Çekme testi numuneleri

Hazırlanmış 4 adet numune üzerine numaralar verilmiştir. Her bir numarayı taşıyan numune üzerine 4 farklı yöntemle sert yüzey kaplama uygulanmıştır.

5.2.2. Mikroyapı Karakterizasyonu

Alüminyum bronz cam kalıplarında kullanılması çeşitli araştırma kurumlarınca tavsiye edilen 4 farklı yöntem sonucu elde edilen kaplamaların, yapışma durumlarının karakterizasyonu için enerji dağılım spektrometresi bağlantılı JSM 840 tarama elektron mikroskobu kullanılmıştır.

SEM ile analizi mümkün kılacak, küçük boyutlu parçalar, orjinal alüminyum bronz müldebaklardan kesilmiş ve hazırlanmıştır. Hazırlanmış numuneler üzerine numaralandırma yapılmış ve her biri farklı yöntemlerle kaplanmıştır.

Kesit üzerinde mikroyapı analizinin yapılabilmesi için, kaplama sonrası parçalar frezelenmiş ve kesitleri ortaya çıkarılmıştır. Kesit uygun şekilde parlatıldıktan sonra Viella reaktifi (1 birim HNO_3 + 2 birim asetik asit + 4 birim gliserin) ile dağlanmışlardır.

BÖLÜM 6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Çekme Testi Sonuçları

Yüzeye uygulanan kaplamaların yapışma dirençleri Mohr & Federhaff Üniversal çekme cihazı kullanılarak (max. 12t yük kullanılarak) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan hareketle kaplama yöntemleri birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Uygulanan yük altında çekme işlemi gerçekleştirilmiş ve her bir numune için aşağıdaki kopma değerleri ortaya çıkmıştır (Tablo 6.1). Bu tabloya göre TIG kaynağının kullanıldığı prosesler diğerlerine göre oldukça yüksek kopma yükleri vermişlerdir. Her numunenin kopma sonrası kırılma yüzeyleri incelenmiş, kırılma yüzeyinden hareketle kaplama prosesinin karakterizasyonu da gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.1- Çekme Testi Sonuçları

Kaplama Yöntemi	Kopma Yükü (N)
5.1.1 (Deloro 40G/TIG)	96040
5.1.2 (309L/TIG + CPM 8985/püskürtme)	95942
5.1.3 (Colmonoy 234/püskürtme)	1960
5.1.4 (15283+8988/püskürtme)	39396

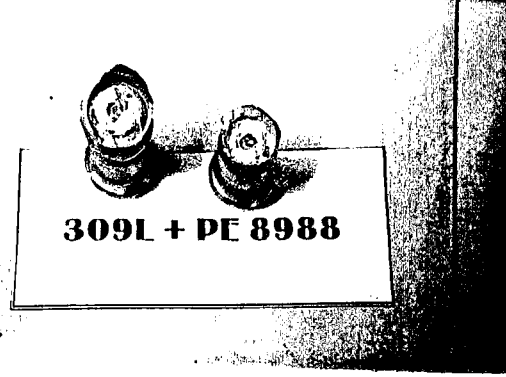
5.1.1 yöntemi ile kaplanmış-birleştirilmiş numune çekme testi sonunda 96040N'luk yükte kopma göstermiştir. Numunenin kopma yüzeyi incelendiğinde (Şekil 6.1), herhangi bir plastik deformasyon oluşmaksızın tam gevrek tipte bir kırılma gözlenmiştir. Kaplama numunesi, 96040N'luk yük uygulandığında yapışma yüzeyinden kopma göstermemiştir. Kopma kaplama alaşımının kendisinde görülmüştür. Kopan yüzeylerde, reaksiyon bölgesini oluşturan arayüzeyin bir kısmının kopan parçanın birinde, bir kısmının ise diğerinde olduğu görülmüştür. Bu gözlem homojen bir yapışmanın olduğuna işaretir.



Şekil 6.1- 5.1.1 yöntemi uygulanmış çekme numunesinin, test sonrası görüntüleri.

5.1.2 yöntemi ile kaplanmış-birleştirilmiş numune, çekme testi sonunda 9790kg'lık yükte kopma göstermiştir. Numunenin kopma yüzeyi 5.1.1 prosesine benzer şekilde (Şekil 6.2), plastik deformasyon oluşmadan gevrek kırılmanın oluştuğunu göstermektedir. Numune 9790kg'lık yük uygulandığında, yapışma yüzeyinde kopma göstermemiştir. Yöntem 5.1.1'de görüldüğü gibi, kopan yüzeylerde kopma bölgesini oluşturan arayüzeyin bir kısmının kopan parçanın birinde, bir kısmının da diğerinde olduğu görülmüştür. Bu da homojen bir yapışmanın oluştuğunu göstermektedir.

5.1.3 yöntemi ile kaplanmış-birleştirilmiş numune, çekme testi sonunda 200kg'lık bir yükte kopma göstermiştir. Numunenin kopma yüzeyi incelendiğinde (Şekil 6.3), kaplama alaşımı üzerinde herhangi bir zorlama ve buna bağlı çatlak oluşumu görülmemiştir. Zira kopma tamamıyla arayüzeyden gerçekleşmiştir. Reaksiyon bölgesi gözlemlenmeyen numunede, kopma sonrası ana metal yüzeyinde herhangi bir pürüzlülük dahi görülmemiştir. Bu da yapışmanın gerçekleşmediğinin bir göstergesidir.



Şekil 6.2- 5.1.2 yöntemi uygulanmış çekme numunesinin, test sonrası görüntüleri.



Şekil 6.3- 5.1.3 yöntemi uygulanmış çekme numunesinin, test sonrası görüntüleri.

5.1.4 yöntemi ile kaplanmış-birleştirilmiş numune ise, çekme testi sonunda 4020kg'lık bir yükte kopma göstermiştir. Numunenin kopma yüzeyi incelendiğinde (Şekil 6.4), kopmanın yer yer yapışma arayüzeyinde yer yer de kaplama alaşımı üzerinde olduğu anlaşılmıştır. Arayüzey boyunca oluşan çizgisel çatlak ise arayüzeyde oluşan gerilmelerin yoğunlaşması sonucu, kaplama alaşımının çekme doğrultusuna dik

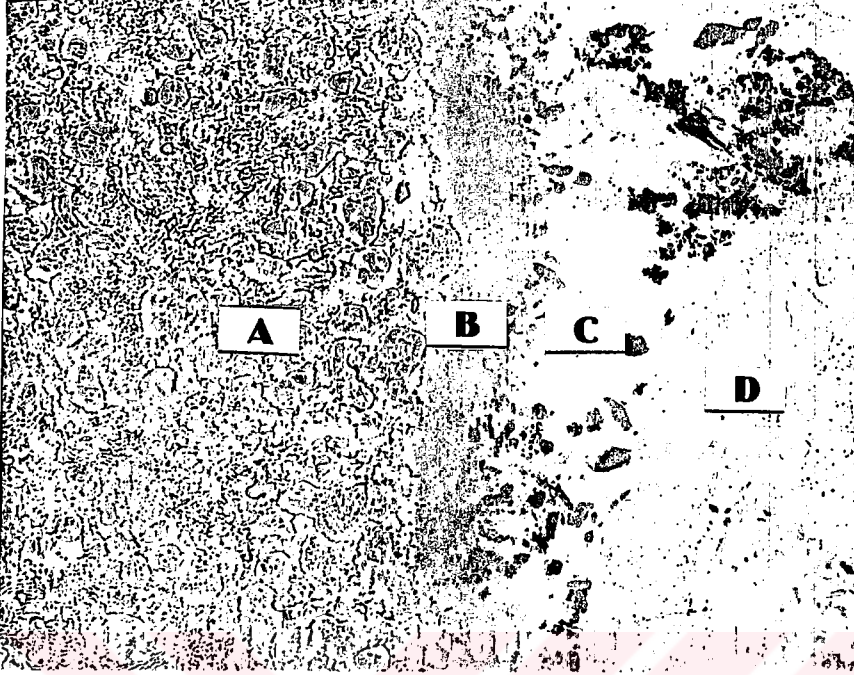
yönlere de gerilmeye maruz kaldığını işaret etmektedir. Dolayısı ile kopma yer yer kaplama alışımda da görülmekle birlikte, asıl kopma nedeninin arayüzey uyumsuzluğu olduğu sonucu çıkarılabilir. Kaplama alışımdı üzerinde gerçekleşen kırılma tipi, gevrek karakter göstermektedir.



Şekil 6.4- 5.1.4 yöntemi uygulanmış çekme numunesinin, test sonrası görüntüleri.

6.2.Mikroyapı Karakterizasyonu

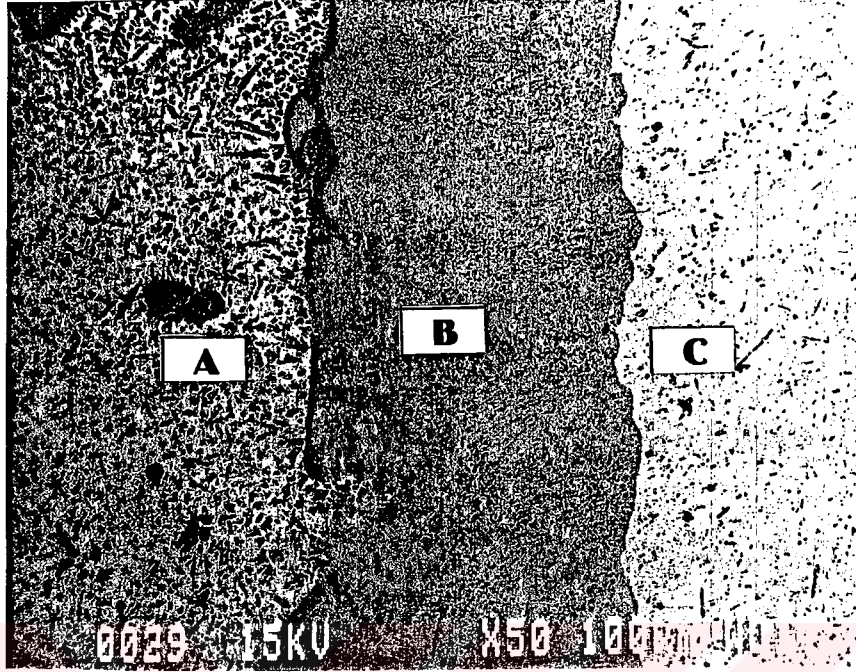
5.1.1 prosesin uygulandığı numuneye ait mikroyapı fotoğrafı ve spektral analiz sonuçları Şekil 6.5'te verilmiştir. Bu fotoğrafa göre alüminyum bronz malzeme ile kaplama alışımdı arasında, 10µm kalınlığında bir reaksiyon bölgesi (Şekil 6.5'te B bölgesi görölmektedir. Bu bölgedeki spektral analiz incelendiğinde yapının alüminyum ve nikelce zengin olduğu görölmektedir. Ara yüzeyde gerek ana metalle, gerekse de kaplama alışımdı ile oldukça iyi bir yapışma gösteren bu bölge, kaplamanın oldukça yüksek gerilmelerde kopmasına da sebep olmuştur. Bu Al ve Ni'ce zengin fazın oluşması için gerekli sıcaklığa ancak TIG kaynağı ile ulaşılabilmiştir. Bu nedenle TIG kaynağı uygulanan yapılarda, bu tip reaksiyon bölgeleri görölmektedir. Reaksiyon bölgesi burada kendini seyrelme olarak göstermiştir.



	A	B	C	D	C+D
Al	8.69	14.81	1.45	6.76	0.32
Si	0.47	0.66	2.51	1.39	2.6
Fe	1.79	2.58	3.81	2.42	2.96
Ni	13.89	52.69	70.31	48.03	69.73
Cu	67.74	23.62	5.49	29.81	1.28
Zn	7.42	4.58	0.21	3.79	0
Cr	0	1.07	15.11	7.36	21
S	0	0	0	0.43	0.33
Mo	0	0	1.11	0	1.79

Şekil 6.5- 5.1.1 yöntemi uygulanmış numuneye ait mikroyapı ve spektral analiz sonuçları.

5.1.2 yöntemi uygulanmış numuneye ait mikroyapı fotoğrafı ve spektral analiz sonuçları Şekil 6.6'da verilmiştir. Bu yapıda alüminyum bronz-309L arayüzeyinde oluşan 10µm kalınlığındaki reaksiyon bölgesi sebebiyle yapışma tam anlamıyla gerçekleşmiştir. Bu arayüzeyde ve kaynak metalinde herhangi bir boşluk veya çatlağa rastlanmamıştır. Yapışmaya sebep olan reaksiyon bölgesi seyrelme ile sağlanmıştır.

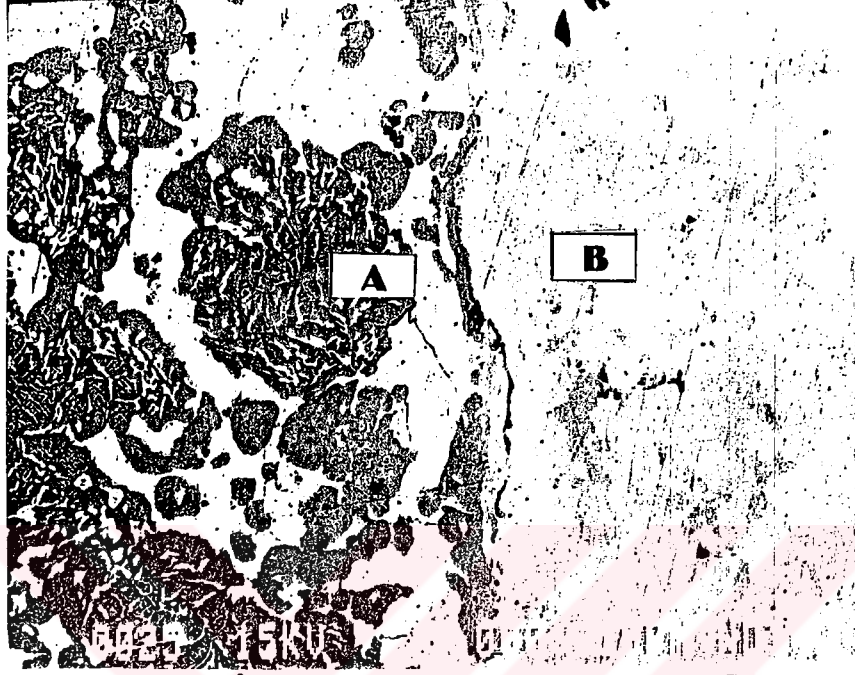


	A	B	C
Al	9.7	0.9	0.25
Si	0.45	0.52	3.49
Fe	2.56	56.15	2.81
Ni	15.36	13.14	83.95
Cr	0.55	22.96	9.5
Cu	63.11	4.73	0
Zn	7.98	0	0
Mn	0.29	1.6	0

Şekil 6.6- 5.1.2 yöntemi uygulanmış numuneye ait mikroyapı ve spektral analiz sonuçları.

309L-CPM 8985 arayüzeyinde, toz kaplamanın doğasından gelen özelliği itibariyle seyralme oranları oldukça düşüktür. Bu düşük orandaki seyrelme film üzerinde de açıkça görülmektedir (Şekil 6.6). Arayüzeyde bir reaksiyon bölgesi oluşmamasına rağmen, yapışma tam anlamıyla gerçekleşmiş görülmektedir. Bununla birlikte 309L malzemenin östenitik yapısının oda sıcaklığında da kararlı olması sebebiyle homojen bir görüntü vermektedir. Kullanılan 1½ X'lik redükleyici alevin 309L malzeme üzerinde oluşmuş olan oksit tabakasını redüklemek için yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

5.1.3 yöntemi uygulanmış numuneye ait mikroyapı fotoğrafı ve spektral analiz sonuçları Şekil 6.7'de verilmiştir.



	A	B
Al	13.54	0.19
Si	0.64	2.99
Fe	2.24	1.36
Ni	23.46	81.56
P	0	0.73
Cr	0	3.97
Cu	53.77	9.2
Zn	6.36	0

Şekil 6.7- 5.1.3 yöntemi uygulanmış numuneye ait mikroyapı ve spektral analiz sonuçları.

Bu fotoğrafta görülebildiği gibi kaplama ana metal arasında boşluklar ve çatlaklar mevcuttur. Yapışmayı kolaylaştıracak bir reaksiyon bölgesi oluşumu gözlemlenmemektedir. Bununla birlikte boşluk sebebinin yüzeydeki yüksek ergime sıcaklığına sahip oksiti de gideremediği anlaşılmaktadır.

5.1.4 yöntemi uygulanmış numuneye ait mikroyapı fotoğrafı ve spektral analiz

sonuçları Şekil 6.8'de verilmiştir. Mikroyapıda standartlaşmış alüminyum bronzu yapısından farklılıklar görülmemektedir. Düşük seviyelerdeki seyrelme ile birlikte ara yüzeyde sürekli ve/veya birbiri ile bitişik boşluklar gözlemlenmiştir. Bu boşluklar redükleyici alevin yüzeydeki oksit tabakasını giderecek ölçüde yeterli olmadığını desteklemektedir. Yeterli ergimenin sağlanamadığını söylemek ise oldukça zordur. Zira kaplama bölgesinde homojen bir kaplamanın gerçekleştiği, bu mikroyapıya bakarak söylenebilir; ancak kaplama alaşımının ergimesi esnasında ana metalle kaplama arasında yapışmayı sağlayacak bir reaksiyon bölgesi oluşmamıştır.



	A	B
Al	11.52	0.26
Si	0.54	2.78
Fe	1.59	0
Ni	19.91	78.37
Cr	0.17	7.31
Cu	58.96	0
Zn	7	0
P	0.3	3.39
Mo	0	7.89

Şekil 6.8- 5.1.4 yöntemi uygulanmış numuneye ait mikroyapı ve spektral analiz sonuçları.

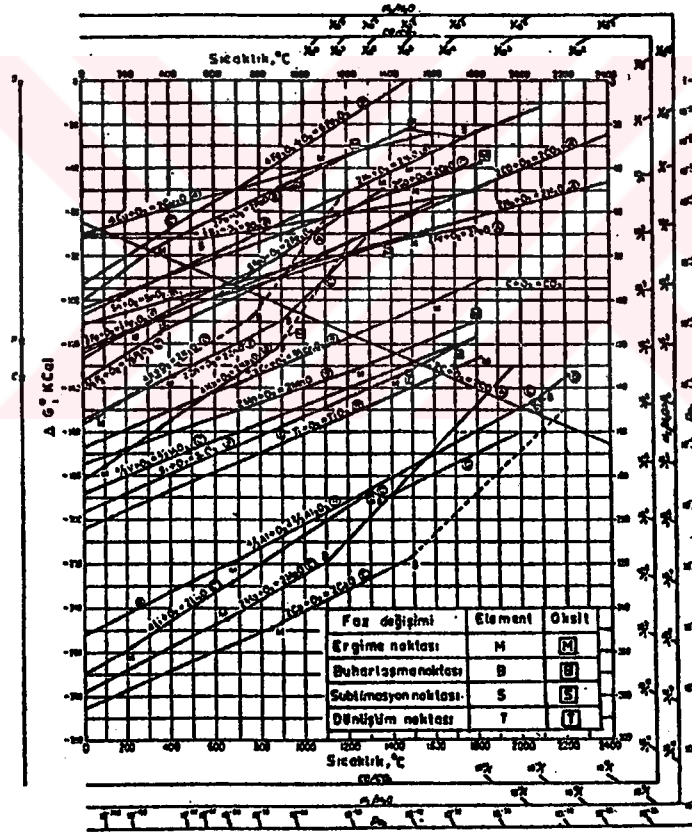
6.3. Tartışma

Alüminyum bronz malzemelerin kaplanmasıdaki en temel sorun, malzemenin yüzeyinde bulunan sert ve kararlı oksit tabakasıdır. Isı karşısında en dirençli oksit ise Al_2O_3 'tür. Al_2O_3 'ün giderilmesi için redüklenmesi veya ergitilip parçalanarak yok edilmesi gereklidir. İyi bir yapışma ise üç şekilde sağlanabilmektedir.

Birinci yöntem, ana metal yüzeyinin belirli bir sıcaklığa çıkarılarak, ergimiş ilave metalin yüzeyi ıslatmasının sağlanmasıdır. Bir diğer yöntem ise, püskürtme hızı sebebiyle ilave metal partiküllerinin ana malzeme yüzeyinde mekanik olarak tutunmalarının sağlanmasıdır; ancak bu çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerde böyle yüksek hızlara çıkılamadığından ve de ilave metal partiküllerinin ana metal yüzeyini deforme edemeyecek şekilde ısıtılmış/ergitilmiş olması, dolayısı ile de yumuşak hale getirilmiş olması sebebiyle bu karakterde bir yapışma oluşmamıştır. Üçüncü yöntem ise ana metal ve ilave metal yüzeylerinin yüksek sıcaklıklarda kısmi ergitilmesi ve yapışmayı sağlayacak bir reaksiyon bölgesi oluşturması esasına dayanır. Bu şekilde oluşturulmuş bir reaksiyon bölgesi, iki metal arasında ve her ikisi ile de uyumlu bir geçiş tabakası olarak davranır.

Alevle püskürtme tekniğinde, oksî-asetilen alevi için redükleyici bir ayar yapılmıştır. Asetileni oksijenine göre 1 ½ kat fazla olan alev ile yüzeydeki oksit tabakasının giderilmesi düşünülmüştür. Oysa ki ilgili Ellingham diyagramına baktığımızda (Şekil 6.9), bu tür bir redüklemenin gerçekleşmesi için, en az 2000°C sıcaklığa ihtiyaç olduğu görülür [27]. Uygulanan yöntemlerde alev, kaplanacak yüzeyden yaklaşık 5mm uzakta tutulmaktadır. Bunun amacı oksî-asetilen alevinin metal yüzeyini yakmaması ve ergimiş ilave metal damlacıklarının uygun plastiklikte ana metal yüzeyine yapışmasını sağlamaktır. Asetileni fazla olan bir alevin, ise metal yüzeyini 2000°C'ye çıkarması bu şartlarda imkansız gibi görülmektedir. İlave metalin yüzeyi ıslatabilmesi için, akla gelebilecek bir diğer yöntemde dekapan kullanımıdır. Oysa kullanılan kaplama alaşımları kendinden flakslı olduklarından, dekapan kullanımı sonuçta giderilemediğinde ara yüzeyde kendini boşluk olarak gösterebilir. (Şekil 6.7)

Al-Cu-Ni üçlü denge diyagramına bakıldığında (Şekil 6.10) ve de aralarındaki yüksek elektronegativite farklılıkları sebebiyle, elimizdeki alüminyum bronz bileşiminin bulunduğu bölgede ilk oluşacak fazın NiAl olacağı aşikardır. Reaksiyon bölgesi oluşumu gösteren numunelerin, spektral analizlerine bakıldığında Şekil 6.5 ve 6.6), bu bölgelerin Ni ve Al'ca zengin olduğu görülmektedir. Al-Ni denge diyagramında da görülebileceği gibi (Şekil 6.11), bu bileşiğin oluşması için gerekli sıcaklık, 1640°C'dir. Alevle püskürtme yöntemi uygulanan numunelerin mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında, bu sıcaklığa ancak lokal olarak ulaşıldığı söylenebilir. Dolayısı ile yapışmayı sağlayan, NiAl içeren reaksiyon bölgesi, lokal olarak oluşmuş ve tam bir yapışma sağlanamamıştır.

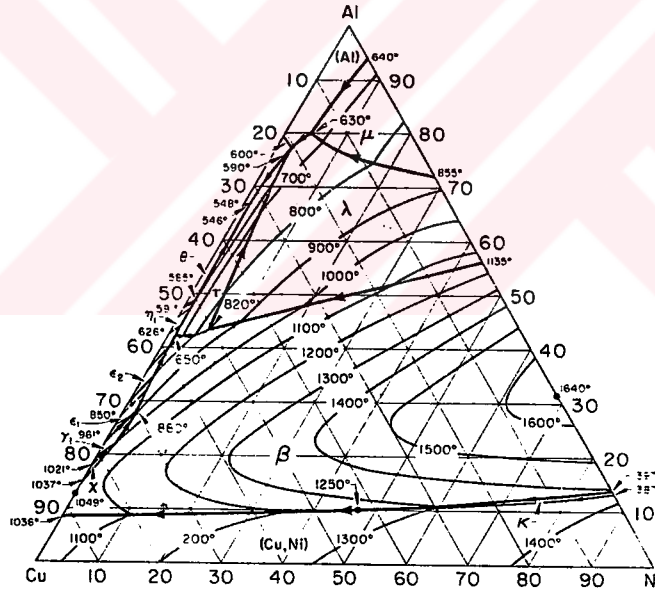


Şekil 6.9- Ellingham diyagramı. [27]

TIG kaynağında oluşturulan arkın sıcaklığı yaklaşık 4000°C'dir. Bu sıcaklık, oksiasetilen alevi ile kıyaslandığında oldukça odaklı bir şekilde malzemeye verilmektedir.

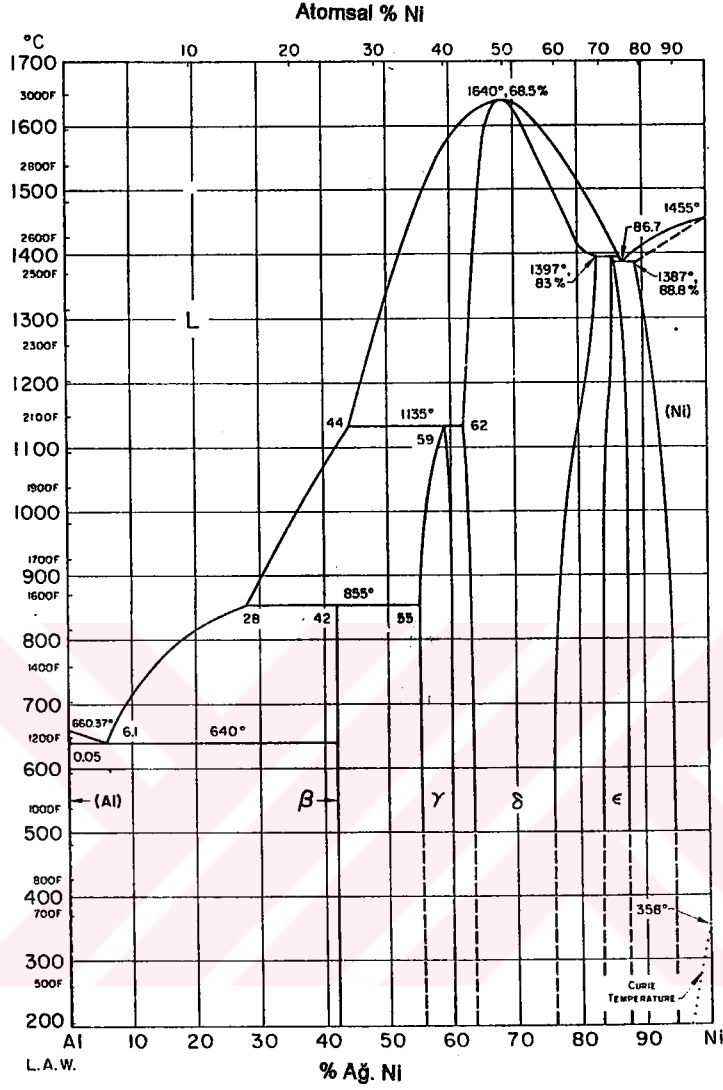
Bu odaklı ve yüksek sıcaklığa sahip ark, yüzeydeki oksitleri parçalamaktadır. Aynı zamanda TIG kaynağı uygulanan numunelerin mikroyapı fotoğraflarında da görüldüğü gibi, NiAl içeren bir reaksiyon bölgesi de oluşmuştur. Oluşan bu reaksiyon bölgesi homojendir ve yapışmanın oluşmasını sağlamıştır.

5.1.2 yönteminde ise yukarıda anlatılanlardan farklı bir durum gözlenmiştir. TIG kaynağı ile uygulanan ilk katman ile ana metal arasında yukarıda bahsi geçene benzer bir reaksiyon bölgesi oluşmuştur. Bu katmanın üzerindeki oksit katmanı ise Al_2O_3 içermemektedir ve oksi-asetilen alevi ile giderilebilmiştir. Dolayısı ile ilave metal ana metal (ki burada 309L katmanı), yüzeyini ıslatabilmiş ve yapışma bu katmanda da, üstelik reaksiyon bölgesi oluşumu görülmeden sağlanabilmiştir.



Al-Cu-Ni üçlü sistemindeki fazların yaklaşık formülleri					
Faz	Formül	Faz	Formül	Faz	Formül
β	Cu_3Al , $NiAl$	ϵ_1 , ϵ_2	Cu_3Al_2	κ	Ni_3Al
χ	Cu_9Al_4	ζ_1 , ζ_2	Cu_4Al_3	ι	$NiAl$
γ_1	Cu_2Al	η_1 , η_2	$CuAl$	λ	Ni_2Al_3
γ_2	Cu_9Al_4	θ	$CuAl_2$	μ	$NiAl_3$
δ	Cu_3Al_2			τ	Cu_3NiAl_8

Şekil 6.10- Al-Cu-Ni üçlü denge diyagramı. [28]



Al-Ni ikili sisteminde oluşabilecek fazlar				
Faz	Formül	Simetri	Sembol	Prototip
β	Al ₃ Ni	ortorombik	D0 ₂₀	Al ₃ Ni
γ	Al ₃ Ni ₂	trigonal	D5 ₁₃	Al ₃ Ni ₂
δ	AlNi	HMK	B2	CsCl
ε	AlNi ₅	YMK	L1 ₂	AuCu ₃ I

Şekil 6.11- Al-Ni denge diyagramı.[28]

Bu çalışma sonucunda oksî-asetilen alevinin, gerek reaksiyon bölgesini oluşturacak, gerekse de oksit tabakasını giderecek sıcaklığa ulaşamadığı görülmüştür. Böyle olunca

alüminyum bronz malzemeler üzerine alevle püskürtme tekniği ile uygulanan kaplamanın yapışmasının güvenilir değerlerde olmadığı ortaya çıkmıştır.

TIG kaynağı ile uygulanan kaplamalarda ise, yapışmanın mükemmel yakın olduğu söylenebilir. Bu tür iyi bir yapışmanın, yüzeydeki seyrelme sonucu oluşan reaksiyon bölgesinin olduğu görülmektedir. Seyrelme sonucu kaplama alaşımının bileşiminde değişiklikler meydana gelmişse de, kaynağın birde fazla pasoda yapılması sonucu, kaplamanın aşınma ve korozyon direnci açısından optimum değerlere ulaşabilecek olması bu sorunu da ortadan kaldıracaktır.

6.4. Genel Sonuçlar

Bu çalışma sonucu elde edilen verileri şu şekilde sıralayabiliriz:

- TIG kaynağında kullanılan ark sıcaklığı ile alüminyum bronz malzeme yüzeyindeki yoğun alüminyum oksit tabakasının parçalanarak giderilmesi mümkündür.
- TIG kaynağında kullanılan ark sıcaklığı ile yapışmayı kolaylaştıracak bir reaksiyon bölgesinin oluşumu mümkün olabilmektedir.
- Alevle püskürtme tekniği uygulanandığında, yoğun oksit tabakası giderilememektedir.
- Alevle püskürtme tekniği uygulandığında, alüminyum oksiti redükleyebilmek için gerekli sıcaklığa homojen olarak ulaşamadığı için, redükleyici alev kullanımı da gerekli yapışmayı sağlayamamaktadır.
- TIG kaynağı uygulandığında, yapışmayı sağlayan reaksiyon bölgesi oluşumu ilave metalin seyrelmesini, dolayısıyla da ana yapı ve özelliklerinden uzaklaşmasına neden olacağından, tek paso yerine birden fazla paso ile optimum kaplama özelliklerine ulaşılacaktır.

BÖLÜM 7 ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar sonucunda, oluşan reaksiyon bölgesinin yapışmayı kolaylaştırdığı görülmektedir. Bu ise ilave malzemede seyrelme görülmesi ile sağlanır. Eğer bu olayın önüne geçilmesi ve bu nedenle de seyrelme oranı çok daha düşük olan alevle püskürtme tekniği kullanımı gerekli ise yapışmayı ergimiş toz partiküllerinin yüzeyi ıslatması ile sağlanabilir. Bunun için gerekli olan temiz yüzeyin sağlanması gereklidir. Yoğun alüminyum oksit tabakasının giderilebilmesi için yüzeyde belirli bir miktar kalınlıkta (yaklaşık 100 μ m), alüminyum giderme uygulanabilir.

Bir başka yöntem gündeme geldiğinde, PTA gerek çok odaklı olarak çok yüksek sıcaklıklara ulaşabilmesi, gerekse de argon gibi koruyucu bir atmosferde bu işlemi gerçekleştirmesi nedeniyle alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkabilecektir.

KAYNAKLAR

- 1- SENKRON Metalik ve Seramik Kaplamalar Ltd. Şti. , Ürün Kataloğu
- 2- S.Kuşçuoğlu, D.Yücesoy, S.Engin, ŞİŞECAM Eğitim Müdürlüğü, Cam Teknolojisi'ne Giriş Seminer Notları, Nisan 1993
- 3- Eutectic+Castolin Institute, Preventative Maintenance Division, Synoptec for Glass Works
- 4- S.Gökben, Topkapı Şişe San. A.Ş. eğitim/Geliştirme Notları, Bölüm 5 Ürün ve Kalıp Bilgisi
- 5- N.Erinç, Cam Kalıp Malzemeleri, ŞİŞECAM Teknik Bülten, 1992, c21, no:1, sf:26-31
- 6- S.Kuşçuoğlu, Kalıp Malzemeleri, ŞİŞECAM Teknik Bülten, 1980, c.9, no:1, sf:14-27
- 7- A Practical Handbook Modern Metal Cutting, Sandvik Coromant, Chapter Machinability
- 8- R.Kirch, Metals in Glassmaking, Glass Science & Technology 1993
- 9- Topkapı Şişe Sanayii A.Ş. Eğitim/Geliştirme notları, 5. Bölüm-Ürün ve Kalıp Bilgisi
- 10-Y.Doç.Dr. Kelami ŞEŞEN, Mehmet CİNGİ, Pik Cam Kalıp Malzemelerinin Kalıp Performansına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi- İTÜ-Ocak 1997
- 11-Prof.Dr. N.ERUSLU, Y.Doç.Dr. Y.TAPTIK, Y.Doç.Dr. A. ALTMİŞOĞLU, Alaşımlar Ders Notları
- 12- Erie Bronze & Aluminium Company, General Comments About Effect of Elements on Glass Moulds Non-ferrous Foundry & Machine Shop Training Courses.
- 13- Doç.Dr. A. AKDOĞAN, Alüminyum Bronzlarına Üçüncü Alaşım, Makine Market Sayı: 1, Temmuz 1996
- 14- OMCO Mould Data Sheet, I-21 1982
- 15- K.O'connel, Benefits of Bronze Alloy Moulds, Glass International, June 1990
- 16- N.V. OMCO SA Mould Data Sheet, Survey of Bronze Alloys 1972
- 17- D.L.OLSON, G.R.EDWARDS, S.LIU, T.A.STEWART, ASM Handbook, Volume 6
- 18-O.Anderson, A.Stalberg, Höganäs Metal Spray Powder Information HF 90-1 19- L.A.ABEL, R.T.KIEPURA, P.THOMAS, H.F.LAMPMAN, N.D.WHEATON, ASM Handbook Volume 2
- 20- O.ANDERSON, A.STALBERG, Quality Control of Metal Spray Powders, Höganäs

Metal Spray Industry

- 21- Y.Doç.Dr.S.SALMAN, Isıl Püskürtme Teknikleriyle Yapılan Kaplamaların Tipik Uygulama Alanları, Makine Tek, Temmuz 1996
- 22- Plant Manager Industrial Protective Maintenance, Through Welding No:26 Centre for Scientific Research of the Eutectic+Castolin Institute
- 23- K.S. DRAGOLICH, K.FERJUTZ, N.D.WHEATON, M.S.WOODS, ASM Handbook Volume 5
- 24- Prof.Dr.S.ANIK, Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar, 1991
- 25- Deloro Stellite, Surfacing Consumables, Product Leaflet
- 26- Eutectic+Castolin, Eutalloy Superjet Operating Manual
- 27- Prof.Dr.F.DİKEÇ, Doç.Dr.S.AYDIN, Metalurji Termodinamiği, Problemler ve Çözümler
- 28- Aluminium Binary & Ternary Alloy Systems, ASM Handbook Volume 9

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Ankara'da doğdu. İlk okulu Kavaklıdere İlkokulunda, orta okul ve liseyi TED Ankara Koleji Vakfı Özel Lisesi'nde okudu. 1991 yılında Ankara Koleji'nden mezun olduktan sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü'ne başladı. Lisans eğitimini 1995 yılında Metalurji Mühendisi Unvanı ile tamamladı. Lisans bitirme tezini "Katalitik Konvertörlerin Seramik Filtrelerinin Şekillendirilmesi" konusunda hazırladı. 1995 yılında başlamış olduğu Yüksek lisans eğitimini halen Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Anabilim Dalı Malzeme Bölümü'nde sürdürmektedir.

