

# SERT DOLGU MALZEMELERİNE GENEL BİR BAKIŞ

## BÖLÜM I

Met. Yük. Müh. MELİKE MİHRAN CAVCAR  
OERLIKON Kaynak Elektrodları ve San. A.Ş.

### SERT DOLGUNUN TANIMI:

Sert dolgu, bir parçanın aşınmaya karşı korunması için, verilen bir alaşım türünü, ana malzeme üzerine yığılması veya kaplanmasıdır. Sert dolgu kaynağı, metal parçaların ömrünü arttırmak için yüzeylerinde aşınmaya dirençli yüzey oluşturmakta düşük maliyetli bir metoddur. Daha az parça değişimi, bakım zamanının azalması, ana parçanın ucuz malzemelerden yapılabilirliği ve genel maliyette düşüş gibi avantajları vardır. Pek çok sert dolgu kaynağı bakımın bir parçası veya tamir operasyonu olarak yapılır fakat en etkili sonuca yalnızca sertliği dikkate alarak bir kaynak metali elde etmekle ulaşılamaz. Metal-metal sürtünmesi, aşınma, darbe ve darbe ile birlikte aşınmanın da dahil olduğu servis şartlarında yüksek aşınmaya maruz olan parçaların ömrünü uzatmak ve korumak için sert dolgu yapılabilir .

Aşınma ve aşınma mekanizmalarını inceleyen bilime “triboloji” denir. Sert dolgu, çok farklı alaşım türleri ile yapılabilir. Karşılaşılan aşınma faktörlerinin kombinasyonuna direnç gösterecek optimum alaşımın seçimi kolay bir konudur, fakat bunun için her alaşımın aşınmaya dirençte katkısını belirleyen davranışları ve özellikleri dikkate alınmalıdır .

**Kimyasal bileşim ve termo-mekanik geçmiş tarafından belirlenen alaşımın mikroyapısı, aşınmaya dirençte en önemli ve belirgin katkısı sağlayan özelliktir .**

Aşınmanın, *düşük gerilimli* (aşındıran parça üzerindeki kuvvet, parçayı kırmaya ve öğütmeye yeterli olmayan), *yüksek gerilimli* (aşındıran parça üzerindeki kuvvet parçaları kırarak öğüten), *kuru aşınma*, *yaş aşınma*, *yüksek hızla parça kayması* (yaş veya kuru), *metal-metal aşınması*, (adhezyon), *darbe* v.b. türlerde aşınmanın pek çok türü vardır. Bu nedenle sert dolgu alaşımlarını derecelendirirken direnç göstereceği aşınma türünü belirtmek de gereklidir. Bu amaçla ASTM farklı aşınma türlerini test etmek amacıyla standart test metotları geliştirilmiştir. Bunlar, ASTM G65 (düşük gerilimli aşınma), ASTM G 99 (yüksek gerilimli

aşınma), ASTM G 105 ( yaş düşük gerilimli aşınma), ASTM G 75 (karışım aşındırması), ASTM G 76 (sıvı çarpması)'dır.

**Fe bazlı sert dolgu alaşımları sınıfında, farklı derecelerde aşınma direnci sağlayan, ferrit/beynit, martensit, östenit ve karbürler dahil olmak üzere pek çok mikroyapı mevcuttur. Çoğu durumda karbürler Fe-bazlı sistemde en yüksek aşınma direncini sağlar.**

## **FE-BAZLI SERT-DOLGU ALAŞIMLARININ STANDARDİZASYONU VE MİKROYAPILARI:**

Fe- bazlı sert dolgu alaşımları mikroyapı olarak martensitik, östenitik ve karbür yapı olmak üzere üç ana grupta toplanabilir. Fakat ticari Fe-bazlı sert dolgu kaynak metalleri Uluslararası Kaynak Enstitüsü'nün (IIW) sert dolgu alaşımlarının standardizasyonu için yaptığı çalışmalarda alaşımın mikroyapılarını baz almaktadır. Uluslararası Kaynak Enstitüsü'nün (IIW) Fe-bazlı sert dolgu alaşımlarının standardizasyonu ve sınıflandırılması konusunda çalışmaları henüz sonuçlanmamış olup, planlanan standardizasyon aşağıdaki şekildedir.

MİKROYAPI TÜRÜ	STANDARDİZASYONU (Planlanan)
1. Ferrit (ikinci bir faz ile)	E-H-Fe-FS
2. Martensit Tip I - Düşük C, Düşük Alaşım	E-H-Fe-M1
3. Martensit Tip II - Yüksek C, Düşük Alaşım	E-H-Fe-M2
4. Martensit Tip III - Düşük C, Yüksek Alaşım	E-H-Fe-M3
5. Martensit Tip IV - Orta C, Yüksek Alaşım	E-H-Fe-M4
6. Martensit + Karbürler - Tip I	E-H-Fe-MK1
7. Martensit + Ek Karbürler - Tip II	E-H-Fe-MK2
8. Martensit + Ötektik Karbürler	E-H-Fe-MEK
9. Martensit + Birincil Karbürler	E-H-Fe-MKP
10. Östenit Tip I - (Cr Ni) ve Östenit + Ferrit	E-H-Fe-A1-AF
11. Östenit Tip II - Yüksek C, Orta Alaşım (Mn)	E-H-Fe-A2
12. Östenit Tip III - Orta C, Yüksek Alaşım (Mn Cr)	E-H-Fe-A3
13. Östenit Tip II ve III +Ek Karbürler	E-H-Fe-A2K,A3K
14. Östenit + Birincil Karbürler	E-H-Fe-AKP

15. Östenit + Ötektik Karbürler E-H-Fe-AKE  
16. Östenit + Birincil, Ötektik ve Ekstra Karbürler (3). E-H-Fe-AKK

Şekil 1, Fe-bazlı ticari sert dolgu malzemelerini alaşım içeriğine ve karbon içeriğine göre mikroyapılarını sınıflandırır ve verilen her sert dolgu metali analizi ile gerçek mikroyapısını gösterir (1).

## **SERTLİK DIŞINDAKİ BAZI ÖNEMLİ ÖZELLİKLER AŞINMAYA KARŞI DİRENCİ BELİRLER**

Her uygulama için ihtiyaçlar değişiktir. Endüstride genellikle uygulamalarda malzeme seçimi, kaynak metalinin sertliğine ve alaşım miktarına göre seçilir. Fakat bu konudaki araştırmalar bunu desteklememektedir.

Örneğin, bir parçada yüzey sertliğinin 50-55 Rockwell C olması gerekebilir. Bu martensitik, çalışma ile sertleşmiş östenit veya krom karbür mikroyapı ile sağlanabilir fakat, herbiri farklı tür aşınmaya direnç gösterirler. **Martensit, metal-metal aşınması için en iyi sonucu verirken, krom-karbür abrazyona (mineral aşınmasına) daha yüksek direnç sağlar ve çalışma ile sertleşmiş östenit oyma ve darbe aşındırması için en iyi seçimdir.**

Elektrodlardaki gelişmeler, karşılaşılan spesifik aşınma türüne göre, en iyi direnç gösterecek malzemenin seçimine olanak sağlamaktadır. Bazı uygulamalarda aşınma türlerinin kombinasyonu etkilidir. Mesela; **tek bir örtülü elektrod kullanımı, birincil östenit ile ötektik karbürleri birleştirerek darbe ve aşınma direnci özelliği kazandırabilir.** Alternatif olarak, manganlı çelik üzerine veya manganlı dolgu kaynağı üzerine bir paso krom-karbür kaynak metali kaynak yaparak darbe ve aşınma direnci kombine edilebilir. Bileşik elektrod (birincil östenit ile ötektik karbür) darbe direncinin daha önemli olduğu yerde tercih edilebilirken, östenitik manganlı çelik üzerine krom-karbür malzeme de aşınmanın daha önemli olduğu yerde tercih edilebilir.

## **KAYNAK YÖNTEMİNİN SEÇİMİ:**

Sert dolgu kaynağının nasıl ve hangi tür malzemelerle yapılacağını saptamak için aşağıdaki sorular gözden geçirilmelidir: Tercih edilen kaynak yöntemi nedir?, Ana malzeme nedir? Aşınma sebepleri nelerdir?, Kaynak sonrası yüzey kalitesi nedir ?

**Sert dolgu için ark kaynak yönteminin seçimi parçanın boyutuna, ölçüsüne, kullanılan ekipmanlara ve sert dolgunun sıklığına bağlıdır.** Kullanılabilecek metodlar :

1. Örtülü elektrod kaynağı : Minimum ekipman ihtiyacı vardır, her pozisyon ve koşulda yapılabilir.
2. Yarı otomatik kaynak : Tel sürücü ve kendinden korumalı/gaz korumalı özlü tel kullanılır. Metal yığıma hızı yüksektir.
3. Otomatik kaynak (Tozaltı kaynağı) : Bu otomatik kaynak yöntemi genellikle ilk kuruluş gerektiren ve en yüksek metal yığıma oranına sahip yöntemlerdir. Otomatik kaynak en yüksek verimliliği sağlar fakat daha çok üretim amaçlı veya büyük hacimli benzer parçaların tamirinde kullanılmaktadır.

### **SERT DOLGU MALZEMESİNİN SEÇİMİ :**

Çeşitli elektrodların alaşım içerikleri ve karbon içerikleri ile mikroyapıları Şekil 1’de verilmiştir. Karbon miktarını bir eksen ve alaşım miktarını da diğer eksen gösterilmiş ve diyagram mikroyapı ve aşınmaya göre bölünmüştür. Sert dolgu ürünün mikroyapısal özelliğini ve direnç göstereceği aşınma türü diyagramdan bulunabilir. Pek çok ürün burada birbiri ile kıyaslanabilir ve uygulama için en iyi ürün seçilebilir.

**Martensitik alaşımlar**, havada sertleşebildiklerinden soğuma hızı, sonuçta oluşacak sertliği de etkiler. Çatlaksız bir kaynak metali için (120-320°C) arasında bir ön tav uygulanmalı, bu işlem yapılırken ana malzeme de dikkate alınmalıdır. Düşük karbonlu ve % 5’in altında düşük alaşımlı martensitik alaşımlar çeliklerin dolgu kaynaklarında kullanılmaktadır. B tür alaşımlar metal-metal sürtünmesine, sıkışma dayanımına ve bir miktar da darbe dayanımına sahip olduklarından, dolgu kaynaklarında ve daha sert alaşımlar kullanırken tampon tabaka olarak kullanılabilir.

Biraz daha yüksek karbonlu ve daha yüksek alaşımlı (% 6-12) martensitik alaşımlar, oldukça yüksek kaynak sonrası sertliğe sahiptir. Bu sertlik bunlara daha iyi metal-metale sürtünme direnci ile abrazyon direnci sağlar, fakat tokluk düşer. Tokluğu arttırmak için temperleme yapılır. Bu alaşımlar daha çok tampon tabaka olarak kullanılır.

Diğer grup martensitik alaşımlar da martensitik paslanmaz çeliklerdir. Bu alaşımların ısı şoklarına direnci, yüksektir.

**Östenitik alaşımlar,** oda sıcaklığında dahi mikroyapıları östenittir. % 0.5-1 karbon ve % 13-20 alaşımlı (başlıca mangan ve çok az oranda nikel ve krom) çelikler östenit manganlı veya “Hadfield Manganlı” çelikler olarak adlandırılır.

Bunlar genellikle temiz yüzey elde edilmesi istenen dolgularda ve karbürlü alaşımlarla doldurulacak östenitik manganlı çeliklerde tampon tabaka olarak kullanılır. Östenitik alaşımları % 0.7 karbon ve % 20-30 alaşım elementi (mangan, krom ve nikel) ihtiva edenleri, düşük alaşımlı ve karbonlu çelikler üzerine yapılan ve ana metalden fazla karışma olan durumlarda dahi, tam östenitiklerdir. Bu durum bu tip çeliklerin karbonlu veya düşük alaşımlı çeliklerle manganlı çeliklerin birleştirilmelerinde, yada karbonlu çeliklerin sert dolgu tabakalarında östenitik manganlı çelikler çok daha avantajlı kılar.

Östenitik dolgu alaşımları oldukça toktur ve soğuk sertleşme (çalışma şartlarında sertleşirler) gösterirler. Aynı zamanda mükemmel darbe, orta abrazyon direnci ve genellikle gerilim çatlakları oluşturmama özellikleri de vardır. Bu tip alaşımlar 50 HRC'ye kadar darbe ile sertleşirler, bu durum onlara darbe direnci yanında iyi bir abrazyon direnci de sağlar. Östenitik dolgu alaşımları aynı östenitik manganlı ana malzeme gibi 260°C'nin üzerine çıkmamalıdır aksi halde gevrekleşir ve çatlayarak kırılır.

% 0.03 ile % 1.0 arasında karbon içeren malzeme martensit veya manganlı östenitik yapıdadır. Martensitler (düşük alaşımlı, takım çeliği, veya paslanmaz) manganlı östenitiklerden daha serttir. Karbür yapı içermeyen bu iki malzemenin ana fazları aşınmaya direnç gösterir ve martensitler aşınmaya dirençte daha avantajlıdır.

**Karbürlü sert dolgu alaşımları** , mükemmel abrazyon direncine, iyi ısı direncine, orta korozyon direnci ve hafif darbelere karşı orta direnci vardır. Aşınma faktörünün yalnızca abrazyon olduğu hallerde başlıca krom ve diğer karbürleri en az % 12 oranında içeren dolgu alaşımları kullanılır. Karbürler, kendini çevreleyen matristen daha serttir ve mükemmel abrazyon dayanımı sağlarlar.

Abrazyon ve darbenin birlikte olduğu hallerde karbon oranı düşük seviyelerde (% 3'ten az) olmalıdır. % 2 ile % 3 arasında, yapı daha çok birincil östenittir ve daha az östenit karbür ötektiği içerir, bu nedenle aşınma dayanımı bir miktar artar. Karbürler matris içinde az miktarda dağılmıştır ve bunlar iyi tokluk değerinin yanında iyi bir abrazyon direnci sağlarlar.

% 3.5 karbon miktarından sonra birincil karbürler görülmeye başlar, fakat aralıklı olarak bulunduğu için aşınma direncini belirlemede östenit-karbür yapı baskındır. % 4 karbonun üzerindeki malzemenin aşınma direnci, aşınma direnci çok yüksek olan birincil karbürler tarafından belirlenir ve % 5 karbon miktarına kadar aşınma direncinde az bir iyileşme görülür. Abrazyon ve yüksek sıcaklığın birlikte olduğu hallerde, karbon oranı (%7) gibi karbür alaşımı içinde arttığında abrazyon direnci yükselir fakat tokluğu düşer. Tüm yüksek karbürü sert dolgu alaşımları gerilim nedeniyle oluşan çatlakları ihtiva ederler. Bu tip alaşımlar kesinlikle birleştirme amaçlı kullanılamaz. Karbonlu, düşük alaşımlı, östenitik manganlı çeliklere ve dökme demirlerde özel kaynak prosedürleri ile kullanılır. Ana metal hatasız ve tok olmalıdır, aynı zamanda kaynak dikişlerinin pullanıp kalkmasını önlemek için karbürü sert dolgu alaşımı en fazla 2-4 paso uygulanmalıdır. Çatlaklar ince malzemeye sirayet edebilir. İnce malzemeler üzerinde uygulamada gerilim çatlakları oluşması nedeniyle özel bir dikkat gösterilmelidir. Bu tür alaşımlar iyi abrazyon direnci yanında yüksek sıcaklıklarda (650°C) abrazyon direncine sahiptirler.

Bir mikroyapı grubunda, krom miktarının aşınma direnci üzerinde etkisi olsa dahi çok azdır. Fakat, korozyonun etken olduğu bir aşınma türünde örneğin yaş aşınmada, krom miktarının yüksek olmasının avantajı vardır. Aynı mikroyapı grubu içinde % 16 Cr'lu malzeme, % 32 Cr'lu malzeme kadar aşınma direncine sahiptir. Aşınma direncini mikroyapı belirler, Mikroyapıyı tamamen olmasa da karbon miktarı belirler.

## **SERT DOLGU KAYNAĞINA HAZIRLIK VE ÖN ISITMA:**

**Tüm kaynak prosedürlerinde olduğu gibi, sert dolgu kaynağında da uygun yüzey hazırlığı en kritik noktadır.** Kötü bir şekilde çatlakmış, deforme olmuş veya çalışma ile sertleşmiş bölümler işlenerek çıkartılmalı ve yeterli dolgu malzemesi eklenerek sert dolgu yapılacak yüzey iyileştirilmelidir. Tüm pas, kir, gres ve yağ kaynak yapılacak yüzeyden arındırılmalıdır.

Metalin sertliği arttıkça, daha kırılğan olmaya eğilimlidir. Bu nedenle, çok fazla sert dolgu metali yağmamaya dikkat etmek gerekir. Kalın kesite sahip sert dolgu kaynak metalleri çalışma sırasında çatlak veya kırılarak ayrılır. Eğer bir parça orijinal boyutlarından çok fazla

aşınmış ise parçayı orijinal boyutlarına getirmek için uygun miktarda dolgu metali kullanılmalıdır. İstenen özelliklere göre sert veya yumuşak dolgu malzemeleri kullanılabilir.

Özellikle büyük parçaların veya farklı miktarlarda alaşım elementi, yüksek karbon içeren ve hareket serbestliği olmayan parçaların sert dolgu işleminde ön ısıtma önemli bir ihtiyaçtır. Isıl işlem genellikle hidrojen kırılgenliğini önlemek için yapılır fakat aynı zamanda genleşme ve çekmeleri kontrol etmek için de, çok önemlidir. Sert dolgu yaparken parçalar genleşir ve çekerler. Farklı malzemelere ve şekillere sahip olanlar, farklı miktarlarda genleşir ve çekerler bu da, çatlamaya neden olur. Sert dolgu kaynakları çatlamaya daha eğilimlidir çünkü, kaynak diğer yöntemlere göre daha geniş bir alanda yapılır.

Çatlama riski yüksek olan parçalarda sert dolgu uygulamasından önce tampon paso uygulaması çatlama riskini de azaltmaktadır.

### **SERT DOLGU KAYNAĞININ UYGULANMASI:**

Sert dolgu kaynağında, gerçek dolgu kalınlığı uygulamanın ihtiyaçlarına göre değişir. Fakat genelde malzeme ne kadar sert ise o kadar ince uygulanır. Çok sert malzemeler için, mesela krom karbür, pek çok uygulamada çok fazla çatlak oluşumunu engellemek için iki pasodan fazla uygulanmamalıdır. Krom-karbür malzemeler gerilim giderme sırasında çatlak oluşması için tasarlanmıştır. İlk paso büyük birkaç çatlak yerine ince fakat çok sayıda çatlakların oluşumunu kontrol etmek için yüksek kaynak hızı ile yapılmalıdır.

Sert dolgu malzemesini seçerken darbe, korozyon, erozyon, termik şok gibi etkiler tek tek veya bileşim olarak dikkate alınmalıdır. Bazı uygulamalar özel kaynak prosedürleri gerektirir. Büyük aşındırıcı ve sert bir malzemeyle çalışan bir değirmen veya çene, malzemenin hareket yönünde kaynak yapılması, sıvılı karışımın aktığı bir taşıyıcı da hareket yönüne dik olarak kaynak yapılması aşınmayı azaltmakta etkili olabilir.

Merdane üzerinde kaynak yaparken, spiral şekilde kaynak yapmak, uzunlama kaynak yaparken olabilecek çarpılmayı azaltmakta etkilidir.

### **SEYRELMENİN ETKİSİ:**

Bir sert dolgu malzemesinin mikroyapısı, ana malzeme ile olan seyrelme nedeniyle değişir. Seyrelme, birinci ve ikinci pasoda hem karbon hem de alaşım miktarını değiştirir. Seyrelme nedeniyle dördüncü pasoda birincil karbür oluşturan bir sert dolgu elektrodu, ikinci

pasoda ötektik yakını ve birinci pasoda birincil östenit yapı oluşturur. Eğer alaşımsız çelik üzerinde birinci pasoda, birincil karbürlerin yüksek aşınma direncine ihtiyaç duyuluyorsa çok yüksek karbona sahip bir elektrod seçilir veya birincil karbon yapıda herhangi bir karbon miktarına sahip elektrod kullanarak, seyrelmeyi sınırlandırmak için özel kaynak prosedürü uygulanır. Bindirmeyi fazla yapmak da bunu sağlayabilir. Bazen seyrelmeyi sınırlandırmak için kullanılan kaynak yöntemi de değiştirilebilir. **Karbonlu çelik üzerine yapılan kaynakta alaşım elementlerinin seyrelmesi, birinci pasoda mikroyapıyı da değiştirebilmektedir.** Alaşım kompozisyonunun manganlı östenitik bir yapı veren bir elektrod, karbonlu çelik üzerine uygulandığında kaynak metali, alaşım elementlerinin seyrelmesi nedeniyle martensite dönebilir. Bu mikroyapı değişimi hem birinci pasonun kompozisyonundan hem de sertliğinden anlaşılabilir. Manganlı östenitik sert dolgu kaynak metali kaynaktan sonra 20-25 Rockwell C sertliğindedir fakat, karbonlu çelik üzerine yapılan birinci paso 50 Rockwell C veya daha yüksektir, bu da martensitik yapıyı gösterir. Bu şekilde bir paso sert dolgu kaynağı yük altında kolayca çatlar. Tek pasoda da manganlı östenitik kaynak metali oluşturan sert dolgu elektrodları vardır. Bu elektrodlar çok yüksek miktarda alaşım elementleri içerdiği için karbonlu çeliklerde seyrelmeye rağmen birinci pasoda kararlı östenit fazını oluşturabilirler, böylece kaynak metaline yüksek tokluk ve darbe direnci kazandırır.

Aynı karbon miktarına sahip, kromu karbür içinde bulunan birincil karbür alaşımlar ile daha pahalı karbür yapıcı Nb, Ti, V veya W gibi elementler içeren birincil karbür alaşımların düşük gerilimli aşınma direncinde göz ardı edilebilecek kadar az fark vardır. Fakat aşınma, aşındırıcı parçaları kıran yüksek gerilimli durumda da olabilir. Yüksek gerilimli aşınmada daha pahalı olan Nb, Ti, V ve W gibi elementlerin karbürleri krom-karbürlerden daha iyi direnç gösterir.

## **SONUÇLAR:**

Yapılan çalışmalar sertliğin aşınma direncini tahmininde zayıf bir etken olduğunu göstermiştir. Bunun yanında ortaya çıkan önemli sonuçlar da şunlardır.

1) Fe-bazlı sert dolgu alaşımlarının düşük gerilimli aşınma direncini belirleyen en önemli faktör; sertlik değil mikroyapıdır.



- 2) Aşınma direnci en yüksek alaşımlar mikroyapılarında, birincil karbür ile östenit-karbür ötektiğinin bulunanlardır.
- 3) Aşınma direnci ikinci yüksek malzeme, östenit-karbürün ötektik yanı kompozisyonudur.
- 4) Fe-bazlı sert dolgu alaşımlarının mikroyapısını ve dolayısıyla aşınma direncini belirlemede en önemli element karbondur. % 4'ün üzerinde karbon ve % 16'nın üzerinde krom içeriği birincil karbürler ile birlikte östenit-karbür ötektik sert dolgu mikroyapısını verir.
- 5) Ana malzeme ile olan seyrelme, sert dolgunun birinci (ve hatta ikinci) pasosunda düşük seyrelmeli veya çok pasolu sert dolgulardan farklı mikroyapıların oluşmasına neden olabilir. Sert dolgunun özellikleri seyrelme etkisi ile beklenenden farklı olabilir.
- 6) Sert dolgu metalinin istenen mikroyapıya sahip olabilmesi için daha yüksek karbon (ve/veya daha yüksek alaşım) içeren elektrodların seçimi ile seyrelme etkisi aşılabılır.

Bir sonraki sayıda sert dolgu alaşımları ve kullanım yerleri daha detaylı anlatılmaya çalışılacaktır.

#### **KAYNAKÇA:**

- 1.D.J. Kotecki ve J.S. Ogborn, 'Abrasion Resistance of Iron-Based Hardfacing Alloys', Welding Journal, Vol: 74 ,No: 8, 269-s - 278-s, 1995
2. IIW Com. II, Sub-Com-III, 'A Classification System For Hardfacing Alloys', II-1303-96 (III-221-96) 4th Draft. Part I- Fe-Based Alloys.
3. D. Kotecki, 'Hardfacing Benefits Maintenance and Repair Welding' Welding Journal, Vol: 71, No:11, 51-53, 1992
4. 'Kaynakla Tamir Bakım', Ark Magazin, Yıl: 3, Sayı : 1, Oerlikon Yayını, 1995
5. 'Sert Dolgu Kaynağı', Oerlikon Seminer Notları, 1995