

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Makine dizaynlarında önemli bir probleme sebep olan aşınma, kullanılan malzemelerin diğer malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen bir durumdur. İstenmeden meydana gelen bu durum, çeşitli makine ve teçhizatın kullanımı esnasında kırılma kadar önemli bir problem olmasa da, çok büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Bu durum çalışan sistemlerde önemlidir. Bunun nedeni, temas eden yüzeylerde sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise, işleme toleranslarının kötüleşmesine sebep olmaktadır. Bu kaybı asgariye indirmek işletmelerde mühendislerin konusu olmuştur.

Aşınan bir parçanın yenisiyle değiştirilmesi çoğunlukla ekonomik olmayan bir durumdur, ayrıca çalışan mekanizmaların bir süreliğine durmasına neden olur. Bu nedenlerden dolayı aşınmaya maruz kalan mekanizmalara ait parçalar için aşınma direnci yüksek malzemelerin kullanılması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Ancak aşınmaya dayanıklı malzemelerin maliyetlerinin çok yüksek olması sebebiyle, çeşitli aşınma türleri ve zorlanma şartlarıyla karşılaşan parçalar, kullanılamaz hale gelmeden önce, aşınan kısmın seçilecek uygun dolgu kaynak yöntemlerinden birisi ile doldurulması sonucu malzemenin ilk formuna ulaşması aynı zamanda aşınmalara karşı daha dirençli bir hal alması sağlanır.

Sürekli aşınma tesiri altında çalışma sonucu aşınmaya maruz kalarak, çalışma toleransları dışına çıkan ve görev yapamaz duruma gelen mekanik sistemlerden biride raylı taşıtların boji aksamalarında görev yapan ve takım çeliğinden imal edilen kayma plakalarıdır.

Bu tez çalışmasında raylı taşıtlarda çalışan kayma plakalarının aşınma davranışları incelendi. Aşınma sonucu formunu kaybeden plakalara, elle elektrik ark kaynak

yöntemiyle sert dolgu işlemi uygulandı. Hasarlı plakaların bu işlem ile eski formuna getirilmesi ve aşınmaya daha dayanıklı dolgu yüzeyleri elde edilmesi amaçlanmıştır. yeniden kullanımının sağlanması ile bakım ve yenileştirme maliyetlerinin daha düşük düzeylerde gerçekleştirilebilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2. TAKIM ÇELİKLERİNİN TANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Takım çelikleri sıcak ve soğuk haldeki iş parçalarını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemleri ile şekillendirme, talaşlı ve talaşsız imalat gibi işlerde kullanılan yüksek nitelikli çeliklerdir. İlk kullanılan takım çelikleri sade karbonlu çeliklerdi. 1868 'den sonra 20. yüzyıla kadar bu konuda büyük gelişmeler kaydedilmiş ve birçok yüksek alaşımli takım çeliği geliştirilmiştir. Kompleks alaşım elementlerinden oluşan takım çelikleri, özellikle tungsten, molibden, manganez ve kromun sağladığı üstün özelliklerden dolayı popüler hale gelmişlerdir.

Takım çelikleri çelik sınıflandırılmasında ayrı bir grup olarak ele alınmakta ve o şekilde incelenmektedir. Bunun nedeni diğer sınıflardaki çeliklere nazaran özellikle çalışma koşulları bakımından farklılık göstermesidir. Takım çelikleri kullanıldıkları yerlerde genel olarak hızlı bir şekilde yüksek gerilmelere maruz kalırlar. Bu nedenle, çalışma koşulları çok güç olan takım çeliklerinin bu hızlı ve yüksek gerilmeler altında deforme olmadan, aşınmadan ve kırılmadan kararlı performansı göstermesi gerekir. Ayrıca takım çeliklerinin yüksek sıcaklıklarda da istenilen özellikleri sağlaması gerekir. Bu nedenlerle takım çeliklerinde; iyi sertleşebilirlik, yüksek aşınma direnci, yüksek tokluk, yüksek sıcaklıkta sertliğini ve mukavemetini kaybetmeme ve boyut kalıcılığı gibi genellikle diğer çeliklerde bir arada bulunamayan üstün özellikler aranır.

Takım çeliklerinin bir servisteki kullanım ömrü, uygun çeliğin seçilmesi ve ısıtılmasının iyi olması kadar dizaynına da bağlıdır. Eğer bir takım, tüm bu koşullar yerine getirilerek kullanılırsa başarıyla kullanım ömrünü tamamlar.

Yüksek oranda alaşım elementi ve karbon içeriği ile üstün özelliklere sahip olan takım çelikleri, bu alaşım elementleri sayesinde havada dahi su alıp sertleşebilecek durumdadırlar. Martensitik dönüşümde de etkili olan bu elementler oda sıcaklığındaki yapılarını belirlerler. Takım çeliklerinin içerdiği alaşım elementleri, iç yapı ve mekanik özellikleri belirleyen en önemli faktörlerdir. Bu alaşım elementleri karbür oluşturanlar ve oluşturmeyenler olarak ayrılırlar ve dolayısıyla çelik

özelliklerine etkileri oldukça farklıdır. Krom, molibden, wolfram ve vanadyum yapıda karbürler oluştururlar ve sertleşebilirliğini, aşınma dayanımını, yüksek sıcaklıkta sertliğini ve mukavemetini ve boyut kalıcılığını artırırken tokluğu düşürürler. Buna karşılık karbür meydana getirmeyerek ferritte çözünen nikel, kobalt ve manganez elementlerinden nikel tokluğu mükemmel şekilde ,arttırırken, manganez sertleşebilirliği, kobalt ise sıcak dayanım ve meneviş kalıcılığını sağlar.

Takım çeliklerinde bulunan metallar arası bileşikler; $(Fe.Co)_7(W,Mo)_6$, $Fe_3W_2(Fe_3Mo_2)$, $(Ni,Fe)_3Ti$, $(Fe,Ni.Co)_2Mo$, $(Ni,Fe,Cr)_3Ti(Al)$ gibi formlarda olabilirler.

Takım çeliklerinin sertleştirme işleminden sonraki yapısı; sert martensit matrix ve yine martensit içerisinde dağılmış sert karbür partiküllerden oluşmuştur. Temperleme işleminden sonra, martensitten çöküp disperse olan karbürlerle birlikte martensit yapıyı oluştururlar. Bu durumdaki sertlikleri 58-60 HRc veya 60-65 HRc olabilir. Diğer bir grup takım çeliği de sertleştirme sonrası karbür olmaksızın, sadece martensit içeren ötektoid yapıdaki çeliklerdir. Temperleme sonrası yüksek tokluk ve 45-55 HRc gibi görece olarak düşük sertlik elde edilir [1].

Kullanım amacına göre takım çeliklerini AISI 7 ana grupta incelemiştir:

1) Soğuk İş Takım Çelikleri;

- a) O; yağda sertleşen.
- b) A; orta alaşımlı havada sertleşen.
- c) D; yüksek C'lu ve yüksek Cr'lu

2) Sıcak İş Takım Çelikleri

- a) H serisi; H1-H19 Cr esaslı
- b) H20-H39 W esaslı
- c) H40-H50 Mo esaslı

3) Yüksek Hız Takım Çelikleri

- a) T; W esaslı
 - b) W; Mo esaslı
- 4) Suda Soğutmalı Takım Çelikleri
- a) W gurubu
- 5) Şoka dirençli Takım Çelikleri
- a) S gurubu
- 6) Kalıp Çelikleri
- a) P serisi; P1-P19 düşük C'lu
 - b) P20-P39 diğer tipleri
- 7) Özel Alaşımli Takım Çelikleri
- a) L; düşük alaşımli
 - b) F; C-W [2-3]

Takım çeliklerini ısı kararlılıklarına göre de sınıflandırmak olanaklıdır. Bu sınıflandırmada da takım çelikleri üç gruba ayrılırlar:

a- Isıl Kararlı Olmayan Takım Çelikleri

Bu tür takım çeliklerde, sertleştirme ile martensitik dönüşüm sonucu olarak yüksek sertlik, mukavemet ve aşınma direnci elde edilir. 300 °C'ye kadar temperlenebilirler. Yapısal olarak, tipik hiperötektoid ve ötektoid çelik gruplarına girerler.

b- Yarı Isıl Kararlı Takım Çelikleri

Yüksek krom (%3- 18)ve yüksek karbon (%1 -2.5) içerikli ledebüritik çelikler bu grubu oluştururlar. Bazı türleri yüksek oranda vanadyum içerir.

Bu gruptaki çelikler de, martensitik dönüşüm ile yüksek sertlik kazanırlar. 400 °C'ye kadar temperlenebilirler ve daha yüksek sıcaklıklarda da sertliklerini kaybetmezler.

c- Isıl Kararlılığı Yüksek Takım Çelikleri

Temperleme işlemleri ile yapıda oluşan ikincil sertleşme ile yüksek sertlik, mukavemet ve aşınma dayanımı gösteren çelikler bu gruba dahildir. Özellikle kompleks wolfram, molibden ve vanadyum karbürler çökerek ikincil sertleşmeyi oluştururlar.

Bu çelikler ledebüritik ya da hiperötektik yapıdadırlar. Ledebüritik yapıda olanlar yüksek hız takım çeliği olarak, diğerleri ise sıcak şekillendirme için kalıp çeliği olarak kullanılırlar.

Isıl kararlı olmayan takım çelikleri, mukavemet ve aşınma direnci bakımından oda sıcaklığında diğer guruptakilere nazaran çok az farklılık gösterirler. Fakat sıcaklığın yükselmesi durumunda farklılık artmaktadır [1].

2.1. Soğuk İş Takım Çelikleri

Genel olarak 200-260 °C 'nin altındaki sıcaklıklarda bulunan iş parçalarının işlenmesinde, talaşlı ve talaşsız imalatta kullanılan takım çelikleridir. İçerdiği alaşım elementi ve karbon oranına bağlı olarak; kesme özelliğinin devamlılığı ve yüksek sertlik, yüksek aşınma dayanımı, yeterli aşınma dayanımı ile birlikte yüksek tokluk, yüzey sertliği, ısıl işlemde sertlik kazanma özelliği ve boyut kalıcılığı gibi özelliklerin kullanım amacına göre birebir sağlaması olasıdır.

Soğuk iş takım çelikleri de kendi içinde;

1. Orta alaşımlı havada sertleşen soğuk iş takım çelikleri
2. Yüksek C'lu yüksek Cr'lu soğuk iş takım çelikleri
3. Yağda sertleşen soğuk iş takım çelikleri olarak üç grupta incelenir [1-2-3].

2.1.1. Orta alaşımlı havada sertleşen soğuk iş takım çelikleri (a grubu)

Bu grupta bulunan çeliklerde, yeterli miktarda alaşım elementi içeriğiyle, tam sertleşme elde edilir. Manganez, krom, molibden içerdikleri başlıca alaşım elementleridir. Yüksek oranda krom içerenlerin, yüksek sıcaklıkta, orta derecede temperleme dirençleri mevcuttur.

Silisyum alaşım elementi olarak tokluğu artırmak için ilave edilir. Ayrıca %1.5-2 oranlarında Ni içeren tipleri de mevcuttur. Yüksek karbon ve silisyumun bir arada bulunduğu bu grup çeliklerde, yapıda oluşan grafit tavlanmış koşullarda işlenebilirliği artırır ve aşınmaya karşı, ısıl işlem yapılmış koşullarda oldukça iyi sonuçlar verir. Krom ve vanadyumu yüksek oranda içeren bu gruba dahil çelikler kompleks krom ve krom vanadyum karbürler ve martensit matrix ile oldukça iyi aşınma direnci gösterirler.

Kullanım alanları; zımbalama, sıvama, düzeltme ve şekil verme kalıpları, madeni para kalıpları, kesme bıçakları gibi yerlerdir. Boyut kararlılıklarından dolayı ölçü masterları ve hassas ölçü aletleri olarak da kullanılırlar. Ayrıca aşınmaya karşı dirençli olanlar; tuğla, seramik kalıbı ve yüksek aşınma dayanımı gerektiren yerlerde kullanılır [1].

2.1.2. Yüksek karbonlu yüksek kromlu soğuk iş takım çelikleri (d grubu)

Bu grup takım çeliklerinin genel karakteristiği %1.5-2.35 C ve %11-13 Cr içeriklerinin bulunmasıdır. AISI/ SAE normunda D3 olarak anılan bir grup çelik hariç diğer bütün bu gruba dahil çelikler, havada su verilerek tamamen sertleşmelerine rağmen, çatlama ve distorsiyon eğilimlerinin yüksek olmasından dolayı yağda su verilirler. Yüksek oranda Cr ve C içeriklerinden dolayı yüksek sıcaklıkta yumuşamaya karşı oldukça dirençlidirler. Yüksek oranda C ile birlikte yapısında V bulunması çok iyi aşınma direnci sağlar. Bu çelik AISI normunda D7 olarak anılır. Tipik kullanım alanları; kalıplama, şekillendirme, derin çekme, aşındırıcı tozları kalıplama, masterlar ve kesme bıçaklarıdır [1].

2.1.3. Yağda sertleşen soğuk iş takım çelikleri (o grubu)

AISI normunda O grubu olarak adlandırılan bu grup çelikler, yüksek karbon içerikleri. ve yeterli derecede yüksek karbon içerikleriyle yağda su verilerek sertleştirilen çeliklerdir. Bu grup çelikler, değişik tip alaşım elementi içermelerine rağmen karakteristikleri benzerdir ve aynı tip uygulamalarda kullanılabilirler.

Bu gruptaki çeliklerin kullanımdaki en önemli özelliği yüksek C içeriğine bağlı olarak gösterdikleri oda sıcaklığındaki yüksek aşınma dirençleridir. Buna karşılık yüksek sıcaklıktaki temperleme dirençleri düşüktür. Yağda su verilir ve su verme esnasında çatlama tehlikesi çok azdır. Yağda su verildikten sonra uygun şekilde 175-315 °C arası temperleme işlemiyle uygun mekanik özellikler ve 56-62 HRC gibi yüksek sertlikler elde edilir. Bu özelliklerin elde edildiği çelikler AISI normunda 01, 02 ve 06 olarak anılırlar. Bu grupta. AISI normunda 07 olarak anılan çelik düşük sertleşme kabiliyetine rağmen, oldukça iyi aşınma direnciyle, kesici ağız olarak kullanılır.

Tipik kullanım alanları: yaygın olarak kalıplama, zımbalama, düzeltme, ekstrüzyon ve şekil verme, kovanlar, kama ve kılavuz gibi makine parçaları, ölçü mastarları gibi büyük boyut stabilitesi ve aşınma direnci gerektiren yerlerdir [1].

Tablo 2.1. Soğuk iş takım çelikleri içerisinde bulunan malzemeler ve % miktarları [2]

Çelik tipi	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co	Al
Orta Alaşımli Havada Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri (A Grubu)										
A2	1,00	...	...	5,00	...	...	...	1,00		
A3	1,25	...	...	5,00	...	1,00	...	1,00		
A4	1,00	2,00	...	1,00	...	...	...	1,00		
A6	0,70	2,00	...	1,00	...	...	...	1,00		
A7	2,25	...	...	5,25	...	4,75	1,00	1,00		
A8	0,55	...	...	5,00	...	...	1,25	1,25		
A9	0,50	...	...	5,00	1,50	1,00	...	1,40		
A10	1,35	1,80	1,25	...	1,80	...	...	1,50		
Yüksek Karbonlu Yüksek Kromlu Soğuk İş Takım Çelikleri (D Grubu)										
D2	1,50	...	...	12,00	...	...	...	1,00	...	
D3	2,25	...	...	12,00	...	...	...	...	...
D4	2,25	...	...	12,00	...	...	...	1,00	...	
D5	1,50	...	...	12,00	...	...	...	1,00	3,00	
D7	2,35	...	...	12,00	...	4,00	...	1,00	...	
Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri (O Grubu)										
O1	0,90	1,00	...	0,50	...	...	0,50	...		
O2	0,90	1,60	...	...	...	...	...	...
O6	1,45	...	1,00	...	...	...	...	0,25		
O7	1,20	...	...	0,75	...	...	1,75	...		

2.2. Sıcak İş Takım Çelikleri (H Grubu)

Sıcak iş takım çelikleri özellikle çeliklerin, demir olmayan metallerin, yüksek polimerlerin ve seramik malzemelerin 200 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda form verme ve formunu değiştirmeleri için yararlanılan takımların imalinde kullanılırlar. Sıcaklık, işlenen malzemeye bağlı olduğundan ve teknolojik olarak uygulanan temas sürelerinde 300 ila 1000 °C 'ye ulaşabildiğinden dolayı, bu çelikler çok sık bir şekilde darbe tarzında da olan ve ısı şok olarak da meydana gelen, çok yüksek mekanik ve termik zorlanma altında kalırlar. Bundan başka, işlenen malzemenin korozif etkisi yada yüksek sıcaklık korozyonu da mümkündür. Sıcak iş takımlarında, çoğu zaman plastik form değiştirmesi, sıcakta çatlak teşekkülü, kırılma, aşınma ve/veya korozyon nedeniyle, vaktinden evvel bozulmalar olabilir. Bunun dışında, takım yüzeyine giren metal, kırılma yada takımın çalışma yüzeyine metal yapışması yapabilir. Bundan dolayı, sıcak iş takımları için olan malzemelerin, sıcakta yüksek dayanıma (sıcakta akma sınırı), iyi meneviş dayanımına, yüksek sıcakta aşınma direncine, yeterli sünekliğe ve iyi termo şok dayanımına sahip olması gerekir.

Sıcak iş takım çeliklerinden istenen çok yönlü istekler yalnızca itinalı bir alaşımlama ve ısı işlem tekniğiyle sağlanabilir. Bundan dolayı sıcak iş takım çelikleri yüksek aşınma direncini garanti eden karbür yapıcıların yanında, ayrıca nikel ve kobalt da içerirler. Karbon miktarı, birkaç istisnanın dışında %0,2 ila 0,6 arasındadır [4].

Yüksek sıcaklık sertliğini; Cr, W, Mo arttırmaktadır. Sıcak iş takım çelikleri üç alt gruba ayrılır. Bunlarda genellikle %0,03-0,5 C bulunur [3].

2.2.1. Krom esaslı sıcak iş takım çelikleri (h1-h19 grubu)

Minimum %3,25 Cr ve düşük miktarda V, W, Mo ihtiva etmektedir. Bu çeliklerin yüksek sıcaklıklardaki sertlikleri iyidir. Zira Cr' un yanında V, W, Mo karbür yapıcı olmalarından bu özellikleri kazanmaktadır. Alaşım miktarı ve C miktarının düşük olması tokluğu geliştirmektedir. W miktarı arttığında yüksek sıcaklık sertliği artmakta fakat tokluk düşmektedir.

Bu çelikler derin sertleşme özelliğine sahiptirler. 12 inç ten fazla kesitlere kadar havada sertleşmektedirler. Bu çelikler Extürizyon kalıpları, metal dövme kalıpları ve torna aynası yapımında kullanılırlar [3].

2.2.2. W esaslı sıcak iş takım çelikleri (h21-h26 grubu)

Minimum % 9W, % 2-12 Cr ihtiva etmektedirler. Yüksek alaşım elementi kontesti H1-H19 ile mukayese edildiğinde yüksek sıcaklıklardaki yumuşama direnci artmaktadır. Fakat bu çelikleri 45-55 HRc çalışma sertliğinde gevrekliğe hassas hale getirmektedir.

Bu çeliklerde düşük distorsiyon sağlamak için havada sertleştirilebilir veya pullanmayı minimize etmek için yağda veya sıcak tuz banyosunda soğutulmalıdır [3].

2.2.3. Mo esaslı sıcak iş takım çelikleri (h41-h43)

Bu çelikler %0,8 Mo, %4 Cr ve düşük oranlarda W, V ihtiva etmektedirler. Bu çelikler W esaslı sıcak iş çeliklerine benzer olup hemen hemen aynı kullanım karakteristiklerine sahiptir. Bileşim olarak HSS çeliklerinin Mo' li tipine benzer. Fakat C' ları düşük ve toklukları daha yüksektir. Sıcak iş takım çelikleri; C oranının azlığından dolayı iyi tokluğa ve yüksek sıcaklık sertliğine aynı zamanda az aşınma direnci ve işlenebilme özelliklerine sahiptir [3].

Tablo 2.2. Sıcak iş takım çelikleri içerisinde bulunan malzemeler ve % miktarları [2].

Çelik tipi	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co	Al
Krom Esaslı Sıcak İş Takım Çelikleri (H1-H19 Grubu)										
H10	0,40	...	...	3,25	...	0,40	...	2,50	...	
H11	0,35	...	...	5,00	...	0,40	...	1,50	...	
H12	0,35	...	...	5,00	...	0,40	1,50	1,50	...	
H13	0,35	...	...	5,00	...	1,00	...	1,50	...	
H14	0,40	...	...	5,00	...	...	5,00	...	...
H19	0,40	...	...	4,25	...	2,00	4,25	...	4,25	
W Esaslı Sıcak İş Takım Çelikleri (H21-H26 Grubu)										
H21	0,35	...	...	3,50	...	...	9,00			
H22	0,35	...	...	2,00	...	...	11,00			

H23	0,30	...	...	12,00	...	...	12,00			
H24	0,45	...	...	3,00	...	...	15,00			
H25	0,25	...	...	4,00	...	...	15,00			
H26	0,50	...	...	4,00	...	1,00	18,00			
Mo Esaslı Sıcak İş Takım Çelikleri (H41-H43)										
H41	0,65	...	...	4,00	...	1,00	1,50	8,00		
H42	0,60	...	...	4,00	...	2,00	6,00	5,00		
H43	0,55	...	...	4,00	...	2,00	...	8,00		

2.3. Hız Çelikleri (T Ve W Grubu)

Hız çelikleri, yüksek alaşımlı asal çeliklerdir ve aşınma dirençleri yüksektir. Bu çeliklerin 600 °C sıcaklığa kadar menevişleme ve yüksek sıcaklıklardaki sertlikleri koruması itibarı ile üretimde yüksek kesme hızlarında talaşlı şekillendirme yapan takımların imalatında kullanılırlar. Yüksek sıcaklıklardaki sertliğinin sebebi, kimyasal bileşim ve ısıl işlemle sağlanan, menevişe dayanıklı ana yapı (matriks) ve onun içerisinde dağılmış çok sert özel karbürlerden meydana gelmesidir. %0,8 ila 1,4 arasındaki karbon miktarlarında, W, Cr, Mo, V ve Co alaşım elementleri şu kombinasyonlarda olabilir :

- a) %18 W içeren volfram çelikleri
- b) %12 W ve yaklaşık % 4 V içeren volfram çelikleri
- c) Yaklaşık %6 W ve %5 Mo içeren volfram-molibden çelikleri
- d) Yaklaşık %9 Mo ve %2 W içeren molibden-volfram çelikleri

Bu dört grubun hepsinde %4 civarında krom elementi bulunur ve %5 ile %10 kobalt elementi ile alaşımlandırılabilir. a, c ve d grubu olarak belirtilen çelikler, ayrıca % 1 ile %2 vanadyum içermektedirler.

Alaşım elementlerinin matrikste ve karbürde dağılımı, hız çeliklerinin özelliklerini önemli ölçüde etkiler. W, Mo ve V elementleri karbür sağlar, Cr, karbürün matriks içerisinde eşit oranda dağılmasını sağlar. Co ise matriks içerisinde çözünür. Hız çeliklerindeki karbür miktarı, denklem (2.1)'e göre hesaplanabilir:

$$K = W + 1,9 Mo + 6,3 V \text{ (\% ağırlık olarak)} \quad (2.1)$$

Metal işleme takımları olarak daha çok tercih edilen çelikler, kobalt içeren çeliklerdir. Daha yüksek karbonlu alternatif çeliklerle, kesme gücü daha da iyileştirilmiştir. Çok kesicili takımlarda (spiral matkap, freze, kılavuz, pafta) ve yüksek süneklik gerektiren zorlamalarda (örneğin, zor kesilen talaşlı şekillendirmede boşaltma takımları) daha yüksek alaşım elemanlı çelikler tercih edilir. Hız çeliklerinin kullanım yerleri; profil takımları, yüksek güçlü freze, torna kalemi, sünek finiş takımları, spiral matkap, rayba, raptiye, yüksek aşınma dirençli tığlar, kalıp ve kılavuz ve yüksek kesme kuvveti gerektiren yerlerde.

Son yıllarda, özellikle vanadyumun oldukça pahalı olması nedeniyle, vanadyum yerine daha kuvvetli karbür yapıcı olan niobyum da alaşım elementi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Vanadyumla birlikte yada vanadyumsuz olarak %3 'e kadar katılan niobyum. meydana getirdiği kuvvetli karbürler nedeniyle sıcağa dayanıklılığı ve kesme dayanımını artırır, fakat daha yüksek miktarlarda katıldığında çeliği kırılğan hale getirir [4].

Tablo 2.3. Hız takım çelikleri içerisinde bulunan malzemeler ve % miktarları [2].

Çelik tipi	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co	Al
Tungsten Esaslı Hız Takım Çelikleri (T Grubu)										
T1	0,70	...	...	4,00	...	1,00	18,00	...	...
T2	0,80	...	...	4,00	...	2,00	18,00	...	...
T4	0,75	...	...	4,00	...	1,00	18,00	...	5,00	
T5	0,80	...	...	4,00	...	2,00	18,00	...	8,00	
T6	0,80	...	...	4,50	...	1,50	20,00	...	12,00	
T8	0,75	...	...	4,00	...	2,00	14,00	...	5,00	
T15	1,50	...	...	4,00	...	5,00	12,00	...	5,00	
Molibden Esaslı Hız Takım Çelikleri (M Grubu)										
M1	0,80	...	...	4,00	...	1,00	1,50	8,00	...	
M2	0,85/1,00	...	...	4,00	...	2,00	6,00	5,00	...	
M3	1,05	...	...	4,00	...	2,40	6,00	5,00	...	
M4	1,30	...	...	4,00	...	4,00	5,50	4,50	...	
M6	0,80	...	...	4,00	...	1,50	4,00	5,00	12,00	
M7	1,00	...	...	4,00	...	2,00	1,75	8,75	...	
M10	0,85	...	...	4,00	...	2,00	...	8,00	...	

M30	0,80	...	...	4,00	...	1,25	2,00	8,00	5,00	
M34	0,90	...	...	4,00	...	2,00	2,00	8,00	8,00	
M36	0,80	...	...	4,00	...	2,00	6,00	5,00	8,00	
M41	1,10	...	...	4,25	...	2,00	6,75	3,75	5,00	
M42	1,10	...	...	3,75	...	1,15	1,50	9,50	8,00	
M43	1,20	...	...	3,75	...	1,60	2,75	8,00	8,25	
M44	1,50	...	...	4,25	...	2,25	5,25	6,25	12,00	
M46	1,25	...	...	4,00	...	3,20	2,00	8,25	8,25	
M47	1,10	...	...	3,75	...	1,25	1,50	9,50	5,00	

2.4. Suda Soğutmalı Takım Çelikleri (W Gurubu)

Temel olarak sade karbonlu çeliklerdir. Yüksek karbon muhtevasına rağmen, sertleşme ve aşınma özelliklerini geliştirmek için küçük miktarlarda Cr ve V ilave edilmektedir. Bu çeliklerde %0,6-%1,40 C bulunur. Bu çelikler karbon içeriğine göre üç guruba ayrılırlar.

- a) %0,60-0,75 C burada tokluk önemli olup bu çelikler çekiç, beton kırıcıları, perçin, dövme takımları yapımında kullanılmaktadır.
- b) %0,75-0,90 C tokluk ve sertliğin önemli olduğu uygulamalarda mesela; zımba, keski kalemi, kalıp ve kesme bıçakları ile kuyumcu aletleri yapımında kullanılır.
- c) %0,95-1,40 C çelikleri aşınmanın önemli olduğu yerlerde mesela; sert matkap ağızları, planya ağızları ve jilet gibi aletlerin yapımında kullanılır.

Genel olarak karbon takım çelikleri alaşımlı takım çeliklerinden daha uygundur. Bu çeliklerde, yüksek sertlik elde etmek için suda soğutmak gerekir buda beraberinde önemli oranda distorsiyona sebep olmaktadır.

Karbon takım çelikleri iyi işlenebilme kabiliyetine ve dekarbürizasyona karşı dirençlidir. Ancak yüksek sıcaklıkta dirençleri zayıftır. Düşük sıcaklık sertliğine sahip olduklarından dolayı karbonlu takım çelikleri bu şartlar altında kesme takımı

olarak kullanılmazlar. Bu çelikler genellikle Ağaç, pirinç, alüminyum, sertleştirilmiş çeliklerin kesiminde kullanılır.

Karbon çeliklerinde temperleme sıcaklığı 130-200 °C arasındadır. Bütün çeliklerde kullanım aralığı hiçbir zaman temperleme sıcaklığını aşmaz. Şayet temperleme sıcaklığı aşılsa çelik yumuşamaya başlar [3].

Tablo 2.4. Suda soğutmalı takım çelikleri içerisindeki malzemeler ve % miktarları[2].

Çelik tipi	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co	Al
W1	0,60/1,40	.....	....	.....	.....	....
W2	0,60/1,40	.....	....	....	.....	0,25				
W5	1,10	.....	....	0,50	....	.....		

2.5. Şoka Dirençli Takım Çelikleri (S Gurubu)

Şoka dayanıklı takım çelikleri, şoka dayanıklı tokluk ve tekrarlı şoklara dirençli olan uygulamalar için geliştirilmiştir. Bu takım çelikleri genellikle %0,45-0,65 C ihtiva etmektedirler. Bu çeliklerde bulunan temel alaşım elementleri ise Si, Cr, W ve Mo dur. Si mukavemetini artırırken Cr sertleşme kabiliyetini arttırmakta ve aşınma direncine katkıda bulunmaktadır. Mo da aynı etkiyi göstermektedir. W ise yüksek sıcaklık sertliğini arttırmaktadır.

Bu çeliklerde tam sertliği sağlamak için suda su verilmesi gerekmesine rağmen çoğunlukla yağda su verilmektedir. Yüksek Si miktarı dekarburizasyonu artırma eğilimindedir. Bu yüksek sıcaklıklardaki sertlikleri, aşınma dirençleri, işlenirliği fena değil ve sertlikleri genellikle < 60 HRc dir. Bu çelikler zımba, şekil verme takımları, keski takımları, Pnömatik takımlar ve kesme bıçakları yapımında kullanılmaktadır[2-3].

Tablo 2.5. Şoka dirençli takım çelikleri içerisinde bulunan malzemeler ve % miktarları [2].

Çelik tipi	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co	Al
S1	0,50	....	....	1,50	.....	.....	2,50	.....	
S2	0,50	....	1,00	....	.....	.....	.....	0,50		
S5	0,55	0,80	2,00	.....	.....	.....	.....	0,40		
S7	0,50	....	....	3,25	.....	.....	.....	1,40		

2.6. Kalıp Çelikleri (P Grubu)

Bu çelikler temel olarak Cr, Ni ve ilave alaşım elementi olarak Mo ve Al ihtiva ederler. Bu çelikler tavllanmış ve işlem sertleşmesine karşı direnç durumlarında çok düşük sertliğe sahiptirler. Bu iki faktör şekil almada önemlidir. Kesildikten sonra bu çelikler aşınma direnci için 58-64 HRc sertliğine varacak şekilde sementle edilip sertleştirilir.

P4 hariç bu çelikler düşük sıcaklık sertliklerine sahiptirler. Plastiklerin kalıplanmasında, enjeksiyonlarda, düşük ergimeli metal kalıplarında kullanılır.

P20 ve P21 tipleri 30-35 HRc sertliğine Al işlem şartlarında varılır. Öyle ki konik kalıplar kolayca işlenebilmektedirler [3].

Tablo 2.6. Kalıp çelikleri içerisinde bulunan malzemeler ve % miktarları [2].

Çelik tipi	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	Co	Al
P1-P19 düşük C'lu										
P1	0,07	...	...	2,00	0,50	...	...	0,20		
P3	0,10	...	...	0,60	1,25	...	...	...
P4	0,07	...	...	5,00	...	...	...	...
P5	0,10	...	...	2,25	...	...	...	...
P6	0,10	...	...	1,50	3,50	...	...	...
P20-P39 diğer tipleri										
P20	0,30	...	...	1,25	...	...	...	0,25	...	...
P21	0,20	...	...	...	4,00	...	...	...	...	1,20

2.7. Özel Alaşımli Takım Çelikleri (L ve F Grubu)

Takım çeliklerinin çoğu alışımlı çelik gruplar içinde gösterilmiyordu bu sebepten dolayı özel çelikler dizayn edildi. Bu çelikler belirli bir uygulamadaki özel ihtiyaçları gidermesi için geliştirilmiştir ve diğer çeliklere göre çok pahalıdır.

2.7.1. Düşük alaşımli (L Grubu)

Bu grup çelikler Cr gibi ana alaşım elementi içerir ve bunun yanında V, Mo ve N içerir. Yüksek oranda krom içeren sert kompleks biçimindeki demir-krom karbürleri ve birlikte kullanılan molibden, aşınma direncini yükseltir ve sertliği artırır. Nikel tokluğu artırırken, vanadyum tanelerin inceltmesini sağlar. Yüksek aşınma direnci ve iyi tokluk istenilen makine parçalarının imalatı, bilyeler, kavrama tablaları, anahtarlar v.d. kullanım yerleridir. Yüksek karbonlu tiplerinin kullanım yerleri masterlar, delici uçlar, mil, dingil, yiv açıcılar olarak görülebilir.

2.7.2. Karbon-tungsten tipi (f grubu)

Genel olarak yüzeysel sertleşen, suda soğutulan çelikler ile yüksek karbon ve tungsten içerenler, yüksek aşınma direncine sahiptirler. Bu çelikler gevrek oldukları için genel olarak yüksek aşınma durumlarında, düşük sıcaklıklarda ve düşük darbeli konumlarda kullanılır. Kağıt makası tampon mastarı ve benzeri ürünlerde kullanım alanı bulurlar.

BÖLÜM 3. SERT DOLGU KAYNAKLARI

3.1. Tanımlama

Dolgu, aşınmaya karşı daha nitelikli yüzeyler oluşturmak veya parçaları orijinal boyutlarına getirebilmek için metal parçaların yüzeylerinin değişik kaynak yöntemlerini kullanarak özel alaşımli malzemelerle doldurulmasıdır [6]. İşlem genellikle, bir mühendislik uygulaması için tüm gerekli nitelikleri sağlayamayacak

bir parçanın ömrünü uzatmak veya korozyona uğramış metalin yerini almak için kullanılır.

Dolgunun abrazyon mukavemetine yardımcı olduğu yerlerde bu genellikle sert dolgu olarak anılır. Bu terim yine, darbe mukavemeti veya alçak sürtünme nitelikleri için bir sağlam veya tufal dökmeyen (pullanıp kalkmayan) dolgunun yapıldığı yerlerde kullanılır [7]. “Sert” adı sözlük anlamı yerine burada “dayanıklılık-kalıcılık”ı ifade eder. Sert dolgunun amacı uzatılmış çalışma ömrü olduğuna göre, sertliğin aşınma mukavemeti için her zaman geçerli bir gösterge olmadığı bilinmelidir [8].

Sert dolgu kaynağı, modern mühendislik alanlarında önemi sürekli artmaktadır. Aşınma, korozyon ve diğer tür yüzey bozulmalarının yaşandığı durumlarda, sert dolgu kaynakları metalik parçaların ekonomik şekilde yenilenmesine olanak verir. Yenileme işlemi, metal-metale sürtünmeden dolayı aşınan parçaların, ör: haddelerin, vinç tekerleklerinin, millerin, rayların, yanında, mineral aşınmasına maruz parçaların ör : iş makinelerinin, taşıyıcı helezonların, ekskavatör kepçelerinin sert dolgu ile yenilenmesini de kapsar.

Sert dolgu kaynağı yalnız parçaların yenilenmesi için değil, aynı zamanda yeni parçaların ve takımların üretilmesinde de yoğun olarak uygulanır. Bu üretim işleminde, taşıyıcı olarak kullanılan alaşımsız veya düşük alaşımlı çelik malzemelerin yüzeyleri, istenen özelliklere sahip bir kaynak metali verecek kaynak malzemesi ile kaplanır. Sert dolgu kaynaklarında karar vermekte en önemli faktör aşınma şartlarıdır, bu, aşınmanın metal, mineral, korozyon, kavitasyon, erozyon veya yüksek sıcaklık tarafından mı oluştuğudur. Kullanılacak kaynak malzemesinin seçimi bu şartlara bağlıdır. Bunun yanında, ana metalin kimyasal kompozisyonunu bilmek, ön tav ve son tav sıcaklıklarının belirleyebilmek için çok önemlidir [9].

3.2. İşlemin Prensipleri

Dolgular genel olarak ark yada gaz kaynak yöntemleriyle yapılır. Her iki durumda da el, yarı veya tam otomatik teknikler kullanılabilir. Yapışma; ergime ya da metalürjik bağlantı ile olur.

Dolgu malzemesine ait özellikler ayrıntılarıyla verilmiştir. Bu alaşımların sağlayabileceği önemli özellikler şunlardır:

1. Sertlik

- a. Makro-sertlik (kitle sertliği)
- b. Mikro-sertlik, ya da heterojen (homojen olmayan) yapının bireysel bileşenlerinin sertliği
- c. Sıcak sertlik, yani sıcaklığın zayıflatıcı etkisine mukavemet
- d. Sürünme mukavemeti; statik olarak yüklenmiş cisimlerin görünür sertliği üzerine sıcaklıkta zamanın etkisini göstermektedirler.

2. Abrazyon mukavemeti

- a. Alçak gerilme koşulları altında
- b. Yüksek gerilme taşlaması koşulları altında
- c. Farklı abrazyon ve hızların yüksek basma gerilmeleriyle birlikte oyulma koşulları altında

3. Darbe mukavemeti

- a. Tekrarlanan darbe altında plastik deformasyona mukavemet (akma mukavemeti)
- b. Darbe altında çatlamaya mukavemet (hem kopma dayanımı hem de süneklikle ilgili)
- c. Basma mukavemeti
- d. Basma sünekliği

4. Isıya mukavemet

- a. Temperlenmeye mukavemet
- b. Sıcakta mukavemeti koruma (sıcakta sertlik dahil)
- c. Sürtünme mukavemeti (b'ye ek olarak zaman faktörü)

- d. Oksitlenme veya sıcak gaz korozyonu mukavemeti
- e. Isıl yorulma mukavemeti

5. Korozyon mukavemeti

6. Sürtünme nitelikleri ve kaynağa eğilimler

- a) Sürtünme katsayısı
- b) Pullanma (tufal dökme) eğilimi
- c) Yüzey filmleri
- d) Kayganlık
- e) Plastiklik

Dolgudan beklenen esas sonuç, çalışan alanın uzun yada uzatılmış ömrüdür. Aşınma koşullarının çeşitli ve alabildiğine karmaşık olması nedeniyle, çalışma ile nitelikler arasında karşılıklı basit bir ilişki kurmak zordur. En iyi yaklaşım, çalışma koşullarının büyük dikkatle analizi ve uygun fiziksel, mekanik veya aşınma deney verilerinin mantıklı uygulamasıdır. Aşınma tipinin saptanması, işin en önemli yanıdır. Başarısı da gözlemcinin deneyimine bağlıdır.

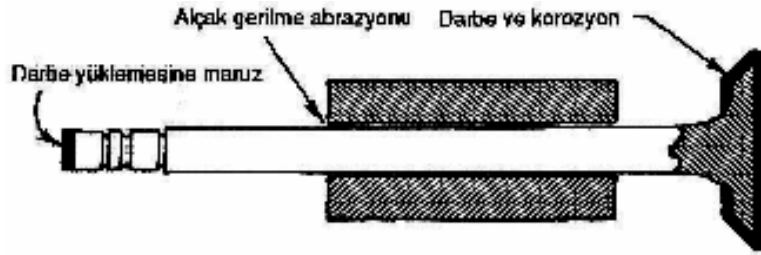
Gerçekten, dolgu metallerinin seçimine esas oluşturan mühendislik prensipleri kısmen anlaşılımıştır. Tipik uygulamalar için bazı dolgu metalleri kabul edilebilir olarak kaydedildiklerinden, bunlar aşağıda irdelenmektedir.

Bu kriterlere göre dolgunun yararları şöyle sıralanmaktadır:

1. Tam gerektiği yerde aşınma ya da korozyon mukavemetini pekiştirme
2. Çok sert bileşimler ve aşınmaya dayanıklı alaşımların kolayca kullanılmaları
3. İşyerinde kolayca uygulama
4. Pahalı alaşım elementlerinin ekonomik kullanımı
5. Sağlam bir yatakla pekiştirilmiş bir sert yüzey tabakası
6. Aşağıdaki hususlar, kullanıcıya ekonomik çıkarlar sağlar:

- a. Daha uzun çalışma ömrü
- b. Bakım ve parça değiştirmenin azaltılması
- c. Aşınmış parçaların kurtarılması
- d. Daha ucuz temel malzeme kullanımı

Dolgunun kalitesi çok geniş ölçüde uygulama, dolgu malzemesinin cinsi ve kaynakçının maharetine göre değişebilir. Örneğin; bir supabın, Cr-Co-W alaşımının oksii-asetilen kaynağı ile dolgusunun (Şekil 3.1) mükemmel olması gerekir. İmalatta kaynak çubuğunun özenli kalite kontrolü gerekli olup yaptığı iş kabul edilebilir hale gelene kadar kaynakçının uzun eğitim döneminden geçmesi lazımdır. Korozyona dayanıklı dolgular daha da zorlaştırıcıdır. Yüzey mükemmel olmakla kalmayıp (bir kusur muhtemel bir felaketli hasara götürebilecek hızlı koroziif atakla sonuçlanabilir) yüzeye doldurulan malzemeye aşırı karışma ya da bileşim değişiminden korunacaktır. Bu karışma, mutlaka korozyona dayanımı zayıflatır [7], [8], [10].



Şekil 3.1. Darbe ve abrazyona maruz motor supaplarına uygulanan dolgular [8]

3.3. Dolgu Kaynaklarının Yarattığı Sorunlar

Her ne kadar ayrı bir konu olarak irdeleniyorsa da dolgu kaynakları, genel kaynak tekniği ve sorunlarından ayrı olarak düşünülemez. Gerçekten, bu sorunlar, dolgu kaynağında da aynen mevcut olup bunlar esas itibariyle “kaynak”ın beraberinde getirdiği “ısı”dan ileri gelmektedir [8].

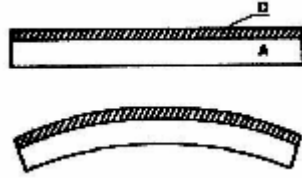
3.3.1. Isıl gerilmeler

Bir yüzey dolgu işleminin başarısı bazen iç gerilmeler düzeyinin büyüklüğü ve dış gerilmelerin makaslama, basma veya çekme gerilmelerin az olmasına bağlıdır.

Kaynak işleminden arta kalan gerilmeler, çalışma sırasında meydana gelenlere karşı koyabilir ya da bunlara eklenebilirler ki böylece, kullanım sırasında çatlağa karşı koyma ya da bunu ağırlaştırma eğiliminde olabilirler.

Dolgular genellikle gerilimi giderme işlemine tabi tutulduklarından engellenmiş ısıl genleşme ve çekmenin sonucu olan artık ısıl gerilmeler müthiş olabilirler. Bu gerilmelerin çarpılmalar (distorsiyonlar), çatlama ya da başka sıkıntılar yaratıp yaratmaması geniş ölçüde dolgu ile ana metalin mukavemet ve sünekliğine bağlıdır [7], [8].

Dolgu kaynağında çoğunlukla ana metalle dolgu metali birbirinden farklı niteliktedir. Genleşme katsayıları, elastikiyet modülleri değişiktir. Bu nedenle çekme, her iki metalde aynı olmayacaktır, buna ek olarak da dolgunun çekildiği yüzey derhal ısınıp alt kısım soğuk kalır. Soğuk bir A ana metali üzerine bir D ergimiş dolgu metali çekildiğinde üst yüzey daha çok genişecek ve parça, Şekilde 3.2’de görülen dışbükey halini alacaktır. Soğumada olay tersine döner (alt tabakalar ısınırken üsttekiler soğur) dolgu tabakasının üstün çekmesi parçayı içbükey haline getirir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Isınma sırasında dışbükey oluşum [8]



Şekil 3.3. Soğuma sırasında içbükey oluşum [8]

Ana parça dolgudan evvel bir ön ısıtmaya tabi tutulmuşsa şekil değiştirme daha az olur. Ana parça çok kalınsa, şekil değiştirme azalır veya hiç olmaz, ama parça içinde artık gerilmeler kalır.

Dolgu alaşımları içinde östenitik çelikler, çekme ve basmada yüksek süneklik ve mukavemet gösteren çeliklerdir. Martensitik çeliklerin, süneklikleri düşük olmasına rağmen, çekme ve basma mukavemetleri yüksektir. Bu çelikler üzerine dolgu yapılmış tabakalar soğuduklarında, yukarıda gösterildiği gibi zayıf ana metali egeceklerdir. Yüksek karbonlu çelikler ise basmaya kuvvetli fakat çekmeye zayıf ve

gevrek görünürler. Yumuşak bir kalın ve şekil değiştirmeyecek esas metal üzerinde çekme mukavemeti muhtemelen soğuma sırasında aşılacak olup çatlaklar meydana gelecektir.

3.3.2. Karışma ve bulaşma

Kaynak banyosunda karışan birbirinden farklı alaşımlarla kaynak, değişen bileşimler ve muhtemelen metalürjik yapılardan doğan bir dizi metalürjik sorunu ortaya çıkarır. Belli bir kaynak dikişine melez bileşim, ergimiş esas metal miktarının tüm dikiş hacmine oranından hesaplanabilir.

Bu oran, dağlanmış bir kesitin alan ölçümlerine dayandırılabilir. Bazen, yöntemden beklenen davranışa dayanan tahminler memnuluk verici olurlar, ama kritik uygulamalar, özellikle korozyon mukavemetinin istenmesi durumları, daha kesin bilgi ve yüzeyde doldurulan metal bileşiminin kontrolünü gerektirir. Sınırlı demir içeren demir dışı dolgu metalleri, örneğin; bir çelik malzeme üzerine doldurulduklarında ciddi şekilde bulaştırılmış olurlar. Bazen bu bulaşmayı asgaride tutmak için bunların arasına farklı bir alaşımdan bir tampon tabaka gerekir. İyi mühendislik pratiği, korozyon mukavemeti veya diğer kritik özellikler üzerine bileşimin etkisi konusunda bilgiyi, karışmanın nicel tahminini ve belki de kaynaktan sonra müsaade edilebilecek soğuma temposu ve bunun metalürjik değişimler üzerindeki etkisinin bilinmesini gerektirir.

Elle yapılmış bir ark kaynağında birinci tabaka muhtemelen %50 esas metal, %50 de dolgu metalinden oluşacaktır. Dikkat ve özenle bu, %30 esas metal, %70 dolgu metaline indirilebilir. İkinci tabaka böylece esas metalden %25 ile 10; üçüncü tabaka da %12 ile 3 arasında oluşacaktır.. Sıradan tozaltı ve gazaltı ark kaynakları aynı karışma değerlerini verebilirler. Seri bağlanmış iki elektrot arasında bir ark veya kaynak banyosunu bir ilave soğuk dolgu metaliyle besleme, esas metalin daha az ısınması ve karışmanın %10 gibi düşük bir miktara inmesini sonuçlandırır. Kısa bir arka gazaltı kaynağı (DADK-doğru akım düz kutup, elektrot-) karışmayı %5'e kadar indirebilir. Bütün yöntemlerle elektrotun salınımı, karışmayı azaltma eğilimini

gösterir. Kaynak dikişinin biçim ve takip eden tabakalarda bunun yeri de karışmayı etkileyebilir. Geniş kalın dikişler tercih edilir.

TIG, modifiye MIG ve oksii-asetilen kaynağı, asgari karışma oranlarının arandığı yerlerde, örneğin çelik üzerinde bazı demir dışı dolguda, genellikle seçilir. Dolgu malzemesinin en düşük ergime noktasını sağlaması halinde oksii-asetilen yöntemi az çok hiç metal karışımı olmadan iyi bir metalürjik bağlantı sağlar, ama bu birleşmede karbürlenme veya karbondan yana fakirleşme olabilir [5].

Korozyona dayanıklı dolgu metallerinin kullanıcısı muhtemelen kendi öz hesaplarını yapmak ve karışım bileşimlerini kontrol etmek durumunda olacaktır, ama bu faktörler özgül uygulamalar için sert dolgu elektrotlarının tasarımında çoğu kez telafi edilmişlerdir. Buna rağmen, süreç ve teknikler (ark voltajı, akım şiddeti, tabaka sayısı ve dikiş çevresi) mümkün olduğu kadar tasarım koşullarına ve elektrot üreticisinin önerilerine yakından uyacaktır.

Çok sık yapılan bir yanlışlık, karbonlu çelik üzerine doldurulmuş haliyle bir sert dolgu metalini değerlendirip bunu, gerekli incelemelere yer vermeden doğrudan bir %13 manganezli çelik üzerine kullanmaktır. Dolgu metali, soğumada martensite dönüşmeye bağlı bir havada sertleşen tipten ise, ana metalden manganez azalması doldurulmuş kaynak metalinin östenitini o denli stabilize eder ki bu artık normal olarak sertleşmez. Bunun yerine, yüzeyde manganez içeriğini asgariye indirmek üzere (yüksek karbonlu dolguda istenmez) çok tabaka uygulaması veya manganez azalmasına izin veren formülde elektrot kullanılması tavsiye edilir.

3.4. Abrazyon Dayanımı İçin Yüzey Dolgusu

Abrazyon mukavemeti, yüzey dolgusunun ilk ve en önemli uygulaması olmaktadır. Dolgu metalleri, aşınmaya neden olan koşulların dikkatli analizi ve bu metallerin en ekonomik kaynak yöntemine uygunlukları esasına göre seçilmektedirler. Seçimde etkili olan, abrazyon ve darbe faktörleri olup ısı ve bazen korozyon da mevcut olabilir. Hatta yorulma da bunların içinde olabilir. Her ne kadar, daha önce gördüğümüz gibi, sertlikle abrazyon mukavemeti arasında bir kaba ilişki varsa da

sertlik, güvenilir bir değer göstergesi olmamaktadır. Aynı şey alaşım içeriği için de doğrudur. En iyi yaklaşım, abrasifin doğası, sertliği, keskinliği ve sağlamlığı gibi çeşitli faktörleri, işe karışan gerilme düzeylerini, birlikte mevcut olan darbe miktarını, dolgu tabakasına sağlanan desteğin türünü, uygulanan gerilmenin cinsini (çekme, basma veya makaslama), çalışma sıcaklığı ve görünürde önemli çevresel koşulları iyice saptamaktır; bundan sonra dikkatli kontrol altında koşullar için bu faktörlere karşı koyma kabiliyeti esaslı üzerinde dolgu alaşımları kıyaslanacaklardır.

Ayrıntılarıyla teorik esasları irdelenen abrazyonu bu kez pratik açıdan, belirgin olarak farklı olan üç tipe ayırmak mümkündür. Bunlar; (1) Alçak gerilme kazıma abrazyonu veya erozyon, (2) Yüksek gerilme öğütme abrazyonu ve (3) Oyulma abrazyonu olup şöyle örneklenebilirler: a) Bir oluktan kayan kum veya kumlu bir toprak üzerinde çalışan saban demiri; b) Abrazif maden parçalarının metal yüzeyler arasında ezildiği bir toplu (sert küreler) öğütücü içindeki oluşum; c) Keskin kayaların dalıcı dişleri ve dönel konkasör yüzlerini oyma işlemi. Bunlara karşılık gelen atölye işlemleri; (1) Bir yumuşak bez üzerinde gevşek abrazifle parlatma, (2) Laplama ve (3) Bir kesici takım veya taşlama çarkı tarafından metal kaldırılmasıdır. Bu üç koşul çoğu kez abrazyona dayanıklı malzemeleri aynı sıraya göre dizerse de buna önemli istisnalar ve sıralamayı ters döndürme durumları da vardır.

Sertlik genel olarak erozyon koşulları altında, özellikle bir alaşımın bireysel bileşenlerinin mikro sertlikleri değerlendirildiğinde bir fayda unsurudur. Tungsten karbürü, sert yüksek kromlu dökme demirler ve martensitik dökme demirler bu tür aşınmaya dayanmakta mükemmeldirler.

Nispeten yumuşak, ama sağlam alaşımların daha sert malzemeleri eskittiklerine dair öğütücü abrazyon örnekleri vardır. Darbe de mevcut olabilir ve aşınma ile darbenin çeşitli birleşimlerini karşılamak üzere, sağlam östenitik manganez çeliğinden (hava çelikleri dâhil) martensitik demirlere kadar genel olarak uygulamaya göre kullanılmaktadır.

3.5. Darbeye Karşı Yüzey Dolgusu

Darbe hafif (kinetik enerjinin yutulup elastik davranışa geri döndürüldüğü hal), orta (elastik davranışın görüldüğü, ama bir miktar plastik deformasyonun da kaçınılmaz olduğu hal) ve ağır (en kuvvetli malzemelerin ya kırılacağı ya da deformasyona uğrayacağı hal) olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma dolgu alaşımlarının mantıklı bir seçimine olanak verir.

Bazı uygulamalarda, çelik haddehane makineleri ve demiryolu hatlarında olduğu gibi, ağır darbe ile birlikte metal-metal aşınmasını gerçekleştirirler. Esas malzeme çoğu kez %13 manganez çeliği olup, dolgu hırpalanmış ve çökmüş alanları eski haline getirmek için yapılır. Bu uygulamalar için nispeten yüksek akma mukavemetli bir manganez çeliği dolgu metali aranır [8], [10].

Darbe mukavemeti ayrıca ısı işleminden etkilenir. 38 °C' de dökme manganez çelikleri, oda sıcaklığındaki darbe mukavemetlerinin %50 ile 85'ini muhafaza ederler. Sıvı hava sıcaklığında (-183 °C), profillendirilmiş alaşımlarda çok az sağlamlık kalır. Demiryolu hatları, madencilik ve bayındırlık hizmetlerinde denenmiş bütün atmosferik sıcaklıklarda, dökme manganez için (ferritik çeliklerle kıyaslandığında) çok değerli bir güvenlik faktörü olmaktadır.

Çatlak ilerlemesi ve yayılmasına yüksek mukavemet, ani kırılma yerine önceden tehlike işareti vermesi anlamında olup yorulma çatlaklarının saptanması ve tam kırılma meydana gelmeden önce kullanımdan çıkarılmasına olanak sağlar. Bu, özellikle demiryolu işlerinde çok belirgin bir avantajdır.

3.6. Sert Dolgular İçin Esas Metaller

Çoğu kez sert doldurulmuş parçalarda ana metali yapısal tasarım ya da şekillendirme kriterleri belirler. Böyle malzemelerin kaynaklanabilirlikleri ve niteliklerinin başlıca sorun olduğu çok durum mevcut olup burada ana metal seçiminde oldukça serbesti vardır.

Basit bir işlem için en iyi ana metal seçimi genellikle alaşımsız karbon çeliğidir. Bunun pratik alanı AISI-SAE 1020'den 1095'e kadar (% 0,20 ila 0,95 karbon) uzanır, ama karbon oranı arttıkça kaynak zorluklarının da arttığı göz önünde tutulmalıdır.

İyi bir kaynak kabiliyeti ve kaynaktan sonra iyi bir mukavemeti birleştiren elverişli bir ana metal 1045 çeliğidir. Çelik temiz ve oksit giderilmiş durumda ise, kaynak güçlükleri en az düzeyde olur. 1045 çeliğinin mikro-yapısı genellikle ferrit ve perlitten oluşmaktadır.

Perlit miktarı, karbon oranı artırılarak yükseltilebilir ve perlitin kendisi dahi çok az alaşım ilavesiyle daha sert hale getirebilir. Ancak bu değişiklikler ana metalin kaynak kabiliyetini bozma eğilimine neden olurlar. Ana metalin mukavemetinin yükseltilmesinin gerektiği haller dışında bu yola gidilmemelidir [8].

3.7. Kaynak Sürecinin Seçimi

3.7.1. Genel kriterler

Hız ve düşük maliyet nedeniyle ark kaynağı süreçleri genellikle tercih edilmektedirler. Bununla beraber, bazı sert dolgular hala oksii-asetilen kaynağı ile uygulanmaktadır. Tozaltı sert dolgu kaynağında, alaşım elementleri, doldurulan metale flux (toz) tarafından geçebilmektedirler. Karbon-ark yöntemi de kullanılmaktadır.

Östenitik manganez çeliği gibi fazla ısınmaya duyarlı çelikler üzerinde oksii-asetilen ve TIG kaynaklarından kaçınılmalıdır. Bu iki yöntem başka çelikler üzerinde başka dolgu malzemeleriyle kullanılabilir. Oksii-asetilen ve karbon-ark süreçleri küçük, hassas parçalarda ve sadece ince bir dolgu tabakasının uygulanacağı yerlerde kullanılır [12],[14],[15].

Oksii-asetilen ve karbon-ark süreçlerinden biri, yüzey dolgusunun demirsiz olmasının gerektiği hallerde demir dışı krom karbürü alaşımlarının doldurulması için tavsiye

edilir. Dikkatli bir çalışma ile alaşım, elik ana metal üzerine nüfuziyet veya çelikle alaşımlama olmadan damla damla sevk edilebilir. Bu alaşımların demirle karışmaları halinde korozyon ve abrazyon mukavemetleri azalır.

Metal-ark yöntemlerinin sert dolgu için bir olası sakıncası, meydana getirdikleri derin nfuziyettir. Ana metal ne kadar çok ergirse, dolgu malzemesi onunla o kadar çok alaşım yapar. Derin nüfuziyet genel olarak bir sakıncadır, doldurulan sert dolgunun kalınlığını artırır.

Abrazif koşulların özellikle ağır olmadığı ve daha ucuz bir malzemenin tercih edildiği durumlarda kesme ağızlarında krom karbürleri kullanılır. Bu malzemeler kolaylıkla kendilerini bilerler ve tungsten karbrdekilere göre daha düzgün daha az sürtünmeli ağızlar sağlarlar.

3.7.2. Tek bir yüzeyi korumak için seçim

Tek bir yüzeyi koruma gereksinimi, sert dolgu uygulamalarının büyük çoğunluğunu oluşturur. Bunda amaç; bir keskin kenar veya bir temas yüzeyi üzerinde aşınma düşüncesi olmadan yüzeyin aşınmasını önlemekten ibarettir.

İyi parlatılabilen bir düşük sürtünmeli yüzey (rneğin saban demiri veya toprağı deviren yan bıçağı) aranılabilir veya przly bir yüksek sürtünmeli yüzey (rneğin tarak-drag saplama bağlantıları) istenilebilir.

Genellikle yerçekimi ile malzeme transferinde (bir kattan alt kata ve aynı katta meyilli tutularak) kullanılan oluklar (düz ya da helezonik) genel olarak sert doldurulur. Genellikle, darbe yapabilecek iri kayalar ve diğer Őeyleri içermeyen ince taneli maden veya toprak nakledildiğinde krom karbürü gibi sert malzemeler tercih edilir. Ağır, kitlesel parçaların böyle bir oluğa devrilmesi ya da yüksek darbe kuvvetleri meydana getirebilecek durumlar halinde ise yarı östenitik veya manganez çeliklerine başvurulmaktadır.

Vidalalı konveyörler ve yer delici aletler, normal olarak karbürler gibi sert malzemelerle korunurlar. Paslanmaz çelikler, su pompalarında korozyon mukavemeti sağlamak ve erozyona karşı korumak üzere ve iyi darbe mukavemetini gerektiren yerlerde kullanılırlar.

3.7.3. Temas halindeki yüzeyleri korumak için seçim

Bu uygulama tipi normal olarak, abrazyon, darbe, sürtünme ve korozyonun çeşitli kombinasyonları altında metal-metal aşınmaya sebep olur. Dolgu malzemesi düzgün olarak aşınmalı, bir düşük sürtünme katsayısına sahip olmalı ve sarma veya pullanma eğiliminde olmamalıdır. Bu uygulama sınıfına kesin olarak uygun olmayan bir sert dolgu tipi, tungsten karbürüdür.

Çoğu kez, yüzeylerden biri, öbürüne göre daha çok korunmayı gerektirir. Bu durumlarda bir yüzey bronzla kaplanabilirken, öbürü kaplanmaz kalır. Böylece bronz, kendini feda ederek öbür yüzeyi korumuş olur.

Yüksek karbonlu elektrotlar, yağlama ile çalışacak şaftları eski ölçülerine getirmede kullanılır. Doldurulmuş yüksek karbonlu metal, taşlı işlendiği ya da taşlandığında, bir yumuşak çelik elektrotu ile dolgu yapılan metalden kolayca elde edilebilen yüzeyden çok daha düzgününü sağlar. Yüksek sıcaklıklarda çalışacak yataklar krom karbürleri, paslanmaz çelikler ve yüksek kromlu ve nikelli alaşımlarla doldurulmaktadır.

Korozif koşullar altında çalışan parçalar krom karbürler ve paslanmaz çeliklerin bazıları tarafından korunurlar. Krom karbürle doldurulmuş yüzeyler, kum ve çamurda çalışan parçalarda iyi sonuç vermektedirler [8].

3.7.4. Seçimde pratik kriterler

Daha önce, herhangi bir deneyimin bulunmadığı yeni bir uygulamada bir sağlam, sünek sert dolgu malzemesi önerilebilir. Bu tür denemelerde yarı östenitik çelikler önerilmektedir. Bu malzemelerin kavlanmadan veya darbeden etkilenmemeleri

halinde, daha sağlam krom karbürlerinden biri, takibeden denemede kullanılabilir. Nispeten daha sert alaşımlar, abrazyon mukavemetini geliştirmek üzere denenebilir.

Daha önceki sert dolgu başarısızlıklarının dikkatle incelenmesi, daha üstün malzeme seçiminde çok değerli ipucu verir. Bu konuda kısmen aşınmış parçalar üzerinde çalışma, anlamlı bilgi sağlayabilir. Şöyle ki, tamamen aşınmış bitmiş parçalar, aşınmanın hangi yolda geliştiği konusunda az şey söyler. Nitekim eğer parça üzerinde sert dolgu kaplamasından bir şey kalmamışsa, bunun abrazyonla mı, yoksa darbe ile mi aşınıp gittiğini saptamak olanaksız olur.

Belli bir sert dolgu uygulamasında en uygun kaynak sürecinin ve kullanılacak kaynak tekniğinin seçimi, alaşımın seçimi kadar önemli olabilir. Çalışma gereklerinin yanı sıra iş parçasının fiziksel karakteristikleri, ana metalin metalürjik özellikleri, sert dolgu alaşımının şekil ve bileşimi, doldurulan kaynak metalinden beklenen nitelik ve kalite, kaynakçının becerisi ve işlemin maliyeti, bir ark kaynağı süreci seçilirken dikkate alınmaktadır.

3.7.4.1. İş parçası faktörü

İş parçasının boyut, biçimi ve ağırlığı kaynak süreci seçimini daima etkiler. Sert yüzey dolgusu ya da eski ölçüsüne getirilmeyi gerektiren çok büyük, ağır olmakla nakli zor veya olanaksız olan parçalar durumunda, parçanın bulunduğu yere kolayca taşınabilen donanımı kullanan yöntem başvurulur. Bu tür uygulamalarda, özellikle ulaşılması nispeten güç yerlerin dolgusu söz konusu olduğunda kaynak daha çok elle ya da yarı otomatik olarak yapılır. Buna karşılık, kaynak makinelerine kolayca taşınabilen ve büyük miktarlarda işlenecek parçalar en etkin ve ekonomik olarak otomatik yöntemlerle doldurulabilir. Örtülü metal ark ve açık-ark kaynağı, gerekli düzeneğin kolayca bulunması açısından, tozaltı, TIG, MIG ve plazma ark yöntemleri şekilleriyle çok uygun olarak yapılabilir [12].

3.7.4.2. Esas metalin özellikleri

Kimyasal bileşim, ergime sıcaklığı aralığı ve genleşme karakteristikleri, bir kaynak sürecinin seçimini etkileyen ana metalin başlıca nitelikleridir. Ana metalin çatlamaya, oksitlenmeye veya yüksek sıcaklıklarda sıvanmaya yatkınlığı göz önüne alınabilmelidir. Böylece de hızlı ısınmanın ısıl çatlamaya yol açması durumunda, uygun ön ısıtma ve bir ılımlı ısınma temposu sağlayan bir kaynak süreciyle birlikte tercihen etkinlikten fedakârlık etmeden uygun bir ön ısıtma seçilecektir. Ayrıca, kaynak sıcaklığından itibaren soğuma temposu da denetim altında tutulacak olup artık gerilmeleri; kaynak sonrası gerilim giderme işlemiyle azaltılabilir[12],[14].

3.7.4.3. Sert dolgu alaşımının şekil ve bileşimi

Sert dolgu alaşımının fiziksel ve metalürjik nitelikleri bunun hangi şekillerde elde edilebileceğini saptar. Daha sert, daha gevrek alaşımlar, çekme tel halinde imal edilemezler ve dolayısıyla bunlar toz karışımları halinde bir karbon çeliği boru tel içine doldurulurlar ve böylece sürekli tel elektrot gerektiren MIG, açık ark veya tozaltı kaynaklarında kullanılırlar. Tel, çıplak dökme çubuk veya çıplak boru çubuk, TIG kaynağında ilave metal olarak kullanılabilir [11],[12].

3.7.4.4. Dolgu metalinin nitelik ve kalite gerekleri

Sert dolgu metalinin nitelikleri ve kalitesi her şeyden önce sert dolgu alaşımına bağlıdır. Diğer etkin faktörler ana metal bileşimi, kullanılan kaynak süreç ve yönetimi, dolgu uygulanan tabaka sayısı ve diğer kaynak karakteristikleridir. Yukarıda sözü edilmiş olan ana metal “karışması” süreç ve tabakaların sayısına göre değişecektir. Karışma oranı arttıkça sertlik, aşınma mukavemeti ve istenen diğer özellikler azalır. Bazen, bileşimi denetim altında tutmak için bir yastık (tampon) ana tabakası ana metalle sert dolgu alaşımının arasına çekilir. Karışmayı en aza indirme amacına ek olarak çoğu kez bir tampon tabakası, sert dolgu alaşımı ile ana metalin farklı genleşme-büzülme katsayılarının meydana getirebileceği ters etkileri telafi etmede kullanılır.

3.7.4.5. Kaynakçının becerisi

Kalite gereklerini hem kaynak süreci hem de kaynakçının becerisine bağlamak esastır. Örneğin; nispeten küçük alanlar üzerinde, ağız ve girintilerde yüksek kalitede dolgular elle TIG kaynağı ile elde edilebilir ve %10 gibi küçük bir karışma ile ince tabakalar terk edilebilirse de oldukça yüksek bir kaynakçı becerisi ve kaynak işleminin yakın denetimi mutlaka gereklidir. Buna karşılık otomatik tozaltı bir asgari kaynakçı becerisini gerektirir ve yüksek metal doldurma oranını sağlar, ama nüfuziyet derin, karışma da çok olur ve sonuç olarak da alaşımın tüm niteliklerini gerçekleştirmek için bir ara tampon tabakası veya sert dolgu alaşımından iki veya daha fazla tabaka çekmek gerekebilir [7], [8], [11], [13].

3.8. Sert Dolgu Kaynağında Dikkat Edilmesi Gereken Durumlar

3.8.1. Parçaların hazırlanması ve muayenesi

Dolgunun uygulanmasından önce parçaların yenilemesinin gerekliliği veya yenilenmesi gereken bölgelerin uygun bir personel aracılığıyla gözle tespit edilip değerlendirilmesi gereklidir. Sert dolgu yapılacak bölgelerin temizliği ve dolgu işlemlerinin uygulanmayacak kısımların uygun bir kaplama malzemesi ile örtülmesi bu bölgeleri oksitlenmeden koruyacaktır [6].

3.8.2. Kaynağa hazırlıkta mekanik işleme öncesi gerilim giderme

Mekanik işleme ve yüzeylere sert dolgu öncesi gerilim giderme ısı işleminin yaygın bir uygulamasıdır. Uygulanacak olan gerilim giderme sıcaklığı malzemenin orijinal temperleme sıcaklığının 50 °C altında tutulur. Bu uygulama mekanik işlemede kullanılacak olan kesici uçların daha az aşınmasını sağlayacaktır.

Gerilim giderme sıcaklığı ana malzemenin kimyasal kompozisyonu ile ilişkilidir. Isıl işlem süresi parçada her inç için yarım saat olmalıdır. 250 °C ' ye kadar saatte 50-100 °C ısıtma hızı önerilir. 250 °C üzeri sıcaklıklarda 40-70 °C ısıtma hızı kullanılır. Soğutma işlemi tersi şekilde 150-200 °C' ye soğutma fırında yapılmalıdır.

Bazı durumlarda gerilim giderme işlemi sadece dolgu işleminden önce yapılır. Fakat bu bazı sert dolgu alaşımları ile kaynak yapıldığında yüzeyde gerilim çatlaklarıyla karşılaşmamıza sebep olur. Sert dolgu yapılacak yüzeydeki pisliklerin ve karbür malzemelerin mekanik olarak işlenerek veya karbon elektrotlarla çıkarılması gerekir. İşleme derinliği 1/8 ile 1/4 inç arasında değişebilir.

3.8.3. Ön tav sıcaklığı tespiti ve ön tavin faydaları

Ana malzemelerde karbon ve alaşım elementlerinin miktarı ön tav sıcaklığına etki eder, bu sebeple malzemenin kimyasal kompozisyonu bilinirse ön tav sıcaklığı doğru olarak tespit edilecektir. Karbon ve alaşım elementi oranlarının fazla olduğu malzemelerde karbon eşdeğerliği sonucunun yüksek bulunması ve malzeme kalınlığına bağlı olarak ön tav sıcaklığı artacaktır.

Ön tavlamanın sert dolgu işlemlerindeki faydalarını şu şekilde özetleyebiliriz;

- a) Malzemede oluşacak çatlakları engelleyicidir. Elektrodun örtüsünden veya tozdan kaynak metaline geçen nemi azaltarak nem vasıtasıyla oluşacak olan hidrojenin kırılma bölgelerindeki etkisini yok eder. Ayrıca ön tavlama yapılan malzeme, yavaş soğumasıyla içerisindeki hidrojeni difüzyon yoluyla dışarı atacaktır.
- b) Katılma gerilimlerinin oluşmasını engeller ergiyen kaynak metali soğurken hacmi küçülür, bu kaynak metali ile soğuk ana malzeme arasında gerilimlere yol açarak kaynak sonrası süreçte çatlak ve kırılmayı teşekkül edecektir. Bu yüzden ilave dolgu metali ile kaynak malzemesi arasındaki sıcaklık farkını azaltmak ve çatlak teşekkülünü önlemek için ön tavlama yapılır.
- c) Kaynak malzemesi üzerindeki nemi kaldırarak hidrojenin kaynak işlemi sırasında kaynak bölgesine absorbe olmasına engel olarak katılma süresince gözenek oluşumuna neden olur.
- d) Isıdan etkilenen bölgenin ani soğumasına engel olarak çatlakları engeller ve sünek bir mikro yapı sağlar.

- e) Soğuk ana malzeme üzerine yapılan sıcak sert dolgu kaynağı, ana malzemede çatlak oluşumunu teşvik edeceği için bunu önlemeye yönelik ön tavlama işlemi yapılır.

3.8.4. Sert dolgu pasolar arası sıcaklık kontrolü ve kaynak ısıl işlemi

Karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere martenzitik alaşımlar ile sert dolgu yapılırken kaynak pasoları arası sıcaklık ön tavlama sıcaklığının altında olmamalı eğer bu gerçekleşirse martenzite dönüşüm olabilir ve bir sonraki kaynak pasoları bu martenziti farklı derecedeki sertliklere temperleyerek mekanik işleme sırasında sert noktalarla karşılaşmaya ve son pasoda yumuşak noktalara sebep olur. Kaynak işlemi sırasında malzemede düşük sıcaklığın olması malzemenin çalışması esnasında eşit olmayan aşınmaya sebep verir. Bu sebeple kaynak süreci boyunca sıcaklığı sert dolgu alaşımının martenzit başlama sıcaklığının üzerinde tutmak gereklidir. Pasolar arası sıcaklıklar ise yüksek sıcaklıklardaki gevrekleşmeyi önlemek için 250 °C' yi geçmemelidir.

Kaynak uygulamalarının son aşamasında sıcaklığın etkisi ile malzeme üzerindeki gerilimleri gidermek amacı ile gerilim giderme tavlama işlemi kaynak soğumadan fırın içerisinde 600-650 °C de her 25 mm kalınlık için iki saat ve fırında 300 °C ye kadar fırında daha sonra havada soğumaya bırakılır.

3.9. Yüzey Dolgu Kaynak Yöntemleri

3.9.1. Oksi-asetilen ile yüzey dolgusu

Oksi-asetilen ile düzgün pürüzsüz, hassas ve son derece kaliteli dolgu kaynağı yapılabilir. Dolgu malzemesi ile ana malzemenin çelikler içerisine tatbik edilen kobalt esaslı dolgu metalleri gibi birbirlerinden farklı oldukları hallerde ana metal karışmasından bağımsızlık çok önemli olabilir.

Yüksek kalitede bir dolgu elde etmek kaynakçının becerisine bağlıdır. Bunun nedeni kaynak çubuğu ile kaynak hamlacının ayrı ayrı idare edilecek olmasıdır. Bu yöntem

ile buhar valfleri, otomotiv ve dizel motor supapları, odun ve plastik için kesme bıçakları, saban demirleri ve tarım aletlerinin dolgu işlemi uygulama alanlarıdır.

3.9.2. Ark kaynağı ile yüzey dolguları

Bu yöntemle örtülü elektrotlarla elle ark kaynağı, otomatik ark kaynağı ve yarı otomatik ark kaynağı şeklinde üç şekilde uygulama biçimi bulunur.

Elle ark kaynağı düşük donanım maliyeti ve birçok işe yatkınlığı sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak her pozisyonda ve durumda küçük işlerden büyük işlere kadar her boyutta yapılabilir. İşlem kaynakçının gözetimi altında çatlamaı asgariye indirmek üzere ark gücünü aşağıda tutması, alaşım elementi kaybını engellemek için kısa arklarla çalışması, aynı nedenle aşırı kaynak banyosundan kaçınması, ana metalle karışmayı asgaride tutması ve özellikle alçak hidrojen elektrotları ile rutubeti sınırlaması gibi önlemleriyle faydalı bir yöntem kabul edilir.

Yarı otomatik kaynağı elle yapılan kaynağa göre daha avantajlıdır. Yarı otomatik sistemle uzun süre kaynak yapılabilir, böylece ark süresi yüzdesi ve dolgu miktarı çok olur. Donanım masrafı, diğer otomatik yöntemlere göre daha azdır. Dolgu işlemi çıplak bir elektrot ile yapılır. Koruyucu gaz olmadıkça kaynak banyosu hava ile temas halinde olur ve dolgular açık ark elektrotlarıyla yapılır.

Otomatik ark kaynağında kaynakçı ayar ve kontrolleri sağlar. Dolgu en iyi düz yada simetrik kavisli yüzeylerle büyük ölçülü veya kendini tekrar eden işlerde uygundur.

3.9.3. Özlü tel ile dolgu

Gün geçtikçe artmakta olan yöntemin seçim sebebi telin ucuzluğu ve dolu tel halinde çekilmesi mümkün olmayan alaşımları meydana getirmesidir. Bu tip özlü teller gaz altı metal ark kaynağı ve açık ark kaynağı için uygundur. Özlü tel ile tozaltı kaynağında metal ile cüruf ve metal ile gaz arasındaki metalürjik reaksiyonların genellikle damlacık aşamasında meydana geldiği görülmektedir. Bu noktada sıcaklık

çok yüksektir. Yalnızca yüksek ölçüde demirli alaşımlar içeren tozlar kullanıldığında veya oksijene büyük eğilimi olan elementlerin olası durumunda alaşımlama kaynak banyosunda gerçekleşir.

3.9.4. Tozaltı kaynağı ile dolgu

Günümüzde geniş ölçüde kullanılan bir tekniktir. Yüksek akım şiddetleri ile çok yüksek metal terk etme temposuna sahiptir. Terk edilen metaller yüksek kalitede olup birçok dolgu metaliyle hiç boşluksuz dolgu elde edebilme ve temizlemeyi gerektirecek püskürtme ihtiyacı olmaması gibi avantajları vardır. Yapılan dolguda çatlamalara karşı salıntı tekniği kullanılır ve aynı zamanda dikişlerin birbiri üzerine bindirmelerin, bir önceki dikişin merkezinin yeniden ergitilmesine yetecek kadar artırılmasıdır. Salıntılı çok elektrot kullanılarak, ark saat başına 45 kg kadar metal terk edebilir.

Bu yöntemin iş parçasına çok fazla ısı vermesi, meydana gelen karışım, ergimiş flux dan çeşitli elementlerin kazancı ve kaybı nedeniyle dolgu metalinin tüm özelliklerine iki yada daha çok tabaka çekilmeden ulaşılamaması, yüksek ısıdan dolayı çatlamaya neden olması gibi dezavantajları vardır.

3.9.5. Plazma arkla yüzey dolgusu

Plazma ark kaynağı sıcak tel dolgu tekniği ile yapılır. Çok değişik alaşımlarla ekonomik olarak yüksek nitelikli dolgular yapmak mümkündür. Özellikle ana metalde nüfuziyetin ve asgari karışmanın arandığı durumlarda elverişlidir.

Transfer olmuş plazma ark üfleci başlıca ısı membaıdır. Güç membaı ile üfleç plazma ark kesme de kullanılan şeklidir. Yalnızca çıkış ağzında ve dolgu elektrotunda değişiklik vardır. Teller devamlı olarak iki ayrı kontakten kaynak banyosuna sürülerek elektrik devresini tamamlamış olurlar. Doldurma malzemesinin parça üzerinde tutunması mekanik olarak yapışmasıdır. Bu yöntem ile çok yüksek sıcaklıklar sağlaması sebebi ile erime dereceleri yüksek olan krom, tungsten, tantal ile bunların oksitlerinin püskürtülmesi mümkündür.

3.9.6. Açık (Open) Arkla Tozaltı Yüzey Dolgusu

Tozun içerisinde katılmış elementler, arkın sıcaklığıyla buharlaşarak koruyucu bir gaz oluştururlar. Bu gazın oluşması ergimiş metali çevredeki havanın olumsuz etkilerinden korumak için bir dış gaza (CO_2 veya $\text{Ar} + \text{CO}_2$) gerek kalmaz.. Açık ark sık kullanılan tel çeşitleri % 50 civarında yüksek dekapan dolgu oranına ait kıvrık tellerdir. Sık kullanılan çaplar 2,4-3,2 mm otomatik kaynakta 4 mm' dir. Bu çaptaki teller yüksek akım şiddetleri gerektirir. Fakat açık ark kaynağının başlıca uygulama alanı olan sert dolgu alanında özlü teller devreye girer.

Örtülü çubuk elektrotlara göre dört katına kadar metal terk etme kabiliyetine sahip olup, tamir ve dolgu uygulamalarında tozaltı kaynağında ki gibi tozun taşınması ve artan tozun toplanması tertibatına, gazaltı kaynağında ki gibi gaz depolanması için gerekli materyallere ihtiyaç yoktur. Alçak hidrojenli elektrotlarda karşılaşılan nem alma problemi yoktur. Çalışma sırasında rüzgar siperine ihtiyaç yoktur[6], [7],[11].

BÖLÜM 4. METALİK MALZEMELERİN TEMASI

Sürtünme alanında varolan katı cisimlerin karşılıklı etkileri ancak, karşı karşıya bulunan parçaların yüzey geometrilerinin hesaba katılmasıyla anlaşılabilir. Pürüzlü yüzeylerin temas teorisi, elastik ve plastik tipte temas için sorunların klasik çözümlerine dayanmaktadır ve burada yüzeyin "kalitesi" önemli olmaktadır. Katı cisimler, doğru geometrik şekle ve ideal fiziko-mekanik niteliklere sahip kabul edilir; oysa ki, gerçek yüzey pürüzlülükleri, makine parçalarında çok değişik olup bunların nitelikleri ideal olmaktan uzaktır. Bu nedenle de bir temasın karakteristikleri istatistik yöntemler yoluyla hesaplanmakta olup bu sonuçlar belli bir ortama yüzey sivrilikleri ve dalgalarının dağılımı kanununu hesaba katar. Bu tür bir yaklaşım, mühendislik hesaplan için yeterince doğru formüller verir.

Bir yüzey üzerinde duran bir cismi kaldırarak teması yok etmek için, cismin kendi ağırlığından fazla bir kuvvet harcamaya gerek yoktur; böylece de karşılıklı yüzey

etkisi sırasında yapışma etkisi oluşmamalıdır. Ama pratikte bu karşılıklı yüzey etkisinin çok küçük, elimizdeki ölçü aletlerinin bunları değerlendirebilme sınırının altında bulunması, yaygın yüzey üzerindeki cismin hiçbir zaman hareketsiz olmadığı, yapışma etkilerinin mevcut bulunmadığı ve bazı yüzey hasan ve malzeme taşınımının var olmadığı anlamına gelmez. Bu karşılıklı etkinin büyüklüğü genellikle az olup ancak birkaç durumda ölçülebilir halde olur. Oysa ki, birçok halde bu karşılıklı etkinin sonuçları (sürtünme, yapışma ve aşınma durumları) hayli önemli ve tamamen çapraşık olup bu etkinin ilerleyişini tamamen değiştirir [10], [18].

Karşılıklı yüzey etkisi olgusu birçok çeşitli mühendislik durumlarında önemli olmaktadır. Örneğin ısı transferi ve elektrik teması teorileri sırasıyla ısı ve elektriğin temas eden katıların arasından nasıl iletildiği konusu ile ilgilidirler.

4.1. İdeal Olarak Pürüzsüz Yüzeylerin Teması

Temas alanında gerilme koşulları tipine bağlı olarak, iki katının teması ya elastik, ya da plastik olur.

Elastik katılarda temas şekil değişimleri teorisi iki durumu göz önüne alır: Biri, başlangıç temasın bir noktada, öbürü de bunun bir çizgi boyunca olduğu hallerdir. Sorunlar aşağıdaki varsayımlara göre çözülür:

1. Temas eden cisimler pürüzsüz ve homojendirler;
2. Temas alanında sadece elastik şekil değişimleri olur;
3. Temas kuvvetleri birleşme yüzeyine dikeydirler;
4. Temas alanı, temas eden yüzeylere göre küçüktür [10], [18].

4.2. Pürüzlü Yüzeylerin Teması - Yüzey Etkileşimleri

4.2.1. Yüzey doruklarının karşılıklı etkileşimleri

Üzerlerinde bir normal yükün bulunduğu iki pürüzlü yüzey temas haline geldiğinde, ilk temasa gelen yüzey dorukları, yükseklikler toplamının en büyük olduğu doruklardır. Yük arttıkça, daha az yükseklik toplamına sahip karşılıklı yeni doruk çiftleri de temasa gelirler. Temasa geldikten sonra, yüzey doruklarının şekilleri değişir. Bu şekil değişimi başta elastik olur. Yük belli bir kritik büyüklüğü aşınca, şekil değişimi plastiğe veya daha doğru olarak elastik-plastiğe dönüşür. Şöyle ki; sürekli olarak şekil değiştiren doruk altındaki malzeme, elastik olarak sapacaktır [10], [18].

Artan yük, üzerlerinde yüzey girinti ve çıkıntılarının toplandığı yüzey dalgalarının elastik şekil değiştirmelerine götürür. Bu şekil değiştirme, çevre temas alanında bir artma meydana getirir, bunun sonucunda yükü taşıyan doruk sayısı artar. Dorukların yükseklikleri farklı olduğundan, bir ve aynı yüzey üzerindeki çeşitli dorukların şekil değişimleri her an farklı olacaktır. Temas halinde en yüksek doruk çiftleri en fazla

şekil değiştirecekken, ortalamanın altında yükseklikteki doruklar, büyük yüklerde bile genellikle temasa gelmezler.

Değen yüzeylerin farklı sertliklere sahip olmaları halinde, daha sert yüzeyin doruktan, daha yumuşak olan yüzeye dalarlar. Bunun sonuncusunun dorukları ezilir ve şekilleri değişir. Bu durumda temasın özellikleri, daha sert cismin yüzey şekil hatalarından ve daha yumuşak cismin mekanik niteliklerinden etkileneceklerdir.

Değen yüzeyler birbirlerinin üstünde kayacak olurlarsa, önce birbirlerine "alışırlar", geometrileri değişir; bunun sonucunda, belirli sürtünme koşulların özgü bir sabit büyüklükte pürüzlükler meydana getirirler. Temasta plastik şekil değiştirmeler mutad olarak başat olduklarından, bu alıştırma süreci sırasında yüzey tabakalarının fiziksel ve mekanik nitelikleri de değişir.

Bu nedenle, başlardaki yüzey geometrisi ve temas halinde yüzeylerin ilk nitelikleri, sadece ilk alıştırma safhası sırasında bir temasın karakteristiklerini saptayacaklardır. Alıştırma süreci stabil (sabit, istikrarlı) hale gelince, yüzey geometrisi tekrar tekrar oluşturulur ve yüzey tabakasının özellikleri önemli şekilde bozulmaz, yüzey düzensizlikleri doruklarının plastik teması, başat halde olur.

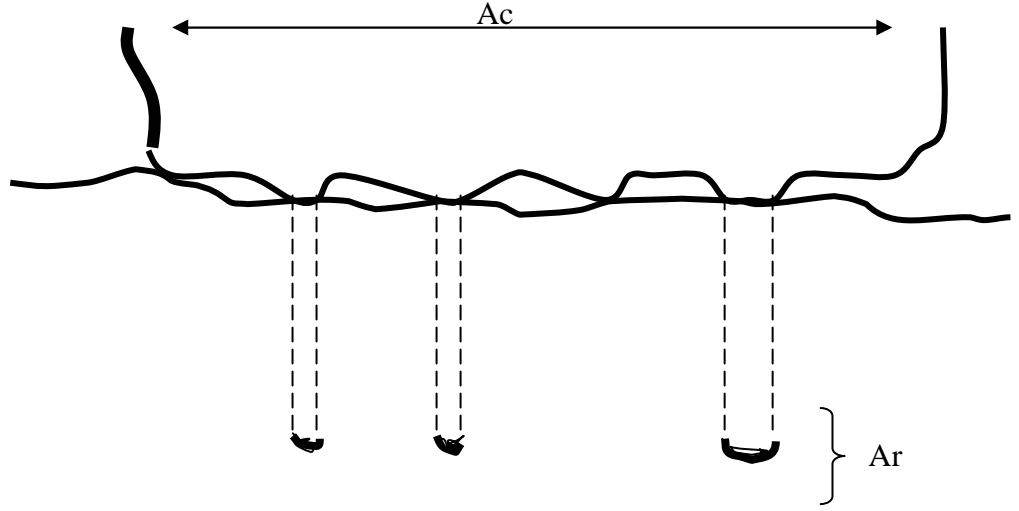
4.2.2. Temasın gerçek ve çevre alanları

Birbirleriyle çalışan makine parçalarında, sürtüşen yüzeylerin düzensizlikleri, yüzey dalgalılık ve şekil hatalarından dolayı, görünüşteki temas alanının önemli bir bölümünde temas dışı kalırlar. Bu nedenle, temas alanı değen parçaların geometrik alanlarına fazlaca bağlı değildir. Sürtünme kuvvetinin, değen yüzeylerin görünürdeki temas alanından bağımsız olduğuna dair Coulomb'un vardığı sonuç, bu olguya dayanmaktadır [10], [18].

Dalgalılık, dalgalı şekilde tepelerde aynı alanlarda toplanan temas noktalarından sonuçlanır; bu alanların bir toplamı, çevre temas alanını (A_c) oluşturur. Bu alan, üzerinde yüzey dalgalarının temas ettikleri alan olarak tanımlanabilir. Bu alan, hiç şüphesiz, yüzey pürüzlülüğü dolayısıyla aralıklıdır. Pürüzlülükle dalgalılık arasındaki

fark haylice itibari olduğundan, çevre alanının sınırlan, şu tanımlama esasına göre teşhis edilebilir: Çevre alanı, temas intizamsızlıklarının içinde olduğu, yüzey pürüzlülüğünün belirli bir büyüklüğünü ölçmek için Standard'lar tarafından belirtilmiş örnekleme-numune uzunluğunu aşmayan temas noktaları arasındaki mesafenin olduğu alanı ifade etmektedir.

A_r , gerçek temas alanı, içinde yüzey pürüzlülüğünü oluşturan düzensizliklerin temas halinde buldukları alanı ifade etmektedir (Şekil 4.1). Gerçek temas alanı, büyüklük itibariyle madde atom ve moleküllerinin birbirlerini etkiledikleri alana yaklaşıp.



Şekil4.1. Birbirine sürtünen iki yüzeyde görünür ve gerçek temas alanları [18]

Burada önemli olan, hangi atomların, öbür yüzeyde karşılık gelen atomlarla kuvvetlice etkileşimde bulduklarının ve hangilerinin de bulunmadığının bilinmesidir. Büyük atom atoma kuvvetlerin çok dar aralıklı, sadece birkaç Angstrom büyüklük mertebesinde olduğu bilinir; bu aralık yaklaşık olarak ortalama atom boyutunda olur. Böyle olunca da sorunu basitleştirmek ve etkileşimin atom atoma temas ettiği bölgeler arasında meydana geldiğini varsaymak mümkündür. Bu bölgeler "birleşme-yapışma yerleri" olarak bilinir ve tüm birleşme yerlerinin toplamı, gördüğümüz A_r gerçek temas alanını oluşturur. Bu gerçek temas alanı ile temasın olmadığı bölgelerden meydana gelen toplam yüzeyler arası alan da A_a , görünür temas alanı olmaktadır.

4.3. Sürtünme

4.3.1. Kayma sürtünmesi

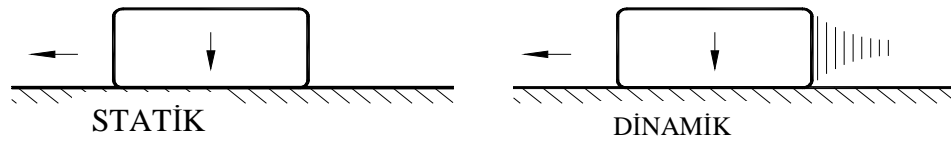
Sürtünme, bir katı cismin dokunduğu bir başka cismin yüzeyine göre teğetsel olarak hareket ettiğinde veya böyle bir hareketi meydana getirme girişiminde, bu harekete karşı mevcut olan dirençtir [10], [18]. İki malzeme birbirlerine temas edecek şekilde yerleştirilirse, bu malzemelerden birini diğeri üzerinde kaydırmak için uygulanan kuvvete sürtünme kuvveti direnç gösterir. Kaymayı başlatan kuvvet (F_s) ile, temas yüzeyine etki eden normal kuvvet (F_n) arasında;

$$F_s = \mu_s \cdot F_n \quad (4.1)$$

bağıntısı mevcuttur. Burada μ_s , statik sürtünme katsayısıdır. Kayma başladıktan sonra sürtünme kuvvetinde bir azalma olur ve bu durumda;

$$F_k = \mu_k \cdot F_n \quad (4.2)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada $\mu_k (< \mu_s)$ kinetik sürtünme katsayısıdır (Şekil 4.2) [18].



Şekil 4.2. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları [18]

Yeni yapılan çalışmalarda statik sürtünme katsayısının temas süresinin bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Burada kinetik sürtünme katsayısı, hızlar aralığı içinde hızın bir fonksiyonudur.

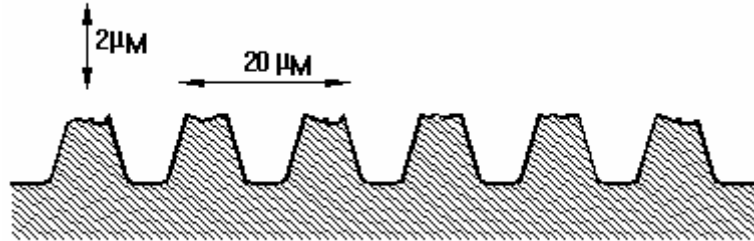
Kinetik sürtünme katsayısı, genellikle yavaş kayma hızlarında pozitif eğimli, yüksek kayma hızlarında ise negatif eğime sahiptir.

Sürtünme olarak bilinen kuvvet, bir kütlenin diğer bir kütle üzerindeki hareketine karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Sürtünme kuvveti, cisimlerin hareketini zorlaştırarak enerji kaybına, aynı zamanda aşınmaya neden olur.

Sürtünme kuvvetinin değeri sürtünme katsayısının değeri ile izah edilir. Sürtünme kanunlarını şu şekilde özetleyebiliriz [18].

- i. Sürtünme kuvveti normal yük ile orantılıdır.
- ii. Sürtünme kuvveti temas bölgesinin görünüşüne bağlı değildir.
- iii. Sürtünme kuvveti kayma hızına bağlı değildir.

Çok iyi torna edilmiş metalik bir malzemenin yüzeyi mikroskop altında incelenirse Şekil 4.3'de şematiksel olarak görüldüğü gibi, yüzeyde çok sayıda girinti ve çıkıntıların yani pürüzlerin bulunduğu görülür. Metal yüzeyi parlatıldığında pürüzlerin boyutunda on misli bir azalma olur fakat yinede yüzeyde pürüzler bulunur.



Şekil 4.3. Hassas işlenmiş metal yüzeylerinin mikroskop altında şematik görünüşü [18]

Ne kadar hassas işlenmiş ve parlatılmış olursa olsunlar iki yüzey birbiriyle temas ettiğinde, gerçek temas bir takım pürüzlerin birbirine dokunduğu noktalarda olur.

Bu durumda yüzeye etki eden yük, sadece pürüzlerin birbirine temas ettiği noktalardan desteklenir ve yüzey alanının küçük bir kısmı yükü taşır.

Başlangıçta, çok düşük yük seviyelerinde, pürüzler temas ettikleri noktalarda elastik deformasyona uğrar. Fakat daha büyük yüklerde, pürüzlerin ucunda büyük miktarda

plastik deformasyon olur. Her bir pürüzün, yüzey boyunca birleşme bölgeleri oluşturacak şekilde plastik deformasyona uğraması halinde, yüzeye etki eden toplam yük (F_t) (Şekil 4.4)

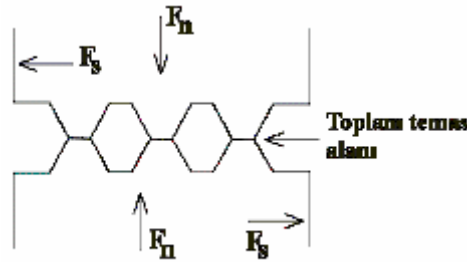
$$F_t \approx \partial \cdot \sigma_a \quad (4.3)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada ∂ , gerçek temas alanı ve σ_a ise basma akma gerilmesidir. Diğer bir ifadeyle, gerçek basma alanı;

$$\partial \approx \frac{F_t}{\sigma_a} \quad (4.4)$$

bağıntısı ile bulunabilir. Bu bağıntıdan da anlaşılacağı gibi, F_t nin iki misli artması halinde, gerçek temas alanı da iki misli artacaktır.

Şimdi, bu temas geometrisinin, temas eden metal yüzeyleri arasındaki sürtünmeyi ne şekilde etkilediğine bir göz atalım. Yüzeylerden biri, diğeri üzerinde kaydırılmak istendiğinde pürüzlerde buna ters yönde kayma gerilmesi oluşur. Pürüzlerde temas alanı en küçük olduğunda söz konusu kayma gerilmesi, τ , en büyük değerdedir. Yani temas bölgesinde τ 'nin değeri en yüksektir. Kaymaya direnç gösteren kuvvet (F); $F = \partial \cdot \tau$ şeklinde ifade edilir. Temas bölgelerinde meydana gelen plastik deformasyon sonucu, pürüzlerin uçları ezilir. Öyle ki, temas alanı (∂) boyunca atom-atom teması söz konusu olur.



Şekil 4.4. Şematik olarak metal yüzeylerdeki pürüzlerin birbirlerine teması [18]

Bu nedenle birleşme noktaları ancak τ_a mertebesindeki kayma gerilmesine dayanabilirler. Burada τ_a malzemesinin kayma akma gerilmesidir. Bu nedenle, kaymaya neden olan F_s kuvveti;

$$F_s \approx \partial \cdot \tau_a \approx \partial (\tau_a / 2) \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem (4.5) ile denklem (4.4) birleştirilirse;

$$F_s \approx F_t / 2 \quad (4.6)$$

eşitliği bulunur. Bu bağıntı sürtünme kanununun basit bir ifade şekli olup, daha önce $F_s \approx \mu_s \cdot F_n$

olarak belirtilmişti. Bu bağıntılar yardımıyla sürtünme katsayısı $\mu_s = \frac{1}{2}$ olarak bulunur.

Hareket eden yüzeylerde ise, statik temasta olduğu gibi, pürüzlerin birleşme noktalarında atom-atom temasının meydana gelebilmesi için yeterli zaman yoktur ve kayma için gerekli temas alanı izafi olarak azalmıştır. Kayma durur durmaz sürtünme, temas yerlerinin çok az büyümesine müsaade eder ve yayınma burada bağların kuvvetli olmasını sağlar, böylece μ yeniden μ_s değerine yükselir.

4.3.2. Yuvarlanma sürtünmesi

Yuvarlanma sürtünmesi, yüklü bir kürenin veya silindirin, düz bir kütle yüzeyi üzerinde yuvarlanması sonucunda oluşur. Yük altındaki bir silindirin yuvarlanmasında sürtünme direnci, silindirin merkezine uygulanır. Bu sürtünme aşağıda gösterilen bağıntıya uygun olarak yük ile doğru orantılı (W) ve yuvarlanma elemanının çapı ile ters orantılıdır [17], [18].

$$F_r = kW^n/D^m$$

Burada; k : Malzeme ve yüzey şartlarına bağlı sabit,

F_r : Yuvarlanma sırasındaki sürtünme direnci,

Yuvarlanma sürtünmesi katsayısı μ_r kayma sürtünmesinde olduğu gibi aynı yöntemlerle bulunur. Genel olarak yuvarlanma sürtünmesi katsayısı kayma sürtünmesi ile karşılaştırılırsa çok düşüktür. Statik ve kinematik sürtünme katsayıları ile yaklaşık olarak aynıdır.

4.4. Aşınma

4.4.1. Aşınmanın tanımı

Aşınma, genellikle temas eden yüzeylerden mekanik etkilerle malzeme kaybı olarak tanımlanır [16],[21]. DIN 50320 ve ASTM G 40–93 standartlarına göre aşınma, “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır [8]. Bu tanımlara göre makine parçalarının yüzeylerinin parlatılması, taşlanması veya elamanlarının birbirine alıştırılması uygulamalarının her birini aşınma olarak incelemek gerekir. Zira bu olaylardaki yüzey değişiklikleri uygulayıcı tarafından bilinerek ve istenerek yapılan bir işlem olduğundan bunlar birer aşınma olayı olarak değil, bir işleme veya talaşlı şekillendirme olayı olarak kabul edilmelidirler.

Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlar bölgesel erimeler, kimyasal çözünme ve fiziksel anlamda oluşan ayrılma. Uygulamada aşınma kapsamına, daha çok fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dahil edilmektedir.

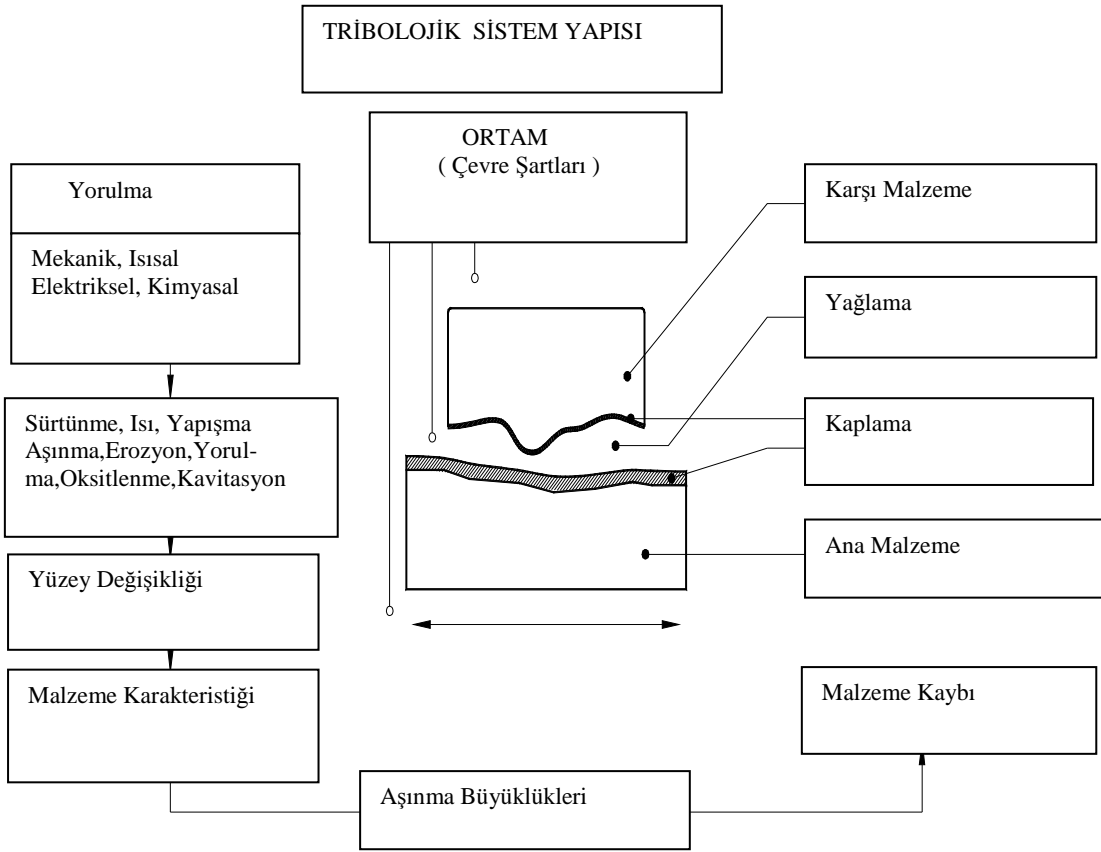
Bir aşınma sisteminde;

- a. Ana malzeme (Aşınan)
- b. Karşı malzeme (Aşındıran)

- c. Ara malzeme
- d. Yük
- e. Hareket.

aşınmanın temel unsurlarıdır. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem teknikte “Tribolojik Sistem” olarak adlandırılır. Bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi Şekil 4.5’de görülmektedir [10],[18], [19].

Aşınma sistemindeki önemli etkenlerden biri de Şekil 4.5’de de görüldüğü gibi çevre şartlarıdır. Sistem elemanlarının nem veya korozif etkilere maruz kalması aşınmayı hızlandırır.



Şekil 4.5. Bir Tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi. DIN 50320 [18]

Aşınma sebebiyle oluşan hasar, parçanın şeklinin veya ölçülerinin değişmesi, ısınmadan dolayı yüzeyinde yapı değişmelerinin oluşması şeklindedir. Metallerde aşınma sonucunda aşağıdaki olaylar meydana gelmektedir:

1. Metalin Yüzeyine Nüfuz veya Yüzeye Kaynama: Metal parçacığın yüzeyden kopmasında ilk safha, aşındırıcı metalin yüzeye batması veya atomsal mesafedeki çok sıkı temas neticesinde yüzeyde kısmen kaynamaların oluşmasıdır. Yüzeyin sertliği yüksek ise, gerek batma yolu ile nüfuz ve gerekse geniş bölgeler üzerinde temas için lüzumlu olan kısmi plastik şekil değiştirmeye, sertliğin yüksekliği oranında engel olunur. Sertlik ile aşınmaya dayanıklılık arasında çok mükemmel ve karşılıklı bir ilişki vardır [8], [10].
2. Metalin Şekil Değiştirmesi: Aşınmanın oluşabilmesi için küçük metal parçalarının şekil değiştirmesi ve kopup ayrılması lazımdır. Tok metaller bu hususta böyle bir eğilim göstermediklerinden aşınma mukavemetleri iyidir. Pratikte genellikle sertliğin yüksek olması tokluğun yüksek olmasına tercih edilir.
3. Metal Yüzeyinin Korozyonu: Aşındırıcı cisim, yüzeyde oluşabilecek oksit veya sülfat gibi bir korozyon ürününü kolaylıkla aşındırıp atabilir. Bu sebepten korozyona dayanıklı metallerin aşınma dayanımları genellikle iyidir.
4. Metal Yüzeyinin Isınması: Her ne kadar aşınma sırasında metal yüzeyinin kısmi olarak ergimesi ender olarak görülse de daha az şiddetli olan sürtünme ısılarında korozyon reaksiyonlarının hızlanmasından ve metalik özelliklerin kötüleşmesinden dolayı aşınma dayanımı düşer. Bu sebeple, ergime noktası yüksek olan metallerin aşınma dirençleri yüksektir [8], [10].

4.4.2. Aşınma mekanizmaları

4.4.2.1 Adhesiv aşınma (yapışma ve yenme aşınması)

Yapışma aşınması olarak da adlandırılan adhezif aşınma, çok rastlanan bir aşınma türü olmasına rağmen, genellikle hasarları hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhezif aşınma karşılıklı etkileşim içerisinde birbirlerine göre göreceli olarak hareket eden iki yüzeyin birisinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer bir yüzeye olan malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir.

Temas halinde bulunan bu cisimlerde bu tip aşınmadan kaçınmak mümkün değildir. Bu olayda yüzeylerin karşılıklı fiziksel ve kimyasal etkileri önemli rol oynar. Adhezyon teorisi metal transferini açıklamakla beraber aşınma partiküllerinin oluşumu için yeterli değildir. Bu konuda plastik pürüzlenme teorisi açık bir fikir verebilir.

Adhezyon teorisine göre temas halindeki yüzeylerde temas noktalarındaki lokal basınçların çok yüksek olması dolayısıyla küçük kaynak bağlar oluşur. Normal olarak yüzeylere absorbe edilmiş olan gaz veya sıvı molekülleri ile oksit tabakaları bu basınç altında parçalanır, malzemenin molekülleri doğrudan doğruya temasa gelir ve bölgesel kaynak bağlar meydana gelir. Bu kaynak bağların oluşturduğu malzeme kaybı, adhezyon aşınmasını açığa çıkarır.

Adhezyon aşınmasıyla ilgili yapılan çalışmalar sonunda elde edilen sonuçlar kısaca şu başlıklar altında toplanabilmektedir [8], [18]:

1- Adhezyon aşınması, benzer veya kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında meydana gelmektedir.

2- Olay, yüzeylerin göreceli hızına ve normal kuvvete bağlıdır. Pratik bakımdan nispeten yüksek hızlarda ve yüklerde görülen bir aşınma şeklidir.

3- Adhezyon aşınması sürtünmeyi tayin eden bütün kaynak noktalarında meydana gelmektedir.

4- Oksit veya nemden oluşan doğal tabakanın olay üzerinde etkisi büyüktür.

5- Yüzeylerden birinin sertliği diğerine göre nispeten büyük ise kaynak bağlarının kopması yumuşak malzemedede olur ve yumuşak malzeme sert malzemenin yüzeyine transfer edilir.

Adhezyon aşınmasını önlemek için gereken önlemler şu şekilde sıralanabilir [10], [17]:

- 1) Mikro kaynak bölgelerinin oluşumunu engellemek için sıcaklığın bölgesel olarak arttığı bölgelerde yağlama yapılarak sürtünme etkisi azaltılabilir.
- 2) Pratikte sınırlı bir yöntem olan birbirileri içerisinde çözünmeyen iki metalin bir arada kullanılması ile adhezif aşınmayı meydana getiren mikro-kaynak prosesinin oluşumunu engeller.
- 3) Düz yüzeyler kullanmak, birbirileriyle etkileşen yüzeylerde soğuk kaynaşmayı meydana getirecek şekilde çıkıntılar yok ise adhezif aşınma meydana gelmeyecektir.
- 4) Metal metal temasını engellemek amacıyla metal yüzeylerinde kimyasal filmler oluşturmak. Örneğin metal yüzeylerine fosfat kaplamalar yaparak sistemdeki yağlayıcıların daha aktif çalışmasını sağlamak.

Tablo 4.1. Malzeme özelliklerinin adhesiv aşınmaya etkisi [19]

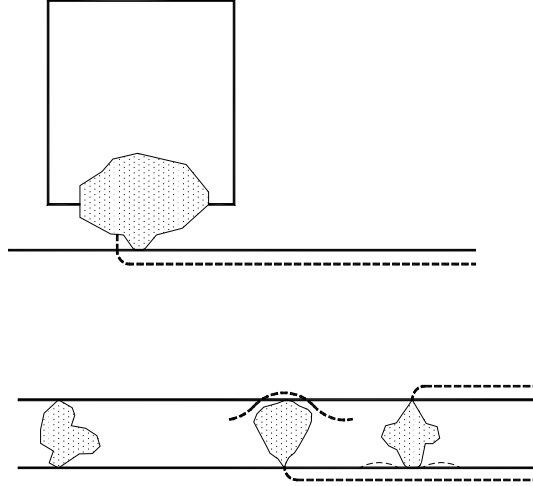
Özellikler	Adhesiv Aşınma
Oksitli yüzey	Az
Kristal yapı kübik	Çok
Hegzagonal kristal yapı	Az
Yüksek deformasyon sertleşmesi	Çok
Yüksek sertlik	Az
Yüksek elastisite modülü	Az
Yüksek ergime noktası	Az
Yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı	Az
Küçük atom yarıçapı	Az

4.4.2.2. Abrasiv Aşınması (Yırtılma ve çizme aşınması)

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasiv aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür.

Sert bir cismin yumuşak bir cismi kazıyıcı bir etki göstererek tahrip etmesidir. Bu olay genel olarak iki şekilde meydana gelir. Birinci halde sert bir metal yumuşak bir metali egeleyerek tahrip eder. İkinci halde ise dışarıdan yüzeyler arasına giren toz,

talaş veya doğrudan eş çalışan malzemelerin yüzeylerinde oksidasyon sonucu oluşan sert parçacıkların etkisi altında meydana gelir. Bu sert parçacıklar bir zımpara tozu gibi yüzeyler arasında kazıyıcı bir etki yaparak eğelemeye ve taşlamaya benzeyen bir malzeme kaybının meydana gelmesine sebep olurlar.



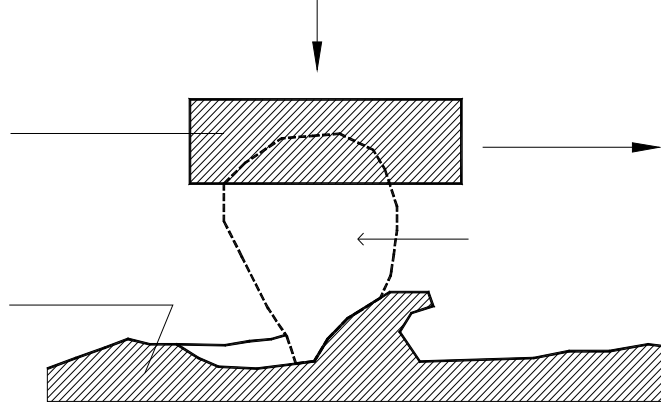
Şekil 4.6. Abrasiv Aşınma Mekanizması [18]

Abrasiv aşınma endüstriyel cihazlardan malzeme kayıplarının başlıca sebebidir. Aşındıran malzeme serbest halde iki metal arasında bulunuyorsa veya yalnız bir metali aşındıran sabit veya serbest taneler mevcut ise bu durumda;

a. İki elemanlı abrasiv aşınma (Şekil-4.8)

b. Üç elemanlı abrasiv aşınma (Şekil-4.7)

şeklinde gruplandırılması mümkündür. İki elemanlı abrasiv aşınma sürtünen elemanların doğrudan birbirleriyle etkileşimleri sonucu meydana gelir. Üç elemanlı abrasiv aşınmasında ise, ana ve karşı malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları da üçüncü eleman olarak görev yapabilir. (Şekil-4.7)

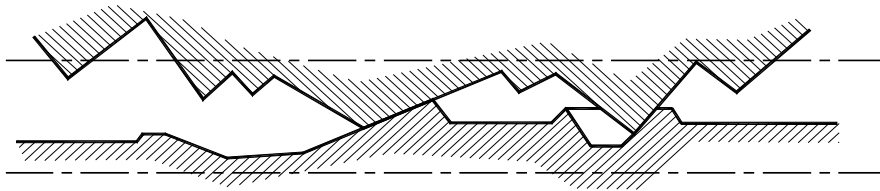


Şekil 4.7. Üç elemanlı abrasiv aşınma [18]

Metal-metal sürtünmelerinde aşınma iki elemanlı abrasiv veya adhesiv olarak başlayıp üç elemanlı abrasiv olarak devam eder. Bu durumda araya giren toz, mineral taneleri çizilme sonucu serbest hale geçen mikro talaşlar ve parçalanmış oksit parçacıkları üçüncü elemanı (ara malzemeyi) oluşturabilir. (Şekil 4.7) Serbest hale geçen mikro talaş parçacıkları genellikle ana malzemedan daha sert olduklarından (üç elemanlı abrasiv aşınma) aşınmayı hızlandırmaktadır. Endüstriyel makinelerdeki en önemli aşınma türü olan abrasiv aşınmaya genel olarak aşağıda verilen yerlerde rastlanmaktadır.

- Traktör, greyder gibi tarım ve iş makinelerinin bıçak ve tırnaklarında.
- Cevher işleme ve öğütme tesislerinde.
- Eleklerde.
- Değirmenlerde
- Nakletme makinelerinde.

Bu gibi makine veya makine parçalarında yalnızca abrasiv aşınmadan söz edilebileceği gibi, bunlarda diğer aşınma türlerinin de birlikte görülmesi mümkündür.



Şekil 4.8. İki elemanlı abrasiv aşınma [18]

Abrasyon aşınmasını önlemek için alınan önlemler de şöyle özetlenmektedir:

1. Yüzeyler sertleştirilmelidir.
2. Dışarıdan sert maddelerin yüzeyler arasına girmesi iyi bir sızdırmazlık düzeneğiyle önlenmelidir.
3. Makineler ve sistemler talaştan ve diğer pisliklerden sık sık temizlenmelidir [8].

4.4.2.3. Triboksidasyon aşınması

Triboksidasyon denilince ana malzeme ile karşı malzeme arasındaki tribolojik zorlanmalardan dolayı meydana gelen kimyasal reaksiyon anlaşılır. Malzeme yüzeylerinin hava ile reaksiyona girerek oluşturduğu yüzey tabakaları (oksit tabakası) aşınmayı azaltmasına rağmen bu yüzey tabakalarının triboksidasyon sonucu özelliklerinin değişmesi aşınmayı hızlandırmaktadır. Yağ gibi kimyasal maddeler bulunan ortamda çalışan makine parçalarının yüzeylerinde oluşan yüzey tabakalarının bir kısmının tribolojik zorlanmalarla kırılması ve aşındırıcı parçacıklar oluşturması aşınmayı hızlandırmaktadır. Triboksidasyon özellikle metalik malzeme yüzeylerinde görülür.

4.4.2.4. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması değişken, tekrarlı yükler sonucu ortaya çıkar. Tribolojik zorlanmalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur ve bu da yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur. Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelir. Bu boşlukların zamanla yüzeye doğru ilerleyerek büyümesi yüzeyde küçük çukurların ortaya çıkmasına sebep olur. Bu tür aşınma daha ziyade dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde görülür.

Yayınma ise tribolojik zorlanmada ana malzemenin üst yüzeylerindeki atomların yayınma ile karşı malzemeye geçmesi neticesinde malzeme kaybının meydana

gelmesidir. Alaşım elementlerinin karşı malzemeye geçmesi sonucu ana malzemenin kimyasal bileşimi bozularak mukavemeti dūřer. Örneęin sert maden uçların bünyesindeki karbon, yüksek kesme hızlarında karşı malzemeye (talaşa) mukavemetin dūřmesine sebep olur ve aşınmayı arttırır. Bütün bu aşınma mekanizmalarının genel bir değerlendirmesi Tablo 4.2 de verilmiştir.

4.5. Aşınmayı etkileyen faktörler

Aşınmayı etkileyen çeşitli faktörler farklı şekillerde sınırlandırılmaktadır [18], [19]. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmektedir.

- a. Ana malzemeye bağlı faktörler
 - Malzemenin kristal yapısı
 - Malzemenin sertliği
 - Elastisite modülü
 - Deformasyon davranışı
 - Yüzey pürüzlülüğü
 - Malzemenin boyutu
- b. Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi
- c. Ortamın etkisi
 - Sıcaklık
 - Nem
 - Atmosfer
- d. Servis koşulları
 - Basınç
 - Hız
 - Kayma yolu

Tablo 4.2. Aşınma ve Aşınma Mekanizmaları [18]

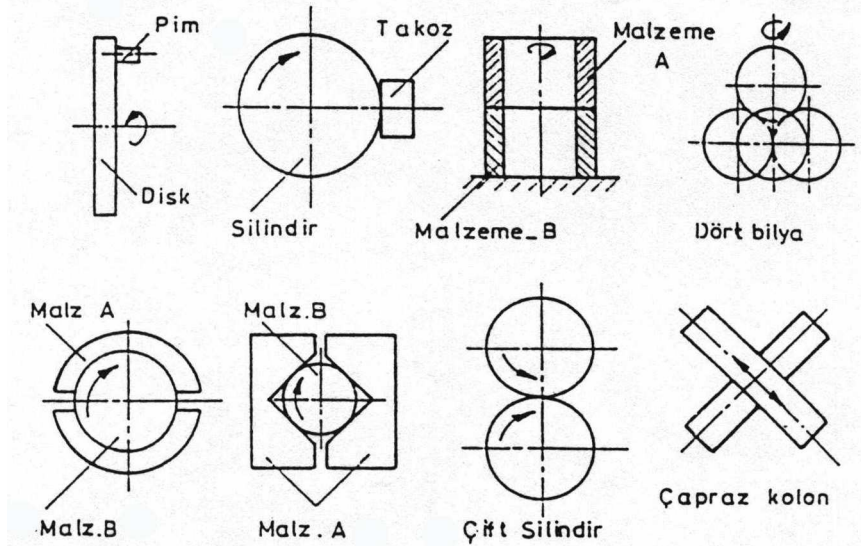
Aşınma Çifti	Yükleme	Aşınma Türü	AŞINMA MEKANİZMALARI			
			Adhesiyon	Tribölizm	Abrasiyon	Yorulma aşınması
Ana Malzeme -Karşı Malzeme (Yaşlanabilir ve Yaşlanmaz)	Kayma	Kayma aşınması	○	○	○	○
	Yuvarlanma	Yuvarlanma aşınması	○	○	○	○
	Delinme	Delinme aşınması	○	○	○	○
	Çarpma	Çarpma aşınması	○	○	○	○
	Titreşim	Titreşimli aşınma	○	○	○	○
	Çizim-çukuzma	Çizim aşınması	○	○	○	○
Ana Malzeme -Karşı Malzeme (Abrasive Parçacıklı)	Kayma	Taneli kayma aşınması	○	○	○	○
	Yuvarlanma	Taneli ezilme aşınması	○	○	○	○
	Öğütme	Öğütme etkili aşınma	○	○	○	○
Ana Malzeme -Partiküllü Akış	Akış	Çalkalanma aşınması	○	○	○	○
Ana Malzeme -Partiküllü Gaz	Gaz hareketi	Hareketli aşınma a) Kayma hareketi gelişinde aşınma	○	○	○	○
		b) Eğilme hareketli aşınma	○	○	○	○
		c) Çarpma hareketi gelişinde aşınma	○	○	○	○
Ana Malzeme -Akışkan	Çarpma	Damla darbeli aşınma	○	○	○	○
	Akış	a) Sivi erozyonu aşınma	○	○	○	○
		b) Kavilasyon aşınma	○	○	○	○
Ana Malzeme - Gaz	Akış	Ablatif aşınma	Tribölizmsiz			

Aşınma miktarı ○ % 10 ○ (diğer) % 100

4.6. Deney ve ölçüm yöntemlerinin tanımı

Endüstride kullanılan alet ve makinelerde aranan özelliklerden bir tanesi de bunların kullanım ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyetini arttırdığı gibi, onarım için geçen süre de üretimin önemli ölçüde aksamasına neden olmaktadır. Bu sebepten dolayı makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemelerin tespiti içinde mutlaka birçok laboratuvar deneylerinin yapılması gerekir. (Şekil 4.9)

Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model basit geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinde yapılabilir.



Şekil 4.9. Yağlamalı ve yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri [18]

Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

- Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin adhesiv (metal-metal) aşınma değerlerinin ölçüldüğü deneyler (Şekil 4.9)
- Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerlerinin ölçüldüğü deneyler (Şekil 4.10)

4.7. Ölçüm yöntemleri

ASLE (Amerikan Society of Lubrication Engineers, 1976) tarafından yüz kadar deney sistemi belirlenmiştir. Bunlardan en çok kullanılanları (Şekil 4.9) ve (Şekil 4.10) da görülmektedir. Aşınma deneylerinde aşınmanın ölçüm yöntemleri olarak

bilinen ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyoizotop metotları aşağıda sırasıyla verilmiştir [18], [19]

4.7.1. Ağırlık farkı metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün, alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkartılıp ölçme yapılması, yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınamaması bu yöntemin dezavantajıdır.

Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-3} veya 10^{-4} gr hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi yardımıyla yapılır.

Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünme yoluna göre, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (gr/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesap edilecekse (gr/cm²) gibi bir birim kullanılabilir.

Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybindan hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybindan gidilerek de bulunabilir.

Bu tanımlara göre en çok kullanılan ağırlık farkı ölçme metodunda kullanılan bağıntılar şunlardır [18], [19].

$$W_a = \Delta G/d.M.s \quad (\text{mm}^3/\text{Nm}) \quad (4.7)$$

Burada;

W_a : Aşınma oranı [mm³/Nm]

ΔG : Ağırlık kaybı [mg]

M : Yükleme ağırlığı [N]

s : Aşınma yolu [m]

d : Yoğunluk [gr/cm³]

olarak verilemiştir. Aşınma oranının (W_a) ters değeri de aşınma direnci (W_r) olarak gösterilir.

$$W_r = 1/W_a \text{ [Nm/mm}^3\text{]} \quad (4.8)$$

Başka bir bağıntı olarak da, bir kilometre kayma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı bağıntısı vardır ki genellikle iki elemanlı abrasiv aşınmanın hesaplanmasında kullanılır.

$$V_s = 10^4 \Delta G / F.d.s \text{ (}\mu\text{m/km)}$$

Burada ;

V_s : Bir km aşınma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı [μm]

ΔG : Ağırlık kaybı [gr]

F : Aşınma yüzeyi [cm²]

d : Yoğunluk [gr/cm³]

s : Kayma yolu [km]

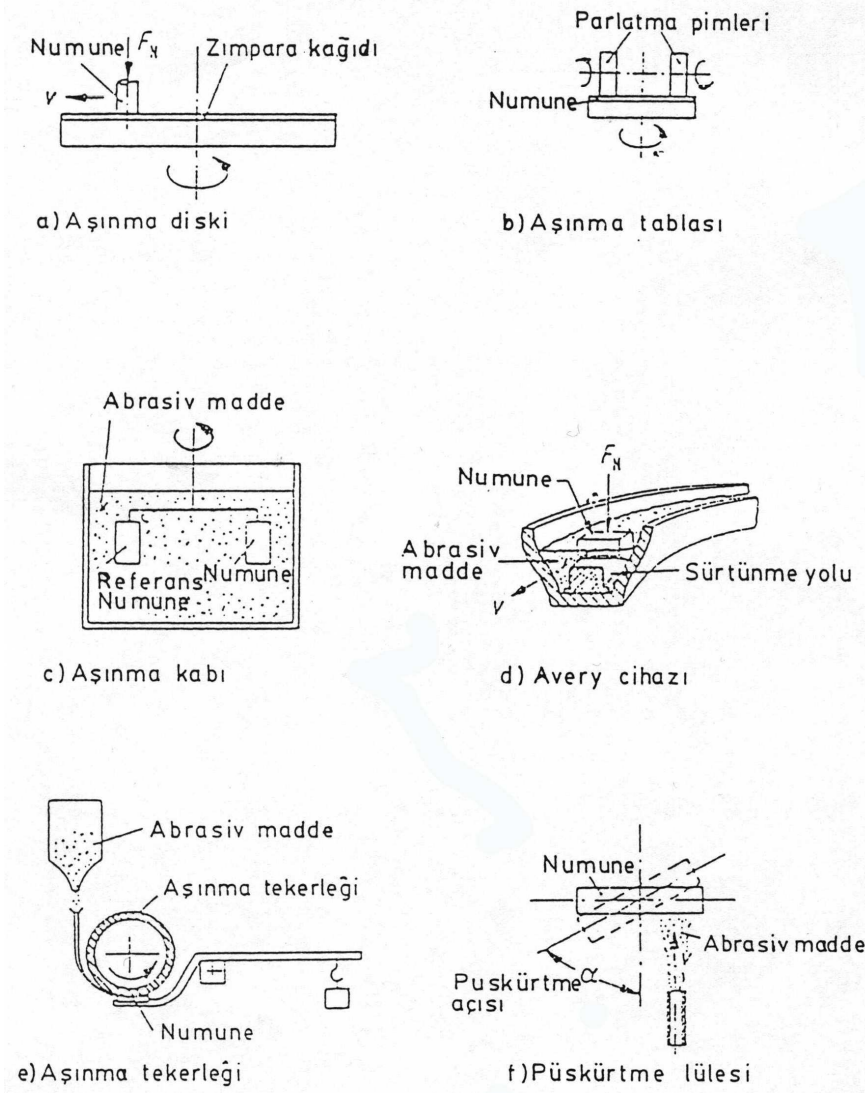
olarak alınır. Deney malzemesi yükseklik kaybının mukayese malzemesi (örneğin Fe 37 çeliği) yükseklik kaybına oranı, aşınma orantı sayısını (W_s) verir.

$$W_s = V_s \text{ (deney numunesi)} / V_s \text{ (Fe37)}$$

bu orantı sayısının ters değeri de bağlı aşınma direnci (R) olarak kullanılır.

$$R = 1/W_s$$

Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise, genellikle DIN50320'de verilen boyutsuz aşınma oranı formülü yaygın olarak kullanılır [18], [19],[20].



Şekil 4.10. Abrasiv aşınma deneylerinde kullanılan yöntemler [18]

4.7.2. Kalınlık farkı metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeriyle karşılaştırılması suretiyle elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımıyla $\pm 1\mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülmelidir.

4.7.3. İz değişimi metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile, geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun (çapının) değişimi ölçülür.

Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyenin bıraktığı iz boyutlarındaki değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenir.

4.7.4. Radyoizotop metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α - parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır.

Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi avantajlı yönleridir. Fakat ekonomik olmaması nedeni ile ancak özel amaçlarla kullanılır. Özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılan bir metot değildir [18],[19].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIşMALAR

5.1. Genel

Bu çalışmada, Demiryollarında kullanılan raylı taşıtların boji aksamında çalışan kayma plakalarının aşınan yüzeyleri için bir sert dolgu elektrotu seçilip, elektrik ark kaynak yöntemiyle dolgu kaynağı uygulanmıştır. Aşınan malzemeden çekme, eğme, çentik darbe, ve aşınma deney numuneleri çıkarıldı. Aşınmış olan kayma plakasına dolgu kaynağı yapıldı ve kaynağı uygulanan plakadan çıkarılan deney numunelerinin çekme deneyleri, eğme deneyleri, aşınma davranışları, mikro yapıları, sertlik değişimleri, ayrıca kayma plakasının farklı iklim şartlarında çalıştığı göz önüne alınarak – 40 °C ile + 40 °C arasında 10 ‘ar derece ısı aralıklarında olmak üzere

malzemenin farklı ısılardaki kırılma dayanımları laboratuvar ortamında tespit edilerek karşılaştırılmaya gidilmiştir. Aşınma deneyleri disk-üstü-pim (pin-on-disk) türünden yapıldı.

Dolgu kaynağının bakım ve tamir amaçlı olarak kayma plakalarındaki uygulanabilirliği araştırıldı. Aşınmış olan kayma plakalarına dolgu kaynağı yapılarak ilk hacmin ve şeklin sağlanması bir çözüm olarak görülmektedir. Dolgu kaynağı uygulaması, parçaların değişik amaçlarda yüzeylerin aynı veya farklı ilave malzemelerle kaplanması olarak tanımlanabilir. Bu işleme mekanik aşınmalar veya kimyasal etkiler sonunda gerek duyulabileceği gibi bu tür zorlama ve etkilere maruz kalabileceği önceden bilinen parçaların, dayanımlı farklı malzemelerle örtülmesi amacına dönük olarak da başvurulabilir.

5.2. Kullanılan Malzemeler ve Spektrometrik Analiz

Deneyisel çalışmalar kapsamında Demiryollarında raylı taşıtlarda çalışan kayma plakaları için kullanılan Thyrodur 1730 çelik malzemesi suda sertleşebilen, sert yüzeyli ve tok çekirdekli bir yapıya sahiptir. plastik kalıplarda ve metal enjeksiyon kalıplarında kalıp altı olarak kullanılır [1]. Thyrodur 1730 malzemesinin thyssen asal çelik standartlarında kimyasal kompozisyonu aşağıda Tablo 5.1’ de verilmiştir.

Tablo 5.1. Thyssen asal çelik standartlarında Thyrodur 1730’un kimyasal kompozisyonu [1]

C	Si	Mn
0.45	0.3	0.7

Tablo 5.2. Thyrodur 1730’un Spektrometrik Analiz Sonuçları

%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Co
98.1	0.491	0.342	0.708	0.015	0.005	0.030	0.009	0.043	0.044	0.005
%Cu	%Nb	%Ti	%V	%W	%Pb	%Sn	%B	%Ca	%Zr	%As
0.0158	0.0041	0.0043	0.002	0.0498	0.0224	0.0036	0.0010	0.001	0.0055	0.0093

Spektrometrik Analizlerin tümü MODERN DÖKÜM SANAYİ işletmesindeki FOUNDRY-MASTER marka 22 element kapasiteli cihaz ile yapılmıştır.

5.3. Uygulanan Dolgu Kaynak İşlemleri

Kayma plakasına tek bir elektrot ile dolgu kaynak uygulaması yapılmıştır. Kullanılan elektrot bazik karakterli bir sert dolgu elektrotudur. 850 °C'e kadarki çalışma şartlarında oksidasyona karşı dayanım gösteren, aşınma direnci yüksek dolgu metali verir. Yüksek sıcaklıklarda orta şiddetteki abrazyon aşınmasına karşı dayanıklıdır. Özellikle taş, kömür, kum ve toprak tarafından aşındırılan makine parçalarında, yükleme makineleri, band plakaları, aşınma plakaları, öğütücülere ait parçaların dolgu işlemleri diğer kullanım alanlarıdır. Yüksek sıcaklıklardaki uygulamalarda oksidasyon direncinin sertlik ve temperleme direncinden daha önemli olduğu durumlarda kullanılır.

DIN 8555 normuna göre E2-UM-60 Z olarak kodlanmıştır. Elektrot sertliği soğuk kaynak yöntemi ile 3 pasoda 58-62 HRC, 300 °C'de ön tav uygulayarak 3 pasoda 50-60 HRC arasındadır. E2-UM-60 Z kaynak metalinin tipik kimyasal analizi aşağıda Tablo 5.3'te verilmiştir [22].

Tablo 5.3. E2-UM-60 Z kaynak elektrotu çekirdeğinin tipik kimyasal analizi

%Fe	%C	%Si	%Mn	%Cr	%P	%S	%Mo	%Cu	%Al
98.937	0.100	0.050	0.586	0.050	0.006	0.009	0.024	0.200	0.038

Bu elektrotla yapılan elektrik ark dolgu kaynağının kaynak bölgesinin kimyasal içerikleri de Tablo 5.4'deki gibidir.

Tablo 5.4. Kaynak bölgesinin kimyasal içerikleri

%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Co
94.4	0.767	1.650	0.377	0.011	0.010	2.041	0.033	0.080	0.009	0.0075
%Cu	%Nb	%Ti	%V	%W	%Pb	%Sn	%B	%Ca	%Zr	%As
0.161	0.0334	0.161	0.0320	0.0756	0.0050	0.0279	0.0047	0.0006	0.0259	0.0300

5.3.1. Numune hazırlama ve ön- tavlama

Kayma plakası numunelerinin kaynak yapılacak yüzeyleri frezede, pürüzsüz bir yüzey elde edilinceye kadar frezelenmiştir. Daha sonra kaynak işleminde kullanılacak elektrotlar, elektrot kurutma fırınında 250 °C’de 60 dakika bırakılarak kurutuldu. Bunda amaç elektrotun havadan ve çevreden absorbe ettiği nemin kaynak dikişine geçmesini önlemektir. Aksi takdirde kırılabilir bir yapı elde edilmesi riski oluşur. Elektrot kurutma işlemi 300 °C kapasiteli ALNAL marka elektro-mekanik kurutma cihazında yapılmıştır



Şekil 5.1. ALNAL tipi elektro-mekanik kurutma cihazı

Kaynak işlemine başlamadan önce numunelere herhangi bir ön ısıtma işlemi yapılmasına gerek olup olmadığına bakılmıştır. Kaynakta çeliğin sertleşme eğilimini belirten bir değer sayısının bulunması ve bununla çeliğin bileşimine dayanarak, kaynak kabiliyetini belirten bir formülün elde edilebilmesi için birçok çalışmalar yapılmış ve alaşım elementlerinin verdiği sertleşmeye eş değerde sertliği sağlayan karbon miktarı saptanmıştır. Bu şekilde saptanan ve çeliğin bileşimindeki alaşım elementlerinin oluşturduğu sertliğe eş sertliği veren karbon miktarına “karbon eşdeğeri” adı verilmiştir. Birçok ülkede ve çeşitli kanunlarda, kaynaklı konstrüksiyonlarda kullanılacak çeliklerin içeriğindeki karbon ve manganez miktarları sınırlandırılmıştır. Bu iki element de çeliğin sertleşme eğilimini, dolayısıyla çatlak oluşma olasılığını arttırırlar. Karbon eşdeğeri büyüdükçe kaynaktan sonra soğumanın yavaşlatılması gerekmektedir. Bunun için de tek çözüm, parçaya kaynaktan önce bir ön-tavlama

uygulayarak soğuma hızını yavaşlatmaktır. Karbon eşdeğerine bağlı olarak ön-tavlama sıcaklıkları saptanmış olduğundan uygulamada kolaylık sağlanmıştır [13].

Karbon eşdeğerinin hesaplanması konusunda literatürde çok değişik formüllere rastlanılmaktadır. Bunlar salt bilimsel açıdan düşünüldüğünde ne çelikleri sınıflandırmak için kriter olabilmekte, ne de kaynak kabiliyetinin bir ölçüsü olarak kullanılabilirler; bunlar ancak uygulamada kullanılabilen ve tatminkar sonuçlar veren ampirik bağıntılardır [13]. Burada Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW)'nin IX numaralı Kaynak Kabiliyeti Komisyonunun kabul ettiği karbon eşdeğeri formülü şu şekilde kullanılmıştır:

$$C_{eş} = C + Mn/6 + Cr/5 + Mo/5 + V/5 + Ni/15 + Cu/15 \quad (5.1)$$

Kayma plakası numunesinin kimyasal içeriğini oluşturan alaşım elementlerinin ağırlıkça % değerlerini Eşitlik (5.1)'de yerine koyduğumuzda;

$$C_{eş} = 0.491 + 0.708/6 + 0.030/5 + 0.009/5 + 0.0020/5 + 0.043/15 + 0.0158/15$$

$C_{eş} = 0.621$ olarak bulunur.

Tablo 5.5. Karbon eşdeğeri ile ön-tav sıcaklığı arasındaki ilişki [13]

Karbon Eşdeğeri	Ön-Tavlama Sıcaklığı, °C
< 0.45	Normal atmosfer şartlarında gerek yoktur.
$0.45 < C_{eş} < 0.60$	100 – 200
> 0.60	200 – 350

Tablo 5.5'teki kriterlere göre kayma plakası numunelerinin karbon eşdeğeri 0.60 değerinden büyük çıktığı için ön-tavlama yapılması gerekmiştir. Kaç derecede tavlama yapılacağı da aşağıdaki formüle göre bulunmuştur.

$$T_{\text{ön-tav}} (^\circ\text{C}) = 350 * \sqrt{ ([C_{\text{eş}}] - 0.25) } \quad (5.2)$$

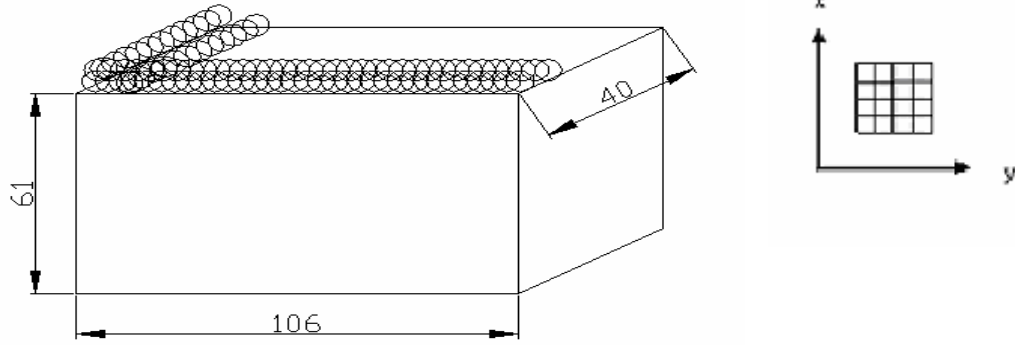
Buna göre protherm tipi tavlama fırınında, ilk pasodan önce 60 dakika olmak üzere yaklaşık olarak 300 °C’ de ön-tavlama yapılmıştır. Kaynak işleminden sonra ise numuneler tav fırınında 600 °C’de yaklaşık olarak 4 saat boyunca tavlama işlemine tabii tutulmuş sonrasında ise yavaş soğumaya bırakılmıştır. Böylelikle kaynak dikişlerinde oluşabilecek iç gerilmeler (kalıntı gerilmeler) giderilmeye çalışılmıştır. Ön tavlama işlemi yapılan tavlama fırını aşağıda Şekil 5.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. PROTHERM tipi tavlama fırını

5.3.2. Elektrik ark sert dolgu kaynak işlemleri

Aşınmış kayma plakasına As kaynak şirketinin ürünü olan bazik karakterli, Tablo 5.3’te kimyasal kompozisyonu verilmiş olan elektrot ile doğru akım kaynak makinesinde (Redresör), pozitif (+) kutuplamada, deneyler boyunca ortalama 24 V kaynak geriliminde, 125 A kaynak akım şiddetinde, kaynak akım şiddeti değerleri ve kaynak gerilimi değerleri sürekli olarak kaynak makinesi üzerinde bulunan Ampermetre ve Voltmetreden kontrol edilerek, sabit kaynak hızında dolgu kaynak işlemleri xy doğrultusunda atılmıştır. Atılmış olan dolgu kaynak parçası ve doğrultusu Şekil 5.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Sert dolgu kaynağı yapılan parça ve kaynak doğrultuları



Şekil 5.4. Dolgu kaynağı işleminde kullanılan redresör tipi kaynak makinesi.

Dolgu kaynak işlemlerinde Şekil 5.3’ deki parça üzerine toplam 7 adet kaynak yapılmıştır. Uygulanan kaynakların paso miktarları ve doğrultuları Tablo 5.6’ da verilmiştir.

Tablo 5.6. Uygulanan kaynakların paso miktarları ve doğrultuları

Kaynak Yönü	1. Paso	2. Paso	3. Paso	4. Paso	5. Paso	6. Paso	7. Paso
Y	4 Adet		5 Adet		4 Adet		3 Adet
X		11 Adet		9 Adet		10 Adet	

Kaynak işleminden sonra plaka numunelerinin farklı bölgelerinden yine spektrometrik analizler alınmış, veriler, Tablo 5.7, Tablo 5.8 ve Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.7. Dikiş üst bölgesi

%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Co
94.4	0.767	1.650	0.377	0.011	0.010	2.041	0.033	0.080	0.009	0.0075
%Cu	%Nb	%Ti	%V	%W	%Pb	%Sn	%B	%Ca	%Zr	%As
0.161	0.0334	0.161	0.0320	0.0756	0.0050	0.0279	0.0047	0.0006	0.0259	0.0300

Tablo 5.8. Kaynak bölgesi

%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Co
94.5	0.708	1.650	0.382	0.011	0.010	1.988	0.030	0.088	0.010	0.0077
%Cu	%Nb	%Ti	%V	%W	%Pb	%Sn	%B	%Ca	%Zr	%As
0.163	0.0318	0.158	0.0307	0.129	0.0066	0.0271	0.0048	0.0007	0.0261	0.0304

Tablo 5.9. Ana metal bölgesi

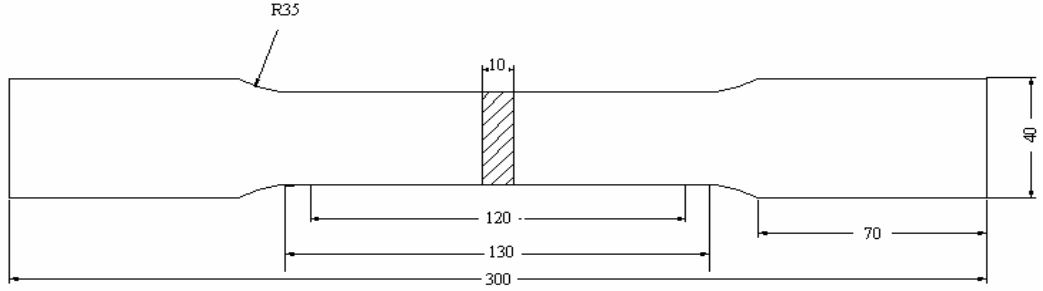
%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Co
98.0	0.503	0.329	0.689	0.011	0.003	0.049	0.030	0.036	0.067	0.005
%Cu	%Nb	%Ti	%V	%W	%Pb	%Sn	%B	%Ca	%Zr	%As
0.151	0.0154	0.0119	0.0104	0.149	0.005	0.0117	0.0031	0.001	0.0259	0.014

5.4. Çekme Deneyleri

Çekme deneyi malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklere göre sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile geniş çapta kullanılır. Çekme deneyi standartlara göre hazırlanmış deney numunelerinin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir [21].

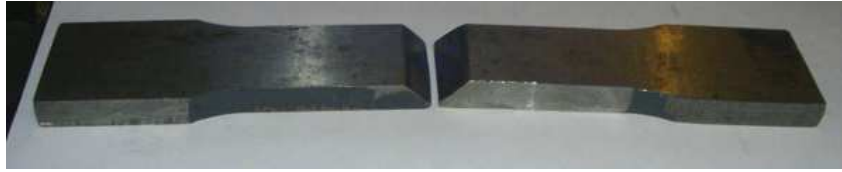
Thyrodur 1730 malzemesinin teslimattaki çekme mukavemeti 650 N/mm^2 verilmiştir. Kayma plakasından kesilen parçalar freze ve taşlama tezgahında

işlenerek Şekil 5.5 deki çekme numunesi standartlarında verilen ölçülere getirilmiştir.



Şekil 5.5. Çekme deneyi numunesi

İstediğimiz kalınlıkta işlenen plakalara kaynaklı numune oluşturulacak şekilde 30°'lik V kaynak ağızları açılı frezede açılıp kaynakları atıldı. Numuneler 0.2 m/sn hızla çekildi. Kaynağı uygulanacak numunenin hazırlanmış biçimi Şekil 5.6 da verilmiştir.



Şekil 5.6. Kaynağı atılacak çekme numunesi

5.5. Eğme Deneyleri

Throdur 1730 kayma plakası malzemesi ve kaynaklı parçalara uygulanan eğme deneyleri parçaların eğme mukavemetlerini belirlemek amacı ile uygulanmıştır. Kaynaklanan plaka malzemelerinin her iki ucundan 25'er mm' lik kısım, kaynak başlangıç ve sonunda oluşan hatalar sebebiyle atıldı ve diğer kısımların içerisinde Şekil 5.7 deki ölçülerde eğme numuneleri çıkarıldı. Eğme deneyleri DARTEC marka 250 kN kapasiteli cihazda yapılmıştır.



Şekil 5.7. Eğme deney numuneleri

5.6. Çentik Darbe Deneyleri

Kayma plakası numunelerin dinamik bir zorlanma altında kırılması için gereken enerji miktarlarının bulunması için çentik darbe deneyleri yapılmıştır . Charpy darbe deneyi, yatay ve basit kiriş halinde iki mesnede yaslanan numunenin çentikli tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilimler etkisiyle numunenin kırılması için harcanan enerjiyi tayin işlemidir. Bu deneysel çalışmada Kayma Plakasının farklı iklim şartlarında çalışacağı göz önüne alınarak sıcak ve soğuk hava şartlarına karşılık plaka malzemesinin farklı ısılardaki kırılma dayanımını tespit etmek amacıyla, -40°C ile $+40^{\circ}\text{C}$ ısılar arasında 10° ar derecelik aralıklarla çentik darbe deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler için, kaynaklı ve kaynaklı malzemelerden DIN 50115 standartlarına uygun olarak 9 'ar adet ISO-V çentikli deney numunesi çıkarılarak (Şekil-5.8 b) her biri ayrı ayrı olmak üzere Şekil 5.11 ' da görülmekte olan laboratuvar soğutucusunda $-40, -30, -20, -10, 0, +10, +20, +30, +40$ derecelik ısılarda çentik darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler KARL FRANK marka, 0-300 J kapasiteli çentik darbe cihazında yapılmıştır. (Şekil.5.8. a)

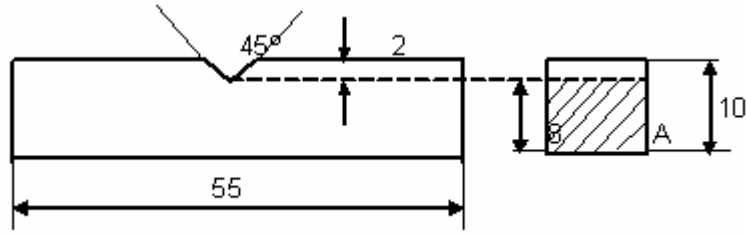


(a)

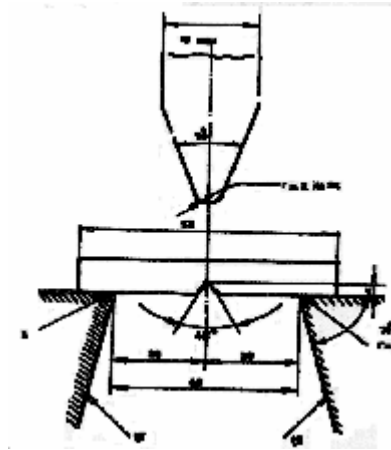


(b)

Şekil 5.8. (a) Çentik Darbe deney cihazı ve (b) DIN 50115 deney numunesi [18]



Şekil 5.9. DIN 50115 e göre ve ISO-V Çentikli deney numunesi (Kırılma alanı $A=0,8 \text{ cm}^2$)

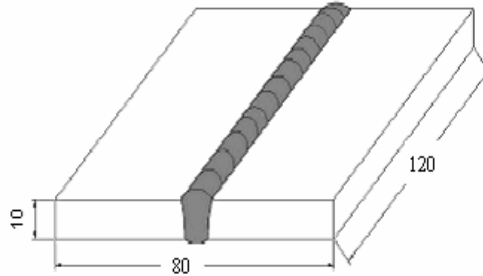


Şekil 5.10. Çentik darbe numunesinin cihazdaki yerleşim şekli [18]



Şekil 5.11. Laboratuvar tipi soğutma cihazı [18]

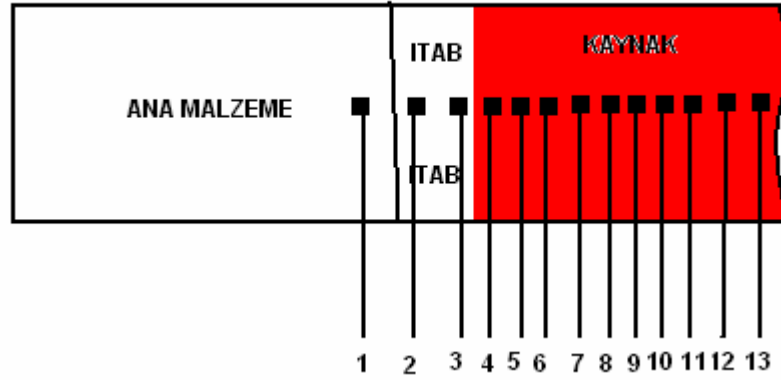
Kayma plakası malzemesinden kesilen numuneler frezede işlenip V kaynak ağızları açıldı. Gerekli ısıl işlemler uygulandıktan sonra 5 pasoda kaynakları atıldı. DIN 50115 e göre ve ISO-V Çentikli deney numunesi şeklinde içerisinden çıkarıldı. Kaynağı atılan parça ölçüleri Şekil 5.12' de verilmiştir.



Şekil 5.12. Çentik darbe numunelerinin çıkarıldığı kaynaklı numune

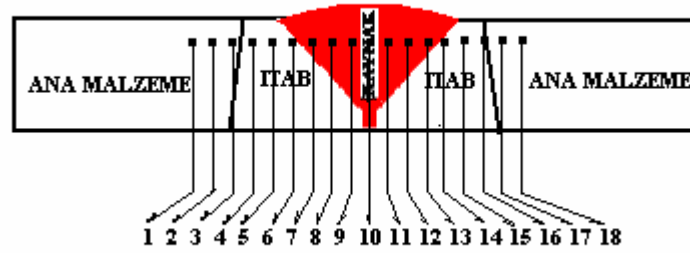
5.7. Sertlik Ölçümleri

Kaynaklı numunelerin, esas metalden tamamen kaynaklı bölgeye kadar değişik özellikler gösteren yerlerinden mikro-sertlik ölçümleri alınmış ve bunlar grafik olarak sonuçlar bölümünde gösterilmişlerdir. Ölçümler 1 mm aralıklarla alınmıştır. Sertlikler sırasıyla aşağıda şema tize edildiği biçim ve sırayla alınmıştır.



Şekil 5.13. Dolgu kaynaklı numunelerde sertlik alınan bölgeler

Çentik darbe numunesi elde etmek için yapılan kaynaklı birleştirmelerde ise sertlik ölçümleri Şekil 5.14'de gösterilen biçimde sıra-sertlik alımı şeklinde yapılmıştır.



Şekil 5.14. Çentik darbe numunesi üzerinde sertlik alınan noktalar

Laboratuar ortamında yapılmış olan bütün mikro sertlik ölçümleri 1 kg'lık yük uygulanarak OFFİCİNE GALİLEO marka cihaz ile yapılmıştır.

5.8. Mikro-yapı

Bu çalışmada kayma plakaları malzemelerinden kesit numuneler çıkarıldı ve bunların metalografik inceleme sonucunda mikro-yapıları incelendi. Numuneler sırasıyla 60, 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı zımparalarda parlatma işlemine tabii tutulduktan sonra Al_2O_3 –alümina solüsyonuyla parlatıldı daha sonra plaka numuneleri % 3'lük Nital çözeltisi ile dağlandı.

5.9. Makro-yapı

Sert dolgu elektrotuyla kaynak yapılan plaka parçalarının makro-yapı incelemeleri yapılmıştır. Bu amaçla % 10'luk HNO₃ içeren çözelti ile makro-dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Daha sonra bu kaynakla birleştirilen parçalardan hazırlanan çentik darbe deney numunelerinin de makro-yapı incelemesi yapıldı. Bunun için iki amaç güdülmüştür. Birincisi, kaynak bölgesinin, deney numunesinin tam ortasına denk gelip gelmediğini görmektir; çünkü çentik darbe deneyi sırasında hasar, kırılma şeklinde ve kaynak bölgesinin hemen yakınlarında beklenmektedir. İkincisi ise numunenin yan yüzeyinin yüzey kalitesini görmektir; çünkü buralardaki herhangi bir süreksizlik, çatlak vs. gerilim artırıcı bir etki yaratacak ve deney sonuçlarında beklenmeyen etkiler oluşturacaktır.

5.10. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri DIN 50324 standardına göre dizayn edilmiş disk-üstü-pim (pin-on-disc) prensibine göre çalışan bir aşınma cihazında yapılmıştır. Aşındırıcı olarak kullanılan disk, 62-64 Rc (150kg yükte) sertliğinde 4140 çeliğidir, ısıl işlem fırınında tavlانیp yağa daldırılmak suretiyle sertleştirilmiştir, daha sonra da her iki yüzeyi de taşlanarak pürüzsüz bir yüzey elde edilmesi sağlanmıştır. Disklerin deneylerden önce yapılan spektrometrik analizi aşağıda Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10. Aşınma deneylerinde kullanılan disklerin kimyasal kompozisyonu

%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Co
96.6	0.453	0.271	0.866	0.023	0.076	1.122	0.224	0.073	0.047	0.005
%Cu	%Nb	%Ti	%V	%W	%Pb	%Sn	%B	%Ca	%Zr	%As
0.0763	0.0066	0.0038	0.0074	0.0508	0.0256	0.0089	0.001	0.0010	0.0078	0.02

Bu diskler, frekans kontrolü ile hassas bir şekilde devir ayarı yapılabilen bir motora bağlı diske vida yardımıyla bağlanmıştır. Disklerin yatağa uygun bir şekilde oturmasına dikkat edilerek yatakta metil alkol ile temizlenmiştir. Deneylerin tümü

1m/sn'lik aşınma hızlarında yapılmış ve numuneler bir saat süreyle, toplam aşınma mesafesi 3600 metreye varıncaya kadar aşındırılmıştır. Numunedeki hacimsel kaybı ve sürtünme katsayısını tespit etmek için Şekil 5.15'te T noktasına, normal yüke dik olacak bir transdüser monte edilmiştir. Böylece açısal sürtünme kuvveti ölçülmüştür. Benzer şekilde, P noktası ile gösterilen bölgeye ve tam aşınma numunesinin üstüne gelecek şekilde bir başka transdüser yerleştirilmiştir. Bir amplikatör yardımıyla numune boyutlarında ve sürtünme kuvvetinde zamanla meydana gelen yükseklik kayıpları (h_v) ve ikincil kuvvetler kaydedilmiştir. Deneyler sırasıyla her bir numuneye (cihazın kapasitesi göz önüne alınarak); 2.5N, 5N, 10N, 15N, 20N'luk normal yükler uygulanmıştır. Aşınma deneyinden elde edilen yükseklik kaybı değerleri, hacim kayıplarını hesaplamak amacıyla (5.3) eşitliğinde kullanılmıştır.

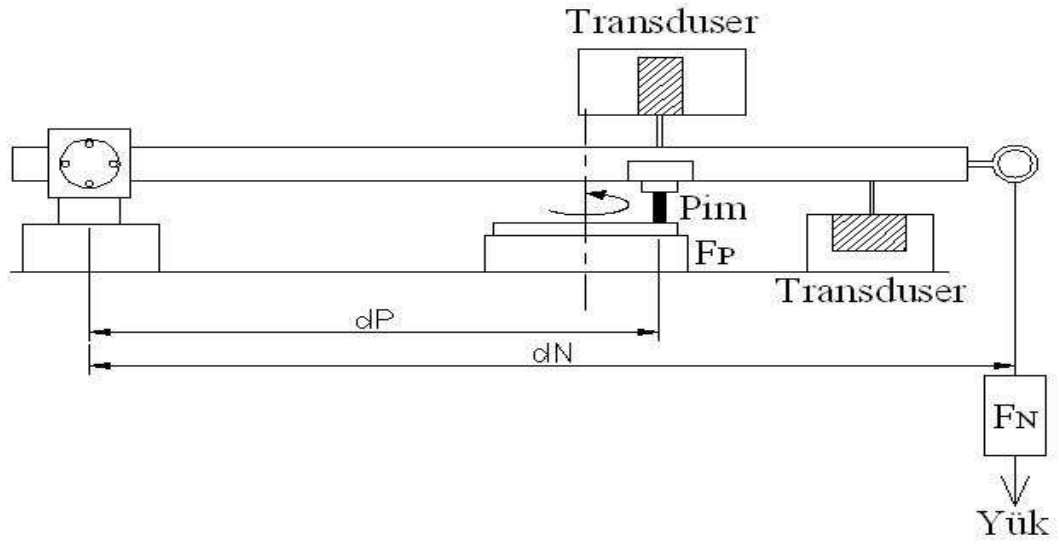
$$\text{Hacimsel Aşınma} = (\pi D^2/4) h_v \quad (5.3)$$

Burada D, aşındırılan numunenin çapı, h_v ise aşınma cihazından elde edilen numune yükseklik kaybıdır. Aşınma cihazında, numune yükseklik kaybını veren eğriler Solartron marka 50 mV/200 hassasiyetine ayarlanmış olup, amplikatör yardımıyla grafikler elde edilmiştir. Aşınma sırasında malzeme sürtünme katsayısı (μ) değerlerinin, sürtünmede oluşan açısal sürtünme kuvvetinin (F_p), uygulanan normal yüke olan oranına (F_N) göre değiştiği bilindiğinden, (5.4) denklemi kullanılmıştır. Kullanılan bu eşitlik ile her bir numunenin değişik deney şartındaki sürtünme katsayısı hesaplanmıştır.

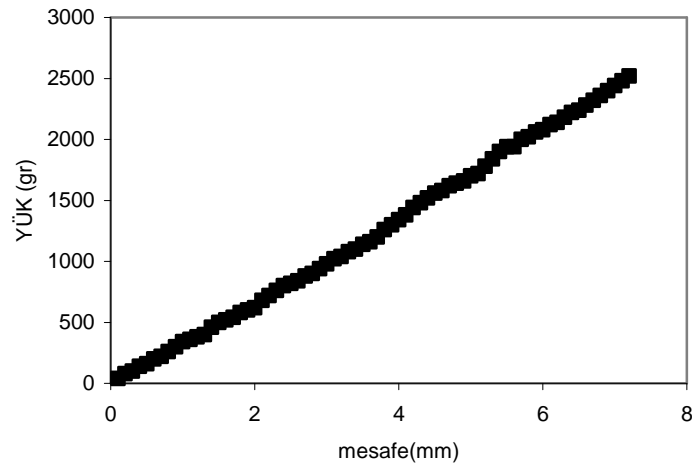
$$\mu = F_p * dp / F_N * d_N \quad (5.4)$$

Eşitlik (5.4)'teki dp ; Pimin mesnet noktasına olan uzaklığını ve d_N ; yükün mesnet noktasına olan uzaklığını göstermektedir.

Ayrıca aşınma sırasında numunede meydana gelen ağırlık kayıplarını belirlemek için, deneye başlamadan önce ölçülen m_1 , deney bitiminde ölçülen m_2 ağırlık kaybı ($m_1 - m_2$) ile belirlenmiştir.



Şekil 5.15. Aşınma cihazının şematik olarak önden görünüşü. d_P ; Pimin mesnet noktasına olan uzaklığını ve d_N ; Yükün mesnet noktasına olan uzaklığını göstermektedir [8]



Şekil 5.16. Aşınma cihazındaki yanal kuvvetlerin, F_P , hesaplanmasında kullanılan yük transdüser arasındaki değişimi gösteren grafik [8]

Disk-üstü-pim (pin-on-disc) deneyleri sırasında şunlara dikkat edilmelidir:

1. Pim ve diskin birbirleriyle tam olarak teması sağlanmalıdır. Bunun için deney pimleri aşındırıcı kağıtlar yardımıyla tam düz ve pürüzsüz bir yüzey elde edilinceye kadar zımparalanır.

2. Hem test pimleri hem de disk metil alkol içinde ultrasonik titreşimlerle temizlenir. Bunun için Decon F5 Minor marka zaman kontrollü ultrasonik titreşim cihazı kullanılmıştır.
3. Test pimi, aşınma makinesinin yük kolu üzerindeki yerine monte edilir ve gerekli yük ve hız uygulanır.
4. Sürtünme ve aşınmayı ölçecek doğrusal transdüserler kaydedicide sinyal olarak sıfırı gösterecek biçimde ayarlanır. Daha sonra tam yükleme yapılarak deney başlatılır.
5. Gerekli dönme mesafesine erişildiğinde deney durdurulur. Bu çalışmada, pin-on-disk yöntemiyle yapılan aşınma deneylerinin her biri bir saat sürmüştür, 3600 m yol alınmıştır.
6. Deneylerden sonra pimlerin ağırlığı tekrar tartılarak kaydedilir. Aradaki farktan ağırlık kaybı tespit edilir. Tartımlar, 10^{-4} gr hassasiyete sahip GEC AVERY marka terazide yapılmıştır.

Şekil 5.17’da disk-üstü-pim aşınma deneylerinin yapıldığı deney cihazının fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 5.17. Aşınma deney cihazı [8]

5.11. Tarama Elektron Mikroskobu (SEM)

Sert dolgu elektrotla birleştirilen ve dolgu kaynağı uygulanan plakalara çentik darbe deneyleri sonrasında kırık yüzeyleri ve aşınan plaka numunelerinin aşınan yüzeyleri tarama elektron mikroskobu yardımıyla incelenmiştir. Bunun için JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır.

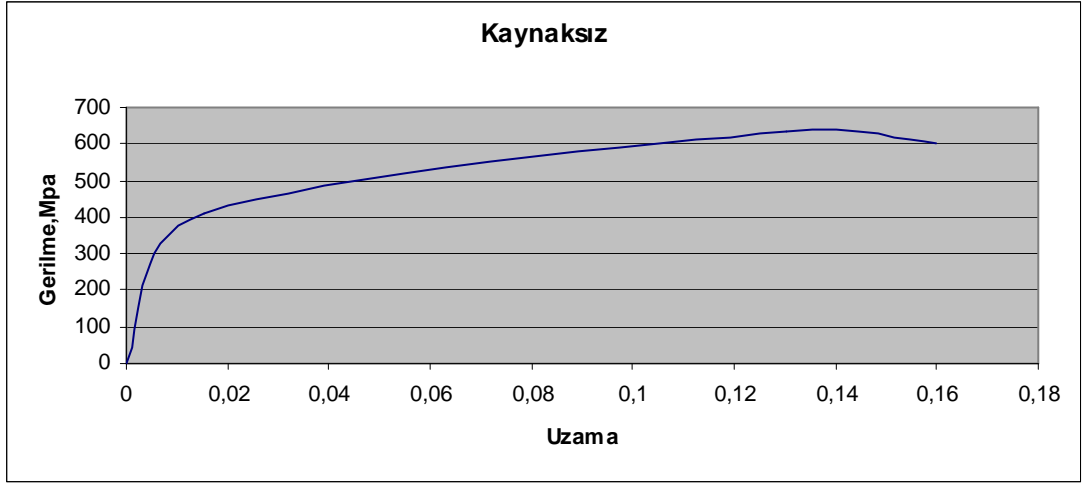
BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1 Çekme Deneyleri Sonuçları

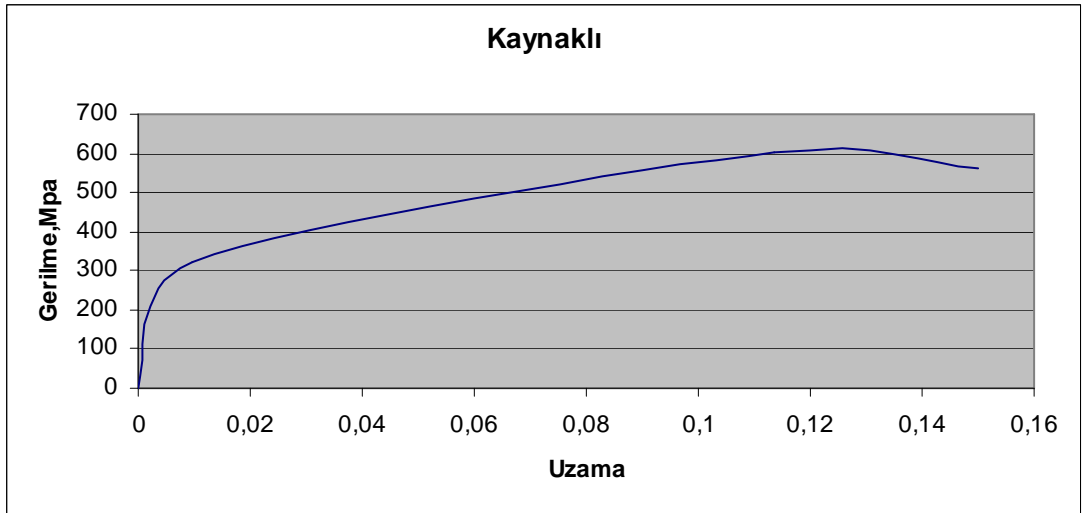
Kayma plakalarından çıkarılan 5'er adet kaynaklı ve kaynaklı çekme numunelerinin ortalama değerleri Tablo 6.1 de verilmiştir. Deney sonuçlarından alınan ve hesaplanan değerlerden Şekil 6.2 de kaynaklı Şekil 6.3 de ise kaynaklı numunelerinin gerinim-uzama diyagramları gösterilmiştir. Bu sonuçlardan Kaynaklı mukavemet değerlerinin kaynaklı mukavemet değerlerine göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 6.1. Kaynaklı ve kaynaklı plakaların ortalama mukavemet değerleri

	Kaynaklı Numune	Kaynaklı numune
a	10 mm	10 mm
b	30,8 mm	31 mm
İlk Alan	308 mm ²	310 mm ²
Son Alan	253 mm ²	231,44 mm ²
İlk Boy	100 mm	100 mm
Son Boy	116 mm	115 mm
% Kesit Daralması	17,85	25,34
Akma Mukavemeti	410 Mpa	321 Mpa
Çekme Mukavemeti	632 Mpa	605 Mpa
Kopma Mukavemeti	600 Mpa	563 Mpa
Elastik Modül	26623,28 N/mm ²	33789,47 N/mm ²
% Akma Uzaması	01,54 mm	0,95 mm
% Çekme Uzaması	13,05 mm	11,37 mm
% Kopma Uzaması	16,00 mm	15,00 mm



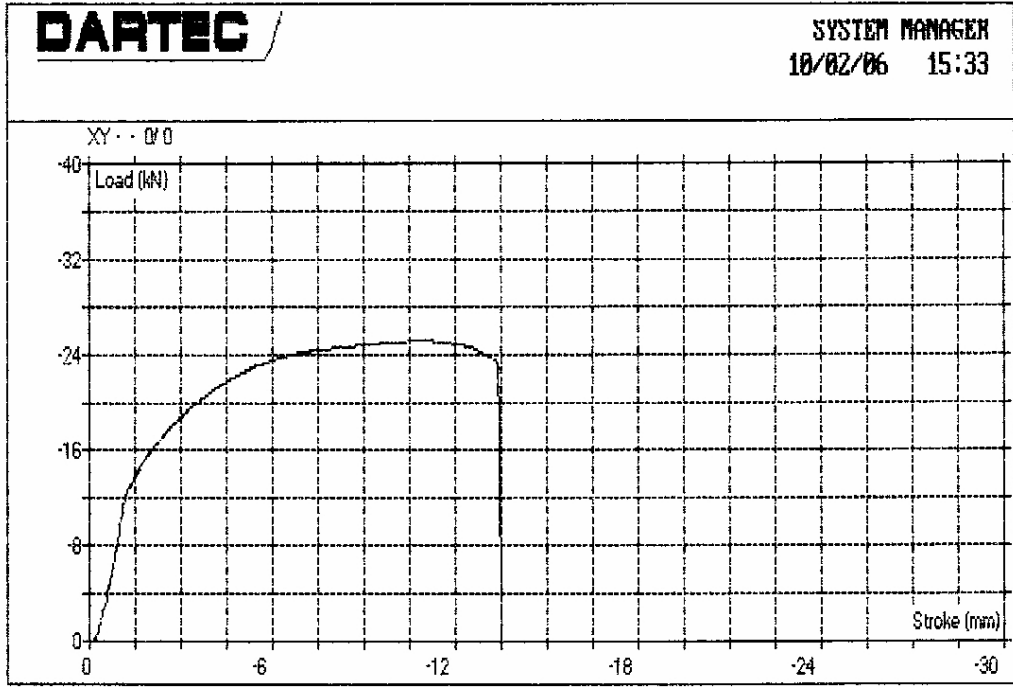
Şekil 6.1. Kaynaksız plakanın gerilim-uzama diyagramı



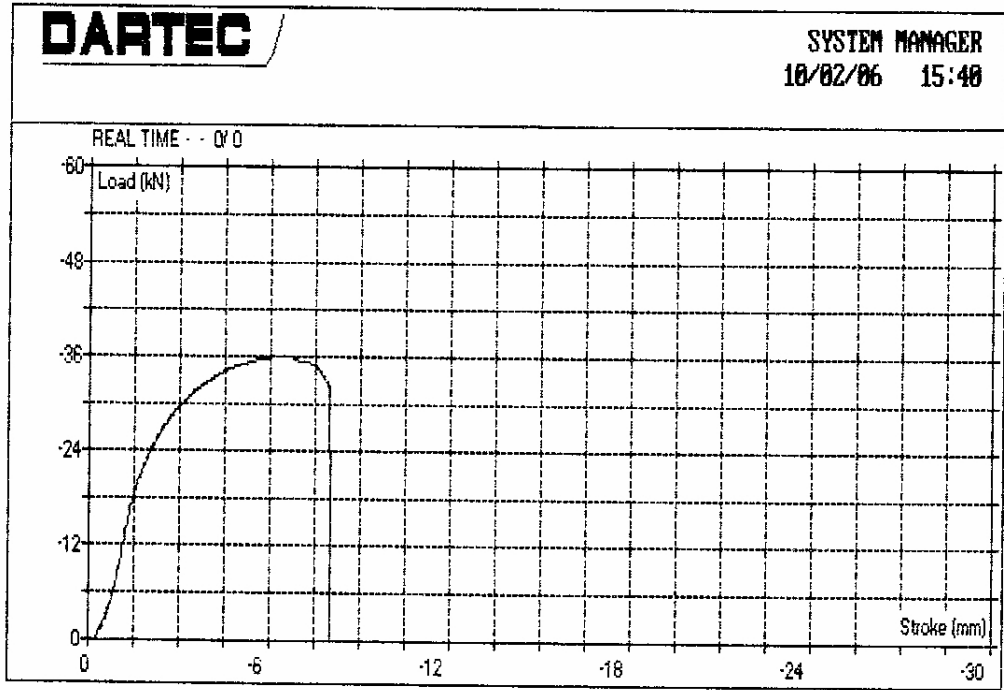
Şekil 6.2. Kaynaklı plakanın gerilim-uzama diyagramları

6.2. Eğme Deneyi Sonuçları

Kaynaklı ve kaynaklız plakaların ortasından alınan eğme deneyi numunelerinin, eğme deneyi sonrası grafiklerine baktığımızda her iki durumda da plaka numuneleri grafiklerde görünen yüke kadar eğilme göstermiş, daha sonra kırılmaya uğramıştır. Kaynaklı plaka numunesi kaynak bölgesine 5 mm uzaklıktan kırıldı. Bu yüzden kırılmanın ITAB bölgesi olduğu tespit edildi. Grafikleri incelediğimizde dolgu kaynağı uygulanan plaka numunesinin diğerine göre daha yüksek yükte kırıldığı görülmektedir.



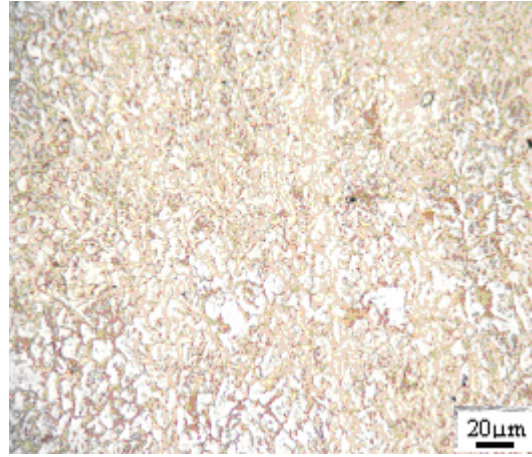
Şekil 6.3. Kaynaksız plakanın eğme grafiği



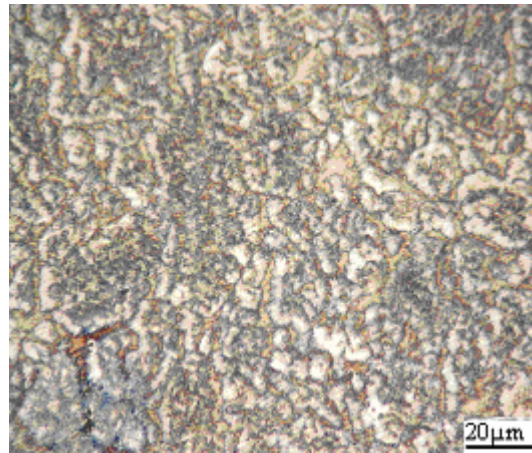
Şekil 6.4. Kaynaklı plakanın eğme grafiği

6.3. Mikro-Yapı

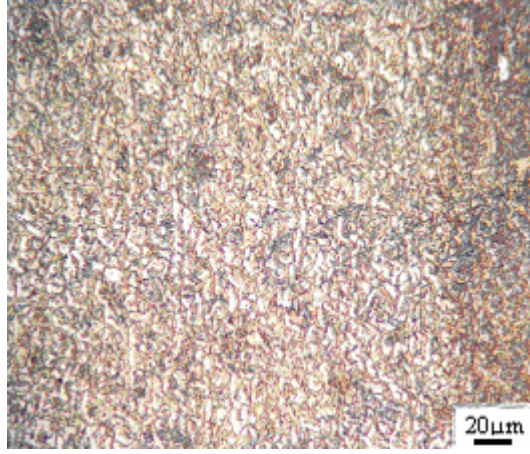
Bu çalışmada kullanılan Throdur 1730 plaka malzemesinin ve kaynaklı plakalardan çıkarılan dolgu kaynaklı ve çentik darbe numunelerinin, metalografik işlemleri tamamlandıktan sonra mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir.



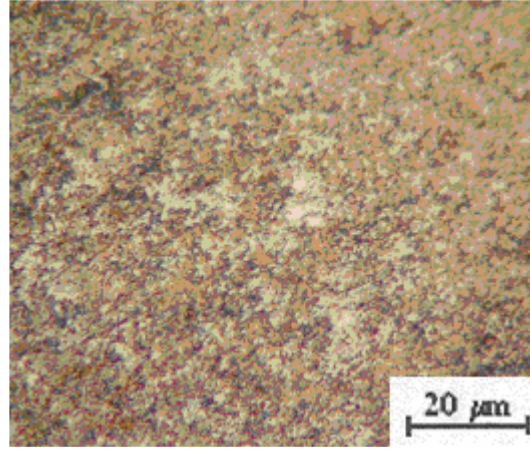
Şekil 6.5. Ana malzeme (a)



Şekil 6.6. Esas metal-Kaynak arası geçiş bölgesi (b)



Şekil 6.7. İtaba geçiş bölgesi (c)



Şekil 6.8. Kaynaklı bölge (d)

6.4. Makro-Yapı

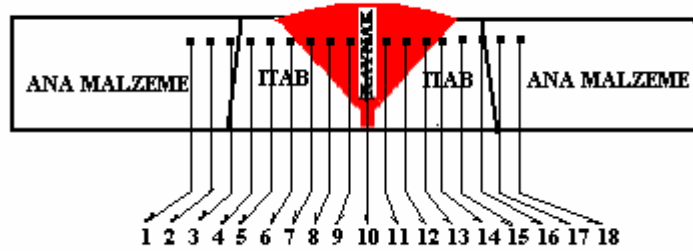
Bu tez çalışması kapsamında incelenen ve E2-UM-60 Z olarak adlandırılan dolgu elektrotuyla kaynak yapılan plaka parçasının makro-yapı incelemesi yapılmıştır. Bu amaçla % 10'luk HNO₃ içeren çözelti ile makro-dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunenin resmi Şekil 6.10. da verilmiştir. Yapılan incelemede kaynak numunenin tam orta noktasına gelmiş ve kaynak yüzey görünümünde herhangi bir probleme rastlanmamıştır.



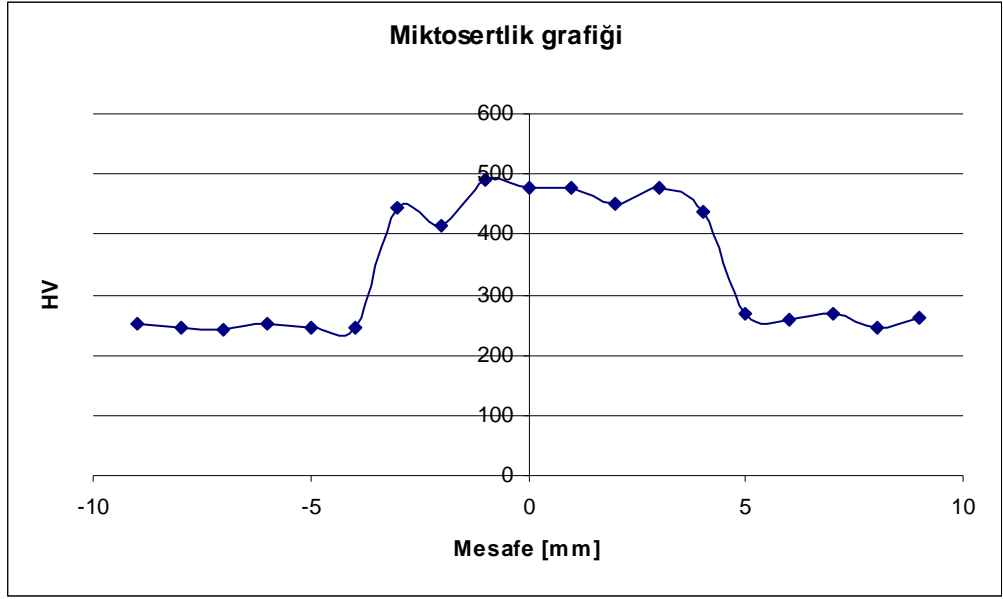
Şekil 6.9. E2-UM-60 Z ile kaynak yapılan numune

6.5. Mikro-Sertlik

Kayma plakalarında kullanılan Throdur 1730 malzemesinden alınan 5 adet mikro-sertlik değerlerinin ortalaması alındığında ana malzememizin sertlik değeri 247 HV olarak bulundu. Kaynaklı birleştirmelerde esas metalden başlayarak ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), kaynak bölgesi sonra tekrar ITAB ve esas metali kapsayacak şekilde sırasıyla farklı bölgelerin Vickers sertlik değerleri ölçülmüştür. Şekil 6.11. de 1-3 ve 17-18 arasındaki noktalar esas metalden 4-7 ve 14-16 arası noktalar ısının tesiri altındaki bölgeden (ITAB) ve 7-13 arası noktalar da kaynak bölgesinden alınmıştır.

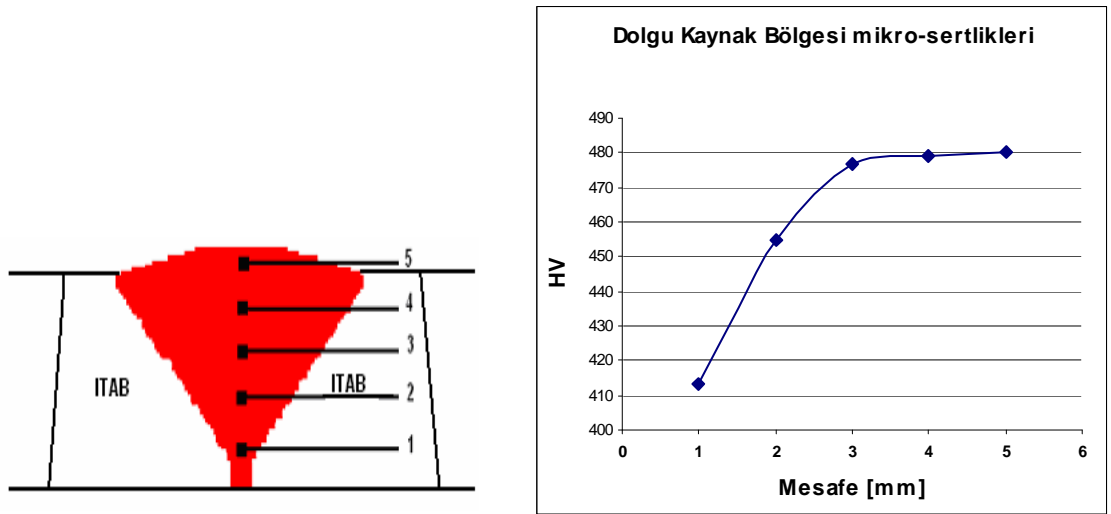


Şekil 6.10. Kaynaklı kayma plakasında sertlik alınan noktalar



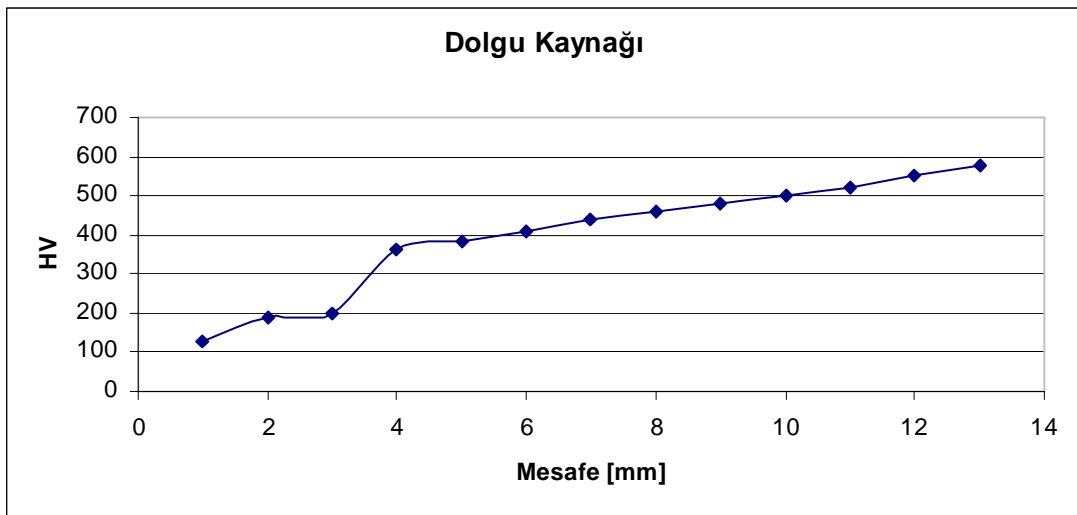
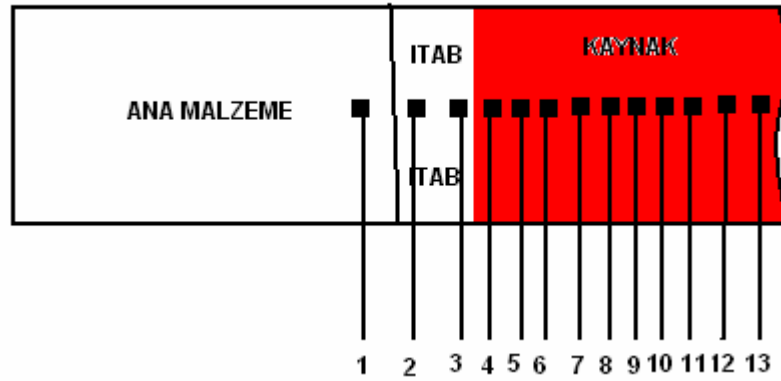
Şekil 6.11. Mikro-sertlik grafiği

Esas metalde yaklaşık olarak ortalama 247 HV civarında olan sertlik değeri, ısının tesiri altındaki bölgede ortalama 250 HV olarak bulundu. Kaynak bölgesine girer girmez sert dolgu elektrotundaki Si ve Mn elementlerinin oluşturduğu SiC ve MnC oluşumlarından dolayı ani sertlik değişimi Şekil 6.12. deki grafikte gözleniyor. Kaynaklı bölgede ortalama sertlik 459 HV olarak bulunmuştur. Kaynaklı bölgeden çıkılıp esas metale doğru ilerleyerek sıra-sertlik almaya devam edildiğinde benzer değerler görülmektedir.



Şekil 6.12. Dolgu kaynağı üzerindeki sertlik noktaları ve sertlik değişim grafiği

Sert dolgu kaynağı tatbik edilen birleştirme parçasında Şekil 6.13. dikey konumda alınan 5 farklı sertlik değerinin grafiğini incelediğimizde sertlik değerlerinin kök pasodan üst kaynak pasolarına doğru ilerledikçe mikro-sertlik değerlerinin arttığı görülür. Bunun sebebi kök pasonun üzerine atılan 2. kaynak pasosu, kök pasoyu koruyarak daha yavaş soğumasını sağlar. Bundan dolayı kök pasonun sertliği bir üstündeki pasonun sertliğinden daha düşük çıkmıştır. Benzer şekilde üst üste atılan diğer pasolar arasında da aynı “temperleme” etkisi görülmüştür. Bu sıcaklık farklılıklarının sertlik üzerine olan sonuçları Şekil 6.13’ de görülmektedir. Şekil 6.14. deki aşınma numuneleri için hazırlanan dolgu kaynaklı numune üzerinden alınan mikro-sertlik değerlerinde de benzer durum görülmektedir.

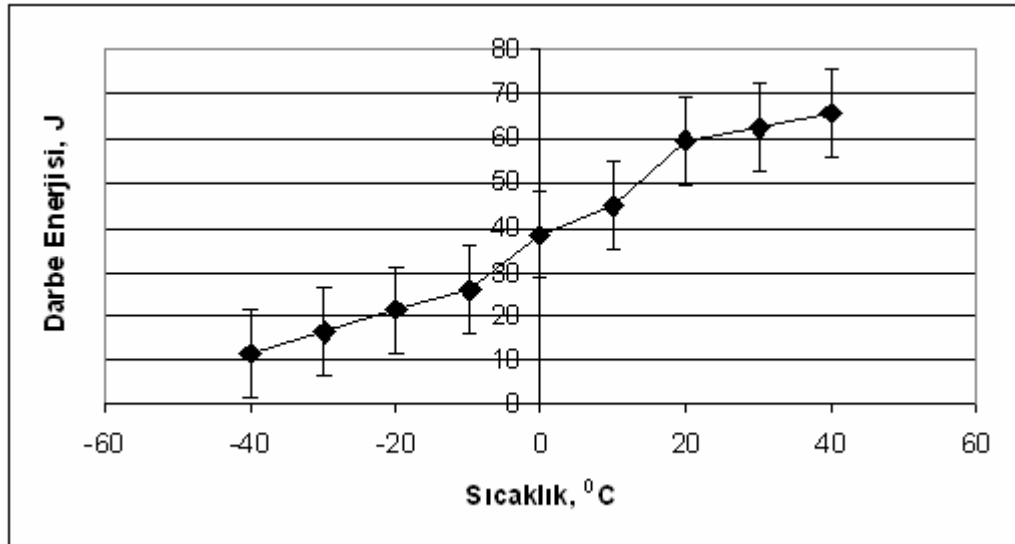


Şekil 6.13. Dolgu kaynaklı aşınma piminin mikro-sertlik grafiği

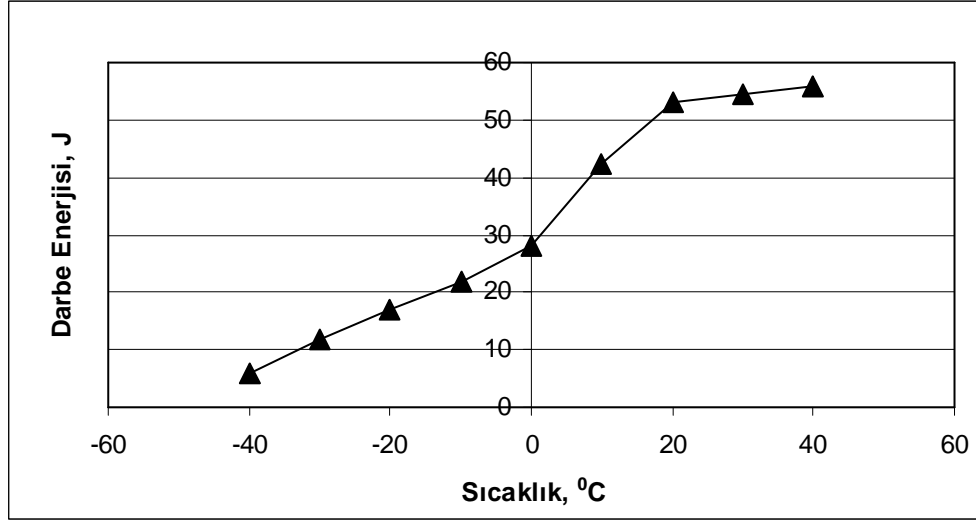
Aşınma pimi için hazırlanan dolgu kaynaklı mikro-sertlik grafiğinde dolgu üzerindeki ilk mikro-sertlik değeri 364 HV, dolgu kaynağının en üst bölgesi olarak aldığımız son kaynak pasosunun mikro-sertlik değeri ise 576 HV' dir. Burada da çentik darbe deney numunesinde olduğu gibi kaynak üzerine atılan diğer pasoların, alta kalan kaynak pasoları üzerinde temperleme etkisi görülmektedir. Aşınma pimi için hazırlanan dolgu kaynak numunesindeki mikro-sertlik değerlerinin, çentik darbe mikro-sertlik değerlerinden daha fazla olmasının sebebi, aşınma pimi için hazırlanan numunelerde uygulanan dolgu kaynak pasolarının daha fazla olmasıdır.

6.5. Çentik Darbe Deney Sonuçları

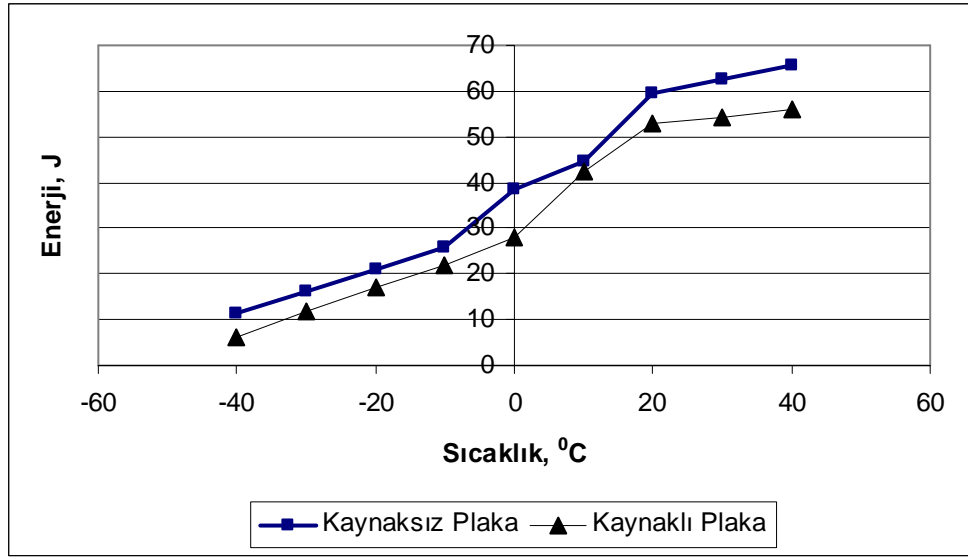
Kayma plakalarının kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelerin kırılma dayanımlarını tespit etmek amacı ile $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklar arasında 10° ar derecelik farklarla yapılan Charpy Çentik Darbe deneyinin sonuçları Şekil 6.15 ve Şekil 6.16 da verilmiştir. İki arasında yapılan karşılaştırmada kaynaklı plakanın çentik darbe enerji değerleri kaynaklı olmayan plakanınkilere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Şekil 6.17 de her iki durum verilmiştir.



Şekil 6.14. Kaynaklı olmayan kayma plakasının sıcaklık-enerji değişim grafiği



Şekil 6.15. Kaynaklı kayma plakasının sıcaklık-enerji değişim grafiği

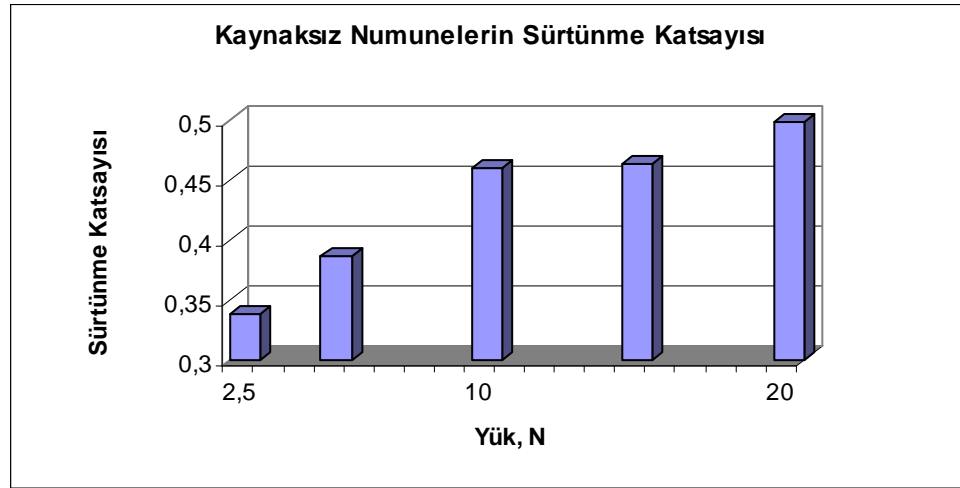


Şekil 6.16. Kaynaklı ve kaynaklı plakaların sıcaklık-enerji değişim grafikleri

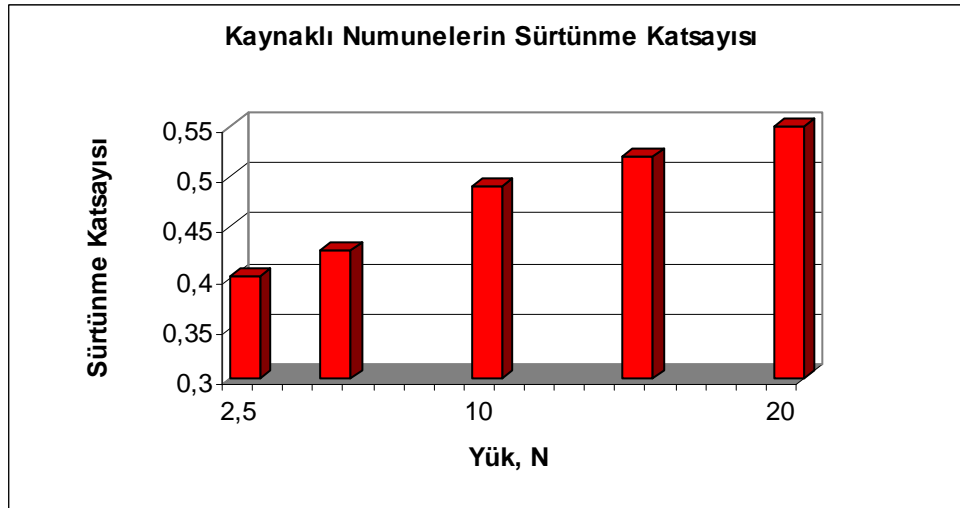
6.6. Aşınma Deney Sonuçları

Disk-üstü-pim aşınma deneyleri orijinal, hiç kullanılmamış plakalar ve kaynak edilmiş kayma plaka numunelerinden alınmak suretiyle elde edilen yuvarlak kesitli silindirik yapıda pimler kullanılarak yapılmıştır. Pimlerin boyları 50 mm, çapları ise 6 mm'dir.

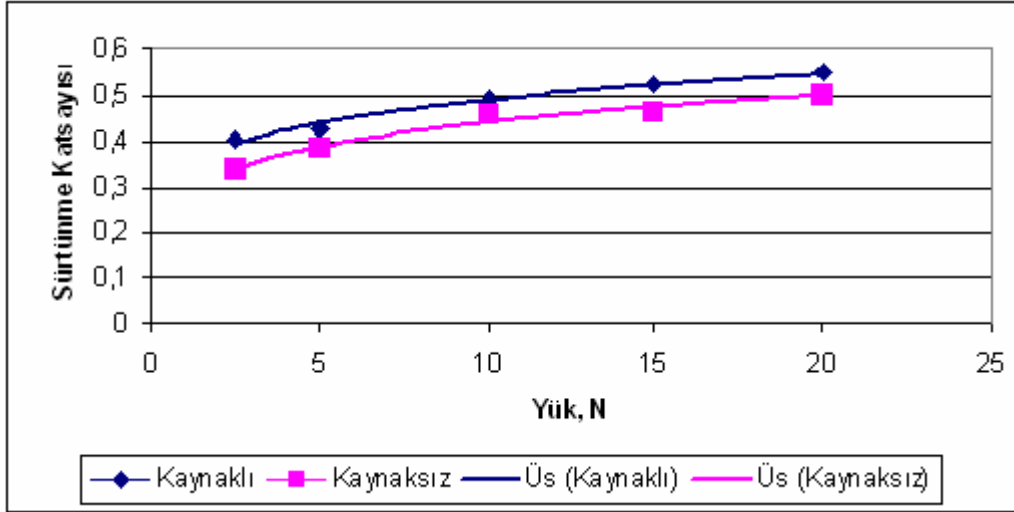
Deneyle 2,5, 5, 10, 15 ve 20 N' luk yükler altında yapılmıştır. Deneyle 1 saatlik srelerde yapılmıştır. Bilgisayar programı ve bilgisayar içindeki data okuma kartı sayesinde her 1 saniyede 1 veri alınmıştır. Bu verilerin Excel ortamında değerlendirilmesiyle her bir numuneye ait Sürtünme Katsayısı ile ilgili grafikler elde edilmiş ve bunlar aşağıda verilmiştir. Bununla birlikte numunelerin ağırlık kaybı tespit edilerek ayrı ayrı ve mukayeseli olarak grafikler halinde verilmiştir.



şekil 6.17. Kaynaksız plakanın yk-sürtünme katsayısı değişim grafiği



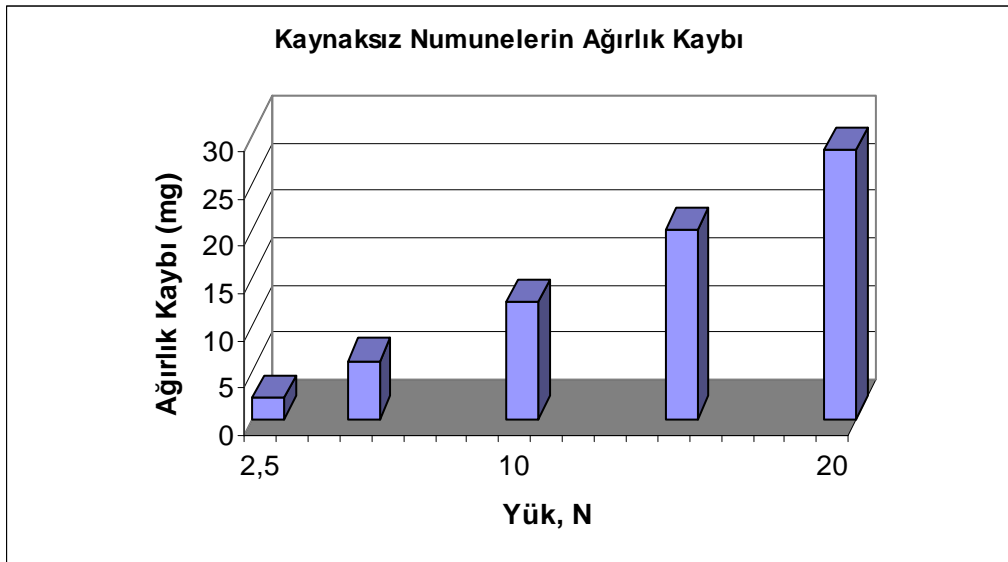
şekil 6.18. Kaynaklı plakanın yk-sürtünme katsayısı değişim grafiği



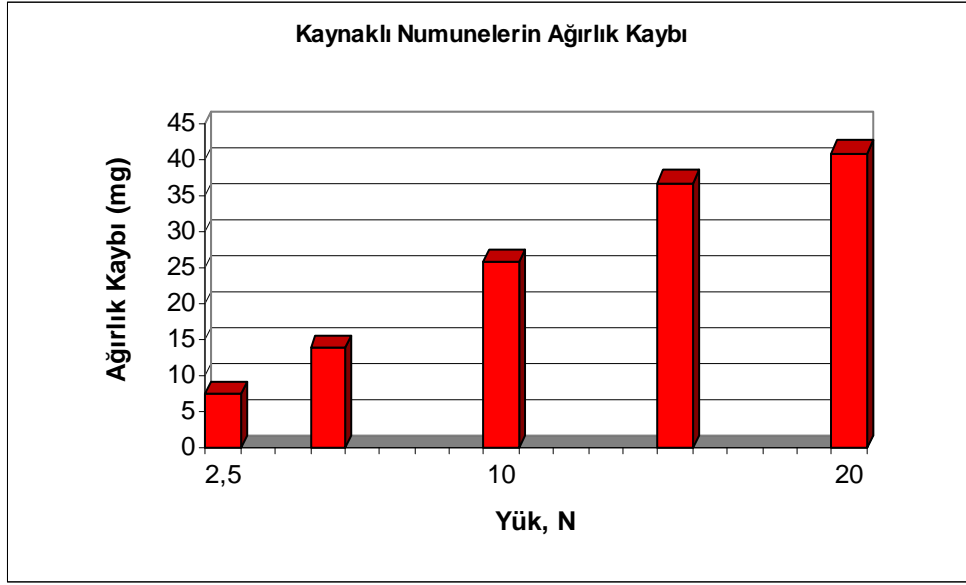
Şekil 6.19. Kaynaklı ve kaynaklız plakalar yük-sürtünme katsayısı değışim grafiği

6.6.1. Ağırlık kaybı değeri

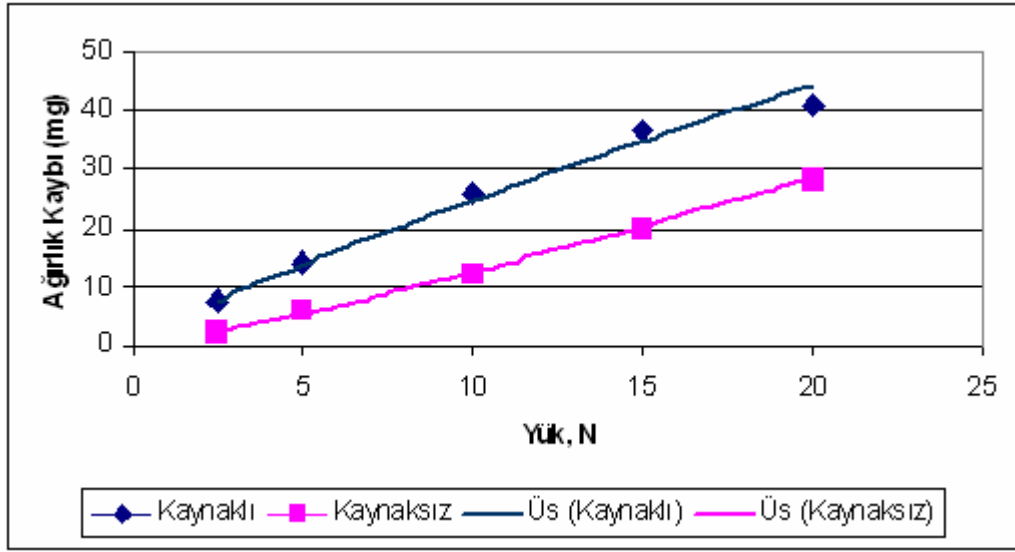
Kaynaklı ve Kaynaklız Kayma Plakaları aşınma numunelerinin, 2,5 N, 5 N, 10 N, 15 N, 20 N 'luk farklı yükler altında aşınma deneyleri yapıldıktan sonra hassas terazide tartımları yapılarak ağırlık kayıpları gram cinsinden tespit edilmiş ve elde edilen değeriğe ait grafikler ayrı ayrı ve mukayeseli olarak aşığıda verilmiştir.



Şekil 6.20. Kaynaklız plakanın yük-ağırlık kaybı değışim grafiği



Şekil 6.21. Kaynaklı plakanın yük-ağırlık değişim kaybı grafiği



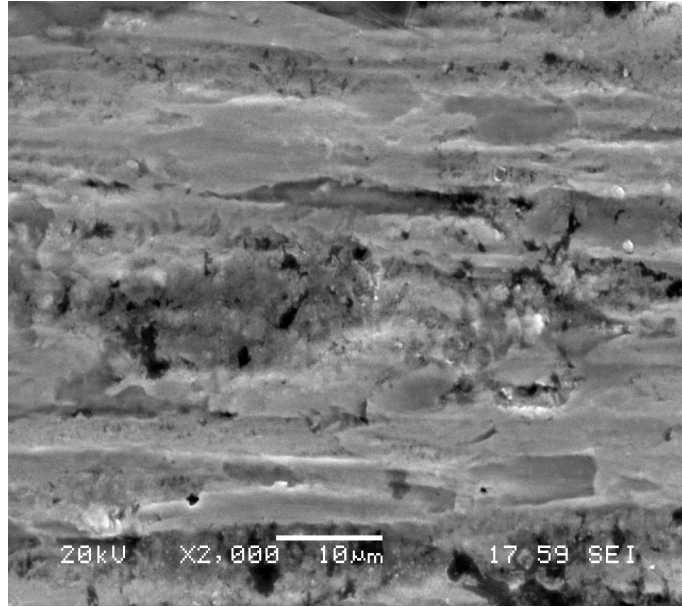
Şekil 6.22. Kaynaklı ve kaynaklız plakaların yük-ağırlık kaybı değişim grafiği

6.7. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) İncelemeleri ve EDS-Analizleri

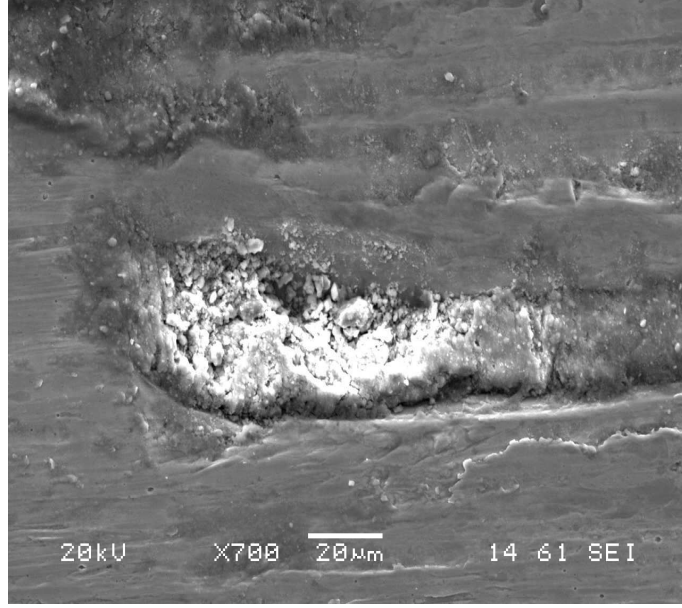
Kaynaklı ve kaynaklız kayma plakalarının aşınan yüzeyleri ve çentik darbe deney numunelerinin kırılma yüzeyleri tarama elektron mikroskopu (SEM) yardımıyla incelenmiştir. Aşınan yüzeylerden alınan EDS sonuçlarında oksijene rastlanmıştır. Aşınan yüzeylerdeki oksijenin varlığı bu bölgede abrazif aşınmayla birlikte bir oksidasyon aşınması oluştuğunu göstermektedir.



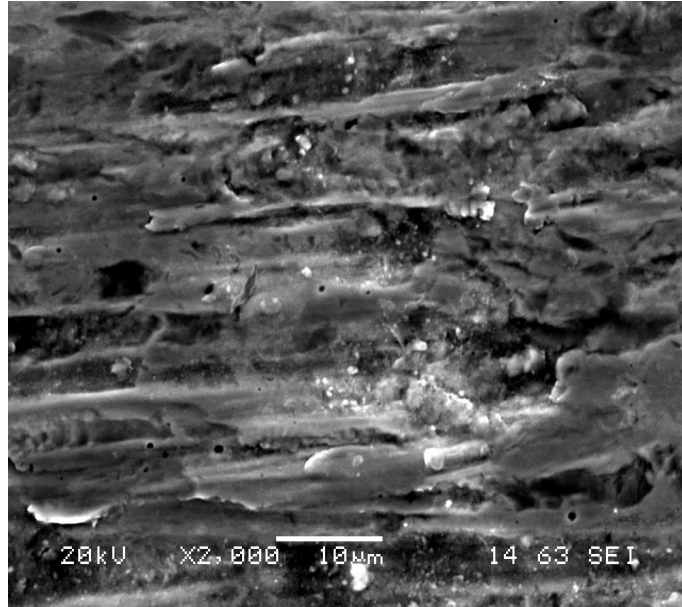
Şekil 6.23. Kaynaksız plakanın 5 N yük altındaki aşınma görüntüsü



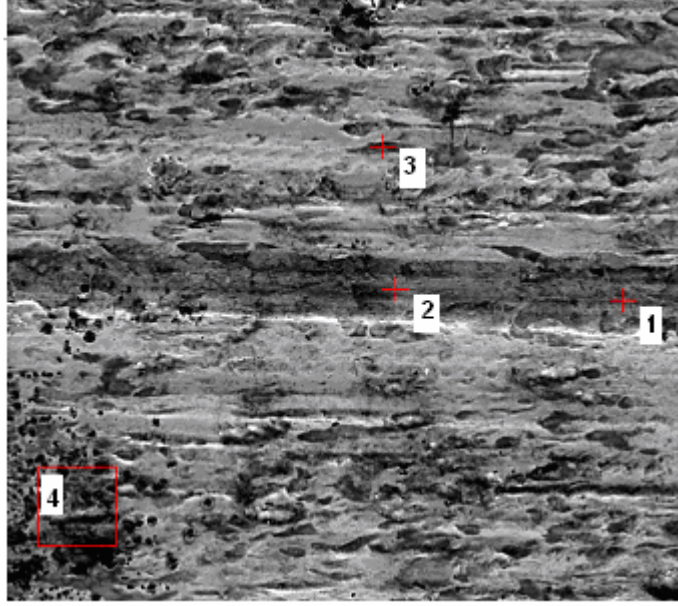
Şekil 6.24. Kaynaklı plakanın 10 N yük altındaki aşınma görüntüsü



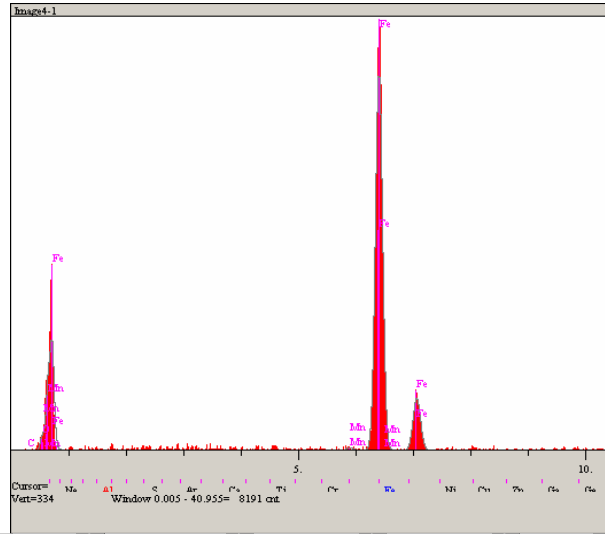
Şekil 6.25. Kaynaksız plakanın 15 N yük altındaki aşınma görüntüsü



Şekil 6.26. Kaynaksız plakanın 15 N yük altındaki aşınma görüntüsü

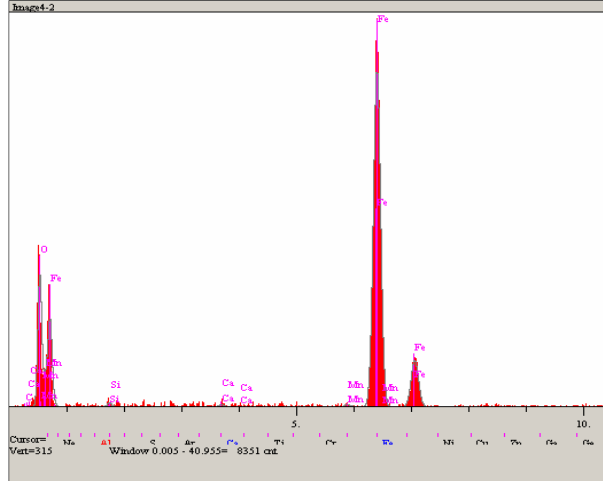


Şekil 6.27. Kaynaksız 5N yükteki aşınma pimi yüzeyinden alınan EDS noktaları



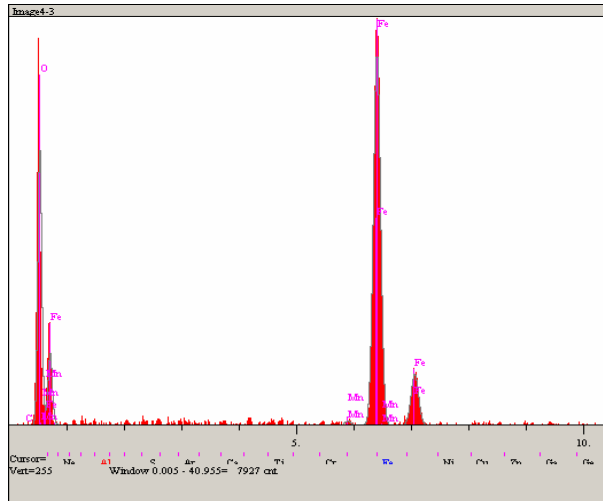
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%
O	Ka	6.37	7.863	2.387	wt.%
Mn	Ka	3.15	0.481	0.502	wt.%
Fe	Ka	456.61	91.656	97.111	wt.%
			100.000	100.000	wt.%
					Total

Şekil6.28. Kaynaksız aşınma plakası 5 N yükteki 1. EDS bölgesi



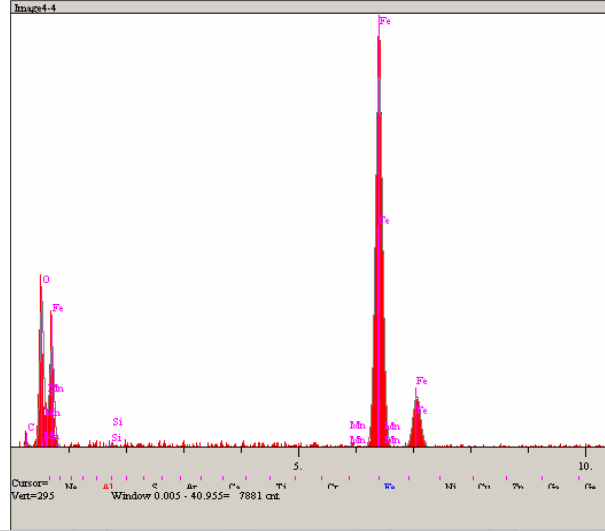
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%
O	Ka	89.20	53.210	24.683	wt.%
Si	Ka	3.65	0.448	0.365	wt.%
Ca	Ka	2.39	0.162	0.188	wt.%
Mn	Ka	2.99	0.262	0.418	wt.%
Fe	Ka	422.97	45.917	74.346	wt.%
			100.000	100.000	wt.%
					Total

Şekil 6.29. Kaynaksız aşınma plakası 5 N yükte 2. EDS bölgesi



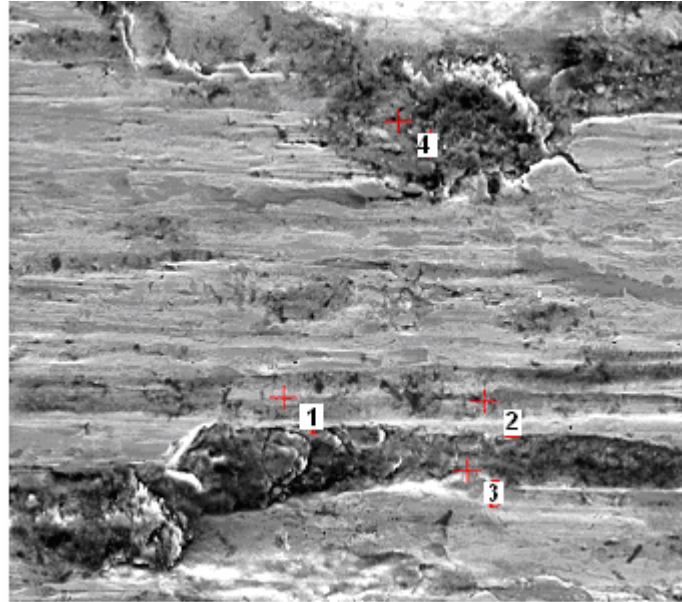
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%
O	Ka	148.06	66.975	36.753	wt.%
Mn	Ka	3.65	0.269	0.507	wt.%
Fe	Ka	364.48	32.756	62.740	wt.%
			100.000	100.000	wt.%
					Total

Şekil 6.30. Kaynaksız aşınma plakası 5 N yükte 3. EDS bölgesi

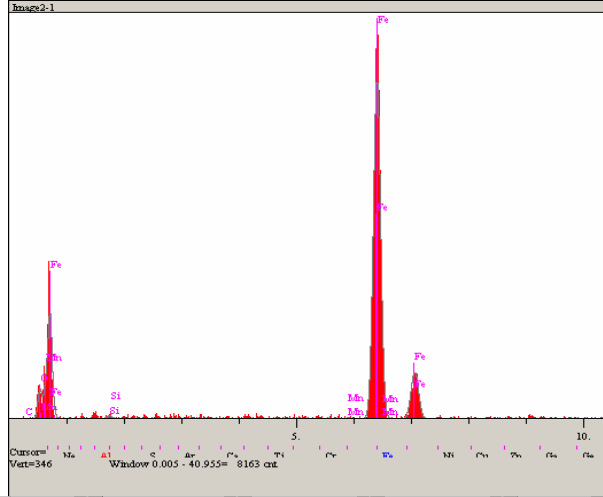


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	1.86	8.805	3.314	wt.%
O	Ka	84.88	50.174	25.155	wt.%
Si	Ka	2.55	0.289	0.254	wt.%
Mn	Ka	1.80	0.147	0.254	wt.%
Fe	Ka	398.16	40.585	71.023	wt.%
			100.000	100.000	wt.%
					Total

Şekil 6.31. Kaynaksız aşınma plakası 5 N yükte 4. EDS bölgesi

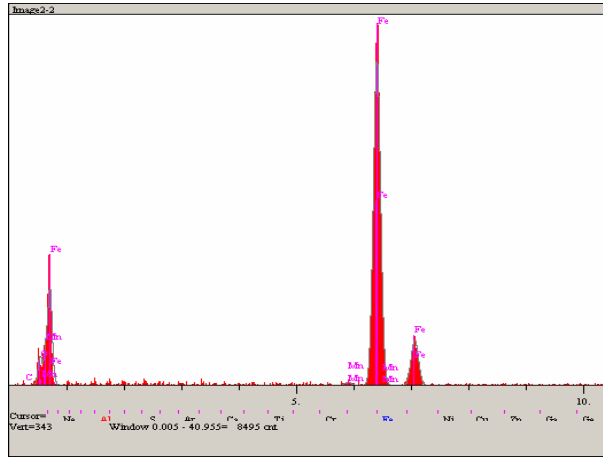


Şekil 6.32. Kaynaklı kayma plakasında 10 N yükte EDS alınan bölgeler



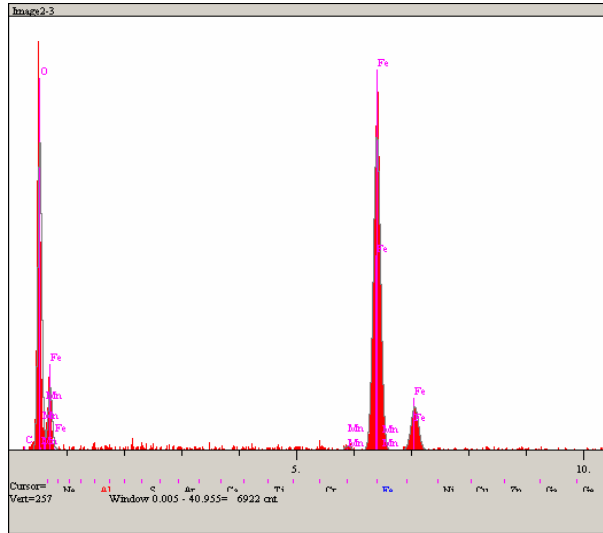
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%
O	Ka	20.52	21.218	7.194	wt.%
Si	Ka	3.44	0.711	0.423	wt.%
Mn	Ka	1.18	0.156	0.182	wt.%
Fe	Ka	453.51	77.915	92.201	wt.%
			100.000	100.000	wt.%
					Total

Şekil 6.33. Kaynaklı aşınma plakası 10N yükte 1. EDS bölgesi



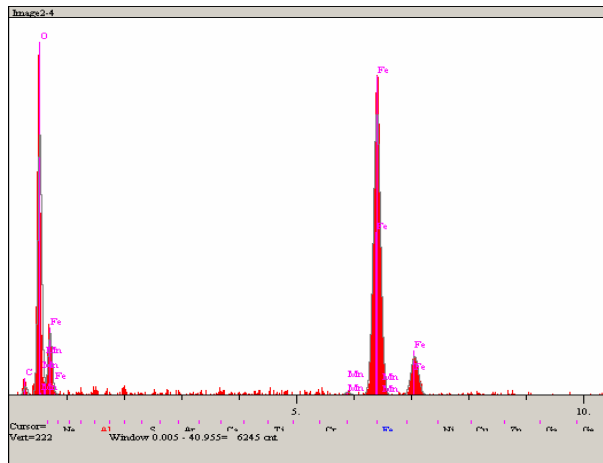
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	0.29	2.483	0.642	wt.%
O	Ka	21.24	20.788	7.157	wt.%
Mn	Ka	4.20	0.527	0.623	wt.%
Fe	Ka	472.18	76.202	91.578	wt.%
			100.000	100.000	wt.%
					Total

Şekil 6.34. Kaynaklı aşınma plakası 10 N yükte 2. EDS bölgesi



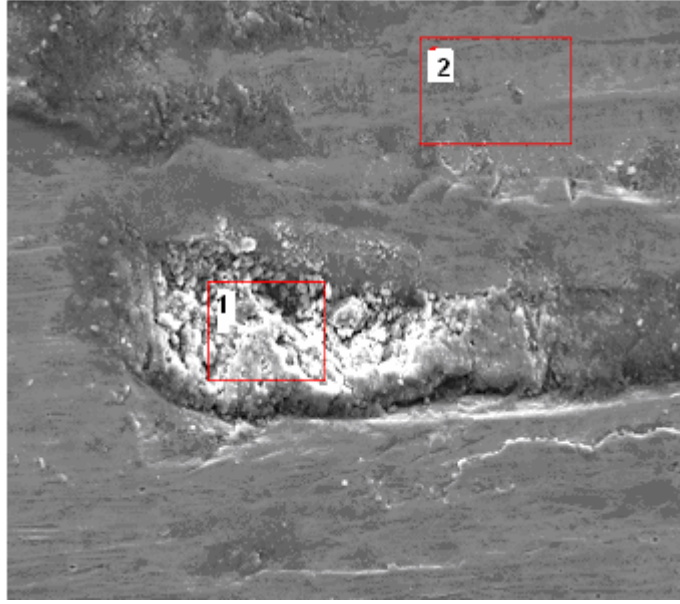
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	0.00	0.000	0.000	wt.%
O	Ka	157.47	72.028	42.458	wt.%
Mn	Ka	3.81	0.298	0.603	wt.%
Fe	Ka	293.18	27.674	56.939	wt.%
			100.000	100.000	wt.% Total

Şekil 6.35. Kaynaklı aşınma plakası 10 N yükte 3. EDS bölgesi

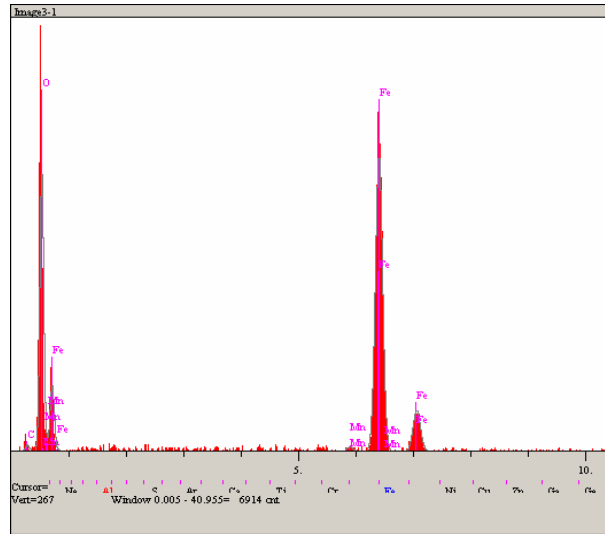


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	4.47	14.599	7.232	wt.%
O	Ka	131.76	63.238	41.729	wt.%
Mn	Ka	2.84	0.199	0.450	wt.%
Fe	Ka	261.13	21.964	50.589	wt.%
			100.000	100.000	wt.% Total

Şekil 6.36. Kaynaklı aşınma plakası 10N yükte 4. EDS bölgesi

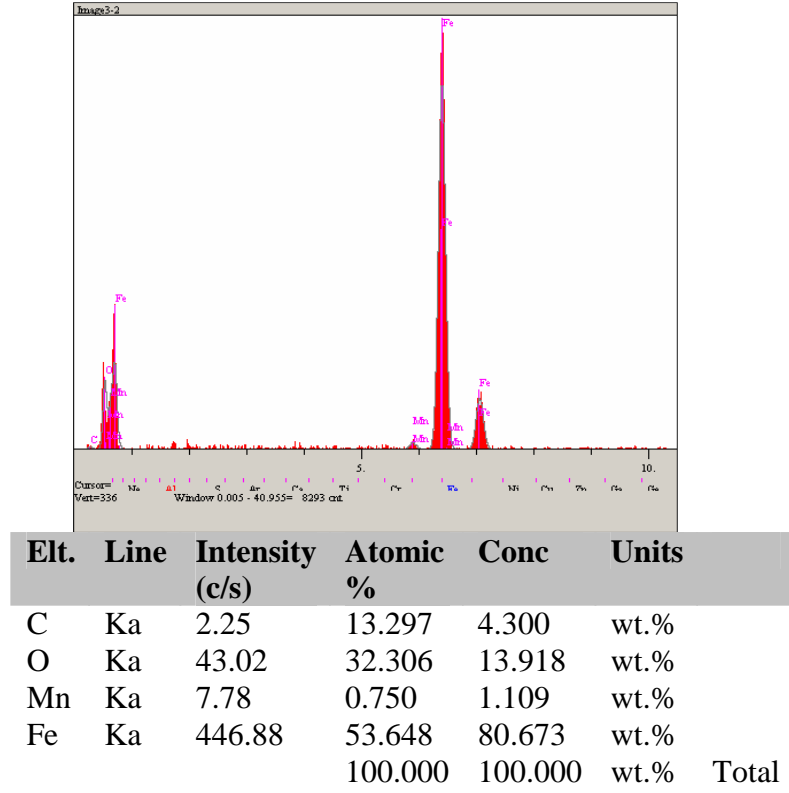


Şekil 6.37. Kaynaksız kayma plakasında 15N yükte EDS alınan bölgeler

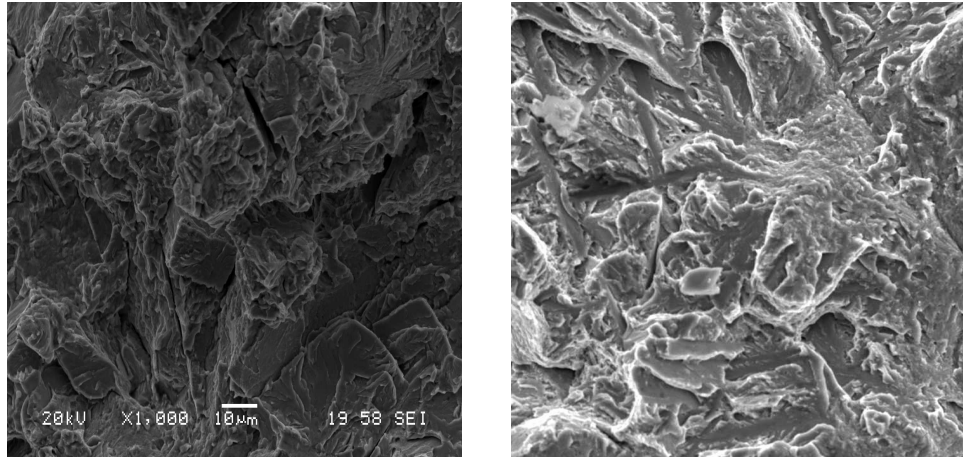


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	3.38	10.927	5.259	wt.%
O	Ka	146.90	65.502	41.998	wt.%
Mn	Ka	3.74	0.254	0.559	wt.%
Fe	Ka	285.53	23.317	52.184	wt.%
			100.000	100.000	wt.%
					Total

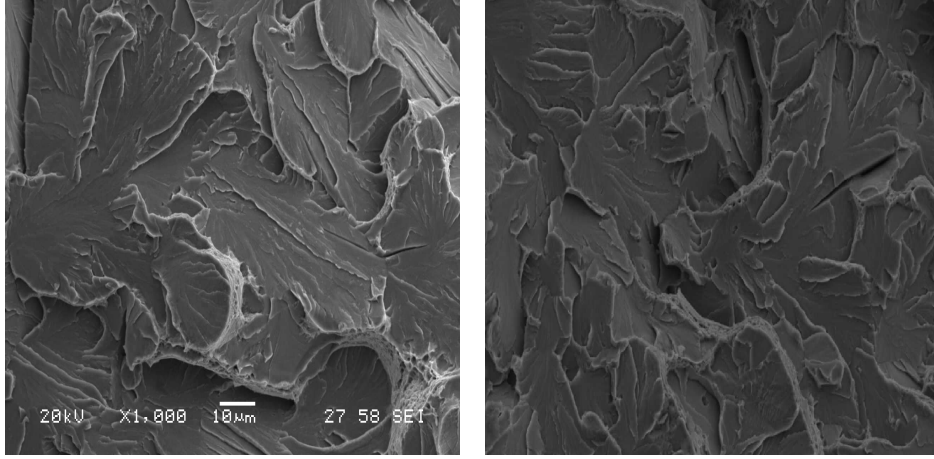
Şekil 6.38. Kaynaksız aşınma plakası 15 N yükte 1. EDS bölgesi



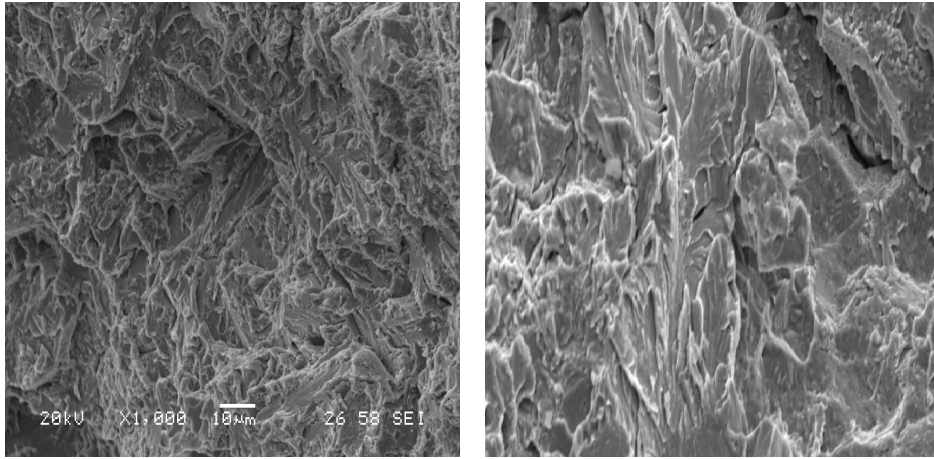
Şekil 6.39. Kaynaksız aşınma plakası 15 N yükte 2. EDS bölgesi



Şekil 6.40. -40⁰C' de kırılma numuneleri sol ve sağ parça SEM görüntüleri



Şekil 6.41. 0⁰C'de kırılma numuneleri sol ve sağ parça SEM görüntüleri



Şekil 6.42. +40⁰C'de kırılma numuneleri sol ve sağ parça SEM görüntüleri

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çekme deney sonuçları incelendiğinde kaynaklı plakaların ortalama mukavemet değerlerinin kaynaklı plakaların ortalama mukavemet değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunu oransal olarak ifade ettiğimizde kaynaklı plakaya göre kaynaklı plaka akma mukavemeti % 22, çekme mukavemeti % 5, kopma mukavemeti % 6 oranında düşmüştür. Buradaki mukavemet oranlarına bakıldığında değişim akma mukavemetinde daha fazladır. Bununla birlikte aynı oranda uzama oranları da azalmıştır. Şekil 6.2 ve 6.3 deki gerinim-uzama diyagramlarında da bu değişim verilmiştir. Görünen o ki sert dolgu kaynağında ısı girdileri ve malzeme üzerindeki etkileri mukavemet değerlerini indirgemıştır. Sert dolgu kaynağı uygulamaları ana malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirme veya ana malzemenin özelliklerine yakın mukavemet değerlerini yakalama amacı güttüğü içindir ki buradaki değişim bu çalışmada çok olumsuz gözükmemektedir.
2. Eğme deney sonuçlarında ise Throdur 1730 dan imal edilen kaynaklı kayma plakası eğme sonucuna baktığımızda eğilme 25 kN da kırılma ile sonuçlanmıştır. Kaynaklı plakada ise eğilme 36 kN da kırılma ile sonuç bulunmuştur. Burada kaynaklı kayma plakasının eğme deneyi sonucu, ana malzemeye göre daha iyi sonuç vermiştir. Kaynaklı kayma plakası kaynak bölgesinin 5 mm yan tarafından dolayısıyla ısının tesiri altındaki bölgeden (ITAB) kırılmıştır.
3. Kaynaklı kayma plakasının mikro-yapısına baktığımızda ferritik-perlitik durumdaki ana malzemenin sertlik değeri 247 HV ölçülmüş ısının tesiri altındaki bölgeye

4. (ITAB) yaklaşıldığında tane yapısının küçüldüğü ve kaynak ısısı ile kritik sıcaklığın üzerinden hızlı soğumanın etkisi ile sertlik değerinin 250 HV seviyesine çıktığı görülmektedir. Isının tesiri altındaki bölgeden kaynak bölgesine girdiğimizde ise sertlik değeri 459 HV olarak görülmektedir.
5. Kaynak dolgu yapılmış kayma plakası sertliğinin esas metal bölgesinden daha sert olması, her iki tarafından kaynak işlemine maruz kalan malzemenin ikinci bir ısı işlem görmesi ile yani malzemenin alaşımında bulunan Cr, Mn, Si gibi elementleri ısının tesiri ile Karbon ile birleşerek ilave karbürleri oluşturması ile izah edilebilir. Şekil 6.13 deki dikey konumda alınan sıra sertlikte kök pasodan başlayarak sertlik dağılımı kaynak bölgesinin en üst bölgesine kadar artış göstermektedir. Buradaki sertlik farklarını kök pasonun üzerine atılan kaynak pasosunun kök pasoyu temperlediği ve diğer pasolarında aynı şekilde eğilim gösterdiği şeklinde açıklayabiliriz. Aynı durum Şekil 6.14 deki aşınma pimi için hazırlanan sert dolgulu malzemedeki de görülebilir. Aşınma piminin sert dolgulu bölgesinin en üst kısmında sertlik değeri 576 HV olarak ölçülmüştür. Aşınma pimi için hazırlanan numunedeki sertlik değerlerinin daha yüksek çıkmasının sebebini üst üste atılan paso sayılarıyla açıklayabiliriz. Deneysel çalışmalar kısmında verilen: “Elektrot sertliği soğuk kaynak yöntemi ile 3 pasoda 58-62 HRC, 300 °C’de ön tav uygulayarak 3 pasoda 50-60 HRC arasındadır.” Bu bilgiye dayanarak olmasını beklediğimiz durumla karşılaşıyoruz. Kaynaklı plakaların kaynak tesiri ile bünyesinde görülen bu farklı tane yapısı ve sertlik dağılımı, malzemenin kaynaklı onarımından sonra tekrar normalize, sertleştirme ve menevişleme gibi ısı işlemlerden geçirilerek homojen sertliğe sahip olacaktır.
6. Deneysel çalışmalar bölümünde belirtilmiş olan ve farklı sıcaklıklarda yapılan kaynaklı ve kaynaklı olmayan kayma plakalarına ait çentik darbe deneylerinin Şekil 6.15 ve Şekil 6.16’ de görülen sonuçlarına göre genel bir değerlendirme yapılacak olursa, kaynak dolgu yapılmış olan plaka numunelerinin, kaynaklı olmayan plaka numunelerine göre kırılma enerjilerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 6.17 deki mukayeseli grafiğe baktığımızda aralarındaki fark 5-8 J olarak değişmektedir. -40 ile +40 °C’ler arası gevrekten sünekliğe geçiş sıcaklıklarını incelediğimizde kaynaklı olmayan plakanın -10 ile +10 °C, kaynaklı plakanın ise 0 ile

+10 °C olduğu görülmektedir. Bulunan deney sonuçlarında kırılma dayanımları arasında çok bariz farkın olmayışı amaca uygunluk arz etmektedir.

7. Deneysel sonuçlar bölümünde sürtünme katsayısı-yük grafiklerini incelediğimizde yüke bağlı olarak sürtünme katsayısı artışı gözlenmektedir. Kaynaklı plakaların sürtünme katsayı değerlerinin, kaynaklı plakalardan daha fazla arttığı Şekil 6.20 deki mukayeseli grafikte görülmekte, fakat bu oranın çok yüksek olmadığı görülmektedir. Alınan ağırlık kaybı sonuçlarını incelediğimizde ise ağırlık kaybı değerlerinin, uygulanan yük miktarlarının artması ile birlikte arttığı gözlenmektedir. Şekil 6.23’de sert dolgu uygulanmış plaka ve uygulanmamış plaka arasındaki mukayese edilen grafiğe göre 2,5 ve 5 N dan sonraki yüklerde, kaynaklı ve kaynaklı plaka arasındaki ağırlık kaybı oranı farkı da artmaktadır. Bunun sebebinin sert dolgululu kaynak numunesinin Şekil 6.14 deki sertlik farklarından kaynaklandığı görülmektedir. Aşınma sonuçlarını genel olarak değerlendirdiğimizde aşınan plaka malzememizin kullandığımız sert dolgu elektrotu ile onarılması halinde tekrar yerinde kullanılabilmesi ve çok yakın değerlerde mekanik özelliklere ve aşınma dayanımına sahip olacağı görülmektedir.
8. Aşınma numunelerinin SEM fotoğraflarına bakıldığında malzemede yoğun plastik deformasyon olduğu gözlenmiştir. Numunelerde abrazyon aşınma meydana gelmiştir.
9. Numunelerin EDS analizlerine bakıldığında yüksek miktarda oksijen piki göze çarpar, bu sonuçlara bakılarak numunelerde oksidasyon aşınmasının meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Bu oksitlenme sürtünmenin meydana getirdiği yüksek sıcaklıktan dolayı meydana gelmiştir.
10. Numunelerin diskle temas eden yüzeylerine bakıldığında aşınma olukları pulluklanma biçiminde açığa çıkmıştır. Aşınma ürünleri (wear-debris) SEM fotoğraflarında görüntülenmiştir.

11. Numunelerin değişik sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneylerinde kırık yüzeylerdende SEM fotoğrafları çekilmiş oluşan kırılma karakterize edilmeye çalışılmıştır. Buna göre + 40 °C de yapılan numunede açığa çıkan kırılma sünek karakterlidir. Kırılma yüzeyleri oldukça girintili çıkıntılıdır. 0 °C de yapılan çentik darbe deneyi numunesinin kırılma yüzeyleri nispeten daha az girinti ve çıkıntılıdır. Numuneler gevrek olarak kırılmışlardır. – 40 °C deki numunelerle yapılan çentik darbe deneyi görüntülerine bakıldığında kırılma yüzeylerinin düz ve pürüzsüz olduğu, kristalize bir yüzey elde edildiği görülmüştür. Numunelerde gevrek kırılma meydana gelmiştir bu kırılma 0 °C dekenden daha şiddetli ve gevrek karakterlidir. Çentik darbe deneylerinde kırılma ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) meydana gelmiştir. Buda yapılan kaynak işleminin başarılı olduğunu göstermektedir.
12. Tablo 5.7’de dikiş üst bölgesinin spektral analiz sonuçlarına bakıldığında % 2.041 oranında Cr varlığı göze çarpmaktadır. Yine Tablo 5.8’ de kaynak bölgesinde de % 1.988 oranında ağırlıkça Cr mevcuttur. Bu Kromun kaynak işlemi sırasında “Krom Karbür” bileşikleri yapmış olduğu düşünülmektedir. Optik mikroskop görüntülerinde (Şekil 6.9) bunlar siyah noktacıklar olarak görülmektedir. Krom karbür oluşumundan dolayı kaynak bölgesinin sertliği diğer ITAB ve esas metal bölgelerinin sertliğinden yüksektir.
13. Krom karbürler sertliği arttırmanın yanında kaynaklı numunelere gevrek karakter kazandırmış, bunun için çekme değerleri hem kaynaksız numunelerden hem de eğme deneyi sonuçlarından daha düşük çıkmıştır.