

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRTÜNME KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMİŞ YÜKSEK HIZ ÇELİĞİ (HSS)
VE AISI 1040 ÇELİKLERİNDE MUKAVEMET VE METALURJİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Fatih SÖNMEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Mühendisliği ANA BİLİM DALI

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Mümin ŞAHİN

2007
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRTÜNME KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMİŞ YÜKSEK HIZ ÇELİĞİ (HSS)
VE AISI 1040 ÇELİKLERİNDE MUKAVEMET VE METALURJİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Fatih SÖNMEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

2007
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRTÜNME KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMİŞ YÜKSEK HIZ ÇELİĞİ (HSS)
VE AISI 1040 ÇELİKLERİNDE MUKAVEMET VE METALURJİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Fatih SÖNMEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu Tez 08.02.2007 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Doç. Dr. Mümin ŞAHİN
Danışman

Prof. Dr. H. Erol AKATA

Yrd. Doç. Dr. Ercan BULUŞ

ÖZET

Kaynak, üretim yöntemleri içinde çözülemeyen birleştirmeler arasında sayılmaktadır. Sürtünme kaynak yöntemi ise özellikle 1950 yıllarından sonra uygulamada kendisine yer bulmuş katı hal kaynak yöntemlerinden biridir. Sürtünme kaynak yöntemi ile çeşitli eksenel simetriye sahip parçalar ve demir esaslı olan ya da olmayan metaller kolaylıkla kaynaklanabilmektedir. Bu kaynak yönteminin her geçen gün artan bir hızda kullanıldığı uygulama alanlarından bir tanesi de takım endüstrisidir. Özellikle uç kısmının HSS (yüksek hız çeliği), sap kısmının ise orta karbonlu çelikten imal edilip bunların sürtünme kaynağıyla birleştirilmesiyle üretilen takımlar, hem malzeme hem enerji kazancı sağlanmış, daha da ötesi maliyette büyük kazançlar elde edilmiştir.

Sunulan tezde, yüksek hız çeliği (HSS) ve orta karbonlu çelik türü olan AISI 1040, sürtünme kaynağıyla birleştirilmiş ve optimum parametreler elde edilmiştir. Daha sonra, optimum parametrelerde birleştirilen deney parçalarına tavlama yapılmış, bu birleştirmelerin mukavemet ve metalürjik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Sürtünme Kaynağı Yöntemi, Kaynak Kabiliyeti, HSS (Yüksek Hız Çeliği), AISI 1040 (Orta Karbonlu Çelik)

SUMMARY

As a manufacturing process, welding is assumed to be a dissolvable manufacturing method. Friction welding, which is one of the solid phase welding methods, has been taking into consideration in practical applications especially after 1950. By using friction welding, parts which have various axis symmetry and ferrous or non-ferrous metals can be welded easily. One of the application areas of this welding method that is widely used nowadays is tool industry. Particularly, the tools produced by friction welding, that the tip area is made of HSS (high speed steel) and the handle area is made of medium carbon steel, provide not only material saving but also provide energy saving.

In this thesis, an experimental set-up was designed and constructed. HSS and a kind of medium carbon steel, AISI 1040, were welded by friction welding method and mechanical properties of jointed parts were compared to that produced by machining. Also, the jointed parts were annealed and strength and metallurgical properties are observed. Obtained results were commented on previous studies.

KEYWORDS: Friction Welding Method, Welding Capability, HSS (High Speed Steel), AISI 1040 (Medium Carbon Steel)

ÖNSÖZ

Tezimin yöneticiliğini üstlenerek, beni bu konuda çalışmaya yönlendiren ve tezimin hazırlanması sırasındaki tüm aşamalarda destek, yardım ve manevi öğütlerini benden esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. Mümin ŞAHİN' e teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2007

Fatih SÖNMEZ

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1. ÜRETİM KAVRAMI VE KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Üretim Yöntemleri	2
1.3. Kaynaklı Bağlantılar	4
1.4. Kaynak Yöntemleri	5
1.4.1. Gaz Kaynağı	5
1.4.2. Elektrik Ark Kaynağı	6
1.4.3. Gazaltı Ark Kaynağı	7
1.4.3.1. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı	8
1.4.3.2. Plazma Kaynağı	8
1.4.3.3. MIG/MAG Kaynağı (Eriyen Elektrodla Gazaltı Kaynağı)	9
1.4.4. Tozaltı Kaynağı	10
1.4.5. Direnç Kaynağı	10
1.4.6. Özel Kaynak Yöntemleri	11
1.4.6.1. Elektrocuruf Kaynağı	11
1.4.6.2. Sürtünme Kaynağı	11
1.4.6.3. Soğuk Basınç Kaynağı	12
1.4.6.4. Difüzyon Kaynağı	12
1.4.6.5. Ark Saplama Kaynağı	13
BÖLÜM 2. KAYNAK TEKNİĞİ	14
2.1. Kaynak Metalurjisi	14
2.1.1. Kaynak Kabiliyeti	14
2.1.2. Karbon Eşdeğeri ($C_{eş}$)	17
2.1.3. Ergiyen Bölge	18
2.1.4. ITAB (Isının Tesiri Altındaki Bölge)	19
BÖLÜM 3. SÜRTÜNME KAYNAĞI YÖNTEMİ	21
3.1. Yöntemin Tanımlanması	21
3.1.1. Klasik (Sürekli Tahrikli) Sürtünme Kaynağı	24
3.1.2. Volanlı (Atalet) Sürtünme Kaynağı	25
3.1.3. Kombine Sürtünme Kaynağı	26
3.2. Sürtünme Kaynak Parametreleri	27
3.3. Malzemelerin Sürtünme Kaynak Kabiliyeti	29
3.4. Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Dizaynı	30
3.4.1. Kaynak Yüzeyinin Hazırlanması	30
3.4.2. Kaynak Yapılacak Parçaların Bağlanması	31
3.5. Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları	32

3.6. Sürtünme Kaynağının Üstünlükleri ve Sakıncalı Yönleri	33
BÖLÜM 4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	35
4.1. Sürtünme Kaynağı Araştırmaları	35
4.1.1. Kaynak Parametreleri Üzerine Yapılan Araştırmalar	35
4.1.2. Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilmiş Parçalarda Elde Edilen Mekanik Özellikleri Üzerine Yapılan Araştırmalar	37
4.1.3. Birleştirilmiş Parçaların Sertlik Dağılımı ve Mikro Yapısı Üzerine Yapılan Araştırmalar	38
BÖLÜM 5. TEZİN ÖNEMİ VE TEZ ÇALIŞMA PLANI	41
5.1. Tezin Önemi, Kapsamı ve Gerekçesi	41
5.2. Uygulanacak Araştırma Teknik ve Yöntemleri	44
5.3. Tez Çalışma Planı	44
BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	45
6.1. Deneysel Prosedür	45
6.1.1. Test Edilecek Deney Parçalarının ve Numunelerin Geometrisi	47
6.2. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma	49
6.2.1. Çekme Deneyleri	49
6.2.2. Kaynaklanan Parçaların Mikroyapısı	52
6.2.3. Kaynaklanan Parçaların Sertlik Değişimleri	55
BÖLÜM 7. İRDELEME VE SONUÇ	57
7.1. Çekme Deneylerinin Yorumu	57
7.2. Mikroyapı ve Sertlik Yorumu	58
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİL LİSTESİ

<u>ŞEKİL NO</u>	<u>ŞEKİL ADI</u>	<u>Sayfa</u> <u>No</u>
Şekil 1.1.	Bir Eritme Kaynağı Bağlantısının Oluşumu	4
Şekil 1.2.	Asetilen-oksijen Alevi	6
Şekil 1.3.	Elektrik Ark Kaynağının Prensi Şeması	6
Şekil 1.4.	TIG Kaynağının Prensi	8
Şekil 1.5.	Plazma Kaynağının Prensi	9
Şekil 1.6.	MIG\MAG Kaynağının Şematik Görünümü	9
Şekil 1.7.	Tek Telli Tozaltı Kaynağının Prensi	10
Şekil 1.8.	Elektrocuruf Kaynağının Prensi Şeması	11
Şekil 1.9.	Soğuk Basınç Kaynağının Prensi Şeması	12
Şekil 1.10.	Difüzyon Kaynağının Prensi Şeması	13
Şekil 1.11.	Ark Saplama Kaynağında İşlem Sırası	13
Şekil 2.1.	Kaynak Kabiliyetinin Temel Faktörler ve Özelliklerle İlişkisi	15
Şekil 2.2.	Alın Birleştirmede Segregasyon Bölgesi	19
Şekil 2.3.	Alın Birleştirmede ITAB 'ın Gösterimi	20
Şekil 3.1.	Kaynak Edilen Parçaların Isı ile İlgisi	22
Şekil 3.2.	Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı	24
Şekil 3.3.	Klasik Sürtünme Kaynak Parametreleri	25
Şekil 3.4.	Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı	25
Şekil 3.5.	Volan Tahrikli Sürtünme Kaynak Parametreleri	26
Şekil 3.6.	Sürtünme Kaynak Makinesi	27
Şekil 3.7.	Sürtünme Kaynağı Bağlantı Tasarımları	32
Şekil 5.1.	Sürtünme Kaynağının Uygulanışı	42
Şekil 6.1.	Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı Mekanizması Şematik Gösterimi	45
Şekil 6.2.	Sürtünme Süresi Elektriksel Kontrol Devresi	46
Şekil 6.3.	Deneylerde Kullanılan Parçaların Boyutları	48
Şekil 6.4.	Çekme Mukavemetinin Sürtünme Basıncıyla Değişimi	50
Şekil 6.5.	Çekme Mukavemetinin Sürtünme Zamanıyla Değişimi	50
Şekil 6.6.	Kaynakla Birleştirilmiş Parçalar	52
Şekil 6.7.	Orta Karbonlu Çelikte İç Yapı	52
Şekil 6.8.	Yüksek Hız Çeliğinde İç Yapı	53
Şekil 6.9.	Kaynak Ara Yüzünün İç Yapısı	53
Şekil 6.10.	Tavlama Uygulanan Orta Karbonlu Çeliğin İç Yapısı	54
Şekil 6.11.	Tavlama Uygulanan Yüksek Hız Çeliğinin İç Yapısı	54
Şekil 6.12.	Sertlik Testi Şematik Gösterimi	55
Şekil 6.13.	Tavlı ve Tavsız Birleştirmelerde Sertlik Değişimi	56

TABLO LİSTESİ

<u>TABLO</u> <u>NO</u>	<u>TABLO ADI</u>	<u>Sayfa</u> <u>No</u>
Tablo 1.1.	İmal Usullerinin Sınıflandırılması	3
Tablo 1.2.	Gazaltı Kaynak Yöntemlerinin Sınıflandırılması	7
Tablo 2.1.	Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Faktörler	16
Tablo 2.2.	Karbon Eşdeğeri-Tavlama İlişkisi	18
Tablo 6.1.	Yüksek Hız Çeliğinin Standart Kimyasal Bileşimi	47
Tablo 6.2.	Orta Karbonlu Çeliğinin Standart Kimyasal Bileşimi	47
Tablo 6.3.	Sürtünme Kaynağı Deneylerinde Kullanılan Parametreler	48

BÖLÜM 1. ÜRETİM KAVRAMI VE KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELER

1.1. Giriş

Metaller insanlar tarafından binlerce yıldan beri kullanılmakla birlikte, ilk yararlı metalin nasıl üretildiği kesin olarak bilinmemektedir. Metallerin erken çağlardan itibaren kullanılmış olduğu bakır alaşımından (bronz) yapılmış aletlerin ortaya çıkarılması ile kanıtlanmıştır. Fakat metalin bir başka metale birleştirilmesi yöntemi bundan çok sonraları bulunabilmiştir. Küçük metal parçacıkların birleştirilerek daha büyük ve daha karmaşık parçaları üretmedeki yetersizlik, mühendislikteki gelişmeyi 19. yüzyılın başlarına kadar ertelemiştir. Cıvatalama, perçinleme, lehimleme ve son olarak da kaynak gibi birleştirme tekniklerinin ticari boyutlarda ortaya çıkışı ancak makineye bağlı endüstriyel devrimin gerçekleşmesiyle mümkün olmuştur.

Bugün çok sayıda kullanılabilir birleştirme tekniği vardır ve günümüzdeki sorun birleştirmenin nasıl yapılacağı değil, en iyi birleştirme yönteminin nasıl seçileceğidir. Bronz çağı insanı birleştirme yöntemi olarak sadece kama kullanma veya deri şeritle bağlama arasında seçim yapmak zorunda iken, günümüzde bir tasarım mühendisi, aynı derecede uygun dört veya beş değişik birleştirme tekniğinin olduğu durumlarla kolaylıkla karşılaşabilir. Her yöntemin kendine has özellikleri vardır ve en uygun seçim için birçok hususun değerlendirilmesi gerekir. Mukavemet, üretim kolaylığı, maliyet, ömür, korozyon dayanımı ve görünüş gibi faktörlerin göreceli önemi, büyük ölçüde göz önüne alınan uygulamaya bağlıdır.

Bir köprü tasarımcısı, köprü platformunda hareket eden vasıtaların oluşturduğu değişken yükleri taşıyacak levhaları birbirine birleştirecek yöntemler arar. Buna karşılık, köprüden geçen otomobillerin imalatçısı ise üretim hattında kullanılabilmeye uygun güvenilirlik, tekrarlanabilirlik ile birlikte yüksek üretim hızına sahip birleştirme tekniklerini araştırır. Genellikle büyük iş gücü gerektiren bu yöntemler mümkün olduğunca yarı kalifiye operatörler tarafından uygulanmaya müsait olmalıdır. Bu ise, üretim düzeninin kurulması, kontrolü veya izlenmesi için uzman personel gerektirir. Birleştirme işlemlerini mümkün olduğu kadar çabuk yapmak her ne kadar arzulanır ise de, bu her uygulama için birinci dereceden önemli değildir. Geçekte bazı bağlantıların yerinde yapılması zorunlu bir faktör olarak karşımıza çıkabilir. (Gourd, L.M., 1995)

1.2. Üretim Yöntemleri

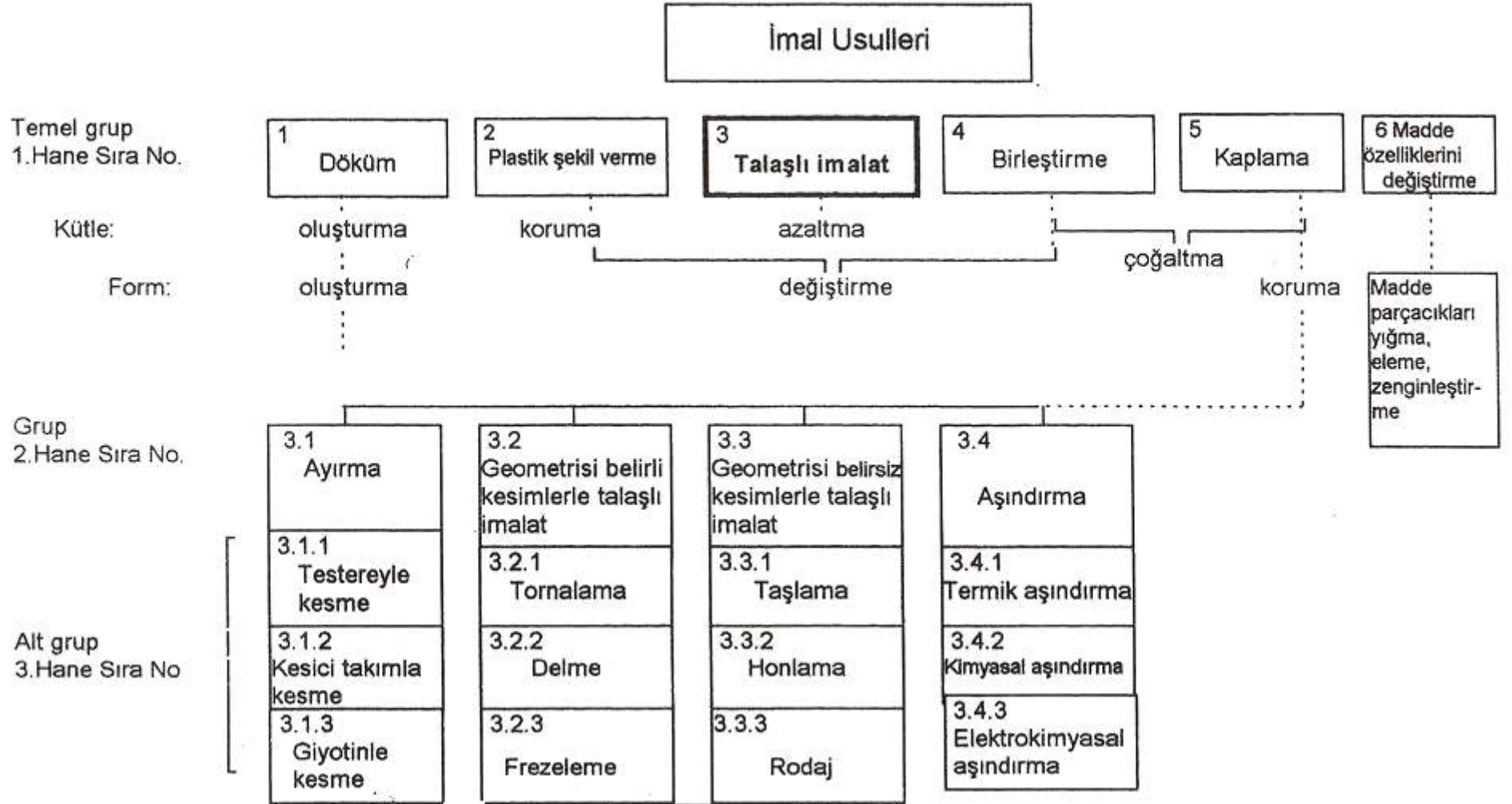
İmalat teknolojisinin amacı, teknik resimlerde veya başka tür bilgi ortamlarında oluşturulan parçaların ekonomik olarak imal edilmesidir. Konstrüksiyon aşamalarında, parçaların imalatını mümkün kılan prosedürler ve özellikler tespit edilir. Bunlar arasında parçanın boyutları, malzemeleri, gerekli ölçü toleransları, imalat sırasındaki veya sonrasındaki yüzey kalitesi ve bunun için gerekli muayene ve ölçü aletleri bulunur. Doğaldır ki, işletmenin olanakları da göz önünde tutularak parçanın imalatında gerekli olan imal usulleri de önceden tespit edilmek zorundadır.

Birim zamanda imal edilecek parça sayısı ve ayrıca işletme ve personel giderleri, imalatın otomasyon derecesini belirler. Günümüzde imalat olanakları, elle kontrol edilen üniversal makinelerden, işlenecek bilginin programlar şeklinde iletildiği nümerik kontrollü tezgâhlara ve çok sayıda CNC tezgâhın kullanıldığı esnek imalat sistemlerine kadar uzanmaktadır.

Değişik standartlarda, imal usullerinin sistematik şekilde sınıflandırılmaları verilmiştir. Tablo 1.1., DIN 8580'in sıralama sisteminde örnek olarak talaşlı imalat yöntemlerinin sınıflandırılışını göstermektedir. Bu standartta temel sınıflandırma prensibi, malzeme kütlesinin değiştirilmesine dayanmaktadır. Ya bir katı cismin parçacıklarından ya da karmaşık bir yapı elemanının parçalarından oluşan kütle, aşağıdaki temel prensiplerden biriyle değiştirilir:

- Kütleli oluşturarak (Döküm)
- Kütleli koruyarak (Plastik şekil verme)
- Kütleli azaltarak (Talaşlı imalat)
- Kütleli çoğaltarak (Kaplama)

Tablo 1.1 İmal Usullerinin Sınıflandırılması (Anık,S.,Dikicioğlu,A.,Vural,M.,1999)

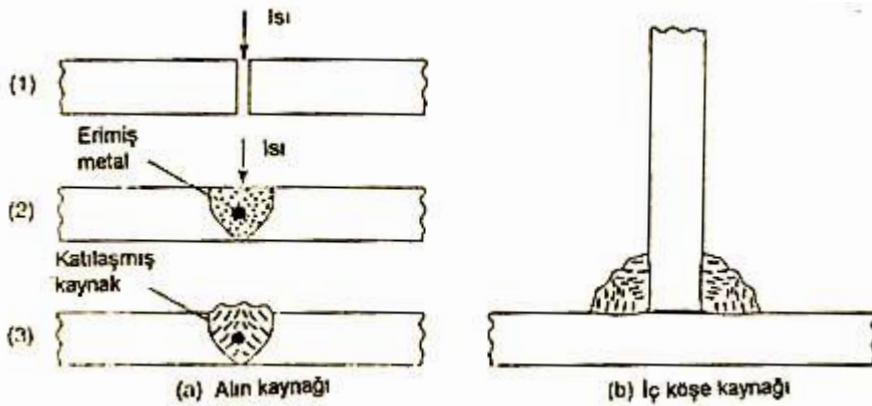


Tespit edilen imal usullerinin sonradan iyileştirilmesi, karmaşık işlemlere göre daha kolaydır. Bu nedenle endüstriyel imalatta döküm veya plastik şekil verme ile ön şekillendirilmiş parçalar sonradan bir talaşlı imalatla son ölçülerine getirilir. Klasik imalat sırası, böylece maliyetin düşürülmesi ile eşzamanlı olarak bitmiş parçanın kalitesinde ulaşılabilecek en yüksek kalite taleplerine ulaşmayı amaçlar.

Geleceğe yönelik imalat stratejileri, bilinen taleplere ek olarak daha yüksek verimlilik ve imalatın esnekliğini ve güvenilirliğini de dikkate almaktadır.

1.3. Kaynaklı Bağlantılar

Kaynaklı bağlantıların çoğu, bağlantı yerinin her iki tarafındaki esas malzemeyi eriterek yapılır. Erimiş metal her iki eleman arasında bir sıvı banyosu şeklinde toplanır. Banyo katılaştığı zaman, bağlantının iki elemanı arasında yük taşıyabilen metalden bir köprü oluşur. Olayların oluşum sırası, bir saç metaldeki bağlantının kesitini gösteren Şekil 1.1.a' da görülebilir. Birbirine dik açıda düzenlenmiş iki metal parçası arasındaki bağlantı halinde Şekil 1.1.' de elemanların yüzeyinden eriyen metal bir köprü oluşturmak için yeterli olmayabilir. Bu durumda yeterli mukavemete sahip bir metal köprü sağlanması için dolgu metali adı verilen ilave metal kullanımı gerekir.



Şekil 1.1. Bir Eritme Kaynağı Bağlantısının Oluşumu

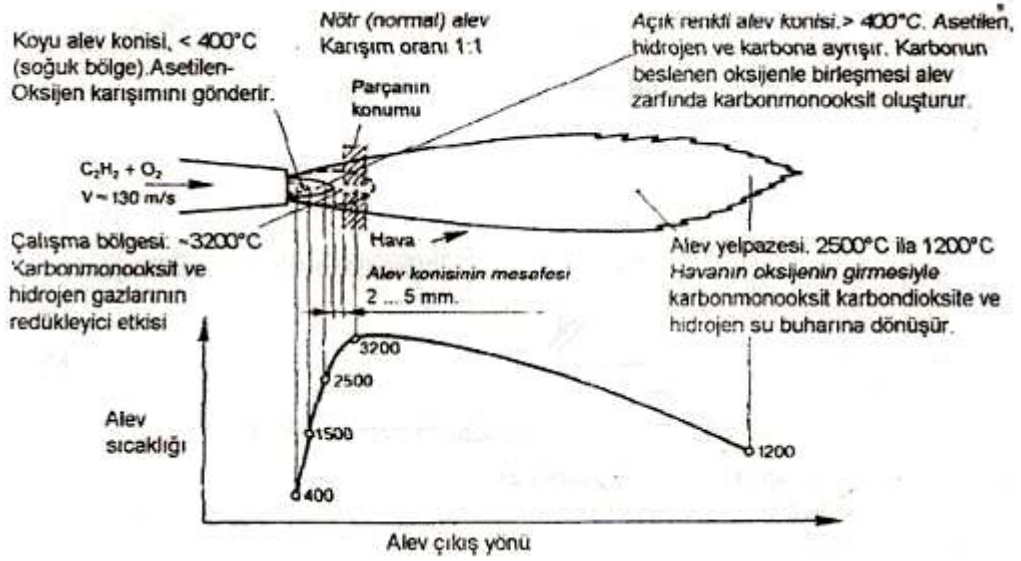
Diğer birleştirme yöntemlerinden farklı olarak, kaynaklı birleştirmelerde başarı, işlemi gerçekleştiren kişinin ustalığına büyük ölçüde bağlıdır. Cıvatalama, perçinleme, yumuşak ve sert lehimleme ve özellikle de nokta kaynağı standart hale getirilebilen, üretim ve kontrol açısından mekanize edilebilen işlemlere sahiptirler. Bu, bazen eritme kaynağı için de mümkün olmakla birlikte bazı çalışma faktörleri otomatik kaynağın geniş ölçüde kullanılmasını imkânsız hale getirmiştir. Ancak kaynakçının sahip olduğu ustalık ona, küçük çaplı ince cidarlı boru sistemlerinden gemilere ve köprülere kadar değişen ürünlerin imalatında kullanabileceği değişik, çok yönlü teknikleri sağladığından, bunun daima bir sakınca olduğunu düşünmemek gerekir. Kaynağın farklı üretimlere uyum sağlama yeteneği ve büyük yatırımlar yapmadan iş tipini değiştirmeye uygunluğu da aynı derecede önemlidir. (Gourd,L.M.,1995)

1.4. Kaynak Yöntemleri

1.4.1. Gaz Kaynağı

Gaz eritme kaynağı, en eski kaynak yöntemlerinden birdir; ancak, TIG kaynağı gibi modern kaynak yöntemleri için öncülük etmiştir.

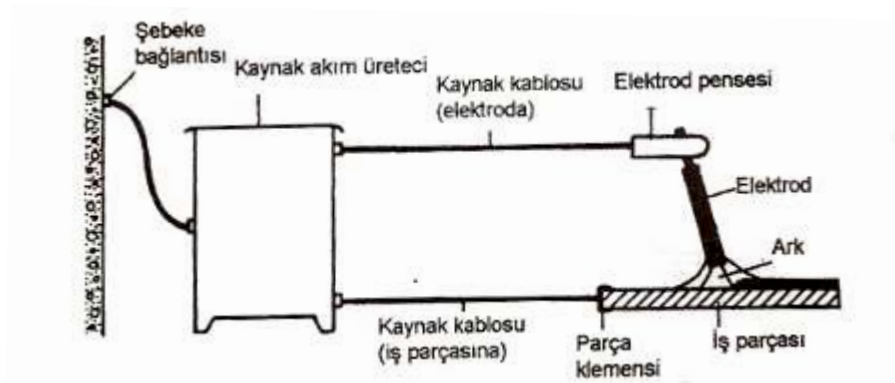
Oksi-asetilen kaynağı olarak da bilinen gaz kaynağında, ısı membaı olarak bir alev kullanılır. Alevin oluşturulması ve sürdürülmesi için oksijen gibi bir yakıcı gaz gerekir. Alev, hem esas metali hem de kaynak bölgesine sevk edilen çubuk şeklindeki ilave metali eritir. Oksi-asetilen alevinin ayrıntılı gösterimi Şekil 1.2.' de verilmiştir. Gaz eritme kaynağı düşük yatırım maliyetiyle üniversal bir uygulama kabiliyetine sahiptir.



Şekil 1.2. Asetilen-oksijen Alevi (Anık,S.,Dikicioğlu,A.,Vural,M.,1999)

1.4.2. Elektrik Ark Kaynağı

Bu yöntemde ark, eriyen bir çubuk elektrod ile iş parçası arasında yanar. Ark ve kaynak banyosu, havanın zararlı etkilerinden, elektrod tarafından sağlanan gazlar ve/veya cüruf ile korunur. Şekil 1.3.'de elektrik ark kaynağının prensip şeması verilmiştir.

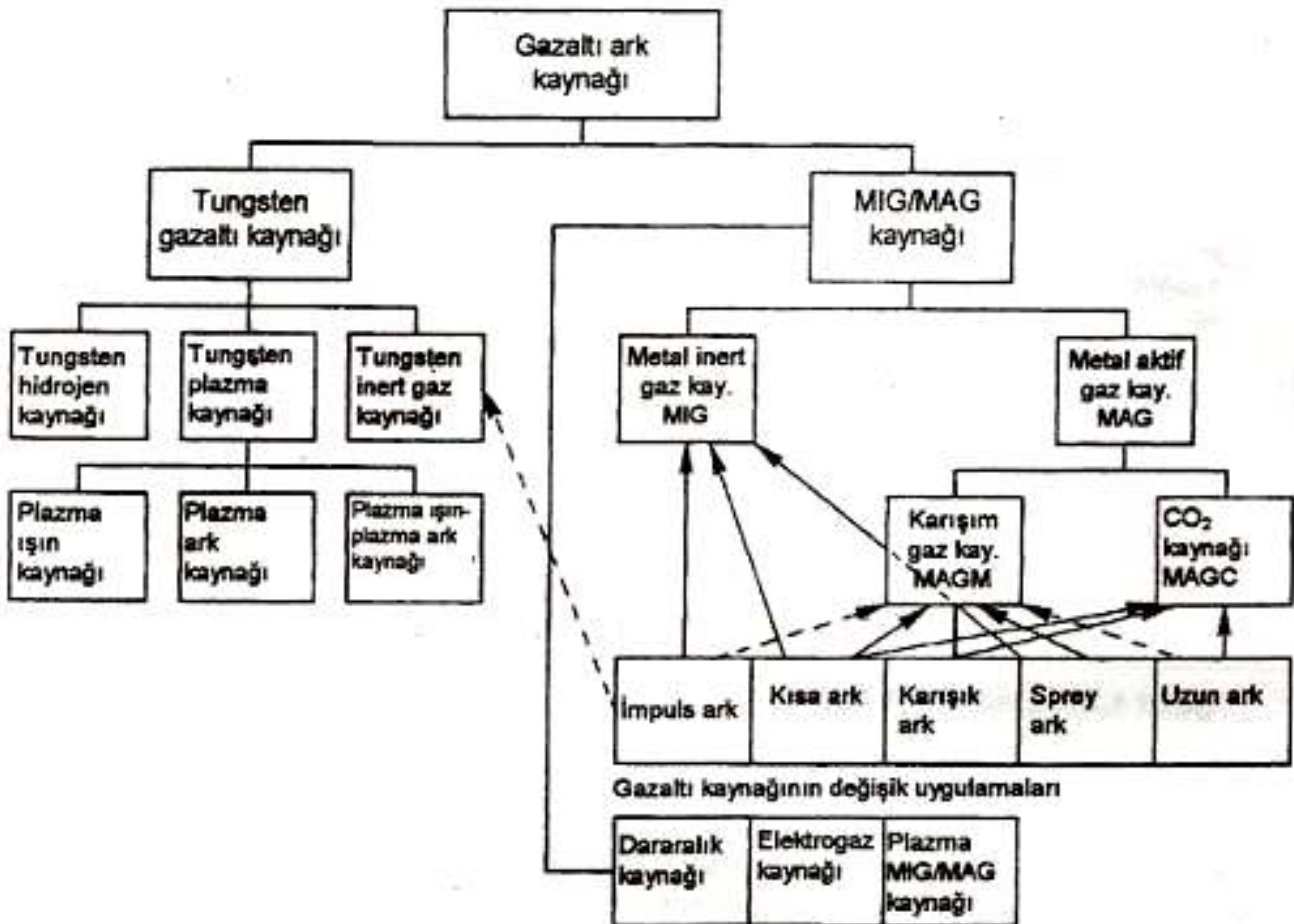


Şekil 1.3. Elektrik Ark Kaynağının Prensip Şeması (Anık,S.,Dikicioğlu,A.,Vural,M.,1999)

1.4.3. Gazaltı Ark Kaynağı

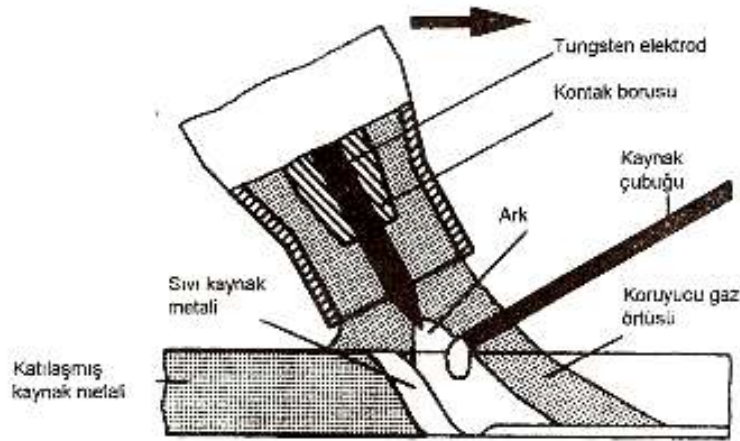
Gazaltı kaynağı, kaynak bölgesinin bir koruyucu gaz yardımıyla korunduğu kaynak yöntemler grubudur. Kullanılan koruyucu gaz türüne göre ve elektrodun ark taşıyıcı olup olmadığına göre alt gruplara ayrılmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan kaynak yöntemidir. Tablo 1.2., gazaltı kaynak yöntemlerinin sınıflandırılmasını vermektedir.

Tablo 1.2. Gazaltı Kaynak Yöntemlerinin Sınıflandırılması



1.4.3.1. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı

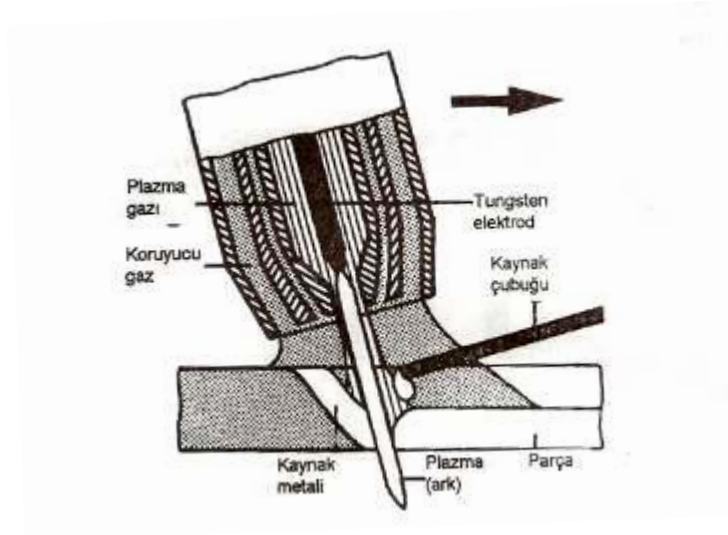
TIG kaynağının prensibi Şekil 1.4.' de gösterilmiştir. Ark, tungstenden mamul erimeyen bir elektrod ile iş parçası arasında yanar. Tungsten elektrodla eşekslenli olarak beslenen koruyucu soy gaz (Argon, Helyum), hem erimiş kaynak banyosunu hem de elektrodu korur. Kaynak ilave malzemesi olarak kaynak bölgesinde elle beslenen çubuk formundaki teller kullanılır.



Şekil 1.4. TIG Kaynağının Prensibi (Anık,S.,Dikicioğlu,A.,Vural,M.,1999)

1.4.3.2. Plazma Kaynağı

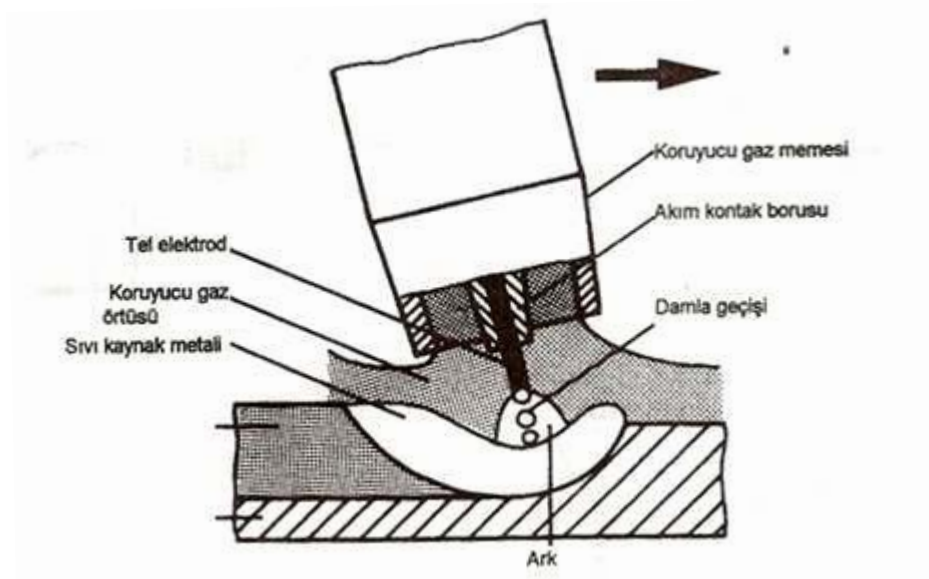
Plazma kaynak yöntemi, TIG kaynağındaki gibi erimeyen bir tungsten elektrod ve soy bir koruyucu gaz yardımıyla yapılır. Ancak TIG kaynağına göre ark, özel bir torç yapısı tarafından sınırlanmış ve büzülmüştür. Arkın sınırlanması, özel torç konstrüksiyonu sayesinde gerçekleşir. Bu mekanik sınırlamaya ek olarak, ark, meme dışından akan soğuk koruyucu gaz tarafından da termik olarak büzülür. Şekil 1.5.' de plazma kaynağının prensip şeması verilmiştir.



Şekil 1.5. Plazma Kaynağının Prensibi

1.4.3.3. MIG\MAG Kaynağı (Eriyen Elektrodla Gazaltı Kaynağı)

MIG\MAG kaynağı, koruyucu gaz kullanılarak yapılan (gazaltı) ark kaynak yöntemleri arasında yer alır. Koruyucu gaz türüne göre Metal Inert Gaz (MIG) veya Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağı olarak ayrılır. MAG kaynağı da kendi içinde ayrıca kullanılan koruyucu gaz türüne göre MAGC (CO₂) kaynağı ve MAGM (Karışım gaz) kaynağı olarak ikiye ayrılır. Şekil 1.6. MIG\MAG Kaynağının Şematik Görünümü verilmiştir.

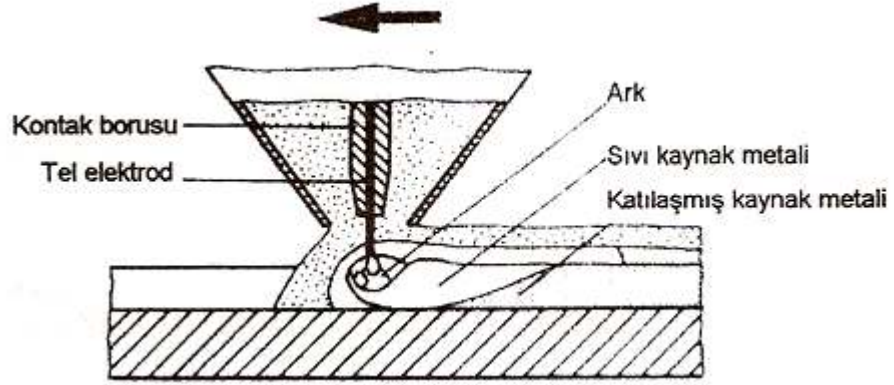


Şekil 1.6. MIG\MAG Kaynağının Şematik Görünümü (Anık,S.,Dikicioğlu,A.,Vural,M.,1999)

1.4.4. Tozaltı Kaynağı

Tozaltı kaynağı, yüksek eritme gücü ve yüksek kalitede kaynaklı bağlantılar sağladığından, kaynaklı imalat yapan işletmelerde sabit bir konumda uygulanır.

Tozaltı kaynağında ark, eriyen bir elektrod ile parça arasında gözle görülmeyecek şekilde yanar. Ark ve kaynak bölgesi, bir toz yığını arasında bulunur. Kaynak banyosu, atmosferin etkilerinden, tozun oluşturduğu cüruf tarafından korunur. Şekil 1.7. Tek Telli Tozaltı Kaynağının Prensiş şeması verilmiştir.



Şekil 1.7. Tek Telli Tozaltı Kaynağının Prensiş

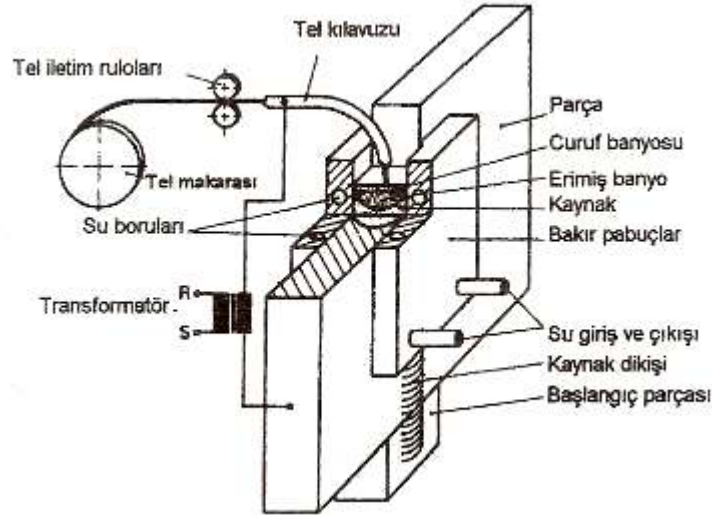
1.4.5. Direnç Kaynağı

Direnç kaynağında kaynak için gerekli ısı, elektrik akımının kaynak bölgesinden geçişi sırasında malzemenin akıma karşı gösterdiği elektriksel direnç nedeniyle ortaya çıkan ısıdır. Kaynak işlemleri, basınç uygulanarak veya uygulanmadan ve ilave metal kullanarak veya kullanmadan oluşturulur.

1.4.6. Özel Kaynak Yöntemleri

1.4.6.1. Elektrocuruf Kaynağı

Elektrocuruf kaynağı, kalın metallere çeşitli kaynaklar oluşturmakta kullanılır. Kaynak dikey olarak yukarıdan aşağıya yapılır. Kaynağa başlamadan önce, iki esas metal arasında ve alt kısma, birkaç cm kalınlığında cüruf yapıcı madde yerleştirilir. Cüruf elektrik iletkenliğine sahiptir. Şekil 1.8., elektrocuruf kaynağının şematik gösterimini içermektedir.



Şekil 1.8. Elektrocuruf Kaynağının Prensi Şeması (Anık,S.,Dikicioğlu,A.,Vural,M.,1999)

1.4.6.2. Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağı, iki metal parçasını birleştirmek için sürtünme tarafından üretilen ısıyı kullanır. Bu işlem esas olarak, geniş, büyük çubukların ve boruların alın kaynağı için kullanılır. İşlem sırasında dış bir ısı kaynağı kullanılmaz. Birleştirilecek parçaların uçları düşük bir basınçla bir araya getirilir. Hareketli ve sabit parçalar arasındaki sürtünme, kaynak oluşumu için gerekli ısıyı üretir. Metal yüzeyleri plastik

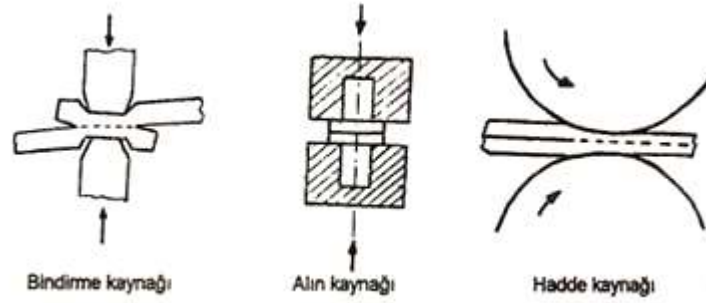
hale geldiğinde döndürme hareketi durdurulur ve büyük bir basınçla birbirlerine bastırılır.

Bu yöntemin ayrıntılarına ve işleyiş prensiplerine ileride geniş biçimde değinilecektir.

1.4.6.3. Soğuk Basınç Kaynağı

Bu işlemde bir dış ısı kaynağı kullanılmaz. Soğuk basınç kaynağı, metalleri birleştirmek için büyük basınçlar kullanır. Sadece yüzey molekülleri ısıtılır ve bir kaynak oluşturmak üzere birleştirilir. Bu yöntem genellikle alüminyum-alüminyum, bakır-bakır ve alüminyum-bakır gibi yumuşak metalleri birleştirmek için kullanılır. Güvenilir kaynak dikişleri elde edilir.

Kaynağı oluşturan enerji, genellikle hidrolik preslerle sağlanan yüksek seviyeli basınçtır. Şekil 1.9.'da yöntemin prensip şeması verilmektedir.

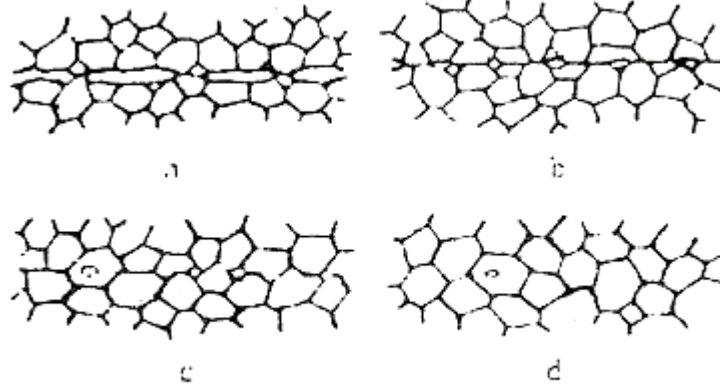


Şekil 1.9. Soğuk Basınç Kaynağının Prensip Şeması

1.4.6.4. Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynağı, aynı veya farklı, çoğunlukla metal malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır. Özellikle uçak-uzay ve nükleer teknoloji için geliştirilmiştir.

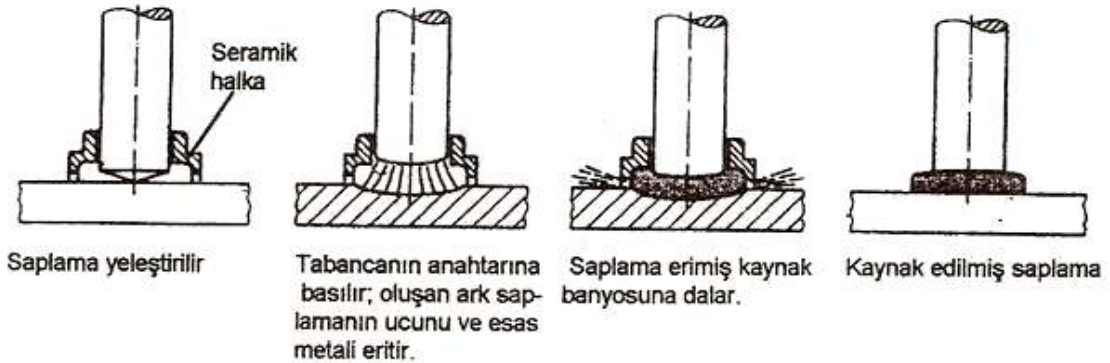
Yüksek sıcaklıkta etkiyen kaynak basıncı, yüzeydeki pürüzlülük tepelerinin plastik şekil değişimini sağlar. Bu şekilde arttırılan temas yüzeyi, madde bağlarının oluşumuna yol açar ve kaynak işlemi böylece gerçekleşir. Şekil 1.10. Difüzyon Kaynağının Prensip Şeması verilmiştir.



Şekil 1.10. Difüzyon Kaynağının Prensip Şeması

1.4.6.5. Ark Saplama Kaynağı

Ark saplama kaynağı, yarı-otomatik bir kaynak yöntemidir. Genellikle metal tespit elemanlarının, delik veya tapa açmadan metal levhalara, kirişlere birleştirilmesini sağlar. Cıvatalar, vidalar, perçinler ve saplamalar bu yolla birleştirilebilir. Isı kaynağı olarak ark, enerji kaynağı olarak elektrik kaynak transformatörü kullanılır. Kaynakçı bir saplamaı tabancaya yerleştirir, tabanca esas metal üzerinde konumlandırılır ve tabanca üzerindeki bir anahtar, kaynak çevrimini başlatır. Ark Saplama Kaynağında İşlem Sırası Şekil 1.11’de gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Ark Saplama Kaynağında İşlem Sırası

BÖLÜM 2. KAYNAK TEKNİĞİ

2.1. Kaynak Metalurjisi

Genellikle kaliteli kaynak bağlantısı sağlamak için kaynak yerini havanın etkisinden korumak ya da diğer bir deyişle oluşacak kimyasal ve metalürjik reaksiyonları kontrol altına almak gerekir. Deneyimli her kaynakçı tamamen hatasız bir kaynak yapmanın kolay olmadığını gayet iyi bilir. Bazıları içinde hiçbir güçlüğü olmamasına karşın hatalardan arınmış, tatminkâr bir kaynak kalitesinin sağlanması bakımından özel önlemlere ihtiyaç vardır. Bu durumda kaynak kabiliyeti, karbon eşdeğeri, segregasyon ve ITAB (Isının Tesiri Altındaki Bölge) kavramlarından söz etmek yerinde olacaktır.

2.1.1. Kaynak Kabiliyeti

Kaynaklı yapı elemanlarının imalat amacı, mümkün olan en düşük maliyette imal edilmesi, fonksiyonunu tam olarak yerine getirmesi ve işletmede uzun süre kullanılmasıdır. Metal malzemeden bir yapı elemanının kaynak prosesinde, belirli bir kaynak yönteminin kullanıldığı uygun bir imalat sürecinde, maddelerin kaynakla birleştirilmesi söz konusudur. Burada kaynak bölgesinin yerel özelliklerinin ve birleştirilen parçaların tüm yapıya etkilerinin, önceden belirlenmiş koşulları sağlaması gerekir. Kaynak kabiliyeti, üç temel faktöre, malzeme, konstrüksiyon ve imalata aynı ağırlıkla bağlıdır.



Şekil 2.1. Kaynak Kabiliyetinin Temel Faktörler ve Özelliklerle İlişkisi

Kaynak kabiliyeti ile bu temel faktörler arasında, aşağıdaki üç özellik yer alır;

- Malzemenin kaynağa uygunluğu
- Konstrüksiyonun kaynak emniyeti
- İmalatın kaynak yapılabilirliği

Bu özelliklerin her biri, kendi içinde malzemeye, konstrüksiyona ve imalata bağlı olmasına rağmen ağırlıkları birbirinden farklıdır.

Bir malzeme, eğer belirli bir konstrüksiyon ve imalat şeklindeki özellikleri, kendisinden beklenen her talebe uygun bir kaynak kalitesine ulaşabiliyorsa, o malzeme kaynağa uygun demektir.

Bir konstrüksiyon, eğer belirli malzeme ve imalat yöntemleri ile oluşturulduktan sonra, önceden tespit edilmiş işletme şartları altında kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirebiliyorsa, kaynak emniyetine sahip demektir.

Bir kaynaklı imalat, belirli malzemelerden oluşturulmuş bir konstrüksiyon halinde, önceden tespit edilmiş imalat şartları altında kolayca imal edilebiliyorsa, kaynak yapılabilirliğe sahip demektir. Tablo 2.1.' de bu faktörler bir arada gösterilmiştir.(Anık,S.,Dikicioğlu, A.,Vural,M., 1999).

Tablo 2.1. Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Faktörler

Malzeme (Kaynağa uygunluk)	Kimyasal bileşim	Sertleşme eğilimi Yaşlanma Gevrek kırılma Sıcak çatlama Kaynak Metali Karışım Oranı
	Metalurjik özellikler	Segregasyon Kalıbkılar Tane büyüklüğü İçyapı Anizotropi
	Fiziksel özellikler	Genleşme özelliği Isıl iletkenlik Erime sıcaklığı Mukavemet Tokluk
Konstrüksiyon (Kaynak emniyeti)	Konstrüktif Şekillendirme	Kuvvet hatlarının akışı Dikişlerin konumu Parça kalınlığı Çentik etkisi Rijitlik farklılıkları
	Gerilme durumu	Gerilmelerin tür ve şiddeti Gerilmelerin eksen sayısı Zorlanma hızı Sıcaklık Korozyon
İmalat (Kaynak yapılabilirlik)	Kaynağa hazırlık	Kaynak yöntemi İlave malzemenin türü Birleştirme türü Ağız biçimi Ön tavlama İklim koşulları
	Kaynağın uygulanması	Isı girdisi Isının uygulanışı Kaynak sırası
	Kaynaktan sonraki işlemler	Isıl işlem Taşlama Dekapaj, temizleme

Kaynak işleminde tatminkâr bir kalitenin sağlanması, özellikle aşağıdaki nedenlerden güçtür:

- Kaynak işlemi, üretim sürecinde optimize edilmiş malzeme yapısına sürekli olarak müdahale edilmesi demektir, çünkü termik olarak sınırlı içyapı dönüşümü, atmosferden gaz kapma, birleştirme yüzeyindeki katışıklıklar nedeniyle, malzemenin mekanik-teknolojik özellikleri değişir.
- Kaynak işlemleri, günümüzde hala çoğunlukla elle veya ancak kısmen mekanize şekilde uygulanmaktadır. Bu nedenle mamullerin kalitesi, diğer bir imalat yönteminde olmadığı kadar insana ve tekrarlanabilir performans açısından operatörün yeteneklerine bağlıdır.
- Kaynaklı birleştirmelerin kalitesinin değerlendirme olanakları sınırlıdır. Özellikle eritme kaynağıyla birleştirilmiş kalın levhalarda, ayrıca içköşe ve bindirme dikişlerinde, mevcut muayene yöntemleri, güvenilir kalite değerlendirmesi açısından yeterli bilgi vermez.

2.1.2. Karbon Eşdeğeri ($C_{eş}$)

Çeliklerde genel olarak, özellikle de sertleşme kabiliyetini arttıran alaşım elementlerinin artışı kaynak kabiliyetini kötüleştirir. Burada alaşım elementlerinin etkisini dikkate alabilmek üzere bir “endeks” tanımlama yoluna gidilmiştir. Bu endeks “Karbon Eşdeğeri ($C_{eş}$)” olup;

$$\text{Alaşımız Çeliklerde: } C_{eş} = C + Mn/6 \quad (2-1)$$

$$\text{Alaşımlı Çeliklerde: } C_{eş} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (2-2)$$

ifadeleri ile hesaplanır.

Yapı çeliklerinin kaynağından kaynağın sonuçlarına etki eden en önemli faktör esas metalin bileşimidir. Özellikle C ve Mn alaşımız çeliğin kaynak kabiliyetine etki eden başlıca iki elementtir. Alaşımız yapı çeliklerindeki Mn miktarı bileşimde bulunan C miktarına bağlı olarak değişir. Genel olarak C miktarı arttıkça Mn miktarı azalır ve

$$C_{eş} = C + Mn/6 \text{ (\%)} \quad (2-3)$$

eşitliği sağlanır.

Düşük alaşımlı ve yüksek mukavemetli çeliklerde C ve Mn den başlayarak diğer elementlerin de geçiş bölgesindeki sertleşme ve çatlak oluşumu üzerine etkileri vardır. Bu alaşım elementleri belirli oranda C miktarına eklenir ve sonuçta C'un etkisine benzer şekilde yorumlanır. Elde edilen eşitlik şudur:

$$C_{eş} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \text{ değerine C'un eşdeğeri denir.}$$

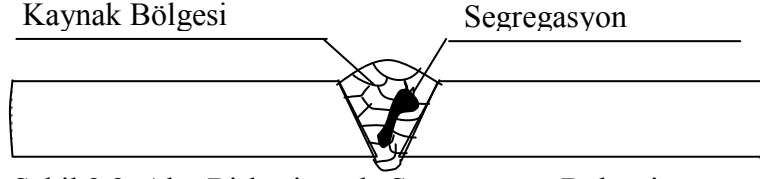
Karbon eşdeğerine bağlı olarak tavlama değerleri için Tablo 2.2. verilmiştir:

Tablo 2.2. Karbon Eşdeğeri-Tavlama İlişkisi

Karbon Eşdeğeri ($C_{eş}$)	Ön Tavlama
0,45	Gerek Yok
0,45-0,60	100-200 °C
> 0,60	200-300 °C

2.1.3. Ergiyen Bölge

Ergiyen bölge genellikle kaynak banyosunda oluşan türbülansın dolayı katılaşmadan önce iyice birbirine karışmış esas ve kaynak metalinden ibarettir. Eğer hava atmosferine karşı koruma tam değilse ergime sırasında O_2 ve N_2 absorbe olur. Oksijen kaynak yerinde önemli bir rol oynar ve giderilmesi zor birçok yanmalara neden olur. Ergiyen bölgenin katılaşması kendini çevreleyen esas metale karşı ısı iletimi ile olur ve oldukça iri sütunlar şeklinde kristaller oluşturur. Özellikle kalın parçalarda bu iri silindirik kristallerin birleştiği yerde segregasyondan dolayı bir boşluk oluşur ve kaynak dikişinde zayıflama olur.



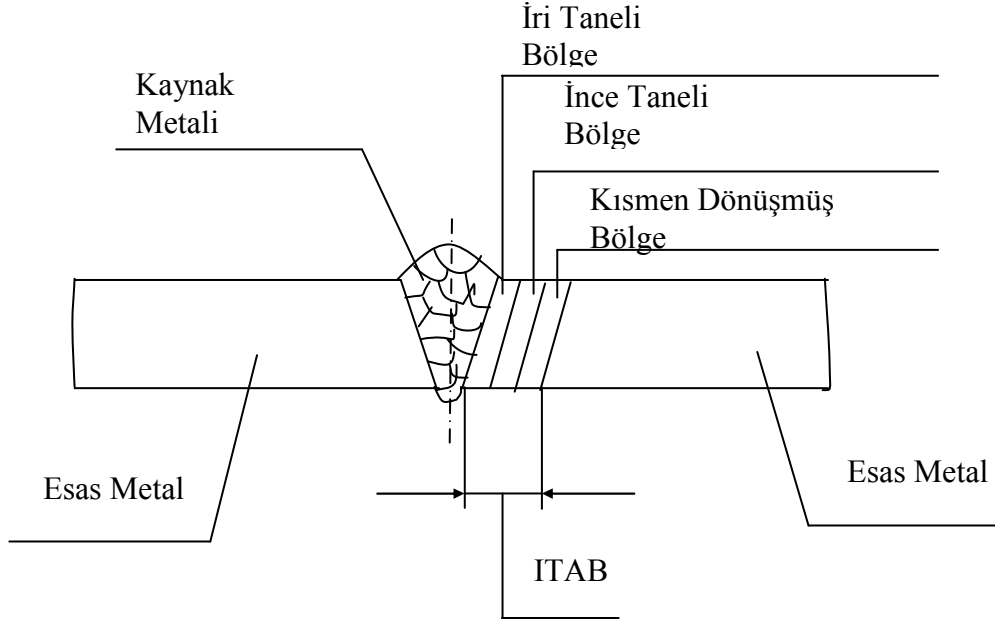
Şekil 2.2. Alın Birleştirmede Segregasyon Bölgesi

2.1.4. ITAB (Isının Tesiri Altındaki Bölge)

Isının tesiri altındaki bölge kaynak metalinin yani ergiyen bölgenin esas metalle birleştiği kısımdan itibaren yaklaşık 1400–700 °C arasındaki bir sıcaklığa maruz kalan bölgedir. Eğer ITAB’da erişilen en yüksek sıcaklık, esas metalin birleşimi, kaynak koşulları tanınırsa kaynak işlemi sonunda oluşacak yapıyı önceden tahmin etmek mümkündür. Ayrıca, soğuma hızının da hesaba katılması gerekir.

Özellikle, 900 °C üzerinde tavlanan bölge kalın parçaların kaynağında soğuma daha çabuk olacağından bu kısımda çok yüksek bir sertlik elde edilir. Uluslar arası kaynak enstitüsünün 9 numaralı kaynak kabiliyeti komisyonunun raporuna göre ITAB ‘ın maksimum sertliği için 350 – 400 HV (Vickers Sertliği) değeri kıstas olarak teklif edilmiştir. Teklifte sertliğin daha fazla olması halinde özel tedbirlerin alınmasının gerekliliğine de ayrıca değinilmiştir.

Birleştirme yapıldıktan sonra parçaların mukavemet özellikleri, kaynak bölgesinin metalurjik olarak incelenmesi (birleşmenin tam olup olmadığı, ITAB’ de istenmeyen bir oluşum olan artık östenit oluşup oluşmadığı varsa diğer oluşumların, karbon’ un veya varsa alaşım elemanlarının difüzyona uğrayıp uğramadığına) ve kaynak bölgesinin sertliğinin dikkatli olarak incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 2.3. Alın Birleştirmede ITAB 'ın Gösterimi

BÖLÜM 3. SÜRTÜNME KAYNAĞI YÖNTEMİ

3.1. Yöntemin Tanımlanması

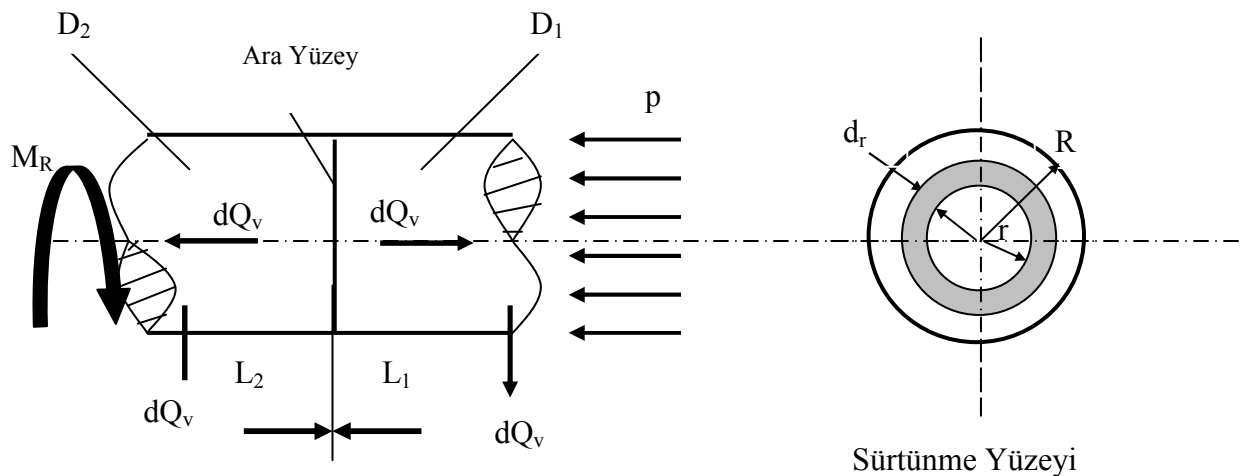
Sürtünme kaynağı, çağımızda geniş bir uygulama alanına sahiptir. Malzemelerin sürtünmesinden faydalanılarak, mekanik enerjiyi termal enerjiye dönüştürerek oluşan ısıyla malzemelerin kaynak edilmesi fikri yeni değildir. Sürtünme kaynağının başlangıcı 15 yy' a kadar gitmesine rağmen, fakat konu ile ilgili ilk patent 19'yy da 1891 de Amerikalı makinist J.H. Bevington tarafından alınmıştır. Bevington sürtünme ısını kullanarak metal boruların kaynağını gerçekleştirmiştir. Daha sonraları konu ile ilgili W. Richter tarafından 1924 yılında İngiltere' de /British patent no: 572789 ve 1929 yılında Almanya'da (Dr-patent no: 477084), H. Klopstock tarafından 1924 yılında Sovyetler Birliği'nde birer patent alınmıştır. H. Klopstock ve A.R. Neelands silindirik parçaların sürtünme kaynağı için 1941 yılında bir patent almışlardır. Ayrıca II. Dünya savaşı sırasında Almanya ve Amerika'da plastik malzemelerin kaynağı için sürtünme kaynağı kullanılmıştır. Bununla birlikte sürtünme kaynağının ticari bir proses olarak gelişimi ve konu ile ilgili bilimsel çalışmaların başlaması bir Rus makinist tarafından gerçekleştirilmiştir. Rus makinist A.J Chdikov iki metal çubuk arasında başarılı bir kaynak gerçekleştirerek 1956 yılında Sovyetler Birliği'nde konu ile ilgili bir patent (No: 106207) almıştır. Sovyetler Birliği'nde ki daha yoğun çalışmalar Vill ve arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Bu proses ABD'ye 1960 yılında girmiştir. American Machine and Foundry Co.' da Holland Cheng adlı araştırmacılar sürtünme kaynağının termal ve parametre analizleri üzerine çalışmışlardır. İngiltere'de ilk sürtünme kaynağı kaynak enstitüsü tarafından 1961 yılında gerçekleştirilmiştir. 1962 yılı itibariyle ise Sovyetler Birliği'nde, bir çok fabrikada sürtünme kaynağı kullanılır hale gelmiştir (Kharkov ısıtma ve havalandırma fabrikası, Lysbenk metal fab., Vitbesk takım fab., K. Gotwal'd otomobil fab., Minsk traktör fab. v.b.). Yine 1952 yılında ABD'de Caterpillar Tractor Co. sürtünme kaynağını modifiye ederek atalet kaynağı olarak anılan yöntemi geliştirmişler ve bundan sonra konvansiyonel sürtünme kaynağı Rus tipi proses, atalet kaynağı ise Caterpillar tipi proses olarak adlandırılmıştır. Bu tarihten itibaren daha hızlı gelişme gösteren proses hızla bütün dünyada çabucak yayılmış ve bir çok endüstride uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde sürtünme kaynağı modern kaynak yöntemleri

arasında elektron ışın kaynağından sonra pratikte en çok uygulama alanı bulmuş olan bir yöntemdir (Yılmaz, M., 1993, Şahin, M., 2001).

Sürtünme kaynağı elektriksel enerji veya diğer enerji kaynaklarından yararlanmaksızın, çalışma parçalarının ara yüzeylerinde mekanik olarak oluşturulan sürtünme yoluyla üretilen mekanik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen ısıdan yararlanılarak yapılan bir katı hal kaynak tekniğidir.

Parçaların temas yüzeyleri arasında genellikle bir parçanın döndürülmesiyle rölatif bir hareket meydana gelir. Aynı zamanda etkili olan basınç başlangıç periyodunda noktasal temasla yerel kaynaklar oluşur ve bunun ardından kaynaklanmış bölgelerin makaslanmasına yol açar. Böylelikle yerel sıcaklık yükselmeleri meydana gelir. Bu olaylar, ısı iletimiyle çok kısa sürede tüm temas yüzeylerinde bir sıcaklık dengelenmesi meydana gelecek şekilde tekrar eder. Yerel olarak erime sıcaklığına erişilebilir. Rölatif hareketin durdurulmasından sonra genellikle basınç yükseltilir. Plastik hale gelen malzeme bir fişkırmacı (çapak) halkası oluşturacak şekilde bastırılır. Bu arada birleştirilen parçalar aksenal yönde kısalmır. Böylece ilave malzeme kullanmaksızın, genellikle ısının tesiri altındaki bölgesi (ITAB) çok dar olan bir kaynak bağlantısı elde edilmiş olur. Çelikler için bağlantı bölgesindeki sıcaklık 900 – 1300 °C arasındadır (Anık, S., 1993).

Sürtünme kaynağı uygulamalarının büyük çoğunluğunu dairesel kesitli çubukların ya da boruların kaynağı oluşturmaktadır. Bu tür uygulamalarda sürtünmeyi oluşturan temel hareket dönme hareketidir ve proses konvansiyonel sürtünme kaynağı olarak adlandırılır.



Şekil 3.1. Kaynak Edilen Parçaların Isı ile İlgisi

Sürtünme yüzeyindeki halka elemanda ortaya çıkan frenleme momenti sürtünme yüzeyi boyunca toplandığında Döndürme momenti (M_R):

$$M_R = \int_0^d \mu p 2\pi r dr \quad (3-1)$$

Buradan;

$$M_R = \mu (2/3)\pi p r^3 \quad (3-2)$$

bulunur. Basınç etkisi altında sürtünen yüzeylerde oluşan ısı ifadesi:

Oluşan enerji:

$$Q_R = M_R n t \quad (3-3)$$

Kullanılan enerji:

$$Q_n = \Delta m c \Delta T \quad (3-4)$$

Kaybolan enerji:

$$Q_v = k F (T - T_0) t \quad (3-5)$$

Yukarıda verilen (3-1) ve (3-5) denklemlerinde;

M_R : Dönme momenti(kgf.cm)

P : Yüzey basıncı(kgf/cm²)

n : Devir sayısı(dev/dak)

k : Isı iletim katsayısı(W/m².°C)

F : Yüzey alanım(m²)

T : Sıcaklık(°C)

t : Süre(sn.)

m : Kütle(kg.)

c : Özgül ısı(kj/kg.°C)

d : Parça çapı(mm)

r : Parça yarıçapı(mm)

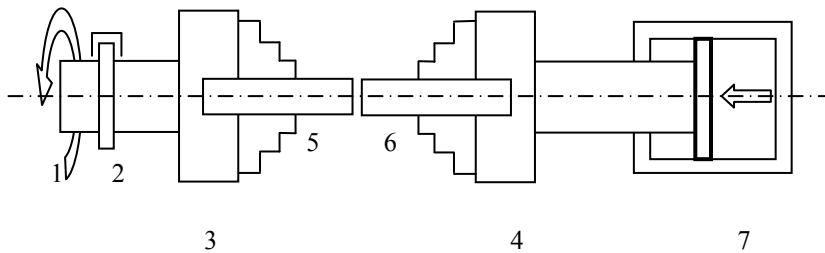
Q : Isı(kcal)

μ : Sürtünme katsayısı

Denklem (3-1) ve (3-5) denklemlerinde görüldüğü gibi devir sayısının yüksek olması ile oluşan enerji yükselecektir. Diğer taraftan işlemin kısa zamanda tamamlanması ile kayıp enerji azalacaktır. Sürtünme kaynağında, sürtünme için kullanılan dönme hareketi yanında, yörüngesel hareket, lineer titreşim hareketi ve açısal titreşim hareketi de uygulanabilir. Yörüngesel hareket silindirik olmayan parçaların kaynağı içindir. Bu uygulamada sabit duran parça üzerinde diğer parça bir köşesi dairesel bir yörünge çizecek şekilde hareket eder. Lineer titreşim hareketinde parçalardan biri uygulanan basınç altında ileri geri titreşim hareketi yapar. Bu yöntem ilk defa Vill, V. I., (1962) tarafından önerilmiştir. Açısal titreşim hareketinde ise parçalardan biri uygulanan basınç altında belli bir açıyı gören yay parçası yörüngesinde hareket eder. Daha öncede belirtildiği gibi sürtünme kaynağı, gerekli mekanik enerjiyi sağlayan kaynağa göre iki ayrı yöntemle uygulanabilir. Günümüzde bu iki yöntemin bileşimi olan kombine kaynak yöntemleri de geliştirilmiştir (Şahin, M., 2001).

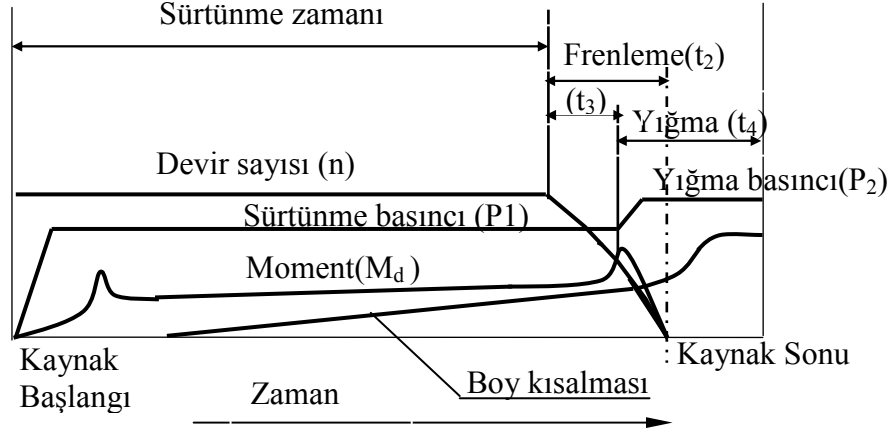
3.1.1. Klasik (Sürekli Tahrikli) Sürtünme Kaynağı

Birleştirilecek parçalardan biri eksenini etrafında döndürülmekte diğeri ise aksenal yönden hareketli olarak dönen parçaya belirli bir süre bastırılmaktadır. Sürtünen yüzeylerde yeterli sıcaklığa erişilince dönme işlemi ani olarak durdurulurken basınç arttırılmakta ve yumuşak malzeme bu yüksek basınç altında soğumaya bırakılmaktadır. Açıklamadan da anlaşılacağı gibi basınç iki kademeli olarak uygulanmaktadır. Basıncın birinci kademesine “Isınma veya Sürtünme Basıncı” ve ikinci kademesine de “Yığma veya Dövme Basıncı” denir (Şahin, M., 2001).



1. Tahrik motoru
2. Fren
3. Dönen iş parçasının bağlı olduğu ayna
4. Sabit parçanın bağlı olduğu ayna
5. Dönen iş parçası
6. Sabit iş parçası
7. Yığma silindiri

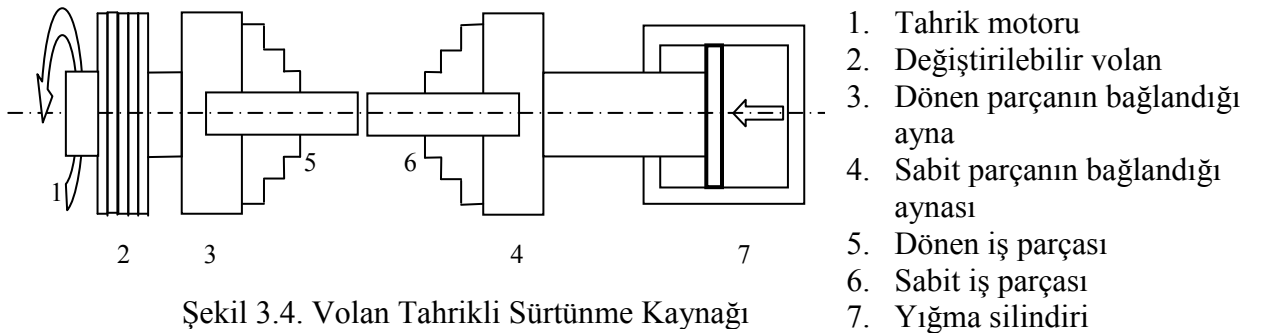
Şekil 3.2. Sürekli Tahrikle Sürtünme Kaynağı



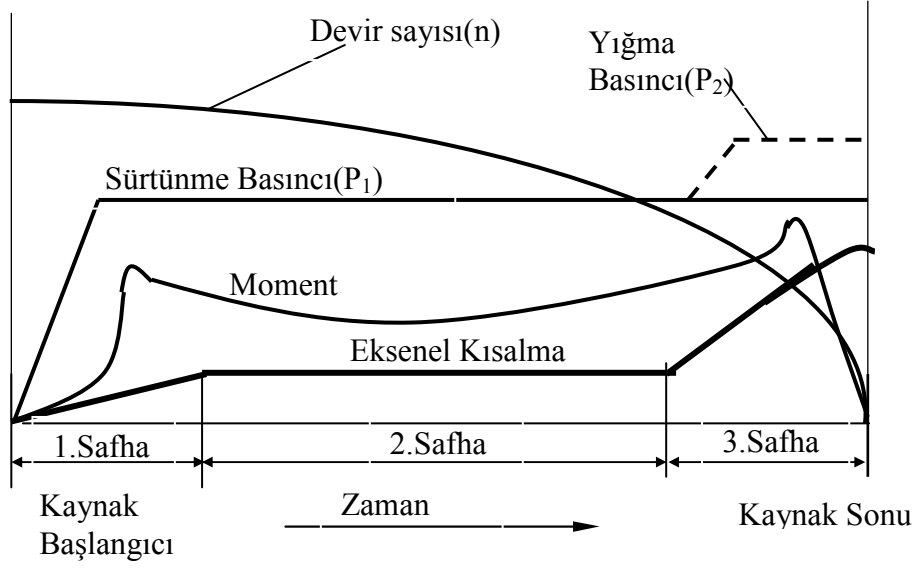
Şekil 3.3. Klasik Sürtünme Kaynak Parametreleri

3.1.2. Volanlı (Atalet) Sürtünme Kaynağı

Bu yöntemde bir volandaki kinetik enerjiden yararlanır. Volan, işlemde önce belli bir devir sayısına getirilerek tahrik motoru devreden çıkarılır. Birleştirilecek parçaların birbirine bastırılmasıyla sürtünen yüzeyler ısınır ve kaynak edilir. Volan ise gittikçe artan bir şekilde yavaşlar ve durur. Ancak bundan sonra basınç (p) ve sıcaklık (T) azalmaya başlar ve moment (M_d) ile devir sayısı (n) birlikte sıfıra erişir. Boy kısalması (Δl) ise eriştiği değerde kalır. Burada önceki proseste görülen dövme zamanı t_y yoktur. Bu nedenle volanlı sürtünme kaynağı işlemi daha kısa zamanda gerçekleşmektedir (Şahin, M., 2001).



Şekil 3.4. Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı



Şekil 3.5. Volan Tahrikli Sürtünme Kaynak Parametreleri

3.1.3. Kombine Sürtünme Kaynağı

Her iki kaynak işleminin yapıldığı kaynak türüdür. Kaynak işlemi sürtünme ve yığılma safhalarını içermektedir. Hem atalet ve hem de sürtünme kaynağı için moment eğrilerinin değişimi işlemin izahı için önemli değer taşımaktadır. Prosesin başlangıcında kuru sürtünme hakimdir ve bu sürtünmenin etkisiyle moment eğrisi bir zirve yaptıktan sonra dengeye gelir. Süreç içerisinde oksit tabakalarının parçalanması sonucu çıplak yüzeyde temas sırasında kuvvetli atomsal bağlar oluşmaya başlar. Sürtünme hareketi ile bu bağlar koparılmaya çalışılır. Sonuçta bu temas noktalarında büyük adhezyon kuvvetleri oluşur, moment artar ve sıcaklık istenilen düzeye ulaşır. Frenleme sonrası hız azalırken moment de sıfıra düşer.

Tasarım olarak sürtünme kaynağı makineleri torna, matkap gibi metal işleme makinelerini andırmaktadır ve ilk sürtünme kaynağı makineleri bu tezgâhların modifiye edilmiş şekilleridir. Şekil 3.6. 'da tipik bir sürtünme kaynağı makinesi görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere bir sürtünme kaynağı, ana gövde bağlama tertibatları, dönme ve yığılma mekanizmaları, fren sistemi, güç ünitesi, kontrol üniteleri ve kumanda tablosu kısımlarından oluşmaktadır. Sürtünme kaynağı makineleri tam mekanize makineleridir. Parçaların bağlanması, çözülmesi ve oluşan çapakların alınması otomotize edilebilir. Bilindiği gibi sürtünme kaynağının ana fonksiyonları parçaların

çalışmalar yöntem üzerinde en etkili olan ve optimizasyonu gereken parametrelerin dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığma basıncı ve yığma süresi olduğunu göstermiştir. Konu ile ilgili temel eserler incelendiğinde kaynak parametreleri ile ilgili şu genel sonuçlar çıkartılabilir:

Dönme hızı özellikle ITAB'ın genişliğine etkir. Genellikle çelikler için çevresel hız 1.2-1.8 m/s arasında önerilmektedir. Çevresel hız 1.2 m/s altında olursa çok yüksek momentler, dolayısıyla da üniform olmayan bir yığma oluşur. Eğer çevresel hız 1.8 m/s 'den büyük ise, yani yüksek hızlar kullanılırsa, kaynak bölgesinde oluşan aşırı ısınmayı önlemek için sürtünme basıncı ve sürtünme süresi çok dikkatli kontrol edilmelidir. Genelde sürtünme basıncı ve yığma basıncı numune geometrisi ve yapıldığı malzemeye bağlıdır. Sürtünme basıncı ve yığma basıncı değişimi kaynak bölgesindeki sıcaklık derecesi ve eksenel kısalma miktarı ile kontrol edilebilir.

Sürtünme basıncı, temas eden yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek, yüzeylerin atmosfer ile ilişkisini kesebilecek ve ara yüzeylerde üniform bir ısıtma sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Sürtünme periyodu sonrasında, eğer çelikler söz konusu ise bir yığma basıncının uygulanması bağlantı kalitesini artırır. Uygulanan yığma basıncı malzemenin sıcak akma sınırına bağlı olup; aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar düşük olmamalıdır. Farklı malzemelerin kaynağında ise daha düşük mukavemetli malzeme esas alınarak yığma basıncı değerleri bulunur. Genellikle yumuşak çelikler için sürtünme basıncı 30-65 MPa, yığma basıncı 75-140 MPa, orta karbonlu ve yüksek karbonlu çelikler için sürtünme basıncı 70-210 MPa, yığma basıncı 100-420 MPa değerleri arasındadır.

Sürtünme ve yığma süreleri ise malzemeye bağlıdır. Sürtünme süresi, sürtünen yüzeylerdeki olası kalıntı ve pislikleri temizleyecek ve gerekli plastisite için üniform bir kaynak bölgesi sıcaklığına ulaşmayı sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Tatminkar bir kaynak bağlantısı için belirli bir minimum bir ısıtma süresi değeri aşılmalıdır. Elverişsiz bir ısıtma bağlantıda yetersiz plastisiteye, yetersiz kaynaklanmaya sebep olacaktır (Yılmaz M., 1993, Şahin, M., 2001).

3.3. Malzemelerin Sürtünme Kaynak Kabiliyeti

Demir ve demir dışı metaller sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilir. Ayrıca sürtünme kaynağı, diğer kaynak yöntemleri ile kaynak edilemeyen farklı termik ve mekanik özelliklere sahip metallerin kaynağında da kullanılabilir. Erime sıcaklığı altındaki sıcaklıklar ve kısa kaynak süresi sürtünme kaynağına bu olanağı vermektedir. Farklı termik ve mekanik özelliklere sahip metallerin sürtünme kaynağı simetrik olmayan deformasyon miktarlarına yol açar. Yüksek bir kaynak mukavemeti ise relatif olarak simetrik plastik deformasyon veren farklı malzemelerin kaynağında elde edilebilir.

Sürtünme kaynağında dövülebilen iyi kuru sürtünme özellikleri olmayan bütün malzemeler kolaylıkla kaynak edilebilir. Kuru yağlama sağlayan alaşım elementleri bağlantı bölgesinin kaynak sıcaklığına erişmesini engeller. Demir esaslı malzemeler, yumuşak çelikten, yüksek alaşımlı çeliklere kadar kaynak edilebilmektedir. Yumuşak çelikler relatif olarak daha kolay kaynaklanmakta ve geniş bir parametre aralığına sahiptirler. HSS türü yüksek alaşımlı çelikler ise daha dar parametre aralığında ve daha yüksek aksenal kuvvetlerde kaynaklanabilir. Bunların, tokluğu ve çatlak hassasiyeti dikkat edilmesi gereken bir konudur, parçalarda oluşan çapaklar mutlaka alınmalıdır. Çünkü bu çapaklar çatlak başlangıcı için uygun yerlerdir.

Paslanmaz çelikler, sinterlenmiş çelikler ve maraging çelikleri literatürde verilen kaynak parametrelerinde kolaylıkla kaynaklanabilir. Isıl işlemlenmiş paslanmaz çelikler diğer yüksek alaşımlı çelikler gibi kaynak değişkenlerine çok hassastır ve ITAB 'da arzu edilen özellikler için kaynak sonu prosesler gerektirir. Bunların dışında sinterlenmiş malzemeler, Al ve alaşımları, Cu ve alaşımları, Ti alaşımları, Zr alaşımları, Mg alaşımları, ısıl direnç alaşımları olan Ni-Co alaşımları, refrakter metaller olan T, Mo, Ni ve Ta alaşımları da sürtünme kaynağı ile kaynak edilebilmektedir. Bazı metal ve alaşımlarında aşağıda belirtilen metalürjik içeriklerinden dolayı başarılı bir kaynak yapılamaz. Bu sınırlamalar genelde sürtünme ısısı ve dönmeye yöneliktir.

- Bazı dökme demirler, serbest grafitin sürtünme sıcaklığını sınırlaması nedeniyle
- %0,3'ün üzerinde kurşunlu bronz ve prinçler, sürtünme aralığının sınırlanmasından
- %0,13'ün üzerinde S, Pb içeren çelikler, sürtünme sıcaklığını sınırlanmasından

- Yüksek derecede anizotropik malzemeler geçiş bölgesi kırılma hızından
- Yapısında hazır olarak grafit, Mn, serbest Pb gibi zayıflatıcı faz içeren malzemeler (Yılmaz, M., 1993).

3.4. Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Dizayını

Tasarımcı; iş parçasının şekli, her bir parçanın gruplandırılması ve üretim şartlarının seçimi vasıtasıyla sürtünme kaynağının avantajlarından yararlanabilir. Sürtünme kaynağı bağlantısı genel olarak anma yüzeyini kapsadığından aşağıdaki hususlara özellikle dikkat etmek gerekir (Anık, S., 1993):

- Dönel simetrik alın kaynağı öncelik taşımaktadır.
- Parçaların bağlanmasında yeterli uzunluk ve rijitliğe dikkat edilmelidir.
- Büyük çaplı parçalarda küresel veya kesik koni şekilli bir ağız sürtünmeye yardımcı olabilir.
- Ayrılma kesitlerine dikkat etmek gerekir.
- Büyük masif kesitlerde, sürtünme kaynağı sırasında malzeme transferini kolaylaştırmak amacıyla yeterli çap ve derinlikte aksiyel girinti yapılabilir.
- İnce cidarlı borularda tesviye işlemi mümkün olduğu kadar az tutulmalıdır.

3.4.1. Kaynak Yüzeyinin Hazırlanması

Kaynak yapılacak parçaların yüzeyleri hazırlanırken aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır (Anık, S., 1993):

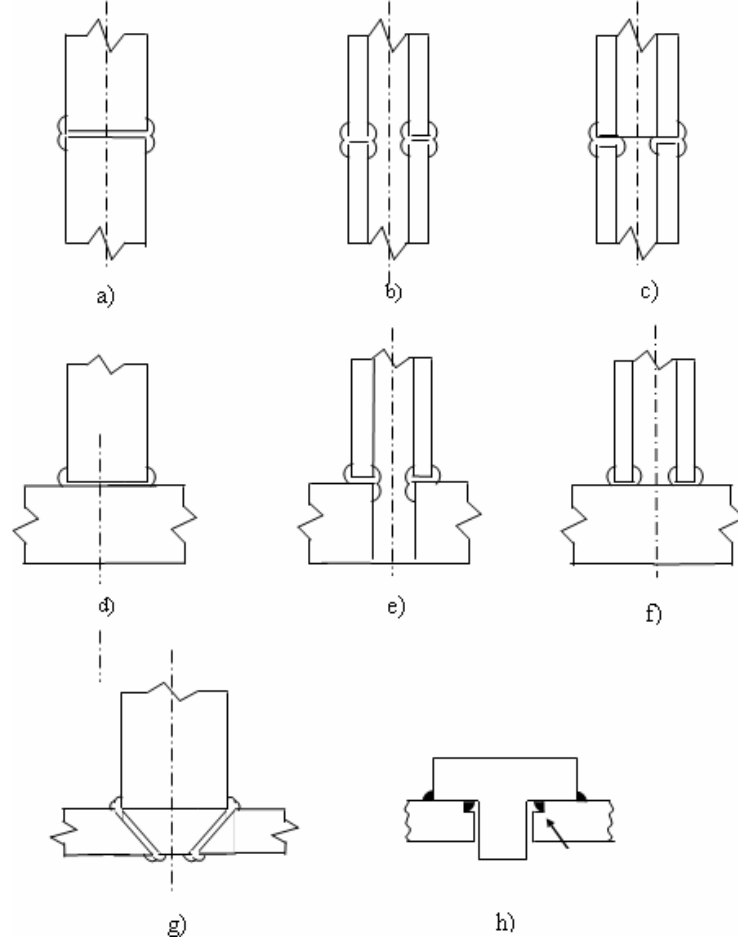
- Sürtünmeyi önleyecek veya azaltacak, kav, hadde ve döküm tabakaları, kalın oksit tabakaları, çekme veya dövme işlemi tozları, yağlama maddeleri, kaplama tabakaları gibi yabancı maddeler kaynak yüzeylerinden uzaklaştırılmalıdır. Kaynaklı parçada az bir kısalma söz konusu ise yağ, gres, boya, ince pas tabakası da giderilmelidir.
- Ağız bölgesindeki su verilmiş sert tabakalar da yumuşatma tavlamaıyla giderilmelidir veya bu tabaka kaynak işlemi sırasında ortadan kalkabilecek şekilde ince olmalıdır.
- Malzeme kombinasyonlarında kaynağın cinsi malzemenin özel şartlarına uygun olmalıdır.
- Malzeme kombinasyonlarında farklı deformasyon kabiliyetinin dengelenmesi amacıyla, sıcakta yüksek mukavemetli parçalar bir ön tavlama tabii tutulmalıdır.

3.4.2. Kaynak Yapılacak Parçaların Bağlanması

Kaynakta söz konusu olan dönme momentleri ve aksel kuvvetler iletilebilmelidir. Kuvvet ve momentlerin alınabilmesi için, sürtünme (kuvvet) bağı veya şekil bağı bağlama tiplerinde yeterli bağlama boyu ve mümkünse bir destek öngörülmalıdır. Sınırlı bağlama boyu için yüzeyleri işlenmiş parçalarda şekil bağı tip gereklidir. Bağlama yüzeylerinin kirlenmesi önlenmelidir. Parçalar her şeyden önce en az kaçıklığı verecek şekilde tasarlanmalıdır.

Sürtünme kaynağının doğasından dolayı özel sürtünme hareketi durumları hariç, parçaların en az bir tanesinin dönel olması arzu edilir. Karışık şekilli parçalar ya da dövülmesi çok zor parçalar için, dövülerek şekillendirilmiş iki veya üç parça sürtünme kaynağı ile bir araya getirilerek üretilebilir. Sürtünme kaynağı ile ilgili temel tasarım şekilleri, Çubuk-çubuk, boru-boru, çubuk-boru, çubuk-levha, boru-levha ve boru-disk (Şekil 3.7.a-f) şeklindedir. Sürtünme kaynağı ile yapılacak açılı bağlantılarda eksenle olacak açının 30° den büyük olması D.L. Kuruzar (1979) tarafından önerilmiştir. Genel literatürde bu açının 30-45° ve 45-60° arasında olması önerilmiştir. Açılı bağlantıya

ilişkin bir örnek Şekil 3.7.g 'de görülmektedir. Bazı birleştirmelerde yığmanın yapılması zor olduğundan yığma aralıkları (Şekil 3.7.h) bırakılmaktadır (Yılmaz, M., 1993).



Şekil 3.7. Sürtünme Kaynağı Bağlantı Tasarımları

3.5. Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları

Daha öncede belirtildiği gibi çağımızda sürtünme kaynağı birçok endüstride geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Aşağıda, sürtünme kaynağının uygulama alanlarına dair örnekler verilmiştir (Anık, S. 1993):

- **Makine imalatı:** Dişli çarklar, piston kolları, hidrolik silindirler, radyal pompa pistonları ve piston kolları, iğler, sonsuz vidalı miller, krank milleri, matkap uçları.
- **Otomotiv Endüstrisi:** Aks köprüleri, ekzos sübapları, kardan milleri, vites kolları, yürekli fren milleri, türbe doldurucular, şanzıman parçaları, ön yanma odaları, boru miller, taşıyıcı aks boruları.
- **Havacılık ve uzay tekniği:** Rotorlar, türbinler, miller, yanma odaları, itme jetleri (memeleri), borular, flanşlar, fittingsler.
- **İş takım Endüstrisi:** Spiral matkaplar, freze bıçakları, delik zımbaları, çelik kalemler (munçlar), raybalar.
- **Elektronik ve elektroteknik Endüstrisi:** Gaz analizleri için alıcı kamaraları, kromatograflar için ayırma sütunları, röntgen cihazı tüpleri için döner anod milleri, sürekli lehim uçları, devre kontakları, geçiş parçaları, cihazlar ve borular, flanşlar, fittingsler, sübap yuvaları, boru tesisatı bağlantıları.

3.6. Sürtünme Kaynağının Üstünlükleri ve Sakıncalı Yönleri

Yukarıda da açıklandığı gibi birçok endüstriyel uygulama alanı bulunan yöntemin aşağıda topluca sıralanan üstünlükleri bulunmaktadır.

- Sürtünme kaynağı işlemi süresince ısıtılan metal miktarı çok küçüktür.
- Sürtünme kaynağında ısıtma ve dövme periyodları arasında metal kaybı azdır.
- Sürtünme kaynağında operasyon temizdir.
- Sürtünme kaynağı oldukça kısa zamanda tamamlanır
- Sürtünme kaynağı otomatik işlemlere adapte edilebilir (parçaların otomatik yüklenmesi, boşaltılması, diğer operasyonlara transfer gibi).
- Ayrıca sürtünme kaynağı bir katı hal kaynak yöntemi olduğu için kaynak bölgesinde curuf vb. içermez.

- Sürtünme hareketi ile bütün oksit ve diğer tabakalar parçalanarak yüzeyden uzaklaştırılır ve sürtünen yüzeyler arasındaki sürekli temas kaynak sırasında oksit filmlerinin oluşmasını önler.
- Sürtünme kaynağı sırasında kaynak kalıntılarının büyük bir kısmı yok edilir.
- Bağlantı bölgesi, hızlı lokal ısıtma ve soğutma sonrası uygulanan yüksek basınç nedeni ile ince taneli bir yapıya sahiptir.
- Hızlı lokal ısıtma ve ayrıca bağlantıya bitişik olan relatif olarak geniş ısıtılmamış alanla, lokal ısınmış alanlardan hızla ısıyı çekmesi sonucunda çok dar bir ITAB oluşur.

Bütün bu üstünlüklerinin yanında sürtünme kaynağının bazı sakıncalı yönleri de vardır. Sürtünme kaynağının sınırlandıran en büyük etken parçanın sahip olduğu geometrik şekildir. Her ne kadar günümüzde özel yöntemler geliştirilmişse de bağlantısı yapılacak parçalardan birinin bir eksene göre simetrik olması ve çoğu kez bir eksen etrafında dönebilir olması istenir. Sürtünme kaynağını sınırlandıran diğer önemli bir etken ise “kesit alanıdır”. Kesit alanının çok büyük olması, motor gücünün ve yığma basıncının değerlerinin çok yüksek olmasına neden olur. G. Nikolaev kitabında sürtünme kaynağı için kesit alanını 30-8000 mm² değerleri arasında sınırlarken, F. Erichorn max. kesit alanını 10000 mm² olarak vermiştir. H. Kreye çelik malzemeler için uygun kesit alanını 2000 mm² olarak sınırlarken, demir dışı malzemeler için max. kesit alanını 20000 mm² olarak önermiştir. G.H.C. Begg ise çubuk parçalar için uygun çap değerlerini 10-250 mm olarak önermiştir (Yılmaz, M., 1993).

BÖLÜM 4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

4.1. Sürtünme Kaynağı Araştırmaları

Sunulan tez çalışmasının önemi ve tez çalışma planına geçmeden önce sürtünme kaynağı ile ilgili olarak literatürden bulunabilecek önceki çalışmalar kısaca özetlenecektir. Bu çalışmalar dört başlık altında toplanarak özetlenecektir;

1. Kaynak parametreleri üzerine yapılan araştırmalar.
2. Sürtünme kaynağıyla birleştirilmiş parçalarda elde edilen mekanik özellikler üzerine yapılan araştırmalar.
3. Birleştirilmiş parçaların sertlik dağılımı ve mikro yapısı üzerine yapılan araştırmalar.

4.1.1. Kaynak Parametreleri Üzerine Yapılan Araştırmalar

Bu konudaki ilk çalışmalar V.I. Vill (1962) tarafından yapılmıştır. V.I. Vill çalışmasında sürtünme basıncının bu kaynak çeşidinde büyük öneme sahip olduğu görmüş ve sürtünme basıncının yaklaşık olarak 25 MPa–250 MPa arasında alınması gerektiğini ileri sürmüştür. Bu çalışma dönme hızının, birleştirmeyi etkilemeden geniş bir aralıkta kullanılabileceğini vurgulanmış ve kaynak kalitesinin artırılması için düşük dönme hızlarının daha yararlı olacağını belirtmiştir. V.I. Vill tarafından numune çapına bağlı olarak ampirik formüller önerilmiştir.

R.Y. Tylecote (1968) tarafından sürtünme basıncı, yığma basıncı ve dönme hızı en önemli üç parametre olarak belirlenmiştir. Bunlardan sürtünme basıncının temas yüzeyleri arasındaki yüzey sıcaklığını ve gerekli momenti etkilediği saptanmıştır. R.Y.

Tylecote sürtünme basıncını yumuşak çelikler için 56.2 MPa, orta karbonlu çelikler için 70.3 MPa olduğunu çeşitli araştırmacıların yaptıkları çalışmalara dayanarak önermiştir.

P. Jennings (1971) yaptığı çalışmada, 19mm çaplı Cr-Mo/Cr çelik çifti için kaynak öncesi ısıl işlemler de uygulayarak, değişik tutulan kaynak parametrelerinde kaynak işlemleri gerçekleştirmiştir. Elde edilen bu kaynaklı bağlantılara tarafından eğme, çekme ve yorulma deneyleri uygulanarak bağlantının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada uygulanan kaynak parametreleri eğme deneyleri yardımıyla eğme açısı ve kırılma pozisyonu temel alınarak tespit edilmiştir. Numunelere uygulanan çekme deneyleri sonrasında bütün kopmalar kaynak bölgesi dışında oluşmuştur. Kaynak sonrası numunelere uygulanan ısıl işlemlerin çekme özellikleri üzerine önemli etkileri olmuştur. Ayrıca bu çalışmada düşük sürtünme basıncı yüksek yığılma basıncı değerleri en iyi çekme özellikleri vermiştir. P. Jennings elde ettiği numunelere yorulma deneyleri uygulayarak kaynak sonrası uygulanan ısıl işlemlerine göre hem eğmeye ve hem de burulmaya göre sürekli mukavemet eğrilerini de elde etmiştir.

K.G.X. Murti ve S. Sundaresan (1986) isimli araştırmacılar 22 mm. çaplı HSS (Yüksek Hız Çeliği) - C45 (Orta Karbonlu Çelik) çelik çiftleri, sürtünme kaynağı ile birleştirmişlerdir. Kaynak işlemi optimize edilen şartlarda yapılmıştır. Birleştirmelere ısıl işlem uygulanmış ve birleştirme performansı dinamik burulma altında incelenmiştir. Kaynak ve ısıl işlem süresince oluşan yapısal değişiklikler, metalografik inceleme ve sertlik testi yapılarak araştırılmıştır. Deneyler kaynağa yakın C45 tarafında kaynak süresince karbonsuzlaşma oluşmasına rağmen birleştirme özelliklerinin yeterli olduğu görülmüştür.

A. Koboyashi(1989) çeşitli modeller ya da sabitlere bağlı olarak yığılma basıncının hesabına ait amprik formüller geliştirmiştir.

Shinoda, Tokashi; Hoshino, Katsuei; Yamashita, Ryouichi (1994) çalışmalarında, küresel grafitli dökme-demir ve kır dökme-demir malzeme çiftleri sürtünme kaynağı ile birleştirerek, kaynak parametrelerinin bağlantının çekme özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Böylece füzyon kaynağı ile birleştirilmesi zor olan dökme-demirlerin herhangi bir ön veya arka ısıtmaya tabi tutulmadan sürtünme kaynağı ile birleştirilebileceği bulunmuştur. Uygun kaynak şartlarında sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş parçaların hatasız olduğu da saptanmıştır. Aynı çaptaki benzer dökme-demir çeşitleri için yürütülen çalışmada, birleştirmenin çekme mukavemetinin ısı giriş oranı veya yığılma hızı azalması ile arttığı ve asıl metalinkine eşit birleştirme mukavemetleri elde etmenin mümkün olduğu bulunmuştur.

4.1.2. Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilmiş Parçalarda Elde Edilen Mekanik Özellikleri Üzerine Yapılan Araştırmalar

V.P. Voinov (1972) sürtünme kaynaklı C20/C60 çelik çiftinin elde edilen, tam ortada çepeçevre U şeklinde çentik içeren numunelere yorulma deneyi uygulamıştır. Ayrıca V.P. Voinov bu numunelerde kaynak öncesi ve sonrası ısıl işlemlerin etkisini de araştırmıştır. Deneyler sonrasında, birleştirmedeki dönme hızlarının yorulma mukavemeti üzerinde pek etkili olmadığı, kaynak öncesi ısıl işlemlerin etkisinin az olmasına karşın kaynak sonrası ısıl işlemlerin mukavemeti üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

A.N. Dobrovidov (1975) tarafından yapılan çalışmada, 21mm çaplı HSS (Yüksek Hız Çeliği) - C45 (Orta Karbonlu Çelik) çelik çifti için pratik datalardan yola çıkılarak istatistiki bir çalışma sonrasında elde edilen “ $P_s= 8-280$ MPa, $P_y= 138-300$ MPa, $t_s= 8-18$ s, $t_y=0.5-5.4$ s, $V=0.5-2.65$ m/s” parametreleri kullanılarak üretilmiş sürtünme kaynaklı bağlantılara burulma deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışmada C45 çeliğinin burulma mukavemeti olan 350 MPa değeri sınır alınarak, bu değer %70’inden büyük değerler veren numuneler kaliteli varsayılmış ve regresyon yardımı ile parametre optimizasyonu yapılmıştır.

T. Robokovski ve arkadaşları (1985) C45 (Orta Karbonlu Çelik) çeliğinden elde edilmiş 20mm. çapındaki birleştirmelere, kaynak yığılmasını alarak ya da almadan burulmalı yorulma deneylerini uygulamışlar ve her bir durum için birleştirmenin sürekli mukavemet eğrilerini çizmişlerdir.

Gürleyik, M. Y. (1989), çalışmasında üretim yöntemleri içinde sürtünme kaynağının, genellikle düşük maliyetler çıkarmasına rağmen tasarım ve imalatta çok tercih edilmediğine işaret etmiştir. Çalışmada dökme demir çiftlerin sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmesine ait bazı uygulama örneklerini kapsamaktadır.

G.P. Rajamani ve arkadaşları (1992) sertleştirilmiş ve temperlenmiş A517 çelik çubukların sürtünme kaynağındaki kaynak özelliklerini ele almışlardır. 22 mm çapındaki çelik çubukları klasik sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirmişlerdir. Deneylere basınç, üniform ve adımlı basınçla iletmışlerdir. Deneylerde sürtünme basıncı 45 – 90 MPa değerleri arasındadır. Tüm deneylerde sabit olarak dönme hızı 1500 dev/dak. ve sürtünme süresi 4 sn. ‘dir. Yazarlar çalışmalarında; birleştirmelerin eğilme ve mekanik mukavemetini araştırmışlardır. Ayrıca, kaynak bölgesinin

radıyografısı, mikroyapısı ve sertliği incelenmiştir. İyi bir sürtünme kaynak birleştirmesi elde etmek için optimum kaynak şartları önerilmiştir.

Kurban, A. O. ve Kahraman, N. (1995) alışmalarında, farklı özellikteki malzemelerin (H2210 - St42) birleştirilmeleri konusunun uygulamada önemli olduğunu, bunların klasik kaynak yöntemleriyle birleştirilmelerinin oldukça zor ve pahalı olduğunu, bu nedenle günümüzde bu tür malzemelerin özel kaynak yöntemleriyle birleştirilmelerinin araştırıldığını belirtmişlerdir. Çalışmanın deneysel kısmında farklı özellikteki (H2210 - St42) elik malzemelerin sürtünme kaynağı ile birleştirilmeleri gerçekleştirilmiş ve kaynak parametrelerinin (kaynak süresi, devir sayısı, yükleme basıncı ile kaynak basıncı) kaynak numunesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneysel numuneleri mekanik testlere tabi tutularak bunların çekme, sertlik ve mikro yapıları incelenmiştir.

Sahin, A. Z., Yılbaş, B. S., Al - Garni, A. Z. (1996) alışmalarında; al-al, al-elik ve elik-elik sürtünme kaynağı birleştirmelerinden çıkan sonuçları karşılaştırmışlardır. Kaynak işlemi boyunca geçici ısı üretimi ve sıcaklık artışı modellenmiştir. ITAB(Isının Tesiri Altındaki Bölge)' daki metalurjik değişiklikler SEM' le incelenmiştir. Yüzey düzlemindeki sıcaklık artışı hesaplanmıştır ve kaynak zelikleriyle bağlantı kurulmuştur. Kaynak kalitesinden etkilenen parametreler istatistiksel analizle tanımlanmıştır. Sonuçlar, kaynak parametrelerinin karşılıklı etkisinin akma, çekme ve kırılma mukavemetinin etkilediğini ve Al' un kenarındaki ITAB 'ın Al-elik kaynaklı birleştirmelerinden daha geniş olduğunu göstermiştir.

4.1.3. Birleştirilmiş Parçaların Sertlik Dağılımı ve Mikro Yapısı zerine Yapılan Araştırmalar

F.D. Duffin B. Crossland (1971) yumuşak çelikleri kullanarak elde ettikleri sürtünme kaynaklı bağlantıları da düşük kaynak süresi ve yüksek yığma basıncı değerlerinin daha ince taneli bir yapı verdiğini tespit etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada kaynak sonu asıl işlemlerin mikroyapı üzerinde, biri hemen hemen kaynak ara yüzeyine kadar tavllanmış bir bölge ve ikinci ise kaynak ara yüzeyine ince taneli bir bölge olmak üzere iki ayrı bölge oluşturduğu belirlenmiştir.

J. Fritz ve H. Saudinger (1974) yaptıkları bir çalışmada sürtünme kaynaklı yüksek hız çeliği (HSS) karbonlu çelik çiftinin, yakma alın kaynağı ile de mukayese ederek mikro yapılarını incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada kaynak sonrası numunelere uygulanan ısı işlemlerin mikro yapıya olan etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Kaynak sonrası ara bölgenin hemen HSS tarafında yaklaşık 1mm genişliğinde ve 800 HVI' in üzerinde bir sertliğe sahip martenzit yapıları tespit edilmiştir. Karbonlu çelik tarafında ise maksimum sertlik 360 HVI civarında olup ara bölgenin C45 çeliği tarafında karbonca fakir ve kaba taneli bir bölge bulunmaktadır. Numunelere 2 saat süre ile 550 C de gerilme giderme ısı işlemi uygulandığında bağlantının HSS tarafında bir yaşlanma sertleşmesi görülmüştür. Yapıda ince karbürler çökelmiş, artık ostenit martenzite dönüşmüştür. Bunun sonucu olarak ta HSS tarafındaki maksimum sertlikte ve ara bölgedeki sertlik farkında önemli artışlar gözlenmiştir.

A.N. Dobrovidov ve arkadaşları (1975) HSS-karbonlu çelik çiftinin mikro yapısı üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada HSS yönüne doğru bir karbon difüzyonu olduğu, dolayısı ile C45 çeliği tarafında bir dekarbürize bölgenin geniş genişliği üzerinde çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Oluşan dekarbürizasyon tabakasının kalınlığı 0,1 mm civarındadır ve bu bölge sadece rekrastilize olmuş ferrit taneleri içerir. Araştırmacılar karbon difüzyonu HSS tarafındaki kuvvetli karbür yapıcı elementlere atfetmektedirler. Dekarbürizasyon olayı 550 C-800 C sıcaklıkları arasında oluşmakta ve maksimum dekarbürizasyon ise 760 C civarında meydana gelmektedir. Yapılan bu çalışmada araştırmacılar 830-860 C sıcaklıklar arasında yaklaşık 15 dakikalık bir ısı işlemi ile karbon difüzyonu yön değiştirmektedir. Bu durumda HSS' nin ostenit fazındaki karbon konsantrasyonunun karbonlu çeliktenden daha geniş olmasına atfedilmektedir. A.N. Dobrovidov ve arkadaşları tarafından karbon difüzyonunun önlenmesinde, eğer çalışma şartlarını etkilemeyecek ise üçlü metalik bağlantı önerilmiştir; örneğin paslanmaz çelik-karbonlu çelik çifti arasında Ni alaşımları tavsiye edilmektedir.

C.R.G Ellis (1976, 1977) kendi yaptığı çalışmalar ve literatüre dayanarak, kaynak bağlantısının kalite verimliliğinin, dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi ve yığılma basıncına bağlı olduğunu, ara yüzey sıcaklığı ve bağlantı kalitesi üzerine en etkili parametrenin çevresel hız olduğunu öne sürmüştür.

A.N. Popandopulo ve G.D. Tkachevskaya (1977), yaptıkları çalışmada, HSS ve C45 arasında yapılmış sürtünme kaynaklı numuneleri incelemiş ve parlak şerit olarak nitelendirilen karbür fazı miktarına, MC ve M6C hatları difraksiyon zirvelerinin relatif yüksekliklerinden karar vermişlerdir. Artık ostenit miktarına X ışınları analiz

metodu ile martenzitteki karbon miktarına X ışınları ve elektronoptical analiz metodu ile karar verilmiştir. Yapılan bu incelemeler sonrasında parlak şerit bölgesine yüksek karbonlu martenzit (%0.5-0.55C), yüksek miktarlarda artık ostenit ve daha ziyade, vanadyum karbürleri olmak üzere 200 A° gibi geniş bir karbür fazı miktarını MC ve M6C hatları difraksiyon zirvelerinin relatif yüksekliklerinden karar vermişlerdir. Kaynak öncesi MC/M6C oranı 0.3 iken kaynak sonrası bu oran 1.1 civarına çıkmıştır. Bu bölgedeki vanadyum miktarındaki keskin artış, plastik deformasyona, çözünen M7C3 ve M6C karbürleri ile C45 den difüze olan karbon miktarına bağlıdır. Bu bölgenin karakteristik özellikleri olan MC karbonlarındaki artış MC/M6C oranı tavllanmış çeliklerde artmaktadır

V.S Lysov ve arkadaşları(1983) ise 3000 mm² den daha geniş çubukların kaynağında kaynak bölgesindeki rekristalize bölge genişliğinin ve hataların arttığını tespit etmişlerdir.

Akira Ishabashi ve arkadaşları (1983) ise yaptıkları çalışmada ostenitik paslanmaz çelik (SUS304), martenzitik paslanmaz çelik (SUS440), yüksek hız çeliği (SKH9) ve karbonlu çelik (C45) kullanmışlardır. SKH9/C45 çelik çifti için “d=15-20 mm V=2.6-3.5 /s1, P_s= 78-157 MPa, P_y= 78-157 MPa, t_s= 12-24 sn ve t_y= 5 sn” parametrelerinde kaynak işlemi gerçekleştirmişlerdir. Değişik sürtünme kaynaklı malzeme kombinasyonlarına dönül durumda eğmeli yorulma deneyi uygulanmıştır. SUS304/S45 çelik için daha yüksek dönme hızları daha iyi yorulma kırılması daha çok SKH9 tarafında oluşmuştur. Bu çalışma sonuçlarına göre yazarlar tarafından genelde paslanmaz çelikler için P₂=2P₁ önerilirken, SKH9/C45 çelik çifti için P₂=P₁+0.3P₁ elde edilmiştir. Ayrıca X ışını ve elektron mikroskobu ile mikro yapı analizi yapılmıştır.

Yılmaz, M., Kaluç, E., Karagöz, Ş., Tülbentçi, K. (1995) çalışmalarında, deney malzemesi olarak 11.5 mm çapında, C45 alaşımsız ve HS 6-5-2 yüksek hız çeliği çubuklar kullanılmıştır. Deney parçalarının büyük bir bölümü, endüstriyel bir sürtünme kaynak makinasında değişik kaynak parametreleri kullanılarak; diğer bir bölümü ise, endüstriyel bir yakma alın kaynak makinasında sabit kaynak parametreleri kullanılarak C45 tarafına farklı ön tav sıcaklıkları verilerek kaynak edilmişlerdir. Tüm bağlantılar, kaynaktan sonra fırın içinde 650 °C’ de 4 saat süre ile tavllanmışlardır. Kaynaklı bağlantıların tümünde çubuk eksenine boyunca sertlik değişimleri ölçülmüş, kaynak bölgeleri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş, yapılan EDX ve WDX analizleri ile karbon ve ana alaşım elementleri olan Cr, W, V ve Mo’ nin kaynak bölgesindeki difüzyonları ile metalurjik iç yapıya etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 5. TEZİN ÖNEMİ VE TEZ ÇALIŞMA PLANI

5.1. Tezin Önemi, Kapsamı ve Gerekçesi

Ülkemizde Cumhuriyet sonrası hızlanan sanayileşme hareketiyle birlikte, imalat sektöründeki gelişmeye paralel olarak ve özellikle 1950 yılından sonra kaynak tekniği alanında da büyük gelişmeler sağlanmıştır. Kaynak tekniği alanında dünyadaki gelişmeler ve bunların uygulamaları çok düşük bir faz farkıyla ülkemizde de kullanıma geçirilmiştir. Yine imalat sektöründe ihtiyaç duyulan parça çeşitliliğinin artışıyla birlikte üretim yöntemlerinde gelişmeler ortaya çıkmakta veya bunların aynı parçanın üretiminin değişik aşamalarında maksimum ekonomikliği sağlayacak şekilde kullanılması anlayışı da gelişmektedir.

Mühendislik uygulamaları içinde önemli bir yer tutan birleştirme yöntemlerinden olan kaynaklı birleştirmeler teknoloji dünyasındaki gelişmelerden etkilenerek çeşitli alt gruplar ortaya çıkmıştır. Bu alt gruplarda yer alan sürtünme kaynak yöntemi, birçok avantajı nedeniyle diğer kaynak yöntemleri arasında gittikçe artan bir yere sahip olmaktadır.

Bilindiği gibi sürtünme kaynağı; parçaların ara yüzeylerinde sürtünme yoluyla oluşturulan mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilen ısı yardımıyla gerçekleştirilen bir kaynak türüdür. Genel olarak sürtünme kaynağı eksensel simetriye sahip ve daire kesitli parçaların birleştirilmelerinde kullanılmasına rağmen cihazların otomasyonu ve bilgisayarlı kontrol olanaklarının gelişmesiyle birlikte daire dışı kesitli parçaların birleştirilmesinde de kolaylıkla kullanılabilir. Ayrıca, bu kaynak yönteminde malzeme ve enerji tasarrufu sağlamak gibi önemli bir avantaja da sahip olduğu için gittikçe artan oranlarda tercih edilmektedir. Yine bunlara ek olarak sürtünme kaynağıyla aynı veya farklı malzeme türleri, eşit veya farklı kesitli parçaların birleştirilmesi de kolaylıkla gerçekleştirilmektedir.

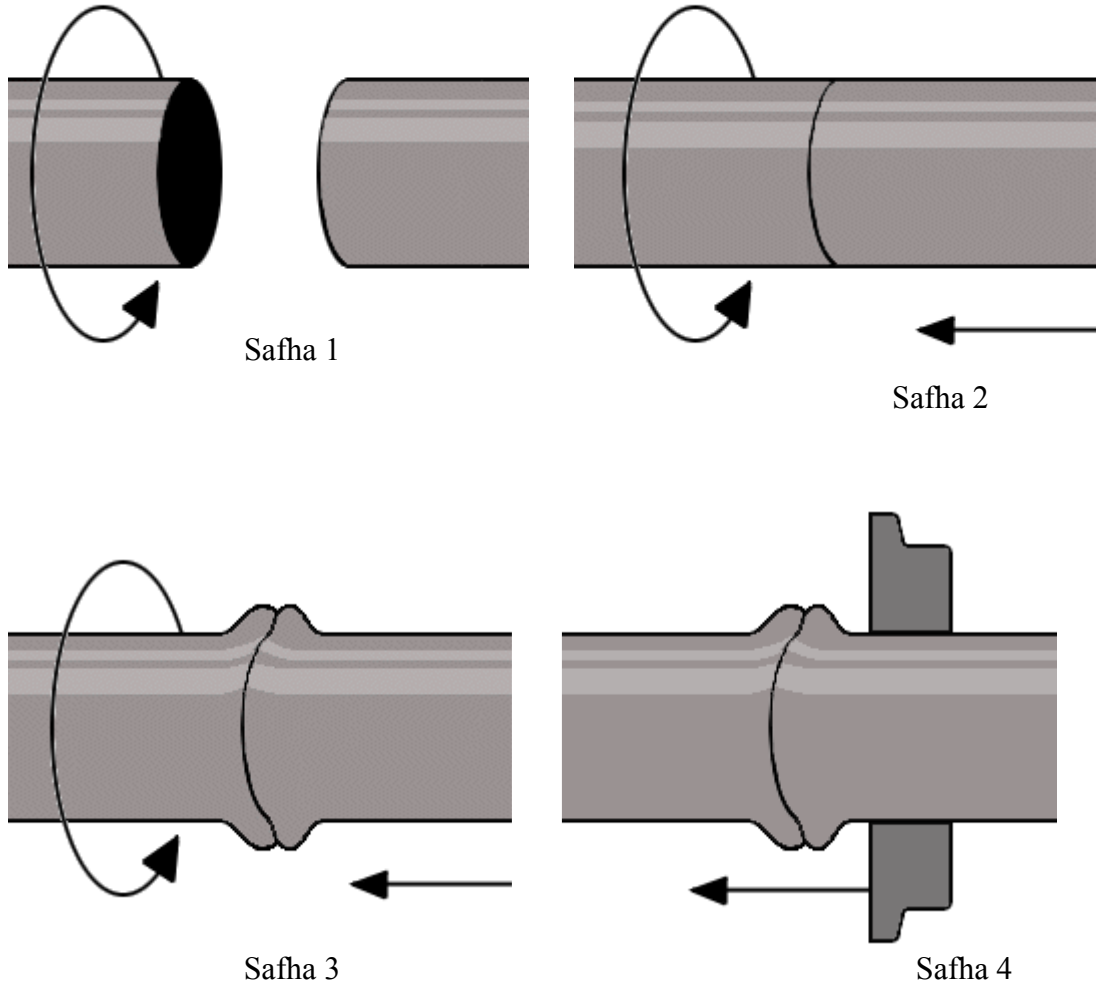
Sürtünme kaynağı genel olarak üçe ayrılmaktadır;

- Klasik sürtünme kaynağı
- Volanlı sürtünme kaynağı

- Kombine sürtünme kaynağı (klasik ve volanlı sürtünme kaynağının karışımıdır)

Bir sürtünme kaynak işleminde en önemli işlem parametreleri; devir sayısı, sürtünme süresi, sürtünme basıncı, yığma süresi ve yığma basıncı' dır. Parametrelerin değiştirilmesi kaynak mukavemetini fazlasıyla etkilemektedir. Bunun için optimum kaynak parametrelerinin seçilmesi önem kazanmaktadır.

Sürtünme kaynağının, genel olarak şematik uygulanişı aşağıda Şekil 5.1.' de verilmiştir.



Şekil 5.1. Sürtünme Kaynağının Uygulanışı

Safha 1 - Parçaların hazırlanışı

Safha 2 - Kaynak başlangıcı

Safha 3 - Kaynağın devam etmesi

Safha 4 - Kaynağın sonu, parçaların soğuması ve kaynak çapaklarının temizlenmesi

Günümüz endüstrisinde iki farklı çelik alaşımından oluşan parçaların üretiminde en uygun yöntem kaynak olmaktadır. Ancak, kaynak bölgesinin özelliklerinin doğal olarak birleştirilen çeliklerden farklı olması önemli sorunlar ortaya çıkarmakta, eritme kaynak yöntemlerinin kullanılması bu problemi daha da arttırmaktadır.

Kaynak sonrası oluşan bağlantının özelliklerinin belirlenmesinde birleştirilen malzemelerin çeşitli özellikleri ile bunların birlikte oluşturdukları faz diyagramları en önemli faktörlerdir. Bununla birlikte, kaynak ile birleştirilecek malzemelerin birbirinden farklı alaşımlar olması ve hatta bunların çok sayıda bileşenden oluşması sonucun önceden tahmin edilmesine olanak vermez, erime bölgesinde bileşimi oluşturan malzemelerin bileşime ve bileşimlerine bağlı olarak bileşim ve özellik bakımından çok farklı kısımlar ortaya çıkar. Bu nedenle, farklı bileşimlerde iki ayrı malzemenin eritme kaynağı yöntemleri ile birleştirilmesi, çözümü zor önemli problemler ortaya çıkarmaktadır. Eritme kaynağı yöntemlerinin cüruf kalıntısı, porozite gibi kaynak hatalarına açık bir yöntem olması ve soğuma ile makro düzeyde iç gerilmelerin oluşması bu yöntemlerinin önemli dezavantajları olup kaynağın mukavemetini düşürmektedir. O halde farklı bileşimdeki malzemelerin birleştirilmesinde eğer boyutları ve şekilleri müsaade ediyorsa, eritme kaynağına nazaran bir eritme olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi ve minimum kaynak sonrası iç gerilmelere sahip olması nedenleriyle katı hal kaynak yöntemleri büyük bir üstünlük göstermektedir. Ancak, bu iç gerilmeler tavlama yapılarak giderilir. Genellikle, çeliklere 400-650 °C sıcaklık aralığında tavlama yapılmaktadır.

Bu amaçla, günümüzde, farklı takım çeliklerinin birleştirilmesinde katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme kaynak yöntemiyle, kaynak sonrası tavlanan HSS ve orta karbonlu çelik çiftlerinin birleştirilmesi, optimum parametrelerin tespiti, birleştirilen parçaların mekanik özellikleri tespiti ve birleştirilen parçaların birleştirme bölgesinde ki sertlik dağılımı ve mikroyapı değişimi deneysel nitelikteki bu Yüksek Lisans Tezi'nin konusunu oluşturmaktadır.

5.2. Uygulanacak Araştırma Teknik ve Yöntemleri

Temin edilecek HSS ve orta karbonlu çelik parçalar T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarlarında talaşlı şekil verme yoluyla işlenecek, daha önceki bir Doktora tezinde dizayn edilen ve oluşturulan klasik sürtünme kaynağı deney tesisatında bu parçalar birleştirilecektir. Ayrıca, birleştirilen parçalar kaynak öncesi ve sonrası tavlacaklardır.

Daha sonra birleştirilen bu parçaların mekanik özellikleri tespit edilecek, bu özelliklerin parametrelerle ilişkisi araştırılıp optimum parametreler tespit edilecektir. Ayrıca, birleştirilen parçaların kaynak bölgesi sertlik dağılımı ve mikroyapı incelemesi kuruluş olanakları kullanılarak tamamlanacak ve sonuçlar yorumlanacaktır.

5.3. Tez Çalışma Planı

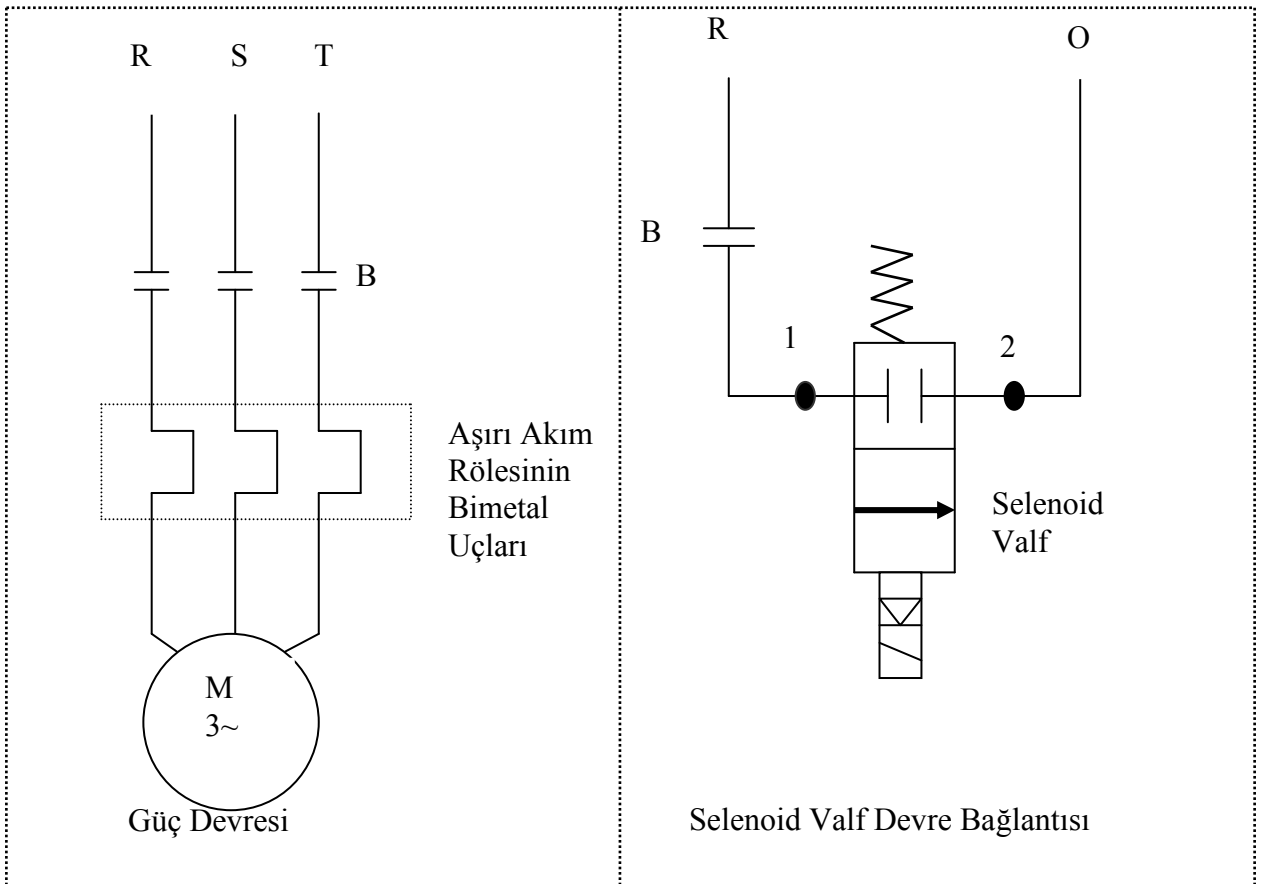
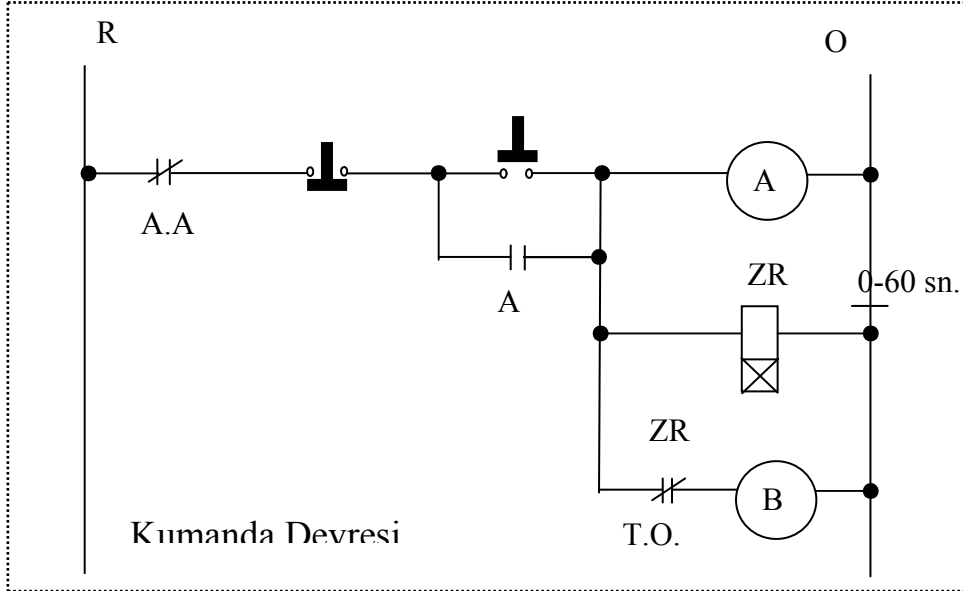
Deneysel çalışma, iki aşamada yürütülmüştür;

- **Materyallerin temini ve birleştirilmesi:**

Temin edilecek HSS ve orta karbonlu çelik parçalar T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarlarında talaşlı şekil verme yoluyla işlenecek, daha önceki bir Doktora tezinde dizayn edilen ve oluşturulan klasik sürtünme kaynağı deney tesisatında bu parçalar birleştirilecektir. Ayrıca, birleştirilen parçalar kaynak öncesi ve sonrası tavlacaklardır.

- **Deney parçası ve işlem değişkenlerinin kaynaklı birleştirmelerde mukavemet, sertlik dağılımı ve kaynak bölgesindeki içyapıya etkilerinin araştırılması:**

Daha sonra birleştirilen bu parçaların mekanik özellikleri tespit edilecek, bu özelliklerin parametrelerle ilişkisi araştırılıp optimum parametreler tespit edilecektir. Ayrıca, birleştirilen parçaların kaynak bölgesi sertlik dağılımı ve mikroyapı incelemesi kuruluş olanakları kullanılarak tamamlanacak ve sonuçlar yorumlanacaktır.



Şekil 6.2. Sürtünme Süresi Elektriksel Kontrol Devresi.

Şekil 6.1.'de gösterilen hidrolik devredeki motor çalışıp, pompadan yağ basmaya başlayınca start butonuna basıldığında Şekil 6.2.'deki devrenin A kontaktörü, zaman rölesi ve B kontaktörü enerjilenir. B kontaktörü çekilince güç devresindeki ve selenoid valf devre bağlantısındaki açık kontaklarını kapar. Güç devresindeki kontaklar kapanınca elektrik motoru çalışır. B kontaktörünün selenoid valf devresindeki açık kontağı kapanınca selenoid valf çalışır ve yağ akışı başlar. Zaman rölesi ayarlanan sürenin sonunda B kontaktörü önündeki gecikmeli açılan kontağını açar ve B

kontakörü enerjisiz kalır. Kontaktör enerjisiz kalınca güç devresi ve selenoid valf devresi kapamış olduğu kontaklarını açar. Bu esnada elektrik motorunun ve selenoid valfin çalışması durur. Kumanda devresi stop butonuna basıldığında tamamen enerjisiz kalır. Bu esnada pompa çalışmaya devam etmektedir ve piston dövme (yığma) basıncına geçmiştir.

Deneyde, motor çalışmaya başladığı sırada 1 numaralı küresel vana kapatılmakta ve pompadan gelen yağ basıncı ayarlanabilen selenoid valf tarafından düşük basınçta (sürtünme basıncı), parçalar sürtünmeye başlayıp birleşme sıcaklığına ulaşıldığında zaman röleli kumanda devresi tahrik motorunu durdurmakta ve aynı anda yığma basıncına ayarlanmış selenoid valfte kontrol edilerek dövme uygulanmaktadır (Şahin, M., 2001).

6.1.1. Deney Parçalarının ve Numunelerin Geometrisi

Deney numuneleri, satın alınan S 6-5-2 ve AISI 1040 çeliklerinin işlenmesiyle elde edilmiştir. Malzemelerin standart kimyasal bileşimleri Tablo 6.1. ve 6.2.'de gösterilmiştir.

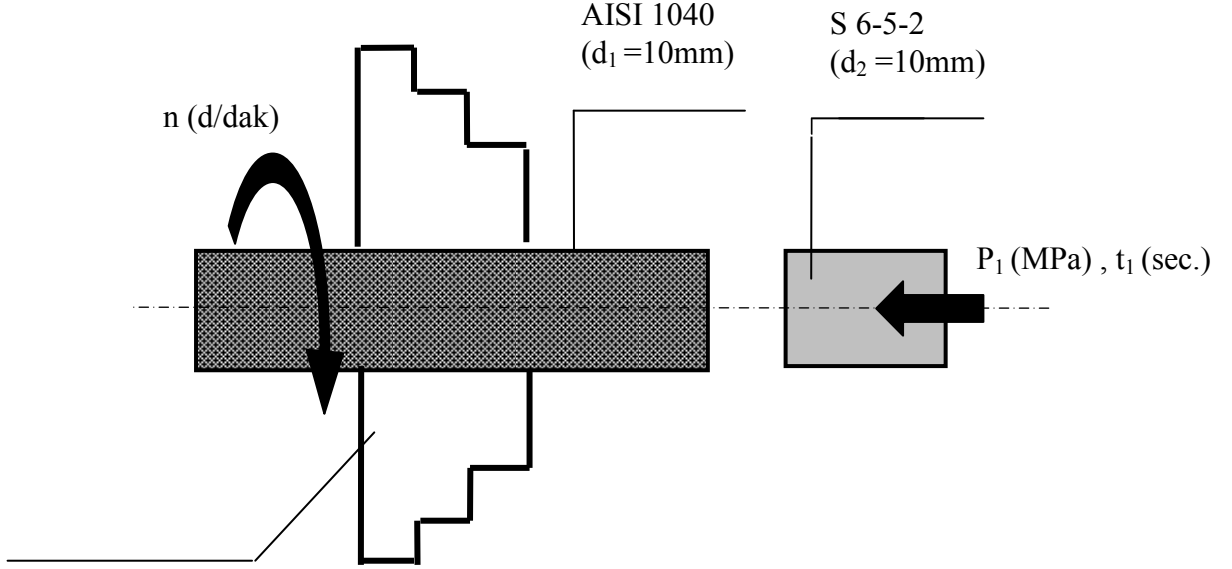
Tablo 6.1. Yüksek Hız Çeliğinin Standart Kimyasal Bileşimi

Malzeme	DIN	% C	% Cr	% Mo	% V	% W	%Si	%Mn	P ≤ %	S ≤ %	% Co	Çekme Mukavemeti (Tavlama Sonrası)
Yüksek Hız Çeliği	1.3343 S 6-5-2	0.86 - 0.94	3.80 - 4.50	4.70 - 5.20	1.70 - 2.00	6.00 - 6.70	≤ 0.45	≤ 0.40	0.030	0.030	-	925 MPa

Tablo 6.2. Orta Karbonlu Çeliğin Standart Kimyasal Bileşimi

Malzeme	% C	% Mn	P ≤ %	S ≤ %	% Cr	% Mo	% Ni	Çekme Mukavemeti (Tavlama Sonrası)
AISI 1040	0.37 – 0.44	0.60 – 0.90	0.040	0.050	-	-	-	800MPa

Deneyleerde kullanılan parçaların boyutları da Şekil 6.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Deneyleerde Kullanılan Parçaların Boyutları

Ayrıca, deneyleerde kullanılan optimum kaynak şartları, Tablo 6.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Sürtünme Kaynağı Deneyleerinde Kullanılan Parametreler

AISI 1040 d_1 (mm)	S 6-5-2 d_2 (mm)	Sürtünme Zamanı- t_1 (sn.)	Sürtünme Basıncı- P_1 (MPa)	Yığıma Zamanı- t_4 (sn.)	Yığıma Basıncı- P_2 (MPa)
10	10	4	110	20	150

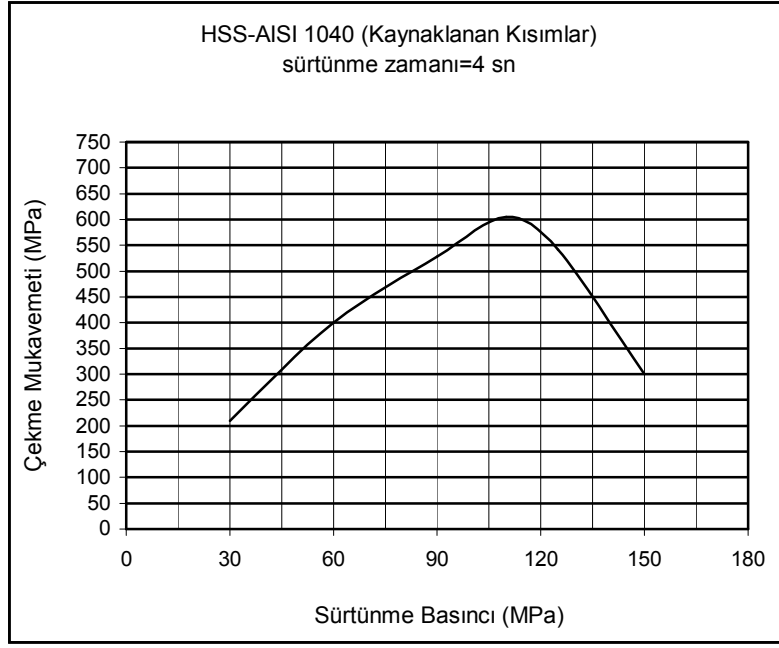
Daha sonra kaynak yapılan parçalara çeşitli testler uygulanmıştır.

6.2. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

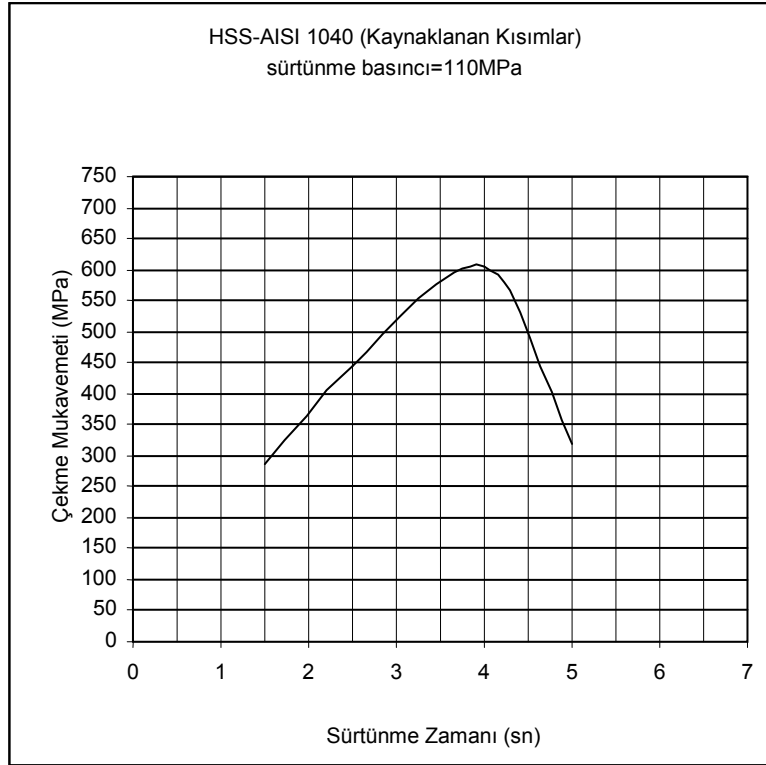
6.2.1. Çekme Deneyleri

Sürtünme zamanının ve sürtünme basıncının birleştirilen parçaların mukavemeti üzerindeki etkileri, eşit çaplı parçaların kaynaklanmasıyla incelenmiştir.

Uygun sürtünme zamanının ve sürtünme basıncının belirlenebilmesi için, yığma zamanının (20 sn.) ve yığma basıncının (150 MPa) sabit tutulduğu 2 aşamalı bir kaynak deneyi yapılmıştır. Birinci aşamada, sürtünme basıncı (110 MPa) sabit tutulurken, sürtünme zamanı değiştirilmiştir. İkinci aşamada, sürtünme zamanı (4 sn.) sabit tutulurken, sürtünme basıncı değiştirilmiştir. Kaynak yapılan parçalara, 650 °C de 4 saat süresince tavlama uygulanmıştır. Kaynak yapılan parçaların mukavemeti, çekme testleri yapılarak tespit edilmiş ve bu sonuçlar, tamamen işlenmiş parçaların mukavemetiyle kıyaslanmıştır. Birleşim bölgelerinin çekme mukavemeti, esas kuvvetin 10 mm çapındaki alana bölünmesiyle elde edilmiştir. Çekme mukavemetinin, sürtünme zamanı ve sürtünme basıncı ile değişimi Şekil 6.4. ve 6.5.'deki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Çekme Mukavemetinin Sürtünme Basıncıyla Değişimi

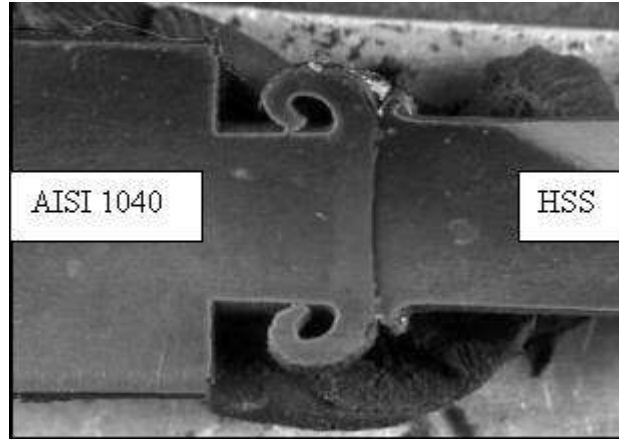


Şekil 6.5. Çekme Mukavemetinin Sürtünme Zamanıyla Değişimi

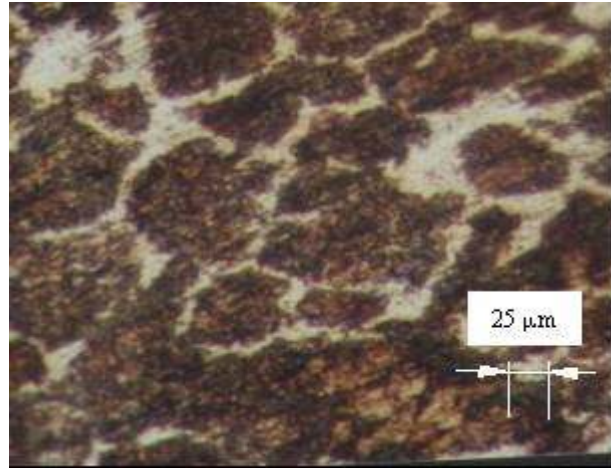
Şekil 6.4. ve 6.5.'den görüldüğü gibi, birleşmelerde sürtünme zamanının ve sürtünme basıncının artmasıyla, bu parçalarda çekme mukavemeti de artmaktadır. Fakat birleşim bölgelerinin mukavemeti bir noktaya kadar yükselmekte, daha sonra sürtünme zamanının ve basıncının artmasına karşılık, mukavemet düşmektedir. Bu sonuçlara göre, elde edilen en yüksek mukavemet değeri, ısıtılma işlem uygulanmış orta karbonlu çelik parçasının mukavemetinin %75'i kadar, ısıtılma işlem uygulanmış yüksek hız çelik parçasının mukavemetinin %65'i kadar olmaktadır (Şahin, M., 2005).

6.2.2. Kaynaklanan Parçaların Mikroyapısı

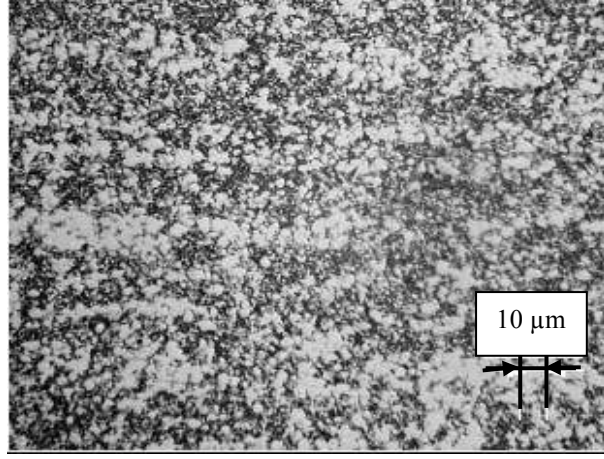
Isıl işleme tabi tutulmayan kaynaklanmış parçanın makro fotoğrafı Şekil 6.6.'da görülmektedir. Ayrıca, birleştirilen parçaların esas metaline ve birleştirilen parçaların arayüz bölgelerinin mikro-fotoğrafları Şekiller 6.7., 6.8. ve 6.9.' da gösterilmiştir.



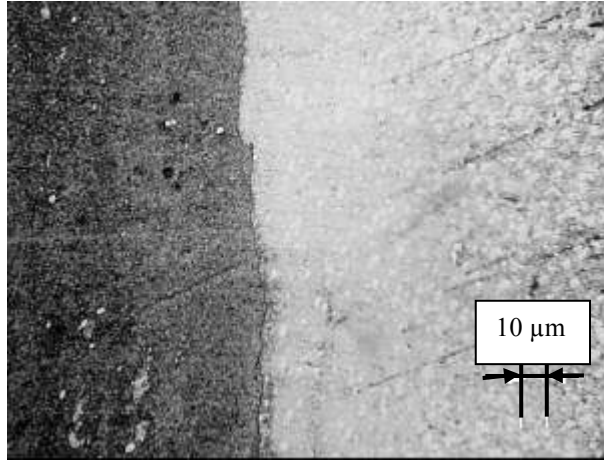
Şekil 6.6. Kaynakla Birleştirilmiş Parçalar



Şekil 6.7. Orta Karbonlu Çelikte İç Yapı



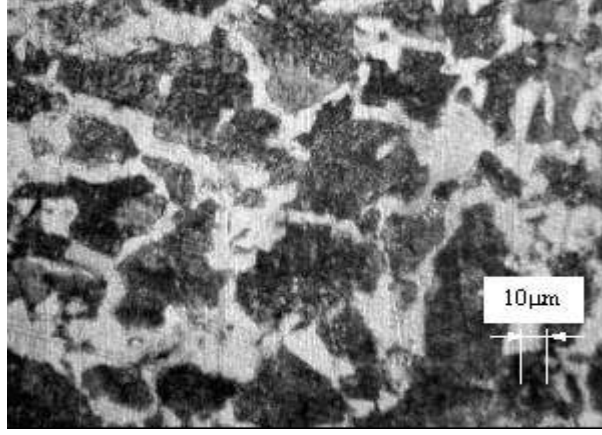
Şekil 6.8. Yüksek Hız Çeliğinde İç Yapı



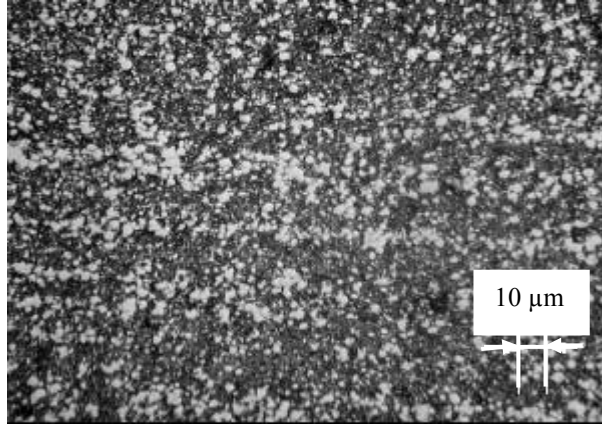
Şekil 6.9. Kaynak Ara Yüzünün İç Yapısı

İncelenen orta karbonlu çeliğin kaynaktan sonraki içyapısı Şekil 6.7.'de gösterilmiştir. Yapı, ferrit ve perlitten oluşmuştur. Birleştirilmiş bölgedeki yüksek hız çeliğinin içyapısı Şekil 6.8.'de gösterilmiştir. Bu bölgenin ostenit ve martenzit bir yapısı vardır. Ayrıca bu bölgede az miktarda karbid partikülüne de rastlanmaktadır. Şekil 6.8.'den anlaşılacağı gibi kaynak bölgesinde dekarbürize olmuş bir alan mevcuttur. Oldukça açık bir şekilde görülmektedir ki, karbon, bu bölgeden yüksek hız çeliği alanına doğru göçmüştür.

Tavlama uygulanmış kaynaklı parçalara ait içyapılar, Şekiller 6.10. ve 6.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Tavlama Uygulanan Orta Karbonlu Çeliğin İç Yapısı

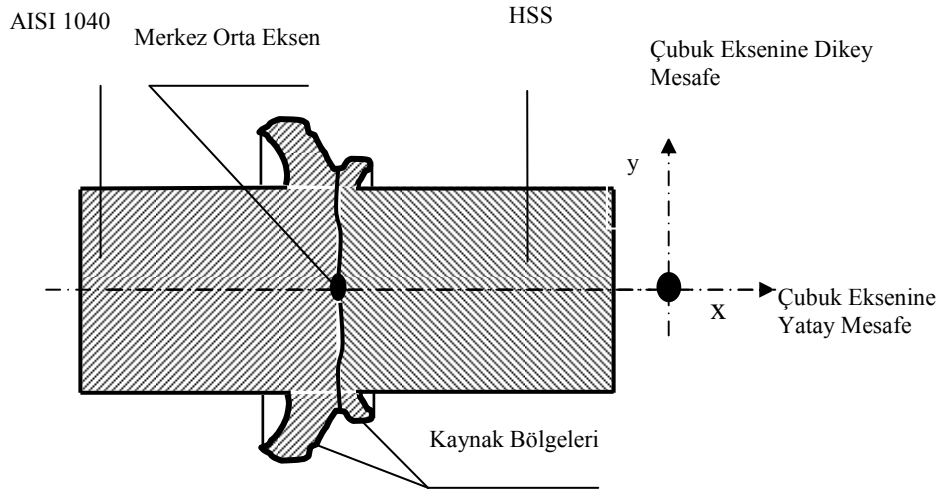


Şekil 6.11. Tavlama Uygulanan Yüksek Hız Çeliğinin İç Yapısı

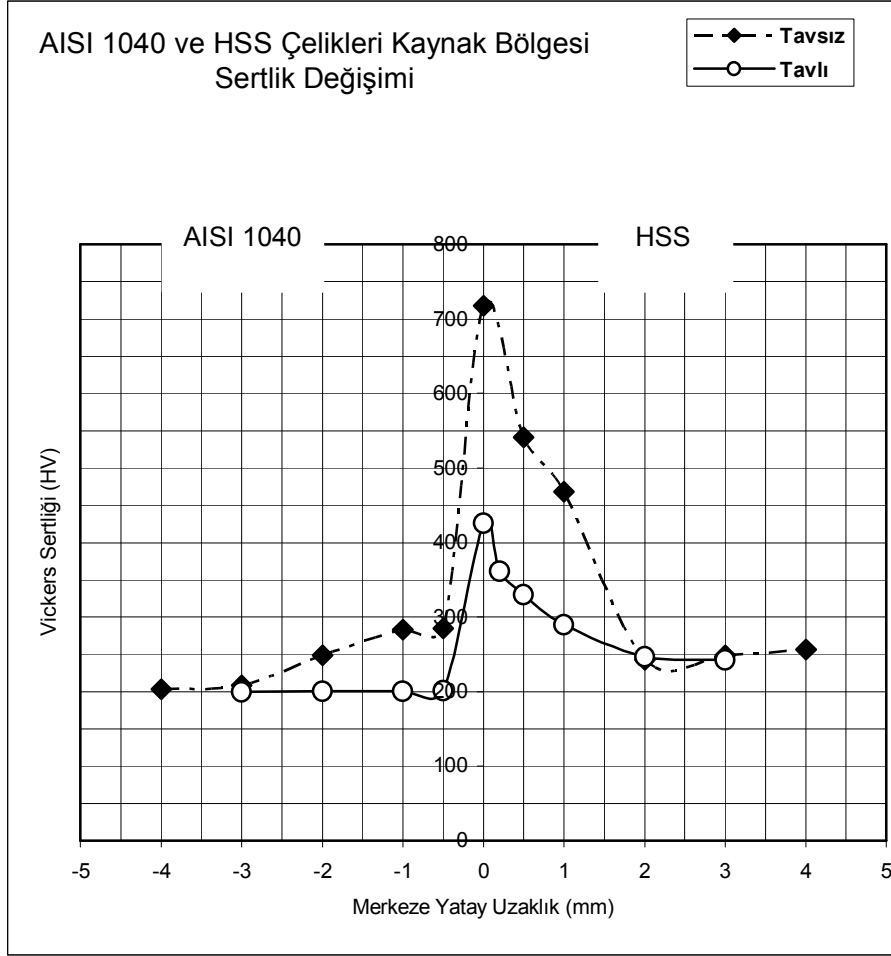
Tavlama uygulanan parçalarda orta karbonlu çeliğin yapısı hala ferrit ve perlit olarak gözlemlenmektedir (Şekil 6.10). Ve bileşimin yüksek hız çeliği tarafında ise, karbidin oldukça ince bir yapıda bulunduğu bir karbürize alan gözlemlenmektedir (Şekil 6.11).

6.2.3. Kaynaklanan Parçaların Sertlik Değişimleri

Birleştirilen parçaların mukavemeti, ITAB' daki sertlik değişimleriyle alakalıdır. Sertlik değişimleri, mikro sertlik testleriyle elde edilmiştir ve ölçüm bölgeleri Şekil 6.12.'de gösterilmiştir. Tavlama uygulanmış ve uygulanmamış birleştirmelerin merkeze yatay mesafedeki sertlik değişimleri Şekil 6.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Sertlik Testi Şematik Gösterimi



Şekil 6.13. Tavlı ve Tavsız Birleştirmelerde Sertlik Değişimi

Tavlama uygulanmamış parçalarda gözlemlenen sertlik değişimleri, 650°C 'de 4 saat boyunca tavlama tabii tutulmuş parçalardan daha yüksektir. Şuna dikkat edilmelidir ki; sertlik artışı, kaynak bölgesinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle, tavlama uygulanmayan parçalar, tavlama uygulanan parçalara göre daha kırılgan olmaktadır.

BÖLÜM 7. İRDELEME VE SONUÇ

Birleştirilen parçalara uygulanan çekme deneyi ve metalürjik deneyler ile deney sonuçlarına ait çekme dayanımı sonuçları ve sertlik dağılımları çizilen diyagramlarla geniş olarak Bölüm 6.'da gösterilmiştir.

Ayrıca birleştirilen parçalara ait makro kesit fotoğrafları ve parçaların içyapısındaki değişimler, yine Bölüm 6.'da çekilen fotoğraflar yardımıyla verilmiştir.

Bu bölümde, Bölüm 6.'da verilen grafiklerin ve içyapıların yorumları yapılmaktadır.

İlk olarak birleştirilen parçalara uygulanan çekme deneyleri, ikinci olarak parçaların kaynak bölgelerindeki sertlik değişimleri ve son olarak ta bu parçalardaki içyapı değişimleri yorumlanmaktadır.

7.1. Çekme Deneylerinin Yorumu

AISI 1040 ve HSS çeliklerinin eşit çaplı birleştirmelerine uygulanan çekme deneylerinin çekme dayanımı-sürtünme süresine bağlı değişimi Şekil 6.5 'da gösterilmektedir. Deneylerde sürtünme basıncı, yığma basıncı ve yığma süresi sabit tutularak sürtünme süresi $(t_s)=1,5$ ile 5 sn arasında alınarak en iyi sonucun 4 sn. civarında olduğu bulunmuştur. Düşük sürelerde yeterli ısının oluşmadığı, daha uzun sürelerde ise malzemenin yığılmadan öteye erimeye başladığı görülmüştür.

AISI 1040 ve HSS çeliklerinin eşit çaplı birleştirmelere uygulanan çekme deneylerinin çekme dayanımı-sürtünme basıncına bağlı değişimi Şekil 6.4 'de gösterilmektedir. Deneyler sürtünme süresi, yığma süresi ve yığma basıncı sabit tutularak, sürtünme basıncı $(P_s)=30$ ile 150 MPa arasında alınarak yapıldığında artan sürtünme basıncı ile çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Ancak en iyi birleşmenin 110 MPa civarında olduğu bulunmuştur.

Daha önce de belirtildiği gibi, birleştirilen parçaların çekme mukavemetleri, sürtünme zamanı ve basıncıyla artmakta, fakat bir noktadan sonra sürtünme zamanı ve

basıncının artmasına karşılık çekme mukavemeti azalmaktadır. Kaynağın yüksek hız çeliği tarafında, “bright shiny” (yüzük şeklinde parlak bir halka) denilen bir alan gözlemlenmiştir. Birçok literatürde bahsedilen bu alan birleşim yerlerinin kırılma mukavemetini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda çekme mukavemetinin azalmasına da sebep olur. Bununla birlikte, optimum parametrelerin kullanılmasıyla elde edilen çekme mukavemeti yeterince yüksektir. Kaynak yapılan parçaların çekme mukavemeti, daha düşük mukavemeti olan AISI 1040 çeliğinin mukavemetine yakındır.

7.2. Mikroyapı ve Sertlik Yorumu

Makro ve mikro yapı incelemelerinde anlaşılmaktadır ki, yüksek hız çelikleriyle orta karbonlu çeliklerin kaynaklanmasında oluşan dekarbürizasyon alanı, kaynak yerinin hemen yanındaki orta karbonlu çelik tarafında oluşmaktadır. Bu nedenle bu alan, kaynak bölgesinin en zayıf kısmını teşkil etmektedir. Fakat bu bölgenin çekme mukavemeti yine de hemen yan taraftaki orta karbonlu çeliğin mukavemetine yakındır.

Şekil 6.13’den görülebileceği gibi, tavlama sonrası orta karbonlu çelik tarafındaki sertlik değişimleri, kaynaklamadan sonraya göre daha düşüktür. Bu da kaynak sonrası tavlama esnasında meydana gelen azaltılmış soğuma hızının bir sonucudur. Ara yüzeydeki bu sertlik düşüşü dekarbürizasyonun göstergesidir. Sertlik, karbürleme sonucunda, kaynak bölgesi sertliğine yaklaşacak kadar artmasına rağmen, yüksek hız çeliğine tavlama uygulanmasından dolayı da azalma göstermektedir.

KAYNAKLAR

ANIK, S., "Kaynak Teknolojisi El Kitabı", İstanbul,1993.

ANIK, S., DİKİCİOĞLU, A., VURAL, M., ‘İmal Usulleri’, Birsen Yayınevi, 1999.

ARAN, A., ‘Metal Döküm Teknolojisi ’, Birsen Kitapevi, 1993.

DOBROVIDOV, A.N., et al, ‘Selection Of Optimum Conditions For The Friction Welding Of High- Speed Steel 45’, Weld.Prod., 22- 26. 1975.

ELLIS, C.R.G., ‘Friction Welding: Where Industry Uses It’, Weld. Design And Fab., 78- 81. 1976.

ELLIS, C.R.G., ‘Friction Welding, Some Recent Applications Of Friction Welding’, Weld. And Metal Fab., 207- 213. May 1977.

FOMICHEV, N.I., ‘The Friction Welding Of New High Speed Tools Steels To Structural Steels’, Weld. Prod., 35- 38. 1980.

FRITZ, J., STAUDINGER, H., ‘Microstructural In Investigations On Friction Welded Joints Between Heat Treatable And High Speed Tool Steel, A Comparison Between Flash Butt Welding And Friction Weding Techniques Including Some Practical Investigations’, Praktische Metallographie, 197- 211. 1974.

GÜRLEYİK, M.Y., "Döküm Parçalarının Sürtünme Kaynağı", Mühendis ve Makina Cilt: 30 Sayı: 357 Ekim 1989, sa: 13-17.

GOURD, L.M., ‘Principles of Welding Technology’ 3rd Edition , Hodder Headline PLC., 1995, sa: 1-12.

ISHIBASHI, A., EZDE, S., TANAKA, S., “Studies On Friction Welding Of Carbon And Alloy- Steels”, Bulletin Of The JSME, 1080- 1087. June 1983.

KATO, M., KAGAYA, C., KAVAGUCHI, Y., TOKISUE, H., "Influence Of Normalition On Impact Fracture Behavior Of Friction Welded Joints", Transactions Of The Japan Society Of Mechanical Engineers, Part A v 62 n 602 Oct. 1996, p: 2236-2241.

KOBAYASHI, A., IWASE, K., “Study On The Amount Of Upset Of Friction Welding”, Bulletin Of The JSME, 385- 390. July 1989.

KURBAN, A. O. , KAHRAMAN, N. , "Farklı Metallerin Sürtünme Kaynağı Ve Kaynak Parametrelerinin Kaynak Üzerine Etkisi", 6. Denizli Malzeme Sempozyumu Sa: 226-235, 12 - 13 - 14 Nisan 1995.

KURUZAR, D. L., “Joint Design For The Friction Welding Process”, Welding Journal, 31-35, June, 1979.

LANGE, K., “Handbook Of Metal Forming”, McGraw-Hill Book Comp., 1985.

LYSOV, V.S., NAZAROV, V.P., FAIN, M.L., MAKAROVA, T.A., FADEEVA, L.N. “Friction Welding 38KhS Steel Components With A Large Cross Secton”, Weld. Prod., 22- 24. April 1983.

MURTI, K.G., SUNDARESAN, S., “Structure And Properties Of Friction Welds Between High- Speed Steel And Medium- Carbon Steel For Bimetal Tools”, Mat. Sci. And Tech. 865- 870. Aug. 1986.

NENTWIG, A. W. E. , APPEL, L., " Friction Welding Of Cross Section Of Different Sizes", Schweissen Und Schneiden/ Welding & Cutting v 48 n 12 Dec. 1996. PE 236 - E237 4qq.

NENTWIG, A. W.E., JENICEK, A., "Research Into The Possible Applications Of Friction Stud Welding", Welding Research Abroad v 42 n 2 Feb. 1996., p: 36-40.

NICHOLAS, E.D., “Friction Welding”, Engineering, 275- 278. Sep. 1970.

NICHOLAS, E.D., “Radial Friction Welding”, Weld J., 17- 29. July 1983.

OTMANBÖLÜK, A.N., “ Sürtünme Kaynağı Prosesleri Üzerine Bir Araştırma “, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, sa: 507-511, 2-3-4 Nisan 1997.

POPANDOPULO, A.N., TKACHEVSKAYA, G.D., “Structure Of Shiny Nonfusion Rings In Friction Welded High- Speed Steels, Met. Sci. And Heat Treat., 152- 154. Feb. 1977.

RAJAMANI, G.P., SHUNMUGAM, M. S., RAO, K. P., “Parameter Optimization And Properties Of Friction Elded Quenched And Tempered Steel”, Weld. J., 225s- 230s. June 1992.

RICH, T., ROBERTS, R., “Thermal Analysis For Basic Friction Welding”, Met. Const. And British Weld. J., 93- 98.March 1971.

ROBAKOVSKI, T., CHUKHRYI, Y., “The Fatigue Strngth Of Friction Welded Joints”, Automatic Welding, 43- 46. 1985.

SHINODA, T., HO, K., YAMASHITA, R., "Effects Of Friction Welding Parameters On Mechanical Properties of Cast Iron Joints", Quartely Journal Of The Japan Welding Society, 12-3 Aug. 1994, p: 328-334.

ŞAHİN, A. Z. , YILBAŞ, B. S. , AL – GARNİ., " Friction Welding of Al - Al , Al - Steel, and Steel – Steel Samples", Journal of Materials Engineering and Performnce v 5 n 1 Feb1996.P89-99

ŞAHİN, M., “Sürtünme Kaynağı İle Birleştirmede Parça Boyutları ve Plastik Şekil Değişirmenin Etkilerinin Araştırılması”, T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Edirne, 2001.

ŞAHİN M., “Joining with Friction Welding of High-Speed Steel and Medium-Carbon Steel”, Journal of Materials Processing Technology, Volume 168, Issue 2, 2005, pp. 202-210.

VOİNOV, V.P., et al, “Impact Bend Strength Of Friction- Welded Joints In Steel 20 40Kh”, Weld. Prod., 62- 64.

YILMAZ, M., " Farklı Takım Çeliklerinin Birleştirilmesinde Yakma Alın Ve Sürtünme Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, sa: 156-168, 24-25-26 Nisan 1991.

YILMAZ, M., " Farklı Takım Çeliklerinin Sürtünme Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi", Doktora Tezi, 1993.

YILMAZ, M. , KALUÇ, E., KARAGÖZ, Ş. , TÜLBENTÇİ, K. , "Alaşimsız C45 Ve HS 6-5-2 Yüksek Hız Çeliği Çiftinin Sürtünme Ve Yakma Alın Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mikroyapısal Analizi", 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, sa: 185-196, 12 - 13 - 14 Nisan 1995.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih SÖNMEZ 1977 yılında Bornova-İzmir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini burada tamamladı. 1995 yılında Işıklar Askeri Lisesi’nden, 1999 yılında Kara Harp Okulu’ndan mezun oldu. 2002 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2006 yılı atamalarıyla Tatvan garnizonuna atandı. Halen görevine devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babası olan Fatih SÖNMEZ, İngilizce bilmektedir.