

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**AISI 4340-AISI 2205 MALZEME ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİ
İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmut YALÇINÖZ

(122130107)

Anabilim Dalı: Metalürji ve Malzeme Mühendisliği

Programı: Üretim metalürjisi

Danışman: Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

EKİM - 2016

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 4340-AISI 2205 MALZEME ÇİFTİNİN SÜRTÜNME KAYNAK
YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmut YALÇINÖZ

(122130107)

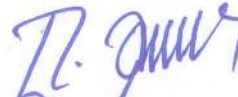
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22.09.2016

Tezin Savunulduğu Tarih: 12.10.2016

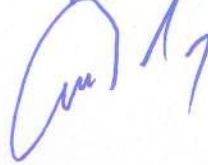
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ



Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR



Doç. Dr. İhsan KIRIK



EKİM - 2016

ÖNSÖZ

Bu çalışma sürecinde benden yardımlarını hiç eksik etmeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ' ne, bana bilgi ve fikirlerinden istifade ettiren ve ayrıca bu çalışmamda benden yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Görevlisi Nida KATI ve arkadaşım Serkan KOCA' ya, kardeşim Recep YALÇINÖZ'e ve Mustafa AÇIK'a sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı bir borç bilirim.

Mahmut YALÇINÖZ



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ.....	4
3. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	10
3.1. Paslanmaz Çeliklerin Tarihsel Gelişimi	10
3.2. Paslanmaz Çelik Türleri.....	13
3.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler	14
3.2.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler	16
3.2.3. Dupleks Paslanmaz Çelikler.....	18
3.2.4. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler.....	20
3.2.5. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	22
4. ISLAH ÇELİKLERİ	24
5. KATI HAL KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	27
5.1. Difüzyon Kaynağı.....	27
5.2. Ultrasonik Kaynak.....	28
5.3. Patlamalı Kaynak.....	28
5.4. Soğuk Basınç Kaynağı	29
5.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı.....	30
5.6. Sürtünme Kaynağı	31
5.6.1. Yöntemin Tanımlanması.....	31

5.6.2.	Sürtünme Kaynağının Çeşitleri	34
5.6.3.	Kaynak Parametreleri	37
5.6.4.	Sürtünme Kaynağı Yapılabilen Parça Geometrilere	40
5.6.5.	Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları	41
5.6.7.	Sürtünme Kaynağının Avantajları	43
5.6.8.	Sürtünme Kaynağının Dezavantajları	44
6.	MALZEMELERE UYGULANAN MEKANİK TESTLER.....	45
6.1.	Tahribatsız Malzeme Muayene Yöntemleri	46
6.1.1.	Radyografi - X ve Gama	46
6.1.2.	Magnetik Partikül Yöntemi	47
6.1.3.	Penetrant Yöntemi	48
6.1.4.	Ultrasonik Muayene	50
6.1.5.	Girdap Akımları (Eddy-Current) Yöntemi	50
7.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	52
7.2.	Kaynak Öncesi İşlemler	52
7.2.1.	Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri	52
7.2.2.	Sürtünme Kaynak Numunelerinin Hazırlanması	53
7.2.3.	Sürtünme Kaynak Tezgâhı	53
7.3.	Kaynak Sonrası Yapılan İncelemeler	55
7.3.1.	Metalografik İncelemeler	55
7.3.2.	Mikrosertlik Analizi	57
7.3.3.	Çekme Deneyi	58
7.3.4.	Radyografi Testi	59
8.1.	Kaynaklı Numunelerin Makroskobik Değerlendirmesi	62
8.1.2.	2000 dev/dk ile Birleştirilen Kaynaklı Bağlantıların Makroskobik İncelemeleri	63
8.1.3.	2100 dev/dk ile Birleştirilen Kaynaklı Bağlantıların Makroskobik İncelemeleri	65
9.1.4.	2200 dev/dk ile Birleştirilen Kaynaklı Bağlantıların Makroskobik İncelemeleri	66

8.2.	Kaynaklı Bağlantıların Mikro Yapı Değerlendirmesi.....	68
8.2.1.	2000-2100 dev/dk ile Birleştirilen Numunelerin Optik, EDS ve X-Ray Analizleri	71
8.2.2.	2100 -2200 dev/dk ile Birleştirilen Numunelerin Optik, EDS ve X-Ray Analizleri	76
8.3.	Mikrosertlik Analiz Sonuçları.....	81
8.3.1.	2000-2100-2200 dev/dk İle Birleştirilen Numunelerin Mikro Sertlik Sonuçları	82
8.3.2.	2000- 2100-2200 dev/dk İle Birleştirilen Numunelerin Mikro Sertlik Sonuçları	83
8.4.	Kaynaklı Bağlantıların Mekanik Özelliklerine Ait Sonuçlar	84
8.4.1.	Çekme Test Sonuçları	84
9.	GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
9.1.	Genel Sonuçlar	94
9.2.	Öneriler	95
	KAYNAKLAR	96

ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte, farklı malzemelerin birleştirilerek kullanılması gereksinimi ortaya çıkmıştır. İki farklı alaşımdaki çeliğin birleştirilmesinde en uygun yöntem kaynaklı birleştirmedir. Kaynak işleminin sonrasında, kaynak bölgesinin özelliklerinin, birleştirilen çeliklerin özelliklerinden farklı olması önemli soruları ortaya çıkarmıştır. Değişik kaynak yöntemleri içerisinde ergitme kaynak yöntemlerinin kullanılması, bu soruları daha da artırmaktadır.

Ergitme kaynak yöntemleri ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde genellikle kaynakçıdan kaynaklanan kaynak hataları kaynatılan kaynak malzemesinin soğuması esnasında kaynaklanan kaynak hatalarının minimuma indirilmesi için katı hal kaynak yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, piyasada yaygın kullanım alanına sahip AISI 4340 ıslah çeliği ile AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğinin farklı devir sayılarında sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Elde edilen bu kaynaklı bağlantılarda arakesitte oluşan yapıların metalografik değerlendirilmesi yapılmış, çekme ve çentik darbe deneyi gibi mekanik testler ile mekanik davranışlar amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın birinci bölümünde konuya giriş yapılmıştır. İkinci bölümde güncel çalışmanın literatürdeki yeri ve öneminden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde paslanmaz çeliklerden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ıslah çeliği hakkında genel bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde ergitme kaynak yöntemleri anlatılmıştır. Altıncı bölümde katı hal kaynak yöntemleri anlatılmıştır. Yedinci bölümde tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemi anlatılmıştır. Sekizinci bölümde deneysel çalışma yapılmıştır. Dokuzuncu bölümde deneysel çalışma ve değerlendirme yapılmıştır. Onuncu bölümde genel sonuçlar ve öneri anlatılmıştır.

Anahtar Kelime: AISI 4340, AISI 2205, Sürtünme kaynağı, Mikroyapı, Mekanik testler.

SUMMARY

WELDABILITY OF AISI 4340-AISI 2205 MATERIALS BY USING FRICTION WELDING METHOD

Today, with advances in technology, the combined use of different materials need has arisen. Combining the two different alloy steel welded joints is the most appropriate method. After the welding process, the characteristics of the source, has revealed important questions to be different from the properties of the combined steel. The use of fusion welding methods in various welding methods, this problem is exacerbated.

The formation of internal stresses at the macro level there is no clear method of error sources during the fusion welding process and cooling is an important disadvantage of this method, which reduces the strength of the source. Joining this reason, materials of different compositions to a melting absence of the event or be limited, much less resources free from defects have been used, and solid state welding methods since it has minimal internal stresses after welding.

In this study, with widespread use on the market with AISI 4340 steel smelting most widely used treatment for its class AISI 2205 duplex is coupled by friction welding of stainless steel at different speeds. The resulting structure of these welded joints was evaluated metallographic formed in the intersection, drawing and aimed mechanical behavior with mechanical tests, such as notch impact test.

In the first section this study, it was made introduction to the subject. In the second section, the place and importance in the literature of the actual study were mentioned. In the third section, general information about stainless steel were given. In the fourth section, general information about tempering steel were given. In the fifth section, general information about fusion welding methods were given. In the sixth section, general information about solid-state welding methods were given. In the seventh section, general information about destructive and non-destructive inspection method were given. In the eighth section, the information about experimental study were given. In the ninth section, the information about experimental study and evaluation were given. In the tenth section, the information about results, discusses and suggestions.

Keywords: AISI 4340, AISI 2205, Friction welding, Microstructure, Mechanical testing.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Sürtünme Kaynağının Uygulama Şekilleri .	2
Şekil 3.1.	Demir krom faz diyagramı	13
Şekil 5.1.	Difüzyon kaynağı	27
Şekil 5.2.	Patlamalı kaynağın şematik olarak gösterilişi	29
Şekil 5.3.	Soğuk basınç kaynağının şematik görünümü	29
Şekil 5.4.	Sürtünme karıştırma tekniği	30
Şekil 5.5.	Sürtünme kaynağı işlemi	31
Şekil 5.6.	Sürtünme kaynağı işlem basamakları	32
Şekil 5.7.	Sürtünme kaynağının uygulanma şekilleri	33
Şekil 5.8.	Yörüngesel hareketle sürtünme kaynağı	33
Şekil 5.9.	Lineer titreşim hareketi ile sürtünme kaynağı	34
Şekil 5.10.	Sürtünme kaynak cihazı ve donanımı	34
Şekil 5.11.	Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı	35
Şekil 5.12.	Klasik sürtünme kaynak parametreleri	35
Şekil 5.13.	Volan tahrikli sürtünme kaynağı	36
Şekil 5.14.	Volan tahrikli sürtünme kaynak parametreleri	37
Şekil 5.15.	Sürtünme kaynağına uygun parça kesitleri	40
Şekil 5.16.	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş dizel motor pistonu	41
Şekil 5.17.	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş egzoz supapları	41
Şekil 5.18.	Ticari araçlarda kullanılan, sürtünme kaynağı ve sıcak presleme uygulanmış “V” çeki kolları	42
Şekil 5.19.	Ticari araçlarda sürtünme kaynağı uygulanmış çeki kolları	42
Şekil 5.20.	Sürtünme Kaynağı ile imal edilmiş uçak parçası	42
Şekil 5.21.	Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş parçalara örnekler	43
Şekil 6.1.	Magnetik partikül çatlak kontrolünün temel prensibi	48
Şekil 6.2..	Penetrant ve geliştiriciye ait kalıntıları gidermek için yapılan temizlikler..	49
Şekil 6.3.	Ultrasonik muayene yönteminin çalışma prensibi	50
Şekil 6.4.	Girdap Akımları Kullanarak Hata Tespiti	51
Şekil 7.1.	Sürtünme kaynak numuneleri	53
Şekil 7.2.	Sürekli tahrikli sürtünme kaynak tezgâh fotoğrafı	53

Şekil 7.3.	Malzeme çiftinin birleşme düzenini gösteren resim	54
Şekil 7.4.	Metalografik İncelemelerde kullanılan numuneler	55
Şekil 7.5.	Metalografik İncelemeler için hazırlanan numune boyutları	56
Şekil 7.6.	Mikrosertlik cihazı	57
Şekil 7.7.	Mikrosertlik ölçümü yapılan noktaların şematik gösterimi	58
Şekil 7.8.	Çekme deney numunelerine ait ölçüler	58
Şekil 7.9.	Çekme deney numunesi	59
Şekil 7.10.	Çekme deney cihaz.....	59
Şekil.7.11.	Radyografik testin çalışma prensibi	60
Şekil.7.12.	X-ray cihazında 500 kV bir gerilimle belirlenen derin penetrasyon kalınlığı ve malzeme grafiği	60
Şekil 7.13.	Rigaku marka Radioflex -300EGS3 tipi cihaz.....	61
Şekil 7.14.	Film, penetrometer, şablonlu kalıp, ışın kümesi.....	61
Şekil 8.1.	Kaynak bölgesinde oluşan flanş ve IEB’ nin gösterimi.	62
Şekil 8.2.	boya kısalma miktarı ve flanş geometrisine ait özellikler.....	62
Şekil 8.3.	N1, N2, N3ve N4 no’lu numunelere ait yüzey ve ara yüzey fotoğrafları.	64
Şekil 8.4.	N5, N6,N7,N8 no’lu numunelere ait yüzey ve ara yüzey fotoğrafları	65
Şekil 8.5.	N9, N10, N11 ve S10 no’lu numunelere ait yüzey ve ara yüzey fotoğrafları.	67
Şekil 8.6.	AISI 4340 çelik malzemenin SEM fotoğrafı.....	68
Şekil 8.7.	AISI 2205 çelik malzemenin SEM fotoğrafı.....	69
Şekil 8.8.	Mikroyapı değişikliğinin meydana geldiği bölgeler	71
Şekil 8.9.	N1, N2, N4, N5 ve N6 no’lu numunelerin arayüzey Optik görüntüleri.....	72
Şekil 8.10.	N1 no’ lu numunenin X-Ray analiz grafiği.....	74
Şekil 8.11.	EDS, sürtünme kaynaklı S1 numunenin kaynak ara yüzeyi boyunca analiz.	75
Şekil 8.12.	N7, N8, N9, N10, N11 ve S12 no’lu numunelerin arayüzey optik görüntüleri.	77
Şekil 8.13.	N9 no’ lu numunenin X-Ray analiz grafiği.....	78
Şekil 8.14.	EDS, sürtünme kaynaklı S9 no’lu numunenin kaynak ara yüzeyi boyunca analizi... 80	
Şekil 8.15.	Mikrosertlik ölçüm sonuçlarının değiştiği bölgeler [84].....	81
Şekil 8.16.	N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 no’lu numunelerde kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımları.....	82
Şekil 8.17.	N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no’lu numunelerde kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımları.....	83

Şekil 8.18.	AISI 4340 ve AISI2205 çekme testi sonunda elde edilen kırık yüzey makro fotoğrafı.	84
Şekil 8.19.	Çekme test sonuçlarına ait grafik.	85
Şekil 8.20.	Çekme deneyi sonunda kırılan parçaların şematik gösterimi.	85
Şekil 8.21.	N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 no'lu numunelerin çekme testi sonunda ki kırık yüzey makro fotoğrafları.	87
Şekil 8.22.	Çekme test sonuçlarına ait grafik.	88
Şekil 8.23.	N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no'lu numunelerin çekme testi sonunda ki kırık yüzey makro fotoğrafları.	90
Şekil 8.24.	N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 no'lu numunelerin Ara yüzey sıcaklıkları.	91
Şekil 8.25.	N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no'lu numunelerin Ara yüzey sıcaklıkları.	92
Şekil 8.26.	Film inceleme cihazı	92
Şekil 8.27.	Numunelerin radyografik test fotoğrafları	92

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1.	Ferrit, östenit oluşturuıcı elementler ile nötr elementler ve etkileri	12
Tablo 3.2.	Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler	15
Tablo 3.3.	II. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler	15
Tablo 3.4.	III. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler	16
Tablo 3.5.	AISI 200 ve 300 serisi östenitik paslanmaz çelikler	17
Tablo 3.6.	Ticari olarak kullanılan dubleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri	20
Tablo 3.7.	Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri	21
Tablo 3.8.	Standart tip martenzitik paslanmaz çelikler	22
Tablo 3.9.	Martenzitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığı mekanik özellikleri	23
Tablo 4.1.	ıslah çeliğinin ve 2205 DPÇ Kimyasal Kompozisyonu	25
Tablo 4.2.	4340 ıslah çeliğinin ve 2205 DPÇ mekanik özellikleri	25
Tablo 4.3.	4340 ıslah çeliğinin ve 2205 DPÇ fiziksel özellikleri	26
Tablo 5.1.	Malzemeler ve sürtünme kaynağına uygunluğu	39
Tablo 7.1.	AISI 4340-AISI 2205 malzeme çiftinin kimyasal kompozisyonu	52
Tablo 7.2.	AISI 4340-AISI 2205 malzeme çiftinin fiziksel özellikleri	53
Tablo 7.3.	sürtünme kaynağında kullanılan parametreleri	55
Tablo 8.1.	Kaynak parametrelerine bağlı olarak boyca kısalma miktarlar	63
Tablo 8.2.	N1, N2, N3 ve N4 no'lu numunelerdeki boyca kısalma miktarı	65
Tablo 8.3.	N5, N6, N7, N8 no'lu numunelerdeki boyca kısalma miktarı	66
Tablo 8.4.	N9, N10, N11, N12 no'lu numunelerdeki boyca kısalma miktarı	68
Tablo 8.5.	N9, N10 no'lu numunelerdeki boyca kısalma miktarı	69
Tablo 8.6.	N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 no'lu numunelere ait çekme deney sonuçları	86
Tablo 8.7.	N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no'lu numunelere ait çekme deney sonuçları	89
Tablo 8.8.	Kaynak kusurları ve radyografik görüntünün tanımı.	93

1. GİRİŞ

Malzeme ve üretim yöntemlerindeki gelişmelere paralel olarak farklı malzemelerin bir arada kullanım ihtiyacı günümüzde daha da önem kazanmıştır. Tasarım aşamasında fiziksel, mekanik ve metalürjik özelliklerine göre belirlenen malzemeler son ürün aşamasında aynı veya farklı tür malzemeler ile birleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü aynı yapı içerisinde malzemelerin kendine ait özelliklerinin etkili ve ekonomik olarak kullanılabilmesi konumlarına bağlıdır. Bu amaçla en sık kullanılan aynı zamanda en avantajlı yöntem kaynaklı birleştirmelerdir. Ancak kaynak işlemi sonrasında, birleştirilen malzemelerin özelliklerinde değişim olmakta ve birtakım problemler ortaya çıkmaktadır. Oluşan bu değişimin kabul edilebilir sınırlarda olması ve tasarımda sorun oluşturmamasına özel önem gösterilmelidir. Fakat birçok kaynak yöntemi içerisinde, ergitme kaynak yöntemlerinin kullanılması, ortaya çıkabilecek problemleri daha da artırmaktadır.

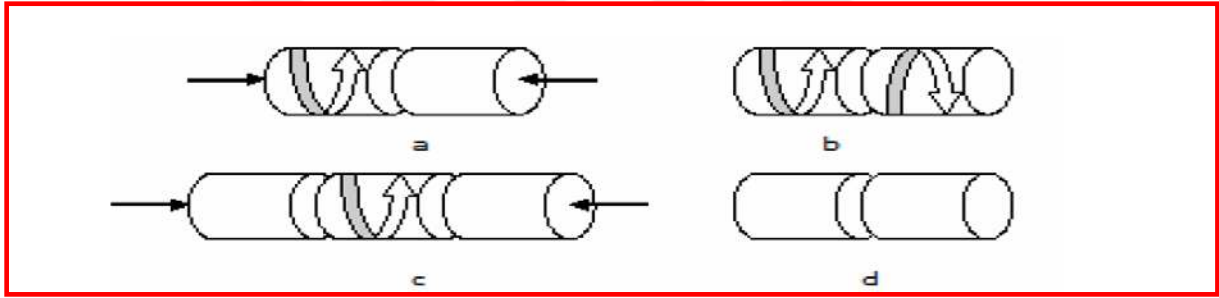
Ergitme kaynağı yöntemlerinin cüruf kalıntısı, porozite gibi kaynak hatalarına açık bir yöntem olması ve soğuma nedenli makro düzeyde iç gerilmelerin oluşması, bu yöntemler için büyük bir dezavantajları olup, malzemelerin kaynak edilebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Ergitme kaynak yöntemlerinde uygulanan işlem şartlarına bağlı olarak, malzeme veya yerel geometrik etkilerin oluşturduğu süreksizliklerde meydana gelen yüksek gerilmeler, kaynaklı bağlantıların hasar sürecinde önemli rol oynamaktadır. Bunun yanında farklı metallerin birleştirilmesinde; metallerin fiziksel, mekanik ve metalürjik özellikleri farklı olduğu için benzer özellikteki metallerin birleştirilmesine göre daha zordur. Bu sebeple farklı bileşimdeki malzemelerin özelliklerinden tam olarak yararlanabilmek için aralarında yüksek kalitede bir bağlantının sağlanması gerekir. Farklı metallerin birleştirilmesinde; eğer boyutları ve şekilleri müsaade ediyorsa, bir ergitme olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi, kaynak sonrası minimumun iç gerilmelere sahip olması nedenleriyle diğer kaynak tekniklerinin yetersiz kaldığı durumlarda, katı hal kaynak yöntemleri, ergitme kaynağı yöntemlerine göre büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Katı hal kaynak yöntemleri içerisinde ise; en önemlisi ve uygulanabilirliği en fazla olan sürtünme kaynağı yöntemi kullanılarak, farklı malzeme çiftleri farklı parametreler kullanılarak bilim adamları tarafından birleştirilmekte ve incelenmektedir.

Sürtünme kaynağı, biri sabit diğeri dönel harekete sahip iki parçanın ara yüzeylerinin sürtünmesi sonucunda mekanik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen ısıdan yararlanılarak parçaların birleştirildiği bir katı hal kaynak tekniğidir. Kaynak süresi boyunca

sürtünen yüzeyler eksenel basınç altındadır. Isıtma fazı ya da sürtünme fazı olarak adlandırılan bu süreç yüzeylerde plastik şekil verme sıcaklığı oluşana kadar devam eder. Çoğu durumda ısıtma fazı sonrasında dönme hareketi ani frenleme yapılarak durdurulur ve eksenel basınç iki kat artırılır. Basınç artırılarak normal şartlar altında eritilmeyen ara yüzeydeki ısıtılmış metal yığılır. Böylelikle kaynak bölgesi bir tür termomekanik işleme tabi tutulmuş olur ve bu bölge iyi bir tane yapısı gösterir. Bu nedenle diğer yöntemlerle kaynaklanamayan metaller ve metal alaşımları rahatlıkla kaynatılabilir.

Şekil 1' de sürtünme kaynağının uygulanması şematik olarak gösterilmektedir. Sürtünme kaynağı ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin birçoğu boruların kaynağında ve dairesel kesitli metal parçaların kaynağında kullanılmaktadır. Sürtünme kaynağı uygulamalarında sürtünmeyi oluşturan temel hareket dönme hareketidir ve dönme hareketi ile birlikte, yörüngesel hareket, lineer titreşim hareketi ve açısal titreşim hareketi de uygulanabilir. Böylece silindirik olmayan parçaların kaynağı da yapılabilir.



Şekil 1. Sürtünme Kaynağının Uygulama Şekilleri a) En çok kullanılan ve en basit uygulama şekli b) Yüksek dönme hızlarının gerekli olduğu küçük çaplı örnekler için uygun olan durumlarda c) Çok uzun iki parçanın birleştirilmesinde, d) Boruların kaynağı için geliştirilmiş ve radyal kuvvet etkisi altında dönel bir bilezikten yararlanılarak yapılan kaynağı göstermektedir.

İlave metal ve koruyucu gazın kullanılmadığı sürtünme kaynak yönteminde, kaynak kalitesinin artırılabilmesi için; uygun malzeme seçimi, kaynak dizaynı, sürtünme süresi, sürtünme basınç kuvveti, devir sayısı, yığma basınç kuvveti ve yığma süresi gibi birçok kaynak parametresi kontrol edilmelidir. Örnek geometrisi ve örneğin yapıldığı malzemeden kaynaklanan diğer parametreler de önemlidir.

Sürtünme kaynağında bir erime bölgesinin olmayışı, ısının tesiri altındaki bölgenin darlığı, yeterli mukavemette birleştirmelerin yapılabilmesi, kaynak için ihtiyaç duyulan enerjinin küçük olması, kaynak prosesinin kısa olması, işlemin tam otomatik olarak yapılabilmesi ve yeni malzemelerin mevcut kaynak yöntemleriyle kaynak edilmesi sırasında

meydana gelen sorunların üstesinden gelinebilmesi gibi avantajlarından dolayı, üzerinde sürekli araştırmalar yapılan bir alan olmuştur.

Islah elikleri, karbon oranı bakımından, sertleştirilmeye yatkın olan ve yüksek darbe dayanımı gosteren alaşımsız makine imalat elikleridir. Bu tür çelikler ıslah edildikten sonra farklı sanayi kollarında yapılan parçaların imalatında kullanılırlar.

Mikro yapı bakımından ferrit ve östenit eşit oranda içeren bu çeliklerin korozyona karşı dayanımları kimyasal kompozisyonu bakımından farklılık gstermektedir. Örneğin; Dupleks paslanmaz çelikler yüksek mukavemete sahipken östenitik paslanmaz çelikler çekirdeklenme, stres ve çatlak korozyonuna daha iyi bir dayanım gstermektedir. Dupleks paslanmaz çeliklerde %19 -28 arasında krom ve %5 'e kadar bulunan molibden, östenitik paslanmaz çeliklere göre daha az nikel içerdikleri için dupleks paslanmaz çeliklerin mukavemeti östenitik paslanmaz çeliklerin mukavemetinden daha düşüktür. En yaygın olarak bilinen dupleks paslanmaz elik kalitesi AISI 2205 kalitedir ve ferritik ve östenitik kalitelerin birçok avantajlarını birleştiren AISI2205 DP eliği en yaygın kullanılan dupleks paslanmaz çeliktir. Yüksek korozyon dayanımı ve mukavemet için AISI 2205 DP elikler kullanım alanı bakımından ısı değiştiriciler, basınç tankları boruları ve tüpleri, kimyasal proses, taşımacılık, stoklama, petrol ve gaz dağıtımı ile proses ekipmanı, deniz ve klorit ortamlarda, pre ve kağıt kazanları, kğıt makineleri gibi birçok endüstri alanlarında kullanılmaktadır.

2. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ

Sürtünme kaynağı ile kaynak yapma fikri eskilere dayanmaktadır. Ancak konu ile ilgili ilk patent 1891 yılında Amerikalı makinist I. H. Bevington tarafından alınmıştır. Daha sonraları konu ile ilgili 1924 yılında İngiltere ve Rusya, 1929 yılında Almanya patent almıştır. Başlangıçta boru ve plastiklerin kaynağında kullanılan bu teknik 1956 yılında Rus bilimci A. J. Chdicov, iki metal çubuğu sürtünme kaynağı ile birleştirmeyi başarmıştır. Sürtünme kaynağı konusu ile ilgili gerçek bilimsel çalışmalar 1956 yılından sonra başlamıştır ve usulün uygulama alanlarının geliştirilmesi doğrultusunda çalışmalar halen devam etmektedir. Özellikle yeni ve özellikleri geliştirilmiş malzemelerin üretilmesi ve bu malzemelerin mevcut kaynak yöntemleri ile kaynatılmasından doğan problemler, sürtünme kaynağı için geniş bir uygulama alanı bulmasını sağlamıştır. Sürtünme kaynağı ile ilgili ilk bilimsel çalışmalar malzeme ve diğer şartlara bağlı olarak parametrelerin belirlenmesi üzerinedir.

Bu konuda ilk ciddi esaslar V.I. Vill (1962) tarafından toparlanmıştır. Vill, sürtünme basıncının büyük bir öneme sahip olduğunu ve değişiminin geniş bir aralıkta olduğunu ifade etmiştir. Vill'e göre basınç, kaynak bölgesindeki sıcaklık derecesi ve eksenel kısalma miktarı ile kontrol edilir. Nümerik olarak 25 -250 MPa arasında değişir. Dönme hızı, hassasiyeti en az olan parametredir. Pratik olarak kaynak bağlantısını etkilemeksizin geniş bir değişim aralığı kullanılabilir[1].

Daha sonraları R. Y. Tylecote (1968) V.I. Vill' in çalışmaları da dahil olmak üzere kendisinden önce konu ile ilgili çalışmaları derlemiştir. R.Y. Tylecote bu çalışmasında en önemli parametre olarak eksenel basıncı ele almıştır. R.Y. Tylecote' ya göre eksenel basınç ara yüzeydeki sıcaklığı etkilemekte ve gerekli momenti sağlamaktadır. Ayrıca eksenel basınç ile birlikte yığma basıncı ve çevresel hızı da önemli üç parametre olarak belirlemiştir. Çeşitli araştırmalara dayanarak eksenel basınç değerini, yumuşak çelikler için 56.2 MPa, Orta karbonlu çelikler için 70.3 MPa olarak önermiştir[2].

P. Jennings (1971), 19 mm çaplı Cr-Mo/Cr çelik çifti kullanarak, kaynak öncesi ve sonrası ısıtım işlemleri uygulayarak değişken tutulan parametrelerde sürtünme kaynak işlemini gerçekleştirmiştir. Elde etmiş olduğu bu kaynaklı bağlantılara eğme, çekme ve yorulma testleri uygulayarak kaynak kalitesini belirlemede etkin olan parametreleri araştırmıştır. Numunelere uygulanan çekme testleri sonrasında bütün kopmalar kaynak bölgesi dışında olmuştur. Kaynak sonrası uygulanan ısıtım işlemlerin çekme özellikler üzerinde önemli etkileri olduğunu tespit etmiştir[3].

W. Lucas (1971) EN 3B yumuşak çeliğinden elde etmiş olduğu sürtünme kaynaklı numunelere eğme testi uygulamıştır. Bu çalışmada 1 sn. süre ile bir yığma basıncının uygulanmasının gerekli olduğunu, yüksek yığma basınçlarının yanı sıra kısa kaynak sürelerinin en iyi kaynak bölgesi yapısı verdiğini tespit etmiştir[4].

F. D. Duffin ve B. Crossland (1971) yumuşak çelikleri kullanarak elde ettikleri sürtünme kaynaklı numunelerde kaynak süresinin kısa ve yüksek yığma basıncının yüksek değerlerde olması daha ince taneli bir yapı verdiğini tespit etmişler. V. P. Voinov, ve arkadaşları (1972) 16 mm çaplı St 20 ve 40 KH elik çiftini $P_1 = 50$ MPa, $P_2 = 100$ MPa, $t_1 = 3$ sn ve $t_2 = 1.5$ sn değişkenlerini kullanarak yapmış olduğu sürtünme kaynaklı numunelere çentik darbe ve yorulma deneyleri uygulayarak $n = 1200/4200$ dev/dak. dönme hızının kaynak kalitesi üzerindeki etkisini belirlemek için parametre optimizasyonu yapmıştır. Yüksek dönme hızları çentik darbe dayanımında daha iyi sonuç verirken, yorulma deneyinde her iki dönme hızında da iyi sonuçlar alınmıştır[5].

A. N. Dobrovidov ve arkadaşları (1975) HSS-C 45 karbonlu elik çifti kullanılarak yapılan sürtünme kaynaklı numunelerin mikroyapısı üzerinde çalışmışlardır. Bu alışmada HSS tarafına doğru bir karbon difüzyonunun olduğu, dolayısıyla C 45 tarafında bir dekarbürize bölge olduğu ve kaynak sonrası ısıl işlem şartlarının bu dekarbürize bölgenin genişliği üzerinde çok etkili olduğu ortaya konulmuştur[6].

S. A. Seregin ve S. B. Sabantsev (1977) 14,1 mm çapında, kaynak öncesi çeşitli derecelerde deformasyona uğratılmış St 20 eliğini kullanarak, diğer kaynak parametreleri sabit kalmak şartıyla $n = 1200, 1400$ dev/dak. gibi iki ayrı dönme hızında birleştirilen sürtünme kaynaklı numunelere çentik darbe deneyi uygulamışlardır. Deney sonuçlarında yüksek dönme hızlarının daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir[7].

S. A. Westgate ve S. B. Dunkerton (1985) tarafından yapılan bir çalışmada, sürtünme kaynaklı C/Mn eliklerinde parametrelerin, kaynak sonrası ısıl işlemlerin ve malzemenin kükürt içeriğinin bağlantının tokluğuna etkisi, çentik darbe dayanımı testi uygulanarak araştırılmıştır. Bu tür kaynak süresinin kısa ve yüksek yığma basıncının yüksek değerlerde olması daha ince taneli bir yapı vermiş olduğunu tespit etmişlerdir[8].

K. G. K. Murti, S. Sundersan (1986) isimli araştırmacılar, sertleşme kabiliyeti çok iyi olan 22 mm çaplı sürtünme kaynağı yapılmış HSS- C 45 elik çifti için çentik darbe ve yorulma dayanımı testleri yardımıyla parametre optimizasyonu yapmışlardır. Deney alışmaları sonucunda yüzey pürüzlülüğün hassasiyetinin artırılmasıyla yorulma mukavemetinin arttığı ve sürtünme kaynaklı numunelerin bir matkap olarak kullanıldığında

yeterli dayanıma sahip oldukları görülmüştür[9].

M. Yılmaz (1993), 13 mm çaplı S-6-5-2 ve C 45 çelik çifti kullanılarak yapılan yakma alın ve sürtünme kaynaklı birleştirmelerde kaynak kalitesi kıyaslaması yapılmıştır. Sürtünme kaynaklı birleştirmeler sabit dönme hızı altında ($n= 1400$ dev/dak.) $t=5-6-8$ sn, $P_1=45-50-55$ MPa, $P_2= 90-100-120$ MPa değişken parametreleri kullanılarak kaynak sonrası $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de 4 saat süre ile tavlama yapılmıştır. Deney çalışmaları sonucunda artan sürtünme süresi, kaynak bölgesinde daha yüksek bir sertlik değeri verdiği, yığılma basınçlarındaki değişim ise maksimum sertliği pek etkilemediği görülmüştür. Birleştirme yöntemleri arasında yapılan kaynak kalitesi kıyaslamasında, sürtünme kaynaklı birleştirmeleri daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir[10].

O.bölükbaşı ve arkadaşları (1999), çapları 20 mm Al ve 18 mm Cu olan malzeme çifti kullanarak yapmış oldukları sürtünme kaynaklı numunelere çekme testi uygulayarak ve birleşme bölgesinde mikroyapı incelemesi yaparak kaynak kalitesini belirlemeye çalışmışlardır. Deney çalışmaları sonucunda, birleşme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklık ve deformasyon sonucu oluşan intermetalik fazlar sertlik değerini artırdığı görülmüştür. Yığılma basıncının bu fazlar alüminyum tarafına itmesi sonucu yapılan çekme deneylerinde kopmanın alüminyum tarafında olduğu görülmüştür[11].

Yılbaş ve arkadaşları (1994), çelik- alüminyum ve alüminyum- bakır malzeme çiftleri kullanarak yapmış oldukları sürtünme kaynaklı birleştirmelere yorulma, çekme ve çentik darbe deneyleri uygulayarak üç temel parametrenin (dönme hızı, sürtünme basıncı ve sürtünme süresi) kaynak kalitesi üzerine etkisi araştırılmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda, çelik-alüminyum kaynaklı birleştirmelerde yüksek dönme hızı ve sürtünme basıncın bir sonucu olarak meydana gelen aşırı deformasyon ile birlikte birleşme bölgesinin alüminyum tarafında ince bir intermetalik tabakanın oluştuğu görülmüştür. Ancak, yüksek dönme hızı ve sürtünme basıncı, temas yüzeyi üzerindeki alüminyum oksit filminin kırılmasını sağlayarak ara yüzeyde yeterli deformasyonu sağladığı görülmüştür. Alüminyum - bakır çifti kaynaklı numunelere uygulanan kırılma testi sonucunda kırılma yüzeyinde gri bir alüminyum tabakasının varlığından bahsedilmiştir[12].

N. Özdemir (2002), tane küçültülmüş ötektoid üstü çeliğin sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirliği ve AISI 4340/AISI 304L sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirliği üzerine yapmış olduğu çalışmada, kaynak parametrelerinden devir sayısı, sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin bağlantı kalitesi üzerine önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir[13].

M. Şahin, sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin (AISI 304) kaynak dayanımlarını ve mikro yapısal özelliklerini deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmada; sürtünme süresi ve sürtünme basıncının artması ile paslanmaz çeliklerin birleşme noktalarındaki gerilme dayanımlarının arttığı, belirli değerlerde maksimuma geldiği, ancak sürtünme süresi ve sürtünme basıncındaki artışın bağlantı mukavemetini düşürdüğü belirtilmiştir. Elde edilen bu maksimum gerilme dayanımı esas metalin gerilme dayanımının % 96'sı kadardır[14].

Satyanarayana vd, östenitik-ferritik paslanmaz çelik çiftini sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirmiş ve sürtünme kaynak işlemi sonrası kaynak parametrelerinin mekanik özellikler, mikro yapı ve kırılma davranışının üzerinde büyük etkisi olduğu ve iyi bir kaynağın kaynak parametrelerinin uygun bir şekilde yapılmasıyla mümkün olacağını bildirmiştir[15].

N. Özdemir ve N. Orhan, termomekanik işlemlerle tane boyutu küçültülmüş ötektoid üstü, ultra yüksek karbonlu çeliklerin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesini inceleyerek kaynak parametrelerinin mekanik özellikler ve mikro yapı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sürtünme kaynak işlemi sonrası elde edilen mikro yapı, mikro sertlik analizi ve mekanik testler sonucunda, kaynak parametrelerinin kaynakla birleştirilen bölgeler üzerinde çok büyük etkiye sahip oldukları bu parametreler içerisinde en büyük etkinin devir sayısı, sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin kombinasyonu ile elde edildiğini bildirmişlerdir[16].

Sathiya ve arkadaşları, geleneksel teknikler ve yapay sinir ağlarını kullanarak, paslanmaz çeliğin sürtünme kaynağındaki kaynak işlem parametrelerini, yaklaşık optimal ayarlarına karar veren bir metod ileri sürmüşlerdir. Bu amaçla sürtünme kaynağında istenilen çekme dayanımının ve minimum metal kaybının elde edildiği verileri kaynak proses parametrelerine karar vermede kullanmışlar. Çalışmaları ile geniş bir alan için uygun kaynak parametrelerinin nasıl elde edileceğini göstermişler ve evrimsel hesaplama tekniklerinden elde ettikleri sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır[17].

M. Şahin görüldüğü gibi, sürtünme kaynağı üzerine yapılan araştırmalar son derece geniş bir alana yayılmaktadır. Bu çalışmalarda, kaynak bölgesinin sıcaklığı ve ısı dağılımı en

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 800HVI' in üzerinde bir sertliğe sahip

martenzit yapılı bir bölge tespit edilmiştir. Karbonlu çelik tarafında ise maksimum sertlik 360 HVI civarında olup ara bölgenin C45çeligitarafında karbonca fakir ve kaba taneli bir bölge bulunmaktadır. Numunelere 2 saat süre ile 550 C de gerilme giderme ısıtma işlemi uygulandığında bağlantının HSS tarafında bir yaslanma 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.

C.R.G Ellis (1976, 1977) kendi yaptığı çalımsalar 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 zirvelerin relatif yüksekliklerinden karar vermişlerdir. Artık ostenit miktarına X ısınları analiz 40 metodu ile martenzitteki karbon miktarına X ısınları ve elektronoptical analiz metodu ile karar verilmiştir[18].

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 çeligi (SKH9) ve karbonlu çelik (C45) kullanmışlardır. SKH9/C45 çelik çifti için “d=15-20 mm V=2.6-3.5 /s1, Ps= 78-157 MPa, Py= 78-157 MPa, ts= 12-24 sn ve ty= 5 sn” parametrelerinde kaynak işlemi gerçekleştirmişlerdir. Değişik sürtünme kaynaklı malzeme kombinasyonlarına dönel 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 $P_2=2P_1$ önerilirken, SKH9/C45 çelik çifti için $P_2=P_1+0.3P_1$ elde edilmiştir. Ayrıca X ısınu ve elektron mikroskobu ile mikro yapı analizi yapılmıştır[19].

N. Özdemir, U. Çalığülü ve İ. Kirik (2012), yaptıkları çalışmada Sürtünmeli kaynak testleri gerçekleştirilmiştir doğrudan sürücü tipi sürtünme kaynak makinesini kullanarak. Sürtünme kaynak sonrası, birleştirme AA 6061 sürtünme alüminyum matris kompozit Al- % 5 Cu - SiCp performansı kaynaklı Eklemler okudu ve mikroyapı ve mekanik partikül boyutunun etkisi oldu sürtünme kaynaklı eklemlerin özellikleri de tahmin edilmiştir. Deneysel sonuçlar, Bu alüminyum matris kompozit ve AA 6061 alüminyum alaşım, sonunda katılmış

olabilir parçacık büyüklüğü ve takviye hacim oranı dirençte önemli bir rol oynadığı gözlemlenmiştir[20].

U. Çalığülü, M. Açıık, (2015), Bu çalışmada, sürtünme ara yüz özelliklerinin 1010 AISI kaynaklı düşük karbonlu çelik ve bakır alaşımları araştırılmıştır. Sürtünme kaynağı Testler doğrudan sürücü tipi sürtünme kaynağı kullanılarak yapıldı makinesi. Kaynaklı numunelerin sürtünme kaynak sonrası, ara yüz bölgelerini, mikroyapı değişimleri belirlemek için Optik mikroskopi, SEM- EDS ve X - ışını analizi ile incelenmiştir. Kaynaklı numunelerin Mikro-sertlikte ve çekme Testleri mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deney sonuçları AISI 1010 düşük karbonlu çelik ve bakır sürtünme kaynağı kullanarak düzgün bir şekilde birleştirilmiştir[21].

O. N. Tanicheva ve arkadaşları (1989), yapmış oldukları bir çalışmada, takım çeliklerinin kaynaklı kısımlarından kırılmaları sonrasında yüzeyde oluşan hata “parlak şerit” olarak tarif edilmiştir. Bu tür hatanın oluşmaması için araştırmacılar kaynak sıcaklığı ve sürtünme basıncının artırılmasını tavsiye etmişlerdir. C.R.G. Ellis (1977), literatüre dayanarak yapmış olduğu sürtünme kaynaklı bağlantılarda kaynak kalitesini etkileyen parametrelerin; dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi ve yığma basıncına bağlı olduğunu, ara yüzey sıcaklığı ve bağlantı kalitesi üzerine en etkin parametrenin dönme hızı olduğunu ileri sürmüştür.

3. PASLANMAZ ÇELİKLER

Çok genel bir tarif olarak. %2'den daha az karbon içeren ve %12 oranında krom(Cr) içeren demire çelik adı verilmektedir. %2'den fazla karbon içeren alaşım ise dökme demir olarak adlandırılır. Bileşimdeki karbon miktarı ve alaşım elementleri arttıkça çeliğin dayanımı yükselir. Plastik şekil değiştirme yeteneği azalır ve kırılabilirliği artarken, akma sınırında, sertliğinde ve yorulma dayanımında önemli artışlar olur. Çeliklere ısıtılarak işlem uygulanarak ve içerdikleri alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak mekanik özellikleri büyük ölçüde değiştirilebilir[47,48]. Çeliklerde; demir ve karbonun dışında üretimden gelen mangan, silisyum ve az miktarda fosfor ve kükürt bulunur. Bazı alaşım elementleri ise istenilen özelliklere göre ilave edilebilir ve alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak da çelikler sınıflandırılır.

3.1. Paslanmaz Çeliklerin Tarihsel Gelişimi

Demirin ilk kez üretimi M.Ö 1400 yıllarına rastlamaktadır. Zamanla demir alaşımları geliştirilmiştir. Demir, ilk olarak Cort 'un geliştirdiği bir yöntemle üretilmiştir. Daha sonra Henry Bessmer pinomatik sistemlerle seri çelik üretimini gerçekleştirmiştir. Zamanla günlük üretimi bir milyon tonu bulan elektrik fırınları ve oksijen üfleli konverterler geliştirilmiştir. Çeliğin seri bir şekilde üretilmesi ile malzeme bilimi çok önem kazanarak ilginç bir hal almaya başlamış ve bu konuda birçok araştırmalar yapılmıştır. 1890 yılına kadar çeliğin yapısı ve özellikleri hakkında metodik olarak yapılan araştırmalar mevcut değildi. 1920'li yıllarda metalürjistler metalürjik özellikleri araştırmak için x-ışını kırılmasından yararlanıyordu. Sonradan Sorby adlı araştırmacı tarafından mikroskobik teknikler kullanılmaya başlandı. Aslında, krom elementi Alman kimyacı M.H. Klaproth ve Fransız analizci L.N. Vaguelin tarafından 1797 yıllarında doğal filizlerinden kimyasal yollarla üretilmesine rağmen, paslanmaz karakteristikli demir-krom alaşımları yüzyıl sonrasına kadar keşfedilemedi. 1900-1915 yılları arasındaki dönemler ise, metalürjik buluşların artmaya başladığı dönemlerdir. Bu dönemlerde demirin allotropik yapısının incelenmesi ve demirin özelliklerine karbon elementinin etkileri araştırılmış, metal sistemlerindeki uygulamalar bilim adamları tarafından zamanla kabul edilmiştir. Demirin mikro yapısındaki dönüşümler mikroskopla, sıcaklık ölçümleri ise termokupullerle yapılmaya başlanmıştır. Dilatometre ve x-ışını gözlemleri ile ilgili yöntemler araştırılmıştır. Bu süreç, paslanmaz çeliklerin başlangıç periyodunu oluşturmaktadır. Carl Zapffe isimli bilim adamı paslanmaz çeliklerle ilgili kitabında ilk kez bu

Çelikleri incelemiş, daha sonra Almanya ve Fransa’da bu elik türleri ve kullanım alanları araştırılmıştır.

Alman bilimci paslanmaz çeliklerin korozyon direncini ve birçok özeliklerini, bu çeliklerdeki krom içeriğini molibden ve karbonun çeliğe etkilerini araştırmış; bu doğrultuda diğer araştırmacılar da, Amerika’da ve Avrupa’da paslanmaz çeliklerin endüstrideki önemini vurgulamışlardır. Giessen ve Porte isimli bilim adamları bu çeliklerde kullanılan alaşım elementlerinin endüstrideki yerini saptamışlardır. Östenitik paslanmaz çeliklerle ilgili 1940’lı yıllarda ortaya çıkan ilk yenilik östenit grubunda krom nikelli paslanmaz çeliklerde nikel elementi yerine krom’a manganın katılması işlemidir. II. Dünya Savaşı sırasında nikelin piyasada yeterince olmayışından doğan bir zorunluluk olarak bu alaşımlar, Avrupa’da geliştirilmiş ve standart gruplar haline getirilmiştir. Genellikle krom çeliklerinde, sadece krom ve manganez ile malzemeyi östenitik paslanmaz elik şekline getirmek mümkün değildir. Bu nedenle mangan elementi nikel kadar etkili olamaz, mutlaka bir miktar nikel’in (%5 oranının üzerinde) yapıya katılması zorunlu olmaktadır. Bu zorunluluk ise, Dünya’da çok az bir yerde üretilen ve çoğunluğunun Kanada gibi Avrupa’ya uzak olan bir ülkeden temin edilmesi nikel ihtiva etmeyen ve daha düşük maliyetli ferritik paslanmaz çeliklerin kullanımını cazip hale getirmiştir. Azot elementi bu çeliklerde östenit oluştırmada güçlü bir etkiye sahiptir. Nikelin bir kısmı yerine çeliğe mangan katılması mümkündür. Bu tür alaşımlarda azot miktarı en çok % 0.25’dir. Son yıllardaki II. büyük gelişme olarak paslanmaz çeliklere karbür yapıcı elementlerin katılması, katılan elementlerin çeliğe mükemmel metalürjik özellikler kazandırması ve buna bağlı olarak söz konusu çeliklerin kullanım alanlarının dikkate değer ölçülerde genişlemesi gösterilebilir [30].

Paslanmaz elik esas olarak oksitleyici ortamlarda paslanmayan çeliklerin genel adıdır. Özellikle nikel ve molibden, çeliğin paslanmazlık özelliğini iyileştirmek için alaşım yapımında kullanılsa da paslanmazlığı sağlayan element kromdur. Dünyada üretilen çeliğin çoğu karbonlu ve alaşımlı çeliktir. Bu çeliklere göre paslanmaz çeliklerin artan pazara sahip olduğu bilinmektedir. [32,33].

Paslanmaz yapı çeliklerinin karbon oranı da en çok %1,2’dir. Paslanmaz elikler normal atmosfer şartlarına ve suya karşı dayanımları yüksektir. Bu eliklerin korozyona karşı dayanımını artıran element ise kromdur. Kromun afinitesi demirden fazla olduğu için oksijenle birleşerek 20-30 mm kalınlığında pasif Cr_2O_3 tabakası oluştırur [32,34]. Bu film tabakası oksitleyici ortamlarda kararlı ve stabil olurken indirgen ortamlarda stabilitesini kaybeder ve tabaka incelmeye başlar. Film herhangi bir nedenle hasar görebilir. Bu durumda

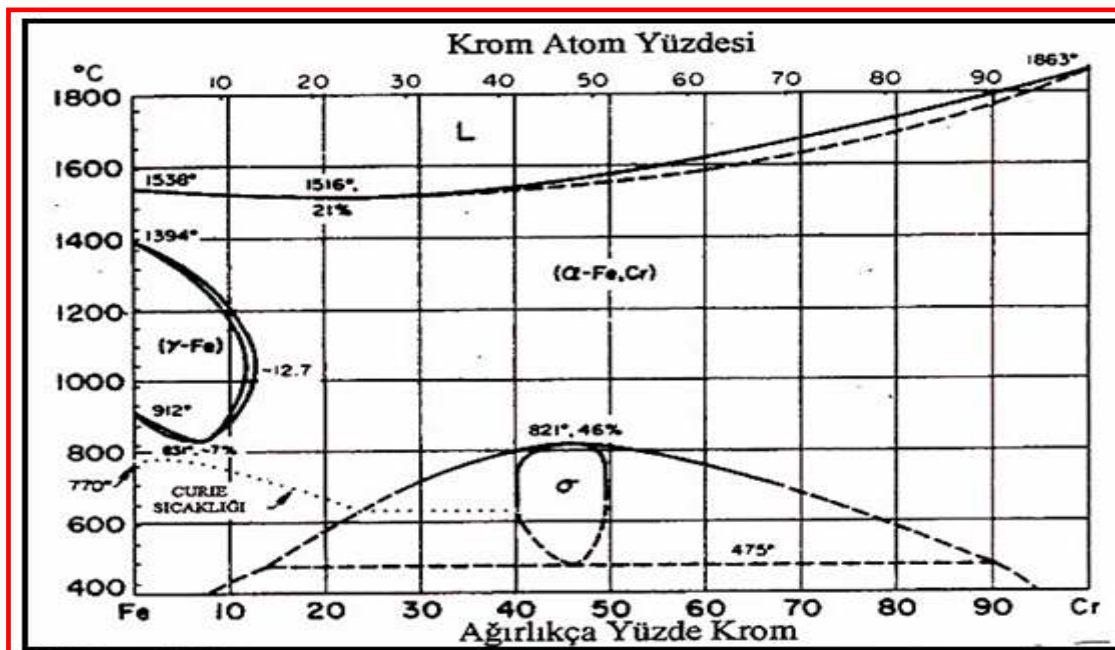
pasif film tabakası oksitleyici ortamlarda kendi kendini tamir eder. Artan krom, nikel ve molibden miktarı ile pasif film tabakasının stabilitesi artarken daha şiddetli korozif ortamlara karşı direnç de artar [32].

Paslanmaz çelikler içerisinde bulunan ferrit ve östenit oluşturuçu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Ferrit ve östenit oluşturuçu ve nötr elementlerin fonksiyonları Tablo 3.1’ de verilmiştir [28,36].

Tablo 3.1. Ferrit, östenit oluşturuçu elementler ile nötr elementler ve etkileri [28,36].

ELEMENT	ETKİLERİ
Krom	Ferrit oluşumunda etkili olmakta, malzemenin oksidasyon ve korozyon dayanımının yükselmesine katkı sağlamaktadır.
Molibden	Çeliğin Ferrit oluşturmada etkili bir element olup yüksek sıcaklıklarda korozyona karşı dirençlerinin artmasını sağlamaktadır.
Niobyum ve Titanyum	Bu elementler paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyon hassasiyetinin azaltılması amacıyla, karbonla birleşerek karbür oluşturmada için yapıya eklenmektedir. Niobyum karbür yapıcı element olup, ilave olarak tanelerin küçülmesine ve ferrit oluşumuna katkıda bulunmaktadır.
Fosfor, Kükürt, Selenyum	Paslanmaz çeliklerin işlenebilme kabiliyetini yükseltmekte ancak kaynak sırasında sıcak çatlak oluşmasına neden olması nedeniyle kaynak kabiliyetini sınırlamaktadır. Paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirildiğinde nüfuziyetin artmasına katkıda bulunmaktadır.
Karbon	Paslanmaz çelik malzemelerde kuvvetli östenit oluşturuçu element olup krom ile reaksiyona girerek taneler arası korozyona neden olan karbürleri oluşturmaktadır.
Nikel	Östenit oluşumunu sağlamakta ve paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklıkta direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliğini arttırmaktadır.
Azot	Östenit oluşumuna çok kuvvetli etkide bulunmakta olup, çoğu zaman östenit oluşturmada nikel elementi kadar etkilidir.
Bakır	Paslanmaz çeliklere, değişik ortamlarda korozyon dayanımlarını arttırmak amacıyla katılmaktadır ve yaşlanma yoluyla sertleşmeyi teşvik etmektedir.
Mangan	Düşük sıcaklıklarda östenitin kararlı olmasını sağlarken yüksek sıcaklıklarda ferrit oluşturmaktadır. Ayrıca manganez sülfat oluşturmaktadır.
Silisyum	Paslanmaz çelik malzemelerin tufallenmeye karşı dayanımını yükseltmekte olup yapıda %1’den daha fazla olması durumunda ferrit ve sigma oluşumuna etki etmektedir. Her tür paslanmaz çeliğe oksit giderme amacıyla düşük oranda eklenir. Akışkanlığı artırmakta ve kaynak metalinin ana metali daha iyi ısıtmasını sağlamaktadır.

Paslanmaz çeliklerin temelini demir-krom sistemi oluşturmakta olup Şekil 3.2’de demir krom faz diyagramı verilmiştir. Krom, hacim merkezli kübik (HMK) yapıya sahiptir. Demir karbon denge diyagramında yüzey merkezli kübik (YMK) kristal yapısına sahip östenitik yapı oluşturan bölge olan östenit (γ) kapalı hale getirir ve 1000 °C sıcaklığında % 12 kadar krom çözünürlüğüne sahiptirler. Yapıda % 12’den fazla krom içerdiğinde demir- krom alaşımları YMK’den HMK’e dönüşüm göstermezler.



Şekil 3.1. Demir krom faz diyagramı [36,37].

3.2. Paslanmaz Çelik Türleri

Farklı paslanmaz çelikler elde edebilmek amacıyla paslanmaz çeliklerin kimyasal birleşimleri değiştirilerek korozyona karşı dayanımı artırılmaktadır. Paslanmaz çeliklerde korozyon dayanımının değişmesi ve gelişmesiyle sanayi kolundaki talepleri karşılamada yeterli hale gelmiştir. [32,38].

Paslanmaz çelikler ile ilgili çıkan en son standart EN 10088'dir. Bu standartta paslanmaz çelikler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır.

1. Ferritik paslanmaz çelikler,
2. Östenitik paslanmaz çelikler,
3. Martenzitik paslanmaz çelikler,
4. Dublex paslanmaz çelikler,
5. Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler [32,34].

3.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler SAE – AISI 400 serisi paslanmaz çelikler sınıfındandır. Bu çelikler genellikle % 11-28 arasında Cr içeriğine sahiptirler.

Ferritik paslanmaz çeliklerin tamamı ergime sıcaklığından oda sıcaklığına kadar ferritik olarak bilinen hacim merkezli kübik (KHM) kristal kafes sistemine sahiptirler. Yüksek Cr içeriğine sahip alaşımlar, istenilmeyen tetragonal sigma (σ) fazının çökmesiyle gevrekleşebilirler. σ Fazı, yaklaşık 440 °C gibi düşük bir oluşum sıcaklığına sahiptir. Yüksek saflıklı ferritik paslanmaz çeliklerde, Cr ve Mo içeriği σ fazının çökeltme sıcaklığını yaklaşık 1000 °C'ye kadar yükseltir [39].

Ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çeliklerden daha yüksek akma dayanımı ve daha düşük süreklige sahiptirler. Oda sıcaklığında korozyon direncinin gerekli olduğu uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılırlar. Ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çeliklerden daha ucuzdurlar [40].

Ferritik paslanmaz çeliklerin darbe tokluğu üzerine parça kalınlığının önemli bir etkisi vardır. Bu çelikler, aynı zamanda soğutma hızı hassasiyetine sahiptirler. Soğutma hızına bağlı olarak karbür ve nitür çökelmeleri tane sınırları boyunca aynı hızda, matriste ise rastgele dağılıma sahiptir. Bu yüzden tane boyutu, süneklik ve tokluk açısından önemli bir faktördür.

Ferritik paslanmaz çelikleri üç grupta sınıflandırabiliriz. I. grup alaşımlar, standart ferritik paslanmaz çeliklerdir. II. grup alaşımlar, standart alaşımların biraz değiştirilmiş versiyonudur. III. grup alaşımlar ise çok düşük oranda ara yer elementi (C, N ve O) içerirler.

I.grup ferritik paslanmaz çelikler, korozyon ve yüksek sıcaklıklarda pul pul dökülmeye, yani hidrojen kırılganlığına karşı dayanıklıdır. Tablo 3.2'de standart tip I. grup ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri görülmektedir. Bu alaşımların kaynak işlemi sonrası martenzitik durum ve tane büyümesinden dolayı korozyon direnci, tokluk ve sürekliliğinin azaldığı bilinmektedir. Bu alaşımların kaynağında ön ısıtma ve kaynak sonrası ısıtma işlemi gereklidir [39].

Tablo 3.2. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler [39].

Tipi	% Bileşim			
	C	Cr	Mo	Diğer
429	0.12	14.0-16.0	-	-
430	0.12	16.0-18.0	-	-
430 F	0.12	16.0-18.0	0.6	0.06 P
430 FSe	0.12	16.0-18.0	-	-
434	0.12	16.0-18.0	0.75-1.25	0.6 Nb + Ta
436	0.12	16.0-18.0	0.75-1.25	-
442	0.20	18.0-23.0	-	-
446	0.20	23.0-27.0	-	-

II. grup ferritik paslanmaz çelikler kaynak edilebilirliği düzeltmek ve diğer özelliklerin geliştirilebilmesi için standart tip ferritik paslanmaz çeliklerin biraz değiştirilmiş halidir. Bu gruptaki ferritik paslanmaz çelikler daha düşük oranda C ve Cr içerir. Bu alaşımlar, yüksek sıcaklık uygulamaları ve aynı zamanda tarımsal ilaçlama tankları ve otomotiv sanayinde kullanılmaktadırlar. Tablo 3.3’de II. grup standart tip ferritik paslanmaz çelikler görülmektedir.

Tablo 3.3. II. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler[39].

Tipi	% Bileşim				
	C	Cr	Mo	Ni	Diğer
405	0.08	11.5-14.5	-	-	0.1-0.3 Al
409	0.08	10.5-11.5	-	0.5	0.48-0.75 Ti
409 C	0.02	12.5	-	0.2	0.4 Nb
441	0.02	18.5	-	0.3	0.7 Nb, 0.3 Ti
AL 433	0.02	19.0	-	0.3	0.4 Nb, 0.5 Ti
AL 446	0.01	11.5	-	0.2	0.2 Nb, 0.1 Ti
AL 468	0.01	18.2	-	0.2	0.2 Nb, 0.1 Ti
YUS 436 S	0.01	17.4	1.2	-	0.2 Ti
439	0.07	17.0-19.0	-	0.5	0.5-.1.0 Ti
12 SR	0.2	12.0	-	-	1.2 Al, 0.3 Ti
18 SR	0.04	18.0	-	-	2 Al, 0.4 Ti
406	0.06	12.0-14.0	-	0.5	2.75-4.25 Al, 0.6 Ti

III. grup ferritik paslanmaz çelikler yüksek Cr ve Mo içerikli ferritik paslanmaz çeliklerdir ve genel korozyon, oyuklaşma (pitting) korozyonu ve gerilmeli korozyon kırılmasına karşı dayanıma sahiptirler. Bu alaşımlar, kaynak işlemi sonrası korozyona dayanıklı, tok ve sünekliğe sahip olabilmesi için, hem vakum ortamında elektron ışınlı veya vakum ortamında indüksiyonla ergitme, hem de vakum ortamında oksijen ile dekarbürize edilerek üretilmelidir.

İçerisinde 150 ppm'den daha az arayer elementi (C+N) bulunan III. grup paslanmaz çelikler ultra yüksek saflığa sahip ferritik paslanmaz çelikler olarak adlandırılır. Bu alaşımlarda saflık, yüksek Cr içeriğinden dolayı tokluk ve kaynak edilebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Alaşıma az miktarda Nb katılarak kaynaklı malzemelerde korozyon direnci düzeltilebilir [39]. Tablo 3,4'de standart tip III. grup ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri görülmektedir.

Tablo 3.4. III. Grup standart 400 serisi ferritik paslanmaz çelikler [39].

Tipi	% Bileşim						
	C	N	Cr	Mo	Ni	Nb	Diğer
E-Brite 26-1	0.01	0.015	25-27	0.75-1.5	0.30	0.05-0.20	0.4 Mn
AL 29-4-2	0.01	0.020	28-30	3.5-4.2	2-2.5	-	-
AL 29-4	0.01	0.020	28-30	3.5-4.2	0.15	-	0.3 Mn
SHOMAC 30-2	0.003	0.007	30	2	0.2	-	0.3 Mn
YUS 190 L	0.004	0.0085	18	2	0.4	-	-

3.2.2.Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar tek fazlı KYM bir kristal kafes sistemine sahiptir. Bu yüzden, yalnızca katı eriyikli alaşımlama ve dövmeyle dayanımları artırılabilir.

Östenitik paslanmaz çelikler, normal ve aşırı yüksek korozif ortamlar için geliştirilmiştir. Aynı zamanda kriyojenik (dondurucu) sıcaklıklardan 600 °C'ye kadar yüksek tokluğa sahiptir. Bu çelikler, manyetik olmadıkları için manyetik malzemelerin kullanılmadığı uygulamalarda da kullanılırlar.

Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde kullanılan en yaygın tipler AISI 200 ve 300 seri alaşımlardır. Ayrıca, alaşım katkıları ve özel alaşım bileşimi, kaynak edilebilirlik ve kaynak bölgesinin mikroyapısı üzerine büyük bir etkiye sahiptir. Bu alaşımlardan AISI 300 serisi, genellikle % 8-20 Ni ve % 16-25 Cr içerir. Düşük oranlardaki alaşım katkılarında % 1 Si dezoksidasyon için, % 0.02-0.08 C östenitin kararlılığı için ve % 1.5 Mn ise hem östenitin kararlılığı hem de sülfür ve Si ile bileşik oluşturması açısından katılmaktadır. Tablo 3.5’de AISI 200 ve 300 serisi paslanmaz çelikler görülmektedir [42].

Tablo 3.5. AISI 200 ve 300 serisi östenitik paslanmaz çelikler[42].

Tipi	% Bileşim							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
201	0.15	5.5-7.5	1.0	16-18	3.5-5.5	0.06	0.03	0.25 N
202	0.15	7.5-10.0	1.0	17-19	4-6	0.06	0.03	0.25 N
205	0.12-0.2	14.0-15.5	1.0	16.5-18	1-1.75	0.06	0.03	0.32-0.4 N
301	0.15	2.0	1.0	16-18	6-8	0.045	0.03	-
302	0.15	2.0	1.0	17-19	8-10	0.045	0.03	-
302 B	0.15	2.0	2.0-3.0	17-19	8-10	0.045	0.03	-
303	0.15	2.0	1.0	17-19	8-10	0.2	0.15	0.6 Mo
303 Se	0.15	2.0	1.0	17-19	8-10	0.2	0.06	0.15 Se
304	0.08	2.0	1.0	18-20	8-10.5	0.045	0.03	-
304 H	0.04-0.1	2.0	1.0	18-20	8-10.5	0.045	0.03	-
304 L	0.03	2.0	1.0	18-20	8-12	0.045	0.03	-
304 LN	0.03	2.0	1.0	18-20	8-12	0.045	0.03	0.1-0.16 N
304 Cu	0.08	2.0	1.0	17-19	8-10	0.045	0.03	3-4 Cu
304 N	0.08	2.0	1.0	18-20	8-10.5	0.045	0.03	0.1-0.16 N
305	0.12	2.0	1.0	17-19	10.5-13	0.045	0.03	-
308	0.080.20	2.0	1.0	19-21	10-12	0.045	0.03	-
309	0.08	2.0	1.0	22-24	12-15	0.045	0.03	-
309 S	0.25	2.0	1.0	22-24	12-15	0.045	0.03	-
310	0.08	2.0	1.0	21-26	19-22	0.045	0.03	-
310 S	0.25	2.0	1.5	24-26	19-22	0.045	0.03	-
314	0.08	2.0	1.5-3.0	23-26	19-22	0.045	0.03	-
316	0.08	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo
316 F	0.04-0.1	2.0	1.0	16-18	10-14	0.2	0.03	1.75-2.25 Mo
316 H	0.03	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.1	2-3 Mo
316 L	0.03	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3- Mo
316 LN	0.03	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo,0.1 N

316 N	0.08	2.0	1.0	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo, 0.1 N
317	0.08	2.0	1.0	18-20	11-15	0.045	0.03	3-4 Mo
317 L	0.03	2.0	1.0	18-20	11-15	0.045	0.03	3-4 Mo
321	0.08	2.0	1.0	17-19	9-12	0.045	0.03	0.4 Ti
321 H	0.04-1.0	2.0	1.0	17-19	9-12	0.045	0.03	0.4 Ti
330	0.08	2.0	0.75-1.5	17-19	34-37	0.045	0.03	-
347	0.08	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.8 Mo
347 H	0.04-0.1	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.47-1 Nb
348	0.08	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.2 Co, 0.8 Nb, 0.1 Ta
348 H	0.04-0.1	2.0	1.0	17-19	9-13	0.045	0.03	0.2 Co, 0.8-1 Nb, 0.1 Ta
384	0.08	2.0	1.0	15-17	17-19	0.045	0.03	-

Östenitik paslanmaz çeliklerin en önemli alaşımı X12CrNi18.8'dir. Bu alaşımın yapısı normal ısıtılmalardan sonra 1050 °C' den suya çekilir veya havada bırakılırsa ince östenit tanelerinden meydana gelir. Oda sıcaklığında kararlı olan bu yapı, yüksek sıcaklıklarda kararlılığını yitirir. Oda sıcaklığında çeliğin mikroyapısı östenit + (δ)-ferrit ve (Cr,Fe)₄C karbürlerinden oluşur. Bunun dışında σ-fazı da yapıda görülebilir [43].

3.2.3. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks paslanmaz çelikler; Fe, Cr, Ni sistemine dayalı iki fazlı alaşımlardır. Bu alaşımlar, mikroyapıda eşit oranda KHM ferrit ve KYM östenit bulundurur. Dupleks paslanmaz çelikler düşük karbon içeriği (% < 0.03) ve Mo, N, W ve Cu katkılarıyla bilinirler. Genellikle % 20-30 Cr ve % 5-10 Ni içerirler. Dupleks paslanmaz çeliklerin geleneksel 300 serisi paslanmaz çeliklerden üstün özellikleri; gerilmeli korozyon kırılma dayanımı, mukavemet ve oyuklaşma (pitting) korozyonu dayanımıdır. Bu malzemeler asitler ve sudan kaynaklanan klora karşı direncin gerektiği orta dereceli sıcaklık (-60 ile +300 °C) alanlarında kullanılırlar. Ticari olarak kullanılan dupleks paslanmaz çelik tipleri Tablo 3.7'de görülmektedir.

3.2.3.1.AISI 2205 DPÇ korozyon dayanımı

Östenitik paslanmaz çelikler içinde en yaygın kullanım alanına sahip AISI 316 çeliğinden daha iyi olup, yüksek kalitedeki östenitik çeliklerden de iyi bir performans sergilemektedir. AISI 2205 çeliğinin düşük karbon içeriği taneler arası korozyona karşı ve yüksek krom ve molibden içeriğinden dolayı da tekdüze, çekirdeklenme ve çatlak korozyonuna karşı yüksek bir dayanım göstermektedir.

3.2.3.2.AISI 2205 DPÇ ısııl kapasitesi

Karbonlu çeliklere göre daha düşüktür. Bununla birlikte AISI 2205 çeliğinin yüksek ısılarda da iyi bir korozyon dayanımına sahip olmasına rağmen, diğer dubleks paslanmaz çelikler gibi bu kalitede 300 °C ‘nin üzerindeki sıcaklıklarda, kısa bir süre bile maruz kalsalar kırılganlaşma özellikleri vardır. Eğer kırılganlaşma gerçekleştiyse, bunu gidermenin tek yolu tamamını tekrar tavlamaaktır. AISI 2205 DPÇ 1020 – 1100 °C aralığında tavllanır. Ve hızlı soğutulur. Bu işlemle hem çözelti tavlama işlemi hem de stres giderme işlemi birlikte uygulanmış olur. AISI 2205 DPÇ, tavlانیp 1050 °C ‘den hızlı soğutulduğunda, mikro yapısının yaklaşık % 50 ‘ sini ferrit oluşturmaktadır. Yüksek tavlama sıcaklıkları veya düşük soğutma hızları da sıkça ferrit oranının artmasına neden olur.

3.2.3.3.AISI 2205 DPÇ kullanım alanları

Isı değıştirciler, basınç tankları boruları ve tüpleri, kimyasal proses, taşımacılık, stoklama, petrol ve gaz dağıtımı ile proses ekipmanları, deniz ve diğer yüksek klorit ortamlarda, püre ve kağıt kazanları, kağıt makineleri gibi birçok endüstri alanlarıdır.

Tablo 3.6. Ticari olarak kullanılan dubleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri [44].

Tipi	% Bileşim								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)
S 31200	0.03	2.0	1.0	24-26	5.5-6.5	1.2-2.0	0.14-0.20	690	450
S 31500	0.03	1.2-2	1.4-2	18-19	4.25-5.25	2.5-3.0	0.05-0.1	630	440
S 31803	0.03	2.0	1.0	21-29	4.5-6.5	2.5-3.5	0.08-0.2	620	450
S 32304	0.03	2.5	1.0	21-24	3.0-5.5	0.05-0.6	0.05-0.2	600	400
S 32550	0.03	1.5	1.0	24-27	4.5-6.5	2.9-3.9	0.1-0.2	760	550
S 32750	0.03	1.2	1.0	24-26	6.0-8.0	3.0-5.0	0.24-0.32	800	500
S 32760	0.03	1.0	1.0	24-26	6.0-8.0	3.0-4.0	0.3	750	550
S 32900	0.03	1.0	0.75	23-28	2.5-5.0	1.0-2.0	-	620	485
S 32950	0.03	2.0	0.60	26-29	3.5-5.2	1.0-2.5	0.15-0.35	690	480

3.2.4.Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, 585-795 MPa akma gerilmesi ve sertleşebilir 400 seri paslanmaz çeliklerden daha üstün korozyon direncine sahip Fe-Cr-Ni alaşımlarıdır. Bu alaşımlar, Cu, Al, Ti, Nb ve Mo gibi elementlerin biri veya birkaçı kullanılarak çökelme sertleşmeli martenzitik ve östenitik hale gelirler. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, martenzit başlama ve bitiş sıcaklıklarına dayanarak yarı östenitik ve östenitik, martenzitik olmak üzere üç ayrı isimde gruplandırılabilir. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri Tablo 3.7’de verilmiştir [45].

Tablo 3.7.Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri [45].

Tipi	% Bileşim								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Diğer	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)
Martenzitik Tip									
PH 13-8 Mo	0.05	0.1	0.1	12-15	7.5-8.5	2.0-2.5	0.9-1.3 Al	1410	1520
15-5 PH	0.07	1.0	1.0	14-15	3.5-5.5	-	2.5-4.5 Cu	1170	1310
17-4 PH	0.07	1.0	1.0	15-17	3.0-5.0	-	3-5Cu,0.3 Nb	1170	1310
Custom 450	0.05	1.0	1.0	14-16	5.0-7.0	0.5-1.0	1.5Cu,0.4Nb	655	895
Custom 455	0.05	0.5	0.5	11-12	7.5-9.5	0.5	2Cu,1.2Ti,0.5 Nb	1520	1620
Yarı Ost. Tip									
PH 15-7 Mo	0.09	1.0	1.0	14-16	6.5-7.7	2.0-3.0	0.75-1.5Al	1210	1380
17-7 PH	0.09	1.0	1.0	16-18	6.5-7.7	-	0.75-1.5Al	1030	1275
AM-350	0.09	0.5	0.5	16-17	4.0-5.0	2.5-2.5	0.1 N	610	1380
AM-355	0.15	0.5	0.5	15-16	4.0-5.0	2.5-3.5	0.1 N	1070	1170
Ostenitik Tip									
A-286	0.08	2.0	1.0	13-16		1.0-1.5	2Ti,0.3Al,0.3 V	105	724
JBK- 75 (b)	0.015	0.02	0.02	13-16		1.5	2Ti,0.2Al,0.2 V	-	

17-4 PH gibi martenzitik PH çelikler, yüksek normalizasyon sıcaklığından havada soğutmayla tamamen martenzite dönüşebilmektedir. Bunlar oda sıcaklığının hemen üzerinde bulunan bir M_f sıcaklığına sahiptirler. Bu yüzden oda sıcaklığında martenzitiktirler. Sertleşme, 680-620 °C’de 1-4 h süreyle yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilir.

17-7 PH alaşımı gibi yarı östenitik çökelme setleşmeli çelikler, M_s sıcaklığının oda sıcaklığından oldukça düşük olduğu dengeli bileşim oranlarına sahiptirler. Bu yüzden, ısıtma işlem sıcaklığından soğutulduklarında sünek, aynı zamanda rahatlıkla şekillendirilebilen bir yapıya sahip olurlar. Şekillendirme işlemi sonrasında martenzite dönüşüm, uygun bir ısıtma işlemle C ve diğer alaşım elementlerinin çökmesi sonucu M_s ve M_f sıcaklıklarının

artmasıyla elde edilir. Eğer düşük bir ısıtma işlem sıcaklığı (730-760 °C) kullanılırsa, Mf sıcaklığı oda sıcaklığı civarına yükselir ve martenzit dönüşümü soğumayla elde edilir. Eğer yüksek bir ısıtma işlem sıcaklığı (930-955 °C) kullanılırsa bu durumda daha az karbon çökelir ve Mf sıcaklığı sıfırın altında kalır. Bu durumda martenzit dönüşümü elde etmek için soğutmak gerekir. Martenzitik dönüşüm aynı zamanda soğuk dövmeyle de elde edilebilir. Tüm bu durumlarda martenzitik yapı 455-565°C'lik bir sıcaklık alanında yaşanmayla sertleştirilebilir.

Östenitik PH çelikler; (A-286 gibi) martenzite dönüştürülemediklerinden düşük Ms sıcaklığına sahiptirler. Bu tip çeliklerde sertleştirme östenitik bir martenzite intermetalik bileşiklerin çökmesiyle elde edilir. Herhangi bir alaşım için geniş bir özellik alanı uygulanan değişik ısıtma işlemleri elde edilebilir. Bununla beraber uygun mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için belirli standart ısıtma işlemleri kullanılır [45].

3.2.5. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, kübik hacim merkezli (KHM) veya sertleştirilmiş halde tetragonal kristal kafes sistemine sahip Cr-C alaşımlarıdır. Ferromanyetikler ve ısıtma işlemiyle sertleştirilebilirler. Martenzitik paslanmaz çelikler genellikle atmosferik korozyona karşı dirençlidirler. Cr içerikleri genellikle % 11-18 C içeriği ise % 1,2'ye kadar çıkabilir. Cr ve C oranları sertleştirme sonrası martenzitik bir yapı elde etmek için dengelenmiştir. Tablo 3.8'de standart tip martenzitik paslanmaz çelikler verilmiştir [46].

Tablo 3.8. Standart tip martenzitik paslanmaz çelikler [46].

Tipi	% Bileşim							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
403	0.15	1.0	0.5	11.5-13.0	-	0.04	0.03	-
410	0.15	1.0	1.0	11.5-13.0	-	0.04	0.03	-
414	0.15	1.0	1.0	11.5-13.0	1.25-2.25	0.04	0.03	-
416	0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.15	0.6 Mo
416 Se	0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.03	0.15 Se
420	Min 0.15	1.0	1.0	12.0-14.0	-	0.04	0.03	-
420 F	Min 0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.15	0.6 Mo
422	0.20-0.25	1.0	0.75	11.5-13.0	0.5-1.0	0.04	0.03	0.75-1.25 Mo
431	0.20	1.0	1.0	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	0.15-0.3 V
440 A	0.60-0.75	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo

440 B	0.75-0.95	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo
440 C	0.95-1.20	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo

En yaygın olarak kullanılan 410 tipi martenzitik paslanmaz çelik, % 12 Cr içeriği ile yüksek mukavemet özelliğine sahiptir. Molibden, 422 tipi paslanmaz çeliklere mekanik özellikleri ve tane sınırı korozyonuna karşı korozyon direncini artırmak için katılmıştır.

3.2.5.1. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Martenzitik paslanmaz çelikler, normal şartlarda 275 MPa'lık bir akma dayanımına sahiptirler. Bununla birlikte, C içeriğine bağlı olarak sertleştirme ve temperleme sonrası 1900 MPa'lık bir akma dayanımı seviyesi elde edilebilir. Bu alaşımlar aynı zamanda, iyi süneklik ve tokluk özelliğine de sahiptirler. Uygulanan ısı işleme bağlı olarak sertlik değerleri 150 HB'den 600 HB'ye kadar değişebilir. Martenzitik paslanmaz çeliklerin temel oda sıcaklığı özellikleri Tablo 3.9'da görülmektedir.

Tablo 3.9. Martenzitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığı mekanik özellikleri[46].

Tipi	Uygulanan işlem	Çekme Dayanımı(MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik
403	Sertleştirilmiş	485	275	20	88 HRB
410	Sertleştirilmiş	485	205	20	95 HRB
410 S	Sertleştirilmiş	415	205	22	88 HRB
414	Temperlenmiş	795	620	15	-
416	Temperlenmiş	485	275	20	-
418	Temperlenmiş	965	760	15	-
420	Temperlenmiş	720	1480	20	52 HRC
422	Temperlenmiş	825	585	17	-
431	Sertleştirilmiş	795	620	15	-
440	Sertleştirilmiş	725	415	20	95HRB
440	Temperlenmiş	1790	1650	5	51 HRC

Martenzitik paslanmaz çeliklerde çekme özellikleri ısı işlemlerle bir miktar kontrol edilmektedir. Bu tür alaşımlar yüksek karbon içerdiklerinden martenzit oluşturmak için havada soğutma ve sonra temperleme gerekmektedir [36,37].

4. ISLAH ÇELİKLERİ

Islah çelikleri, kimyasal bileşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren, alaşımsız ve alaşımlı makine imalat çelikleridir [82].

Islah işlemi, sonuçta çelik parçaya yüksek tokluk özelliğinin kazandırılacağı önce bir sertleştirme ve arkasından menevişleme işlemlerinin bütünü olarak tarif edilir. Islah çelikleri, ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerden dolayı, çeşitli makine ve motor parçalar, dövme parçalar; çeşitli cıvata somun ve saplamalar, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller, dişliler gibi parçaların imalinde olmak üzere geniş bir alanda kullanılır. Bu sebepten, ıslak çelikleri inşaat ve alaşımsız çeliklerden sonra, en yüksek oranda üretilen ve kullanılan çelik türüdür.

Uygun ıslah çeliğinin seçimi ve doğru ıslak işleminin uygulanması çok dikkat ve tecrübeyi gerektirir. Islah işleminin iyi sonuç vermesi (istenilen tokluk veya sertlik değerine ulaşılması), kullanılan çeliğin içyapı temizliği ile yakından ilgilidir. İçyapı temizliği, sıvı çeliğin bünyesinde erimiş halde bulunan gazlardan (hidrojen, oksijen ve azot) arındırılması ve oksit, sülfür inklüzyonlarında temizlenmesi işlemidir. Bu grup çeliklerin alaşımsız, düşük alaşımlı ve alaşımlı cinsleri vardır. Alaşımsız olanları piyasada makine imalat çeliği olarak da ifade edilir.

Bu çelikler, aksmilleri, şaft ve dişli imalatlarında kullanılırlar[47]. Yaklaşık 350 °C işletme sıcaklığına kadar yaralanılan bu malzemelerin sayıca çokluğu, aşağıdaki teknik ve ekonomik nedenlerden dolayıdır;

Islah edilmiş makine parçalarından öncelikle, tüm kesitte homojen mekanik özelliklere sahip olmaları beklenir. Bunun için parçanın tüm kesitte su almış veya en azından “temperlenebilir” bir içyapıya kavuşmuş olması gerekir. Dolayısıyla parça kalınlığı arttıkça, daha fazla alaşımlı çelik seçilerek kritik soğutma hızının düşürülmesi zorunludur.

Dayanım ve tokluk değerlerini optimize edebilmek için genellikle 500°C’nin üzerinde temperleme yapıldığından, temper kararlılığı zayıf olan alaşımsız ıslah çeliklerinde dayanım değerleri oldukça sınırlıdır. Bu açıdan ince etli parçalarda dahi yüksek akma sınırı, ancak temper kararlılığı gösteren yani fazla yumuşamayan alaşımlı çelikler ile elde edilir.

Karmaşık biçimli parçalar, suda su verilirken değişik bölgelerde ortaya çıkan büyük sıcaklık farklılıklarından ötürü çarpılma veya çatlamaya uğrayabilir. Hızlı soğutma zorunluluğunu ortadan kaldırmak üzere, bu tür makine elemanlarında et kalınlıkları az olsa

bile, kritik soğutma hızları düşük olan (yağda soğutulabilen) alaşımlı ıslah çeliklerinin kullanılması daha güvenlidir.

Islah çeliklerinde alaşım elementi karbürlerinin östenitleme sırasında çözünmesi takım çeliklerindeki kadar yavaş değildir. Dolayısıyla aşırı ısınma halinde tane irileşmesine eğimli olan bu çeliklerin su verme sıcaklığı dar bir aralıkta tutulmalıdır. Bu olgu ısıtma işlemi tenik ve ekonomik bakımdan güçleştirir. Ancak çeliğe katılan vanadyum (örneğin 30CrMoV9, 50 CrV 4) tane irileşmesi molibden de (örneğin 30 CrNiMo 8) temper gevrekliği olasılığını azaltır.

Islah çelikleri çoğunlukla yumuşatılmış ve normalleştirilmiş durumda piyasaya sunulduğundan, tasarımcının seçtiği özellikleri sağlayacak ıslah işlemi, ilgili diyagramlardan yararlanılarak imalatçı firma tarafından gerçekleştirilir. Ayrıca alev, indüksiyon ve alev nitrürasyonla yüzey sertleştirme yapılabilir.

Görüldüğü gibi çeşitli kullanım alanları ve metalürjik özelliklere ilişkin beklentiler, çok sayıda ıslah çeliğinin gelişmesini zorunlu kılmış ve böylece aşağıdaki alt gruplar ortaya çıkmıştır:

Alaşımsız çelikler: sertleştirme derinliği, dayanım ve tokluk değeri oldukça düşük, örneğin C22, C35, C45.

Mangan çelikleri: sertleştirme derinliği biraz artırılmış, örneğin 28Mn 6, 40Mn 4.

Krom çelikleri: mangan çeliklerine göre tokluk daha yüksek, örneğin 48Cr 2, 37 Cr(s) 4. Krom – molibden ve krom-nikel-molibden çelikleri: yüksek çekme dayanımları yanında tokluk özellikleri de iyi, örneğin 25 CrMo 4, 32CrMo 12, 50CrMo 4, 34 CrNiMo 6 [48].

Tablo 4.1. ıslah çeliğinin ve 2205 DPÇ Kimyasal Kompozisyonu.

Alaşım elementleri (% Ağırlık)										
Malzeme	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N	Cu
AISI2205	0,018	1,686	0,309	0,026	0,003	22,333	3,379	4,932	0,191	0,097
AISI4340	0.4	0.8	0.3	0.035	0.040	0.9	0.3	2.00	-	-

Tablo 4.2. 4340 ıslah çeliğinin ve 2205 DPÇ mekanik özellikleri.

Metal	Gerilme direnci (MPa)	Verim gücü 0,2%(Mpa)	Uzama (%)	Mikrosertlik (HV)
AISI 2205	956	620	20	328
AISI 4340	659	400	20,98	201

Tablo4.3. 4340 ıslah çeliğinin ve 2205 DPÇ fiziksel özellikleri.

Materials	α 10⁻⁶	λ W/m°C	Ω nΩm	E GPa
AISI2205	14.7	19	85	200
AISI 4340	12.3	44.5	248	190-200
α: Termal Genleşme Katsayısı(20-800 °C) λ: termal İletkenlik (20°C)				
Ω: Elektrik Direnç (20 °C) E: Elastik modülü (20 °C)				

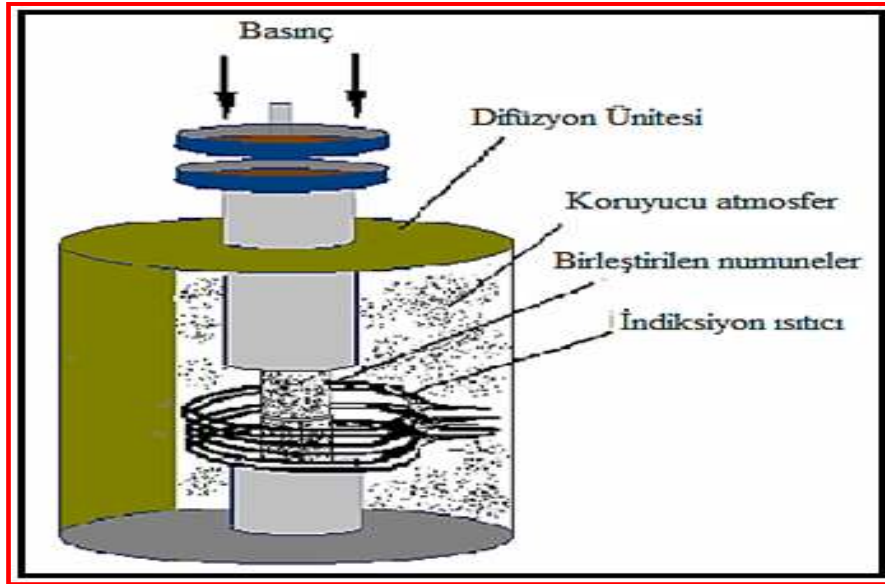
5. KATI HAL KAYNAK YÖNTEMLERİ

Aynı ya da farklı iki metalik malzemenin, ergime olmaksızın, nihai birleştirmenin iki katı ara yüzeyleri arasında meydana geldiği kaynaklı birleştirme yöntemleridir. Başlıca katı hal kaynak işlemleri şu şekilde gruplandırılabilir;

- ✓ Difüzyon Kaynağı
- ✓ Ultrasonik Kaynağı
- ✓ Patlamalı Kaynağı
- ✓ Sürtünme Karıştırma Kaynağı
- ✓ Sürtünme Kaynak

5.1. Difüzyon Kaynağı

Difüzyon kaynağı, nükleer enerji ve uzay sanayisinde kullanılan bir katı hal kaynak yöntemidir. Difüzyon kaynağı, kaynak edilecek iki yüzeyin ergime noktası altındaki bir sıcaklıkta, plastik akmaya sebep olmayan bir basınç altında metalürjik bir bağ oluşturuncaya kadar malzemelerin birleşimlerini etkilemeyecek bir süre tutulmasıyla uygulanan kaynak usulüdür. Difüzyon kaynağının şematik resmi Şekil 5.1’de verilmiştir [63].



Şekil 5.1. Difüzyon kaynağı[63].

Difüzyon kaynağında işlemin düşük sıcaklıklarda yapılması, birleştirilecek parçalardaki deformasyonun çok azalması ve çok değişik malzeme çiftlerinin birleştirilebilmesi (yani farklı metal ve alaşımların), donanımlarının basitliği bu yöntemin avantajlarıdır. İşlemin yavaş oluşu, büyük parçalara uygulanmasının zorluğu ve tahribatsız kontrol olanağının da sınırlı oluşu dezavantajlarını teşkil eder [69].

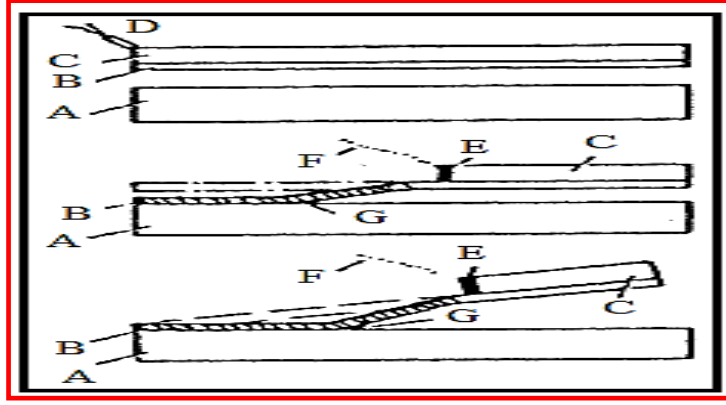
5.2. Ultrasonik Kaynak

İş parçaları basınç altında bir arada tutulurken uygulanan yüksek frekanslı vibrasyon enerjisi ile kaynak dikişi oluşturulur. Bu kaynak yöntemi ile erime olmadan metalürjik bağ oluşturulur. Yüksek frekanslı elektrik enerjisi mekanik vibrasyona dönüştürülür ve coupler (sonotrode) ile vibrasyon iş parçasına iletir. Frekans 20 ile 60 Hz arası olmaktadır. Ultrason kaynağı monometalik ve bimetalik malzemelerde kullanılır. Plakaların, folyelerin ve tellerin bindirme kaynaklarında uygulanabilen bir kaynak yöntemidir. Ultrason kaynağının en önemli uygulamaları minyatür elektronik parçalar üzerindedir. Transistörlerin, diyodların ve diğer yarı iletken cihazların üzerine ince alüminyum ve altın bakır teller birleştirilir.

Ultrasonik kaynak, bir pres (basınç) kaynağı yöntemidir. Kısmen veya tamamen mekanik hale sokulabilir. Kaynak işleminden sonra dikişlerin tekrar işlenmesine gerek yoktur. Ultrasonik kaynak yöntemi; alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, plastik malzemeler, cam ve beton gibi malzemenin kaynağında kullanılmaktadır [69].

5.3. Patlamalı Kaynak

İş parçalarının kontrollü patlamanın etkisi ile iş parçalarının erime olmaksızın birbirine çarpmasıyla oluşturulan katı-hal kaynaklarıdır. Patlamanın etkisiyle parçaların ulaştığı hızlarda çarpma sonucu metalik bağ oluşur. (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Patlamalı kaynağın şematik olarak gösterilişi [70].

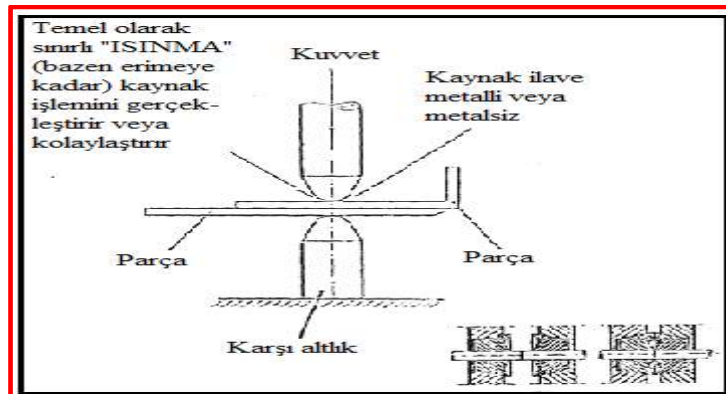
Dolgu malzemesi kullanılmadan yapılır. Patlamayla birlikte kaynak ilerler. Fazla deformasyon görülmez. İlave malzeme kullanılmaz. Büyük iki farklı metalin yüzeylerinin kaplanmasında kullanılır.

En yaygın olarak bakır, paslanmaz çelik ve titanyum alaşımlarının alüminyum ile kaplanmasıdır [63].

5.4. Soğuk Basınç Kaynağı

Soğuk basınç kaynağı oda sıcaklığında veya hafif sıcaklık uygulayarak basınç altında katı halde parçaları birleştirmektir. Parçaların en düşük rekristalizasyon sıcaklığı, en yüksek sınır sıcaklık olarak alınır.

Metallerin yüzeyi çevre koşullarında daima yağ, oksit, sülfür veya gaz gibi bir tabaka ile kaplandığından, bu tabakanın kaynak işleminden önce temizlenmesi gerekir ve kaynak sırasında uygulanan basınçla şekil değiştirmelidir (şekil 5.3).



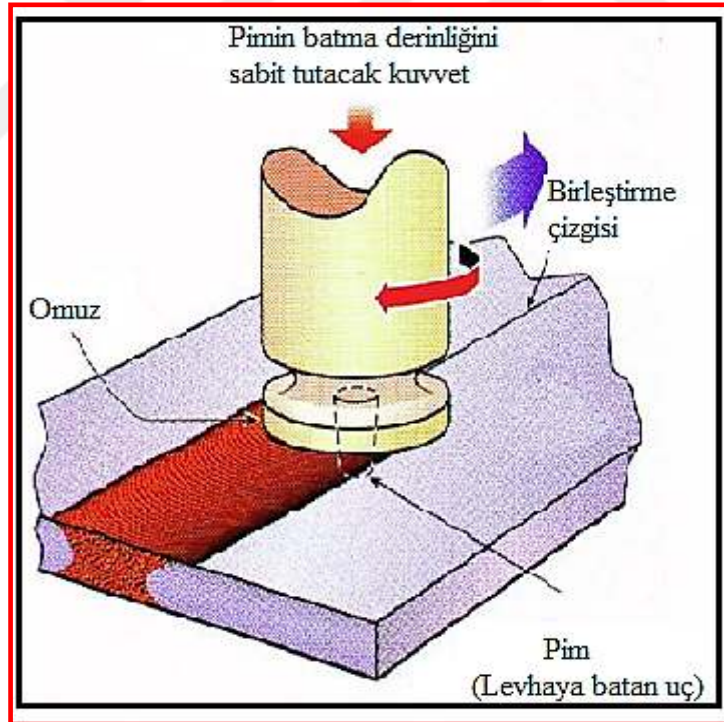
Şekil 5.3. Soğuk basınç kaynağının şematik görünümü[70].

Soğuk basınç kaynağı temelde yeterli form verilebilen ve yüzey tabakasının sınırlandırılmış kaynak bölgesi yırtılabilen bütün malzemelere uygulanabilir. En uygun malzemeler aşınmaya uygun olanlardır. Demir dışı metallerde istenen soğuk basınç kaynağı birleştirmeleri sağlanmıştır [69]. Soğuk basınç kaynağının şematik resmi Şekil 5,3'de verilmiştir.

5.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Bu kaynak yöntemi Thomas tarafından geliştirilmiş bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi katı hal kaynak alanında alüminyum ve alüminyum aşımalarının araştırılmasında birçok kez kullanılmıştır.

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin uygulama şekli ise alın altına sabitlenmiş iki metal levha ya yüksek devirde dönen kademeli karıştırıcı ucun metallerin birleşme noktalarına daldırılarak sabit bir hızda ilerleyerek kaynak yapmasından ibarettir. (Şekil 5.4).

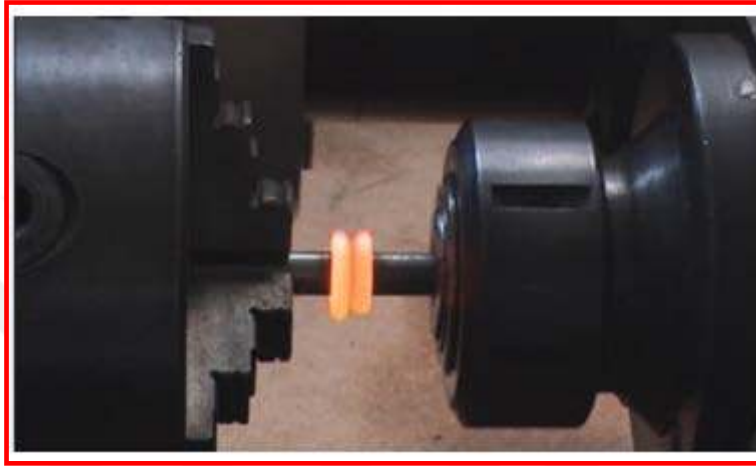


Şekil 5.4. Sürtünme karıştırma tekniği [63].

5.6. Sürtünme Kaynağı

5.6.1. Yöntemin Tanımlanması

Parçalardan biri sabit diğeri dairesel harekete sahip iki metal parçanın sürtünmesinden kaynaklanan ısıdan yararlanarak ve bir eksenel basınç kullanarak yapılan kaynak yöntemidir (şekil 5.5).

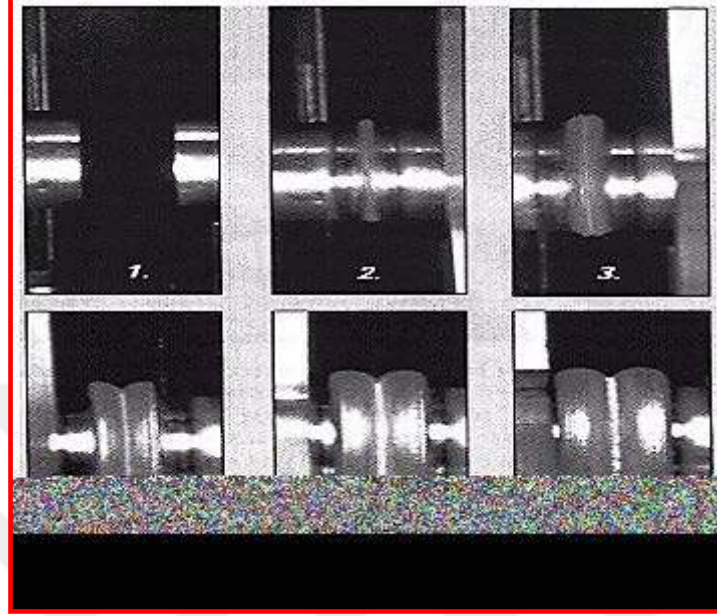


Şekil 5.5. Sürtünme kaynağı işlemi [71].

Bu katı hal kaynak yönteminde kaynak bitene kadar yüzeyler arasındaki eksenel basınç sabit kalır. Ta ki bu basınç plastik deformasyon sıcaklığına ulaşınca kadar devam eder. Bu sıcaklıkta ani frenleme ile durdurulur ve eksenel basınç iki katına çıkartılarak yığıma oluşturulur. Normal şartlar altında ara yüzey erimez, Çelikler için bağlantı bölgesinde oluşan sıcaklık 900-1300 °C arasındadır. Bu kaynak tekniğinde ilave metal ve koruyucu gaz gerektirmez. Dairesel kesitli parçaların kaynağında büyük bir öneme sahiptir ve Bundan dolayıdır ki, diğer yöntemlerle kaynak edilemeyen metaller ve metal alaşımları rahatlıkla kaynak edilebilir. Yöntemin işlem basamakları aşağıdaki gibidir ve bu işlem basamakları Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

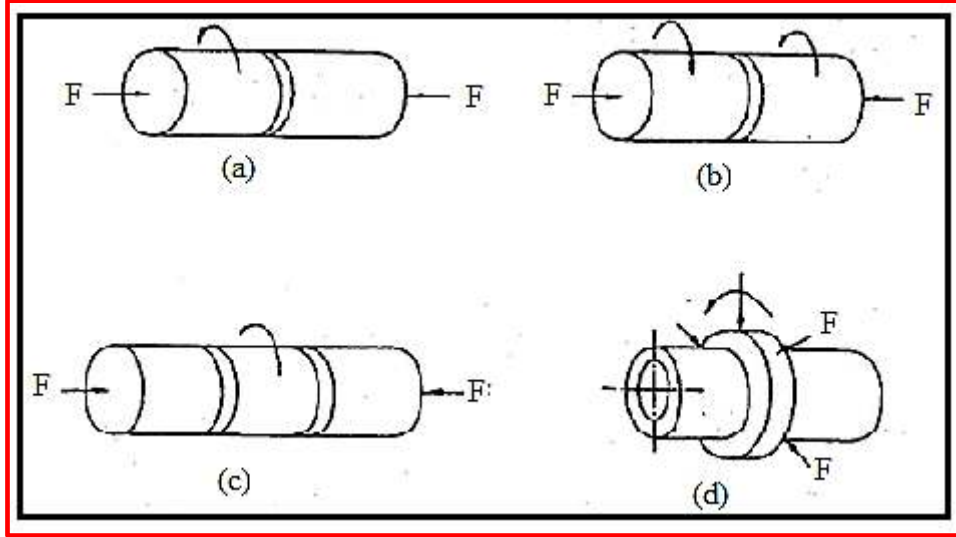
1. Parçalardan biri sürtünme kaynağı mekanizması tarafından döndürülürken diğer parça sabittir. Sabit parça dönen parçaya temas edecek şekilde ilerletilir.
2. Dönme sonucu sürtünen yüzeylerde ısı açığa çıkar. Metallerde ortaya çıkan yüksek ısı, kaynak bölgesi sıcaklığını her zaman ergime sıcaklığının altında tutar.
3. Yumuşayan metal uygulanan basıncın etkisiyle dışarı doğru taşmaya başlar.
4. Dövülmüş sıcak bölge ara yüzeyden dışarı doğru yönlendirilir.

5. Makine döndürme işlemini durdurur ve dövme kuvveti ile kaynak tamamlanır.
6. Sıcak işlemeye maruz kalan birleşme bölgesi tüm yüzey ve çap boyunca homojen bir forma ve yüksek kalitede kaynağa sahiptir.



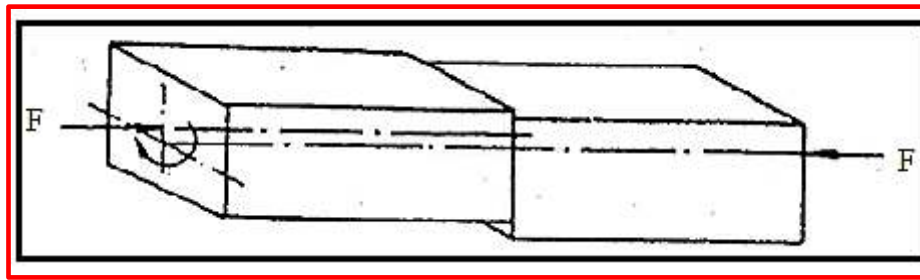
Şekil 5.6. Sürtünme kaynağı işlem basamakları[71,72].

Sürtünme kaynağı ile yapılan kaynaklı birleştirmelerin birçoğu boruların kaynağında ve dairesel kesitli metal parçaların kaynağında kullanılmaktadır. Sürtünme kaynağındaki temel hareket dönme hareketidir ve proses konvensiyonel sürtünme kaynağı olarak adlandırılır. Şekil 5.6'da alışıla gelmiş sürtünme kaynağının uygulama şekilleri görülmektedir. Şekil 5.7 (a) en çok kullanılan ve en basit uygulama şeklidir. Şekil 5.7 (b) durum yüksek dönme hızlarının gerekli olduğu küçük çaplı numuneler için uygun olmaktadır. Şekil 5.7 (c) çok uzun iki parçanın birleştirilebilmesi için uygun bir yöntemdir. Şekil 5.7 (d) ise boru kaynağı için geliştirilmiş ve radyal kuvvet etkisi altında dönel bir bilezikten yararlanılarak yapılan kaynağı göstermektedir. .

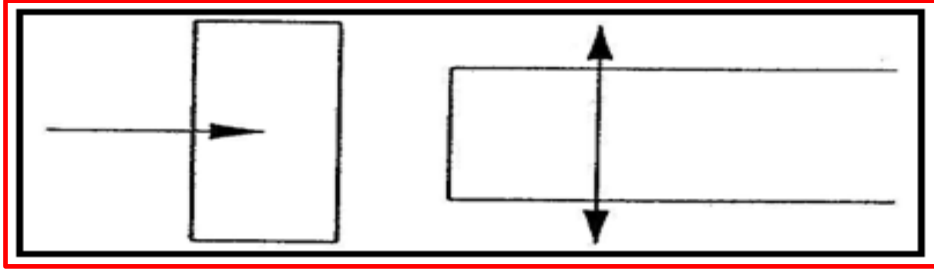


Şekil 5.7. Sürtünme kaynağının uygulanma şekilleri[20,74].

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(Şekil 5.8). Lineer titreşim hareketinde parçalardan biri uygulanan basınç altında ileri geri titreşim hareketi yapar. Bu yöntem ilk defa Vill tarafından önerilmiştir (Şekil 5.9). Açısal titreşim hareketinde ise parçalardan biri uygulanan basınç altında belirli bir açıyı gören yay parçası yörüngesinde hareket eder [74].

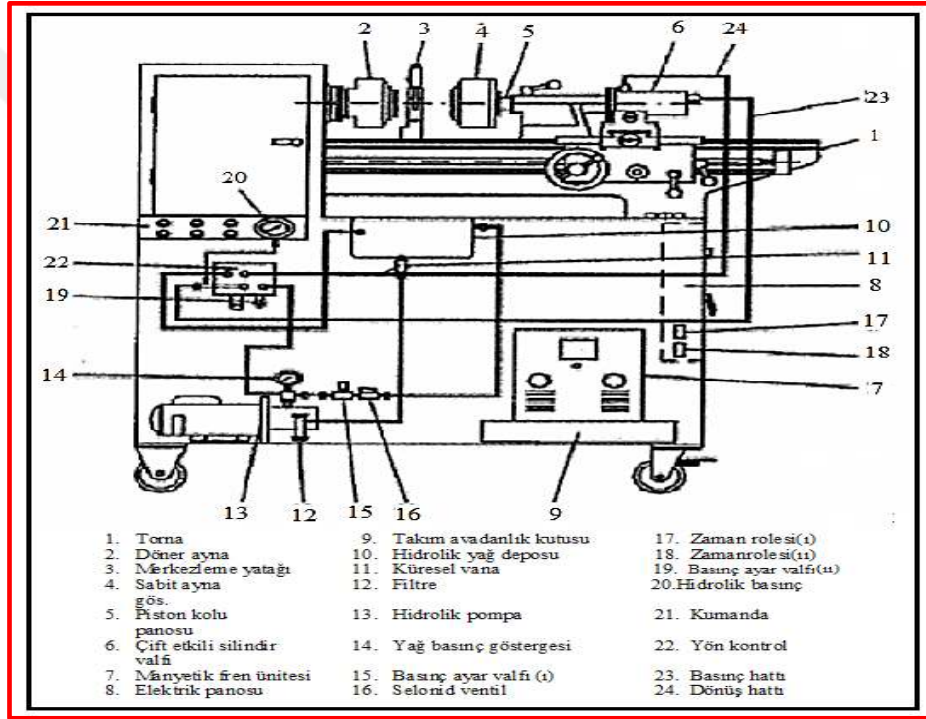


Şekil 5.8. Yörüngesel hareketle sürtünme kaynağı[20,74].



Şekil 5.9. Lineer titreşim hareketi ile sürtünme kaynağı[20,74].

Sürtünme kaynağı cihazı tasarım olarak bir tür torna tezgâhını andırmaktadır. Bu makinelerin üzerinde birtakım değişiklikler yapıp modifiye edilmesiyle Şekil 5.10'de bölümlerini rahatlıkla görebildiğimiz sürtünme kaynağı makineleri elde edilmektedir [71].



Şekil 5.10. Sürtünme kaynak cihazı ve donanımı [71].

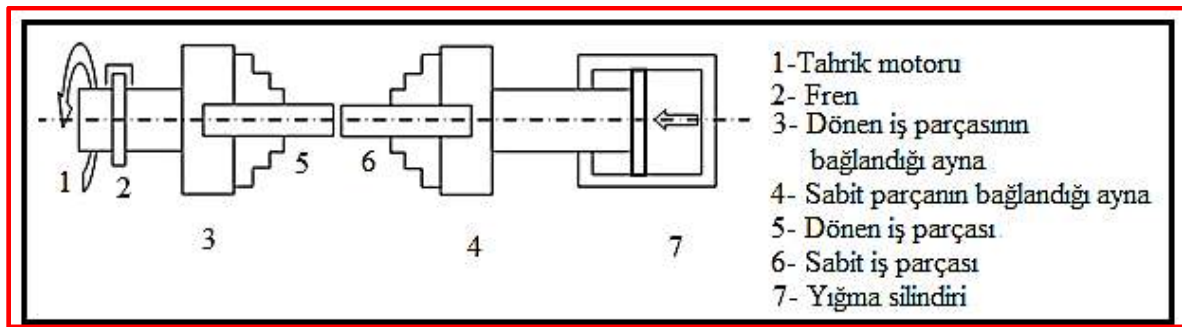
5.6.2. Sürtünme Kaynağının Çeşitleri

Sürtünme kaynağı, enerji kaynağına bağlı olarak üç, hareket şekline göre ise beş grupta incelenir.

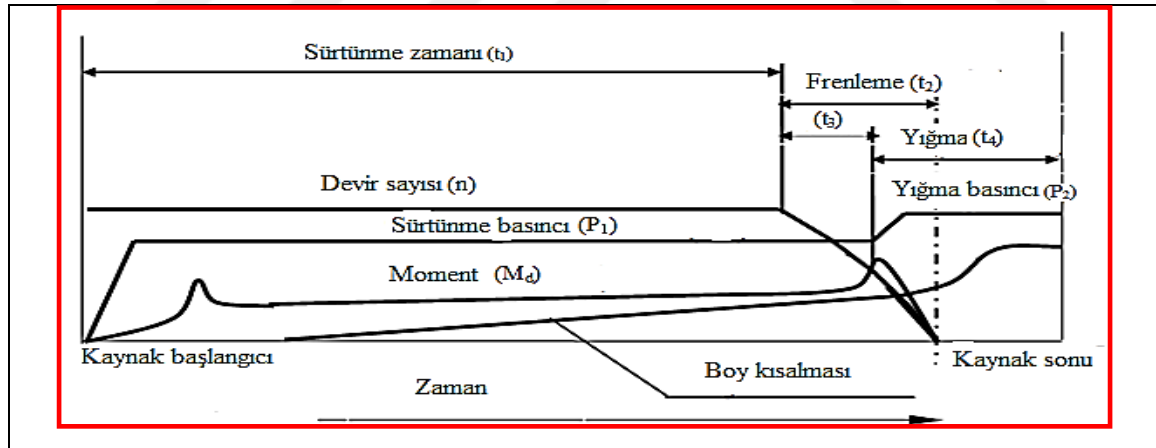
- ✓ Sürekli Tahrikli sürtünme kaynağı.
- ✓ Volan tahrikli sürtünme kaynağı.
- ✓ Kombine sürtünme kaynağı.

5.6.2.1. Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Bu kaynak tekniğinde parçalardan biri dairesel harekete sahip bir motor ünitesine tutturulur, diğeri ise aynı ekseninde sabitlenir. Motor önceden belirlenen devir sayısında döndürülür ve sabit parçaya aksenal basınç kuvveti uygulanarak iki parça ara yüzeyinde temas sağlanır. Ara yüzeyde plastik deformasyon için gerekli sıcaklığa ulaşıncaya kadar işlem devam ettirilir. Sonra, dönen parça ani frenleme ile durdurulur ve ara yüzeyde yeterince plastik deformasyon oluşturmak için yığma basıncı uygulanarak işlem tamamlanır. (Şekil 5.11) .



Şekil 5.11. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı[73].



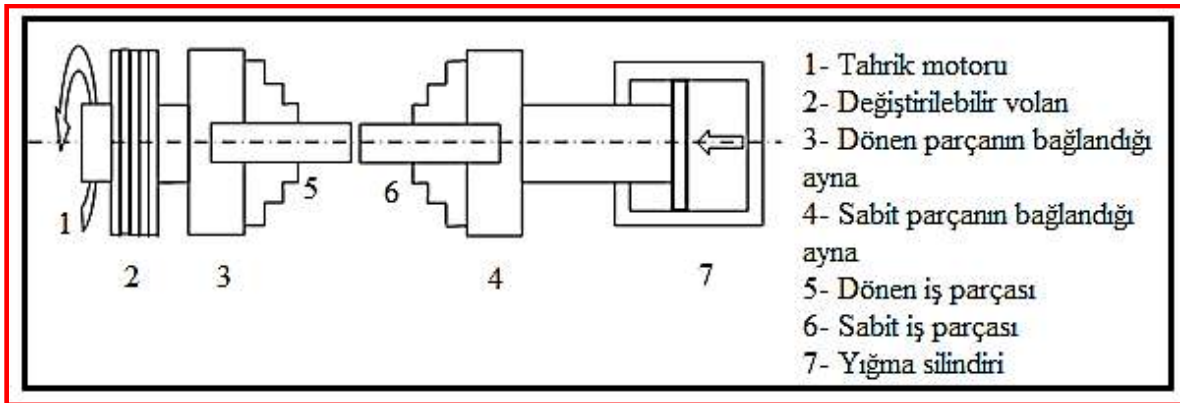
Şekil 5.12. Klasik sürtünme kaynak parametreleri[73].

Klasik Sürtünme kaynak parametreleri:

1. Devir sayısı
2. Yüzeye bağlı sürtünme kuvveti ve sürtünme süresi/sürtünme mesafesi,
3. Yüzeye bağlı yığılma kuvveti ve yığılma süresi / yığılma mesafesidir (Şekil 5.12) [74].

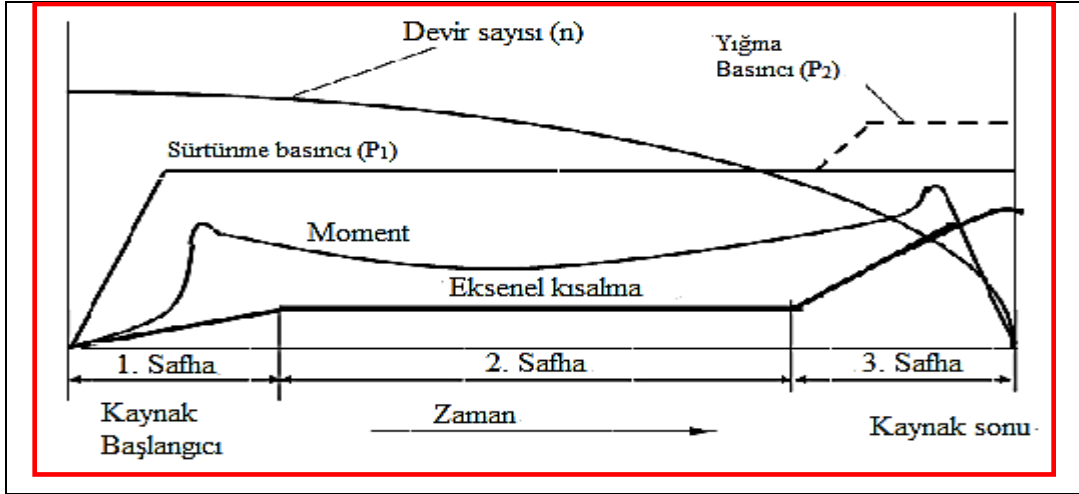
5.6.2.2. Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Volan tahrikli sürtünme kaynağı, atalet kaynağı olarak da adlandırılmaktadır. Yöntemde, parçalardan biri sabit diğeri ise üzerinde volan bağlı olan hareketli aynaya bağlanır. Sürtünme kaynağı için gerekli enerji, volanlı ayna önceden belirlenen çevresel hızda ivmelendirilerek depolanır. Böylece mekanik enerji volanda toplanmış olunur. Daha sonra bir eksenel basınç kuvveti yardımıyla iki parçanın eksenel olarak teması sağlanır. Bu eksenel basınç, ara yüzeyde birleşme için gerekli deformasyon oluşuncaya kadar artırılarak uygulanır. Bu süreç içerisinde, volan kazanmış olduğu çevresel hız, sürtünme ve sürtünme basıncının etkisiyle azalarak durur. Dönme hareketi bitmeden önce veya sonra yığma basınç kuvveti uygulanarak işlem tamamlanır (Şekil 5.13). Volan tahrikli sürtünme kaynağının sürekli tahrikli sürtünme kaynağına nazaran önemsenmeyecek derecede avantaj ve dezavantajlara sahip olduğu görülmüştür. Volan tahrikli sürtünme kaynağında, kaynak işleminin basit oluşu, daha düşük enerji ihtiyacı ile çalışması ve frenleme tertibatına ihtiyaç duyulmaması avantaj teşkil ederken, iki kademeli basınç uygulamasına (sürtünme ve yığma basıncı) elverişli olmayışı ve spesifik parametre kontrolü için gerekli donanımına sahip olmaması dezavantajlarını teşkil eder. Sürekli tahrikli kaynakta hız sabit kalırken, volan tahrikli kaynakta sürtünme aşamasında artar.



Şekil 5.13. Volan tahrikli sürtünme kaynağı[73].

Temel kaynak parametreleri; devir sayısı, yüzeye bağlı dönme kuvveti, dönme süresi ve volanın kütlesidir (Şekil 5.14) [76].



Şekil 5.14. Volan tahrikli sürtünme kaynak parametreleri[73].

5.6.3. Kaynak Parametreleri

Sürtünme kaynağında, kontrolü gereken önemli parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler;

- ✓ Çevresel hız
- ✓ Sürtünme basınç kuvveti
- ✓ Sürtünme süresi
- ✓ Yığılma basınç kuvveti
- ✓ Yığılma süresi

Bunların dışında numune geometrik şekilleri, malzemenin kimyasal kompozisyonu da önemlidir.

5.6.3.1. Çevresel Hız

Ellis (1976) kendi yaptığı çalışmalara ve literatüre dayanarak, ara düzey sıcaklığı ve bağlantı kalitesi üzerinde en etkili parametrenin çevresel hız olduğunu öne sürmüştür. Çevresel hız ITAB'ın genişliğine etki eder. Yüksek çevresel hız yüksek ara yüzey sıcaklığı üretirken, düşük çevresel hız yetersiz ısıtma sonucu kaynak bağlantısını olumsuz etkiler. Yüksek çevresel hıza bağlı olarak deformasyon hızının değişimi kaynak süresini kısaltır. Çelikler için çevresel hız 1.2 - 1.8 m/sn arasında önerilir. 1.2 m/sn'nin altındaki hızlarda düzensiz bir yığılma oluşur. Yüksek hızlarda ise kaynak bölgesi aşırı ısınır

ve metalürjik dönüşümler meydana gelir. Yüksek hızlarda ITAB genişler ve kaynak zamanı uzar; güç girdisinde ise büyük değişiklik olmaz.

5.6.3.2. Sürtünme Basınç Kuvveti

Sürtünme basınç kuvveti, numune geometrisi ve birleştirilecek malzeme çiftinin plastik şekil değiştirme yeteneğine bağlı olarak değişir. Sürtünme basınç kuvveti, temas eden ara yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek, yüzeylerin atmosfer ile ilişkisini kesebilecek ve ara yüzeyde üniform bir ısıtma sağlayabilecek bir düzeyde olmalıdır. Sürtünme basıncı, dar bir aralıkta değişmez. Basınç değişkeni, kaynak bölgesindeki sıcaklık derecesi ve eksenel kısılma ile kontrol edilebilir [74,75].

5.6.3.3. Sürtünme Süresi

Sürtünme süresi, sürtünen yüzeylerdeki olası kalıntı ve pislikleri temizleyecek ve gerekli plastisite için üniform bir kaynak bölgesi sıcaklığına ulaşmayı sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Buna karşın sürtünme süresinin aşırı uzun olması ısının etkisindeki bölgenin genişlemesine ve aşırı yığılmaya sebep olacaktır [20,68,74].

5.6.3.4. Yığma Süresi

Yığma süresi, malzeme çifti ara yüzeyinde gerekli plastik deformasyonu oluşturmak ve sürtünme kaynağının oluşum mekanizmalarından biri olan difüzyonu hızlandırmak için yığma basınç kuvvetinin uygulandığı süredir [20,68,74].

5.6.3.5. Yığma Basınç Kuvveti

Sürtünme periyodu sonrasında, özellikle çelikler için, bir yığma basıncının uygulanması bağlantı kalitesini artırır. Yığma basıncı malzemenin sıcak akma sınırına bağlıdır ve aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar yüksek, elverişsiz şekillendirmeye dolayısıyla yetersiz kaynaklanmaya sebep olacak kadar düşük olmamalıdır. Yığma basınç kuvveti, sürtünme periyodu sonrasında malzeme çifti arasında difüzyon mekanizmasını hızlandırmak amacıyla uygulanır. Yığma basıncı, malzemelerin birleştirilebilmeleri için malzemelerin sıcak dövme mukavemetlerinin altında olmamalıdır. Buna karşın yığma basıncı çok yüksek alınırsa aşırı metal deformasyonu oluşur ve bu aşırı yığılma sırasında kaynak bölgesinde metalik olmayan inklüzyonlar arzu edilmeyen enine bir akış göstererek yeniden şekillenirler [20,74].

Tablo 5.1. Malzemeler ve sürtünme kaynağına uygunluğu [71].

	Ticari Saf Alüminyum	Alüminyum Alaşımları	Bakır	Bakır Alaşımları	Yumuşak Çelik	Orta Karbonlu Çelik	Düşük Alaşımlı Çelik	Sertleştirilmiş Çelik	Yüksek Hız Çeliği	Östenitik Paslanmaz Çelik	Ferritik Paslanmaz Çelik	Dublex Paslanmaz Çelik	PH Paslanmaz Çelik	Martenzitik Paslanmaz Çelik	Nikel	Nikel Alaşımları	Niobyum	Titanyum Alaşımları	Tungsten	Zirkonyum
Ticari Saf Alüminyum																				
Alüminyum Alaşımları																				
Bakır																				
Bakır Alaşımları																				
Yumuşak Çelik																				
Orta Karbonlu Çelik																				
Düşük Alaşımlı Çelik																				
Sertleştirilmiş Çelik																				
Yüksek Hız Çeliği																				
Östenitik Paslanmaz Çelik																				
Ferritik Paslanmaz Çelik																				
Dublex Paslanmaz Çelik																				
PH Paslanmaz Çelik																				
Martenzitik Paslanmaz Çelik																				
Nikel																				
Nikel Alaşımları																				
Niobyum																				
Titanyum Alaşımları																				
Tungsten																				
Zirkonyum																				

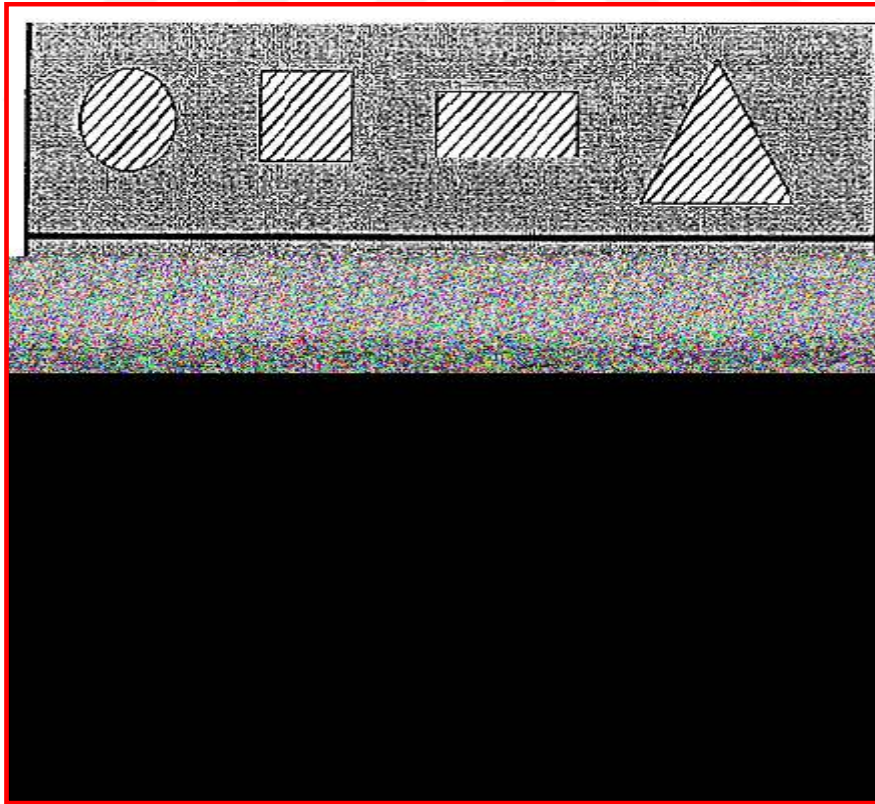
Kaynak Edilebilirlik Alaşım Miktarına Bağlıdır

- | | |
|--|---|
| 1 Kaynak Edilebilir | 4 Kaynak Edilebilirlik Alaşım Miktarına Bağlıdır |
| 2 Kaynak Edilebilir
Kaynak Başlangıcında Isıl İşlem Olmalı | 5 Kaynak Edilebilirlik Alaşım Miktarına Bağlıdır
Kaynak Başlangıcında Isıl İşlem Olmalı |
| 3 Kaynak Edilebilir
Kaynak Başlangıcında Isıl İşlem Tavsiye edilir | 6 Kaynak Edilebilirlik Alaşım Miktarına Bağlıdır
Kaynak Başlangıcında Isıl İşlem Tavsiye edilir |

5.6.4. Sürtünme Kaynağı Yapılabilen Parça Geometrileri

Sürtünme kaynağı genel olarak eksenel simetriye sahip ve dairesel kesitli parçaların birleştirilmesinde kullanılırken, cihazların otomasyonu ve bilgisayarlı kontrol olanaklarının gelişmesiyle birlikte daire dışı kesitli parçaların birleştirilmesinde de kolaylıkla kullanılmaktadır.

Sürtünme kaynağı ile hem içi dolu hem de boş kesitlerin kaynağını yapmak mümkündür. Dolu kesitlerde parça için çap değeri 1 mm'den 300 mm'ye kadardır. Parçalar eğer boş ise, birbirine benzer büyüklükteki kesit alanlarına sahip olanları sürtünme kaynağı ile birleştirilebilir. Günümüzde yapılan çok sayıdaki araştırmalar sonucunda, sürtünme kaynağı ile birçok basit biçimli parçanın birleştirilmesi imkânı ortaya çıkmıştır. Az önce bahsedilen teknolojinin gelişmesiyle, sürtünme kaynağı cihazındaki dönel aynanın istenilen pozisyonda frenlemesi sayesinde, dönel simetrisi olmayan kesitli parçaların da alın kaynağının yapılabileceği ve meydana gelebilecek açısız çarpımların önlenilebileceği ortaya konmuştur (Şekil5.15) [71].



Şekil 5.15. Sürtünme kaynağına uygun parça kesitleri[71].

5.6.5. Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları

Makine İmalatı: Dişli çarklar, piston kolları, hidrolik silindirler, radyal pompa pistonları ve piston kolları, iğler, sonsuz vidalı miller, krank milleri, matkap uçları (Şekil 5.16) [78].

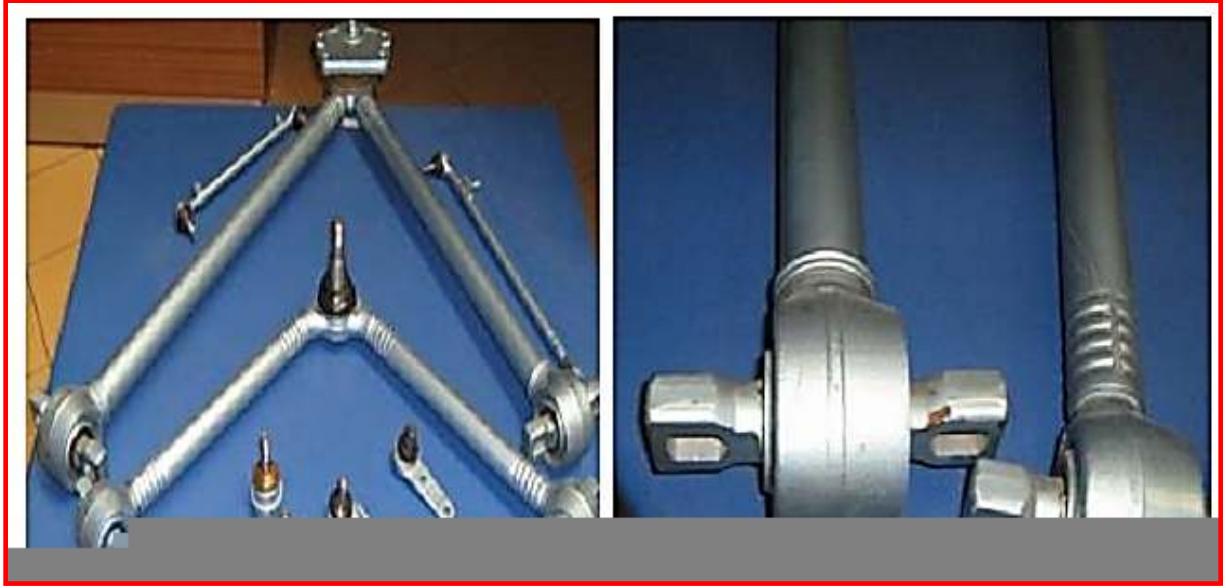


Şekil 5.16. Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş dizel motor pistonu [71].

Otomotiv Endüstrisi: Subaplar, kardan milleri, fren milleri, akslar (rotkolu, çeki kolu, stabilizer vb), vites kolları, turbo dondurucular (Şekil 5.17-18-19-20) [71].



Şekil 5.17.Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş egzoz supapları [71,80]



Şekil 5.18. Ticari araçlarda kullanılan, sürtünme kaynağı ve sıcak presleme uygulanmış “V” çeki kolları [71].



Şekil 5.19. Ticari araçlarda sürtünme kaynağı uygulanmış çeki kolları [71].

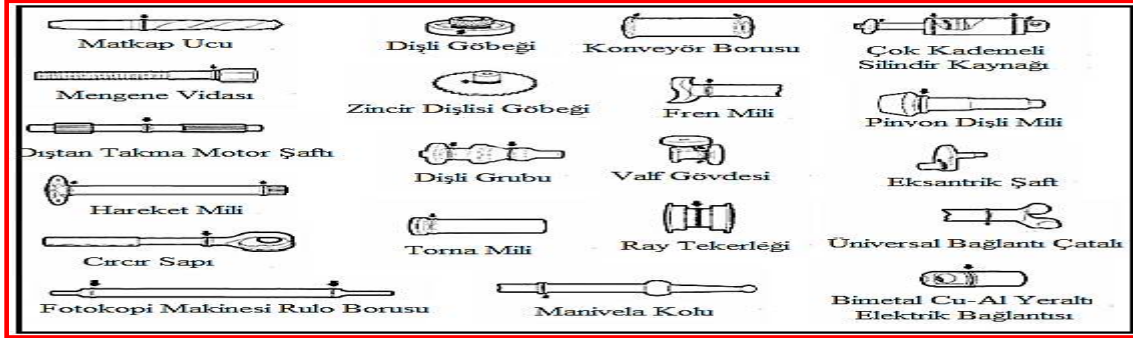
Havacılık ve Uzay Tekniği: Rotorlar, türbinler, miller, yanma odaları, itme jetleri (memeleri), borular, flanşlar, fittingsler (Şekil 5.20) [78].



Şekil 5.20. Sürtünme Kaynağı ile imal edilmiş uçak parçası[71].

İş Takım Endüstrisi: Spiral matkaplar, freze bıçakları, delik zımbaları, çelik kalemler (munçlar), raybalar [78].

Elektronik ve Elektroteknik Endüstrisi: Elektronik ve Kimya Endüstrisi: Röntgen cihazı tüpleri için döner anod milleri, sürekli lehim uçları, devre kontakları geçiş parçaları, borular, sübab yuvaları boru tesisatı bağlantıları, tel çekme. Elektrik, kimya, gemi inşa ve imalat sanayilerinde de yaygın bir kullanım alanı bulunmaktadır (Şekil 5.21) [78].



Şekil 5.21. Sürtünme kaynağı ile imal edilmiş parçalara örnekler [71].

5.6.7. Sürtünme Kaynağının Avantajları

1. Aynı ya da farklı cins malzemeler kolaylık kaynatılabilir.
2. Sürtünme kaynak işlemi, diğer kaynak yöntemlerinden en az yirmi kat daha hızlı yapılabilir.
3. Sürtünme kaynak makineleri, farklı şekil ve boyutlardaki malzemeleri kaynak edebilecek şekilde imal edilir.
4. Kaynak öncesi hazırlık zorunlu değildir. Birleştirilecek malzemeler makine, testere ve makas kesilse bile bu yüzeyler ek bir temizleme işlemi görmeksizin kaynak edilebilir.
5. Birleşme yüzeyinde meydana gelen yığılmanın bir sonucu olarak % 100 kaynak olmaktadır.
6. Birleşme bölgesinde bir ergime olmadığından, gaz boşlukları segregasyon, cüruf kalıntıları gibi olumsuzluklar meydana gelmez.
7. Toz metal malzemeler, dökme demirler, hadde mamulleri ve ağır metal çiftleri kaynatılabilir.
8. Kaynak için yardımcı eleman, temizleme maddesi, koruyucu gaz, dolgu maddesi gibi elemanlara gerek yoktur.
9. Sürtünme kaynak makinelerinde işlem kontrolü, insan hatasını ortadan kaldırır ve kaynak kalitesi operatörün beceri ve tavrına bağlı değildir.
10. Sürtünme kaynağı, geleneksel kaynak yöntemlerine göre ekolojik açıdan çok temizdir.

Kaynak sıçraması ve kıvılcım yoktur.

11. Geleneksel kaynak yöntemlerinde gerek duyulan enerjinin %20'si kadar daha düşük enerji harcanır.

12. Ek tesis ve güç kaynağına gerek yoktur.

13. Yüksek üretim miktarları için, ekipmanlar kolaylıkla otomatik hale getirilebilir.

14. Çoğu malzeme ve geometriler için önceden parametre hesabı yapılabilir.

5.6.8. Sürtünme Kaynağının Dezavantajları

1. Sürtünme kaynağına sınırlandırılan en büyük etken parçanın geometrik biçimidir.
2. Sürtünme kaynağını sınırlandıran diğer önemli bir etken ise, kesit alanıdır. [74].
3. Kaynak esnasında aksenal basınca maruz kaldıkları için parça sarfıyatı olmaktadır.
4. Sürtünme kaynağı makine ve donanımlarının maliyeti yüksektir [74].
5. Kaynak sonrası gevrekleşme söz konusudur.
6. İş parçasının boyutları, sürtünme kaynak makinesinin boyutlarıyla sınırlanmaktadır.
7. Oksijene karşı büyük ilgi vardır.
8. Özellikle yüksek karbonlu çeliklerde kaynak sonrasında sertleşme söz konusu olur [71].

6. MALZEMELERE UYGULANAN MEKANİK TESTLER

Malzemelerde kalite kontrolün sağlanması, kalite için ölçü alınabilecek büyüklüklerin belirlenmesi, kalitenin yükseltilebilmesi, hasar durumlarında hasarın ortaya çıkış nedenlerinin saptanabilmesi, malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve geliştirilmesi için onları muayene etme zorunluluğu vardır. En yaygın olarak kullanılan yöntemler şunlardır:

A) Mekanik Muayene Yöntemleri

9. Çekme deneyi,
10. Basma deneyi,
11. Çentik darbe deneyi,
12. Sertlik ölçme deneyi,
13. Derin çekme deneyi,
14. Eğme deneyi,
15. Kıvılcım deneyi.
16. Burma deneyi,
17. Sürünme deneyi,
18. Yorulma deneyi.

B) Fiziksel Muayene Yöntemleri

19. Titreşim özellikleri,
20. Isıl genleşme,
21. İletkenlik,
22. Yorulma.

C) Kimyasal Muayene Yöntemleri

23. Kimyasal analizler,
24. Korozyon dayanımı,
25. Dağlama.

D) Metalografik Muayene Yöntemleri

26. Gözle muayene,
27. Metal mikroskobu ile muayene,
28. Elektron mikroskobu ile muayene,

E) Tahribatsız Muayene Yöntemleri

29. Kapılar emdirme yöntemi,
30. Dağlama yöntemi,
31. Floresans etkili çalışma yöntemi,
32. Yağda kaynatma yöntemi,
33. Manyetik tozla muayene yöntemi,
34. Röntgen ve γ -ışınları ile muayene [44].

6.1.Tahribatsız Malzeme Muayene Yöntemleri

İnsanlar yaşamları süresince, evde, işyerlerinde birçok alanda kusursuz çalışan makine sistemleri isterler ve bu sistemlerin hayatımızı kolaylaştırırken güvenilir olması da gerekmektedir. İşte bu yüzden uzman kişiler tarafından yapılan ürünler birçok testlere tabi tutulmaktadır bunlardan en çok kullanılanlarda tahribatsız malzeme muayene yöntemleri başlığı altında incelenir.

Bu metodlar:

- ✓ Radyografi Yöntemi
- ✓ Magnetik Partikül Yöntemi
- ✓ Penetrant Yöntemi
- ✓ Ultrasonik Yöntemi
- ✓ Girdap Akımları (Eddy Current) Yöntemi

(Bu metodların yanı sıra akustik, hidrojen kaçak yöntemi, görsel muayene gibi yöntemler de bulunmaktadır.)

6.1.1.Radyografi - X ve Gama

Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar (ışınım) pek çok malzemeye nüfuz edebilirler. Belli bir malzemeye nüfuz eden ışınlam malzemenin diğer tarafına konan ışınlama duyarlı filmleri de etkileyebilir. Bu filmler daha sonra banyo işlemine tabi tutulduklarında ışınlamın içinden geçtiği malzemenin iç kısmının görüntüsü ortaya çıkar. Bu görüntü malzeme içindeki boşluklar veya kalınlık / yoğunluk değişiklikleri nedeniyle oluşur. Malzemenin içinin

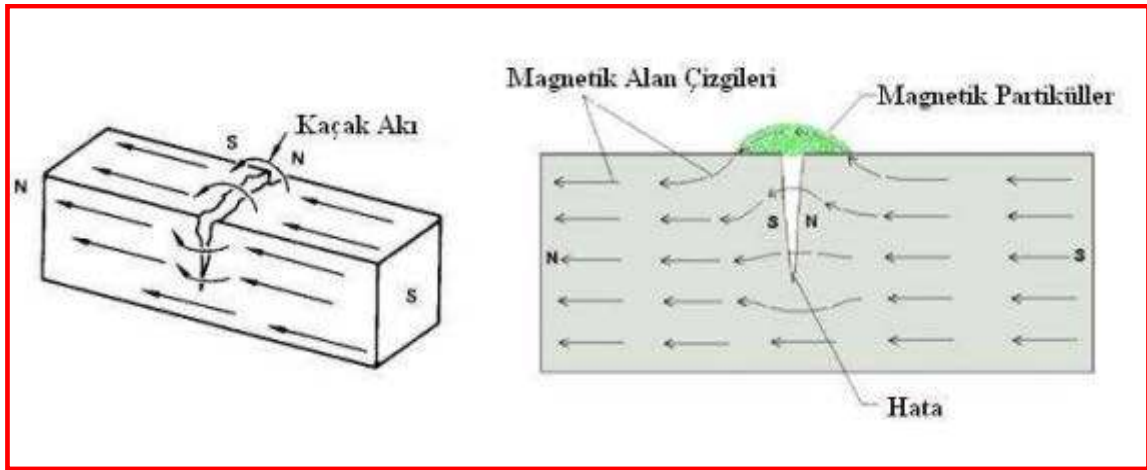
bu şekilde görüntülenmesi Radyografi olarak adlandırılır. Eğer malzemenin arka tarafına film yerine bir dedektör konup malzemedan geçen ışınım toplanarak bir monitöre aktarılırsa bu teknikte Radyoskopi olarak adlandırılır. Uygulama alanları; Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde beklenen hacimsel ve yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir. Uygulama şekli olarak; Radyografik muayene için çeşitli ışınım kaynakları kullanılabilir. Bu kaynaklar X-ışını tüpleri veya Gama ışını üreten izotoplar olabilir. Endüstriyel radyografide kullanılan X-ışını enerji aralığı genellikle 50 kV -350 kV arasındadır. Işınlama enerjisi ışınlanacak malzemenin cinsine ve kalınlığına bağlı olarak değişir. En çok bilinen ve kullanılan gama kaynakları ise Ir 192, Co 60'tır. Bunlardan başka Se 75, Yb 169 Tm 170 gibi izotoplar da endüstriyel radyografi alanında kullanılmaktadır. Muayenelerin sağlıklı ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için standartlara göre yapılması gerekir. Bu standartlar malzeme cinsine ve/veya ürün türüne göre hazırlanmıştır. Ayrıca muayenenin yapılışına yönelik uygulama standartları ile kabul seviyelerinin verildiği uygulama standartları vardır. Muayene parçasının özelliklerine göre uygun standartlar belirlenerek muayene yapılır.

6.1.2.Magnetik Partikül Yöntemi

Yüzey hatalarının tespiti için kullanılan bir muayene metodudur. Hataların muayene yüzeyine açık olması gerekmez. Muayene yüzeyine bir manyetik akı uygulanması durumunda yüzeyde bulunan süreksizlikler üzerinde, yüzeyde konumlanma durumuna bağlı olarak, kaçak akı oluşur. Bu arada muayene yüzeyine ferromanyetik tozlar serpilirse bu tozlar kaçak akılar tarafında çekilerek süreksizlikler üzerinde toplanır. Böylece süreksizliklerin yerleri tespit edilebilir. Ferromanyetik bütün malzemelere uygulanabilir. Ferromanyetik olmayan malzemelere uygulanamaz. Süreksizlik uygulanan manyetik alan yönüne uygun açıda konumlanmamış durumda ise belirlenemez. Büyük parçalar için çok yüksek mıknatıslama akımları gerekebilir. Muayene yüzeyinin çok pürüzlü olması sonucu olumsuz etkiler. Muayene yüzeyinde boya veya kaplama varsa bunun kalınlığı muayene sonucunu doğrudan etkiler. Genellikle muayene sonucunda mıknatıslık giderimi ve son temizlik gibi ilave işlemler yapılması gerekir (şekil6.1).

Uygulama şekli;

1. Muayene yüzeyinde Ön-temizlik
2. Gerekiyorsa mıknatıslık giderimi
3. Mıknatıslama akımının uygulanması
4. Ferromanyetik tozların püskürtülmesi
5. Mıknatıslama akımının kesilmesi
6. İnceleme
7. Değerlendirme ve rapor hazırlama
8. Mıknatıslık giderimi ve son-temizlik



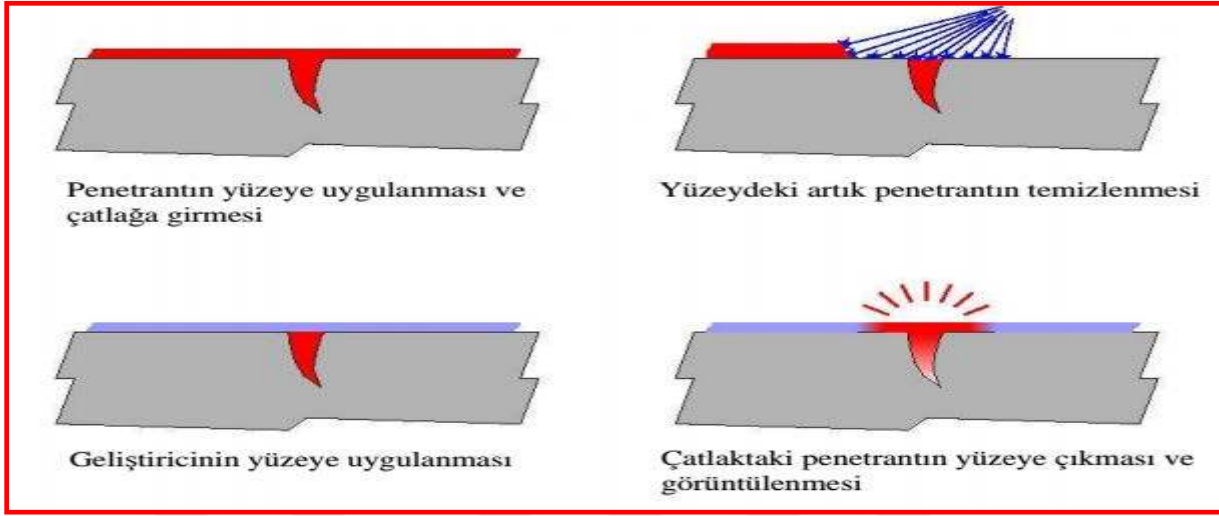
Şekil 6.1. Magnetik partikül çatlak kontrolünün temel prensibi[85].

6.1.3. Penetrant Yöntemi

Bu yöntem ferromagnetik olmayan malzemelerin yüzeylerindeki hataların tespitinde kullanılır. Oldukça basit ve yaygın bir yöntemdir. Temel olarak kılcallık olayı ile ilgilidir. Tahribatsız muayenede kullanılan penetrantlar düşük gerilim ve yüksek kılcallığa sahiptir.

Penetrant testinde, ilk olarak test edilecek parçanın yüzeyinin (dolayısıyla çatlağın içinin) kimyasal olarak temizlenip yağ, kir vb. yabancı maddelerden arındırılması gerekir. Penetrant test parçasının yüzeyine uygulanır ve penetrantın yüzeye açık süreksizliklere kılcallık olayı ile girmesi için yaklaşık onbeş dakika beklenir. Daha sonra süreksizliklerin içerisine girmeyen yüzeydeki penetrant giderilir. Süreksizliklere giren penetrantın dışarı çıkmasını sağlayan geliştirici ince bir tabaka olarak yüzeye uygulanır. Bu olaya ters kılcallık denir ve penetrantın daha geniş bir belirti oluşturmasını sağlar. Penetrantta tabi olan parçanın

yüzeyi incelendikten sonra penetrant ve geliştiriciye ait kalıntıları gidermek için son temizlik yapılır(şekil 6.2).



Şekil 6.2. Penetrant ve geliştiriciye ait kalıntıları gidermek için yapılan temizlikler[85].

Avantajları

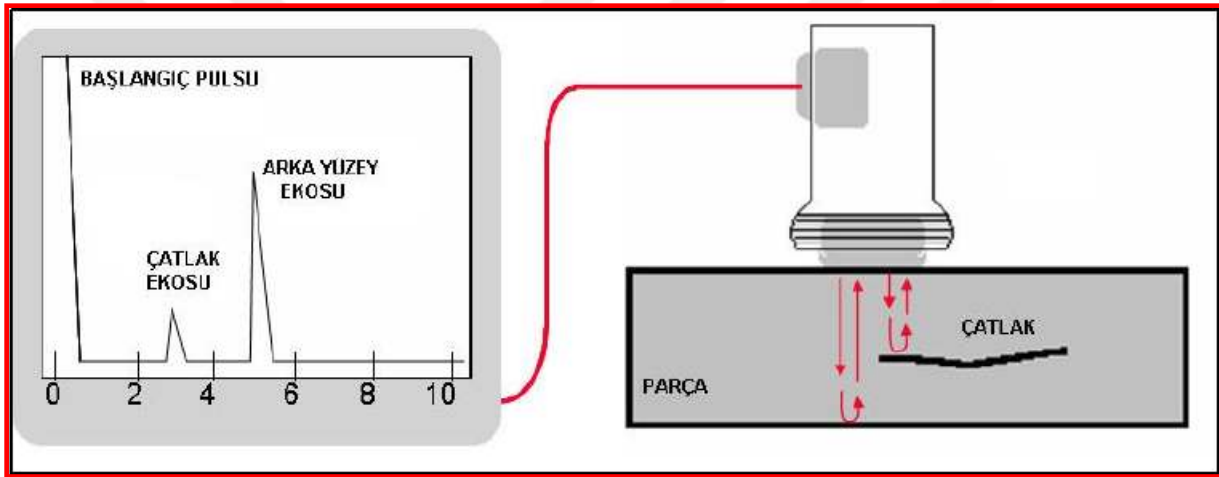
- Uygulanması kolaydır.
- Bütün metallere uygulanır ve ferritik olmayan metallerde yüzey çatlakları için en iyi yöntemdir.
- Plastik, seramik, mika, cam gibi malzemelere de uygulanabilir.
- Otomasyona uygundur.
- Niceldir.

Dezavantajları

- Sadece yüzeye açık hataların tespitinde kullanılır.
- Aşırı pürüzlü ve gözenekli yüzeylerin testinde sağlıklı sonuç alınamaz. Örneğin, sırlanmamış seramikler.
- Hassasiyeti düşüktür.
- Önemli miktarda eriyen malzeme kullanılır.

6.1.4.Ultrasonik Muayene

Malzeme içine gönderilen yüksek frekanslı ses dalgaları ses yolu üzerinde bir engelle çarparlarsa yansır. Çarpma açısına bağlı olarak yansıyan sinyal alıcı proba gelebilir veya gelmeyebilir. Alıcı proba ulaşan yansıyan sinyal ultrasonik muayene cihazının ekranında bir yankı belirtisi oluşturur. Yankının konumuna göre yansıtıcının muayene parçası içindeki koordinatları hesaplanabilir. Ayrıca yankının yüksekliği de yansıtıcının büyüklüğü hakkında fikir verir. Yankı sinyalinin şekline bakılarak yansıtıcının türü hakkında da bir yorum yapmak mümkün olabilir. Metalik veya metalik olmayan malzemelerde beklenen hacimsel hatalar ile çatlak türü hataların kontrolünde kullanılır (şekil 6.3).

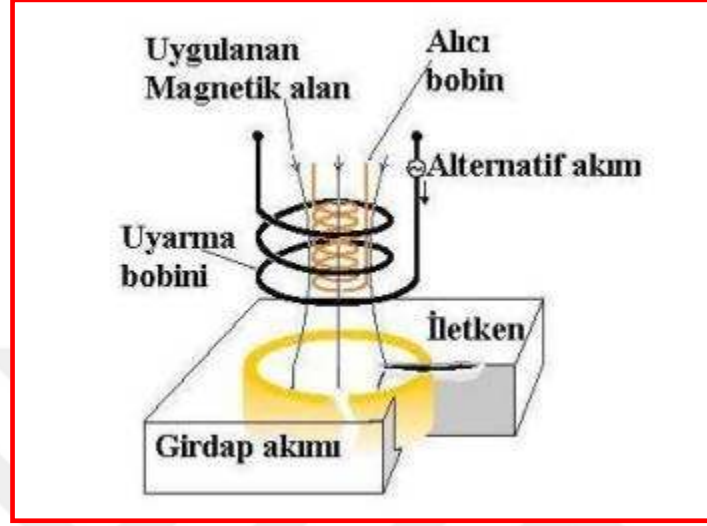


Şekil 6.3. Ultrasonik muayene yönteminin çalışma prensibi[86].

6.1.5.Girdap Akımları (Eddy-Current) Yöntemi

Bir sarımdan değişken akım (AC) geçirildiğinde bu sarım etrafında bir manyetik alan meydana gelir. Bu sarım elektriksel olarak iletken bir malzeme yüzeyine yaklaştırıldığında, sarımın değişken manyetik alanı malzeme yüzeyinde indüksiyon akımları oluşturur. Bu akımlar kapalı bir devre halinde akarlar ve Girdap akımları olarak adlandırılırlar. Girdap akımları da kendi manyetik alanlarını yaratırlar. Yaratılan bu ikincil manyetik alan ölçülerek yüzey hataları bulunabilir, malzemenin iletkenlik, geçirgenlik gibi parametreleri belirlenir. Uygulama alanı olarak metot elektriksel olarak iletken olan bütün malzemelerde (bakır, alüminyum, vb.) yüzey ve yüzey altı süreksizliklerinin tespiti için kullanılır. Girdap akımları muayenesi metodu ile ayrıca elektriksel iletkenlik veya manyetik geçirgenlik gibi özelliklere

dayanarak malzemelerin sınıflandırılması da mümkündür. Bunlardan başka kaplama kalınlığı veya ince metal levhaların kalınlığı ölçümleri de yapmak mümkündür. İletken olmayan malzemelere uygulanmaz (şekil 6.4).



Şekil 6.4. Girdap Akımları Kullanarak Hata Tespiti[85].

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Çalışmanın Amacı

Ergime sıcaklıkları farklı olan iki metalik malzemenin yaygın olarak kullanılan ergitme yöntemleri ile birleştirilmesi çok zor bir olasılıktır. Bu problemler; yüksek vizkozite, düşük akıcılık kontrolsüz katılaşma, istenmeyen reaksiyonlar ve düşük kaynak kabiliyetidir. Ayrıca, ergitme kaynak yöntemleri ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde genellikle kaynakçıdan kaynaklanan kaynak hataları kaynatılan kaynak malzemesinin soğuması esnasında kaynaklanan kaynak hatalarının minimuma indirilmesi için katı hal kaynak yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, piyasada yaygın kullanım alanına sahip AISI 4340 ıslah çeliği ile ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin birçok avantajını bir araya getirerek yüksek korozyon dayanımı ve yüksek mukavemet özelliklerini bir arada bulunduran AISI 2205 DPÇ farklı işlem ve parametreleri kullanılarak sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilen kaynaklı numunelerin çekme deneyi ile birlikte mikro yapı incelemeleri yapılmış ve kaynaklı bağlantıların hasar süreci analiz edilmiştir. Deney sonuçları literatür ışığında değerlendirilerek üretim parametrelerinin bu iki malzeme çiftinin sürtünme kaynağı ile birleştirilebilirliği üzerine olan etkileri belirlenmiştir.

7.2. Kaynak Öncesi İşlemler

7.2.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

Deneylerde kullanılan malzemelerden; AISI 4340 ıslah çeliğini Kanat Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den, AISI 2205 DPÇ ise Anıl Paslanmaz Çelik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.den temin edilmiştir. AISI 4340 VE AISI 2205 çeliklerinin kimyasal kompozisyon Tablo 7.1'de sırayla verilmiştir.

Tablo 7.1. AISI 4340-AISI 2205 malzeme çiftinin kimyasal kompozisyonu.

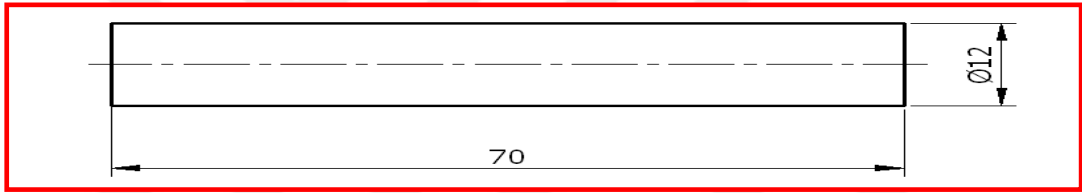
Alaşım elementleri (% Ağırlık)										
Malzeme	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N	Cu
AISI2205	0,018	1,686	0,309	0,026	0,003	22,333	3,379	4,932	0,191	0,097
AISI4340	0.4	0.8	0.3	0.035	0.040	0.9	0.3	2.00	-	-

Tablo 7.2. AISI 4340-AISI 2205 malzeme çiftinin fiziksel özellikleri.

Materials	α 10^{-6}	λ W/m°C	Ω nΩm	E GPa
AISI2205	14.7	19	85	200
AISI 4340	12.3	44.5	248	190-200
α : Termal Genleşme Katsayısı(20-800 °C) λ : Isıl İletkenlik (20°C) Ω : Elektrik Direnç (20 °C) E: Elastik modülü (20 °C)				

7.2.2. Sürtünme Kaynak Numunelerinin Hazırlanması

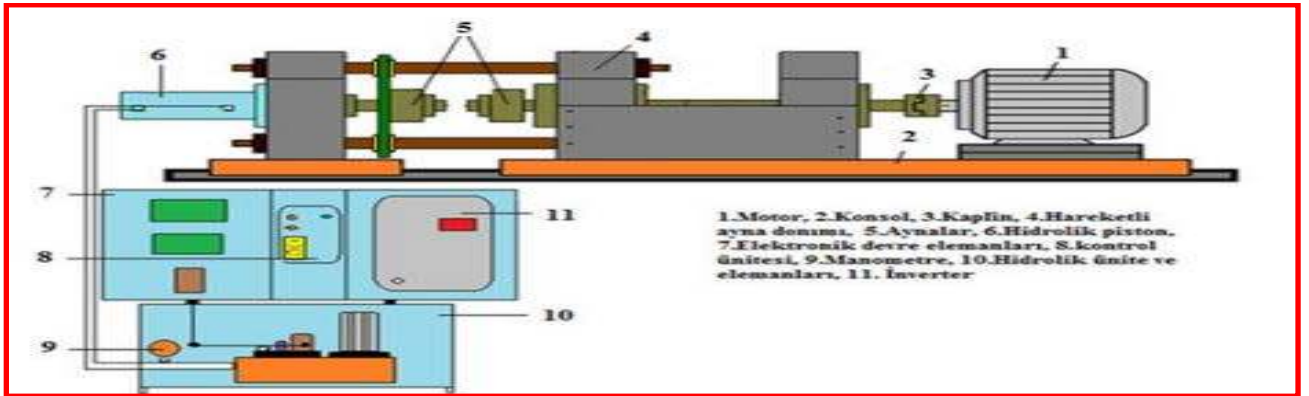
Piyasada temin edilen 12x70 mm’lik çubuklar hazırlanmış olup; bu numuneler alın yüzeyleri oksit tabakasından arındırılmak amacıyla 70 mm boyundaki ve 12 mm çapındaki torna tezgâhında işlenmiştir (şekil 7.1).



Şekil 7.1.Sürtünme kaynak numuneleri[83].

7.2.3.Sürtünme Kaynak Tezgâhı

Hazırlanan numuneler sürekli tahrikli sürtünme kaynak tezgâhı kullanılarak kaynaklar yapılmıştır. Tezgâhta bize gerekli olan parametreler istenilen düzeyde ayarlanabilmektedir. Deneylerde kullanılan tezgâh fotoğrafı Şekil7.2.’ de görülmektedir.



Şekil 7.2. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak tezgâhı fotoğrafı[85].

Eksenlerinin aynı olması için tahrik motoru ve döner ayna tezgâh kızağı üzerine bağlanmıştır. 11.1Kw'lık Simens marka DC motor ve bu tahrik motoru kontrol eden 11.1 Kw'lık Simens marka midi vektör invertör kullanılmıştır. Dönerli torna aynasını kumanda eden tahrik motoru devir sayısı, 0-5 V arası DC gerilime sahip hız kontrol ünitesi tarafından 0-3500 dev/dak aralığındaki her devir sayısında çalışabilecek şekilde kontrol edilmektedir. Ayrıca, sürtünme kaynağında önemli bir parametre olan frenleme ve frenleme süresi, inverter üzerinden tahrik motoruna DC gerilim uygulanarak kontrol edilebilmektedir. Hareketli ayna, tezgâh üzerine dönerli ayna ile maksimum 0.002 eksen kaçıklığında Ø60mm çapındaki dört adet eksenleme mili üzerine bağlanmış ve 120 mm stroklu hidrolik piston mili yardımıyla ileri geri hareketini yapmaktadır. Dönerli ayna ile eksenel hareketli ayna donanımını birbirine bağlayan bu dört adet mil, eksenel hareketli aynanın ileri geri hareketi esnasındaki titreşimleri ve eksen kaymaları önlemektedir

Sürtünme kuvveti etkisi ile parçaları ayna içerisinde kaymasını, burkulma ve eksen kaçıklıklarını önlemek amacıyla aynaların iç kısmında 35 mm mesafede dayamalar yerleştirilmiştir. Deneylerin tamamında AISI 4340 çeliği sabit aynaya bağlanırken AISI 2205 malzemesi döner aynaya bağlanmıştır. Parçaların tezgâha bağlanma düzenleri şematik olarak şekil 7.3. ' de gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Malzeme çiftinin birleşme düzenini gösteren resim[83]

AISI 4340 ve AISI 2205 malzeme çiftinin sürtünme kaynakları için yaklaşık parametre değerlerinin belirlenmesinde öncelikli olarak literatür çalışması tamamlanmış daha sonra ise yapılan ön çalışmalar ile kaynaklı bağlantılar yapılabilecek en uygun değerler aralığı belirlenmiştir. Bu kapsamda sürtünme basıncı, sürtünme süresi, devir sayısı, yığma basıncı ve yığma süresi kaynak parametreleri değişken olarak seçilmiştir. Bu değişkenler tablo 7.3'de verilen düzende deneysel tasarım yapılmıştır.

Tablo 7.3. sürtünme kaynağında kullanılan parametreler.

Numune no	KULLANILAN PARAMETRELER				
	Devir(dev/dk)	Sürtünme Süresi(sn)	Sürtünme Basıncı(Mpa)	Yığma Basıncı(Mpa)	Yığma Süresi(sn)
N1	2000	6	30	60	3
N2		10	30	60	5
N3		6	40	80	3
N4		10	40	80	5
N5	2100	6	30	60	3
N6		10	30	60	5
N7		6	40	80	3
N8		10	40	80	5
N9	2200	6	30	60	3
N10		10	30	60	5
N11		6	40	80	3
N12		10	40	80	5

7.3. Kaynak Sonrası Yapılan İncelemeler

7.3.1. Metalografik İncelemeler

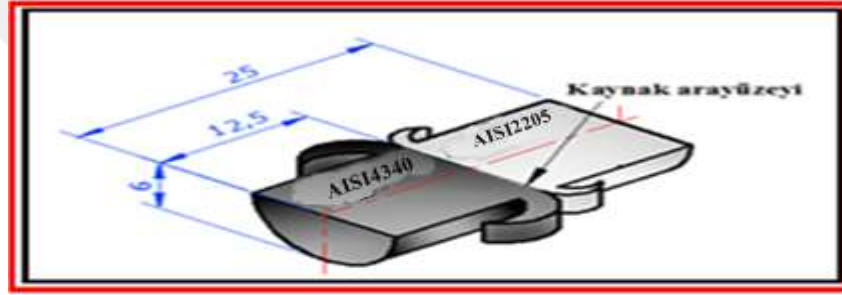
Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş kaynaklı bağlantıların yüzey karakteristiklerini belirlemek amacı ile dijital fotoğraf makinesi kullanılarak makroskobik yüzey fotoğrafları çekilmiştir. (Şekil 7.4.)’de



Şekil 7.4. Metalografik İncelemelerde kullanılan numuneler.

Kaynak işleminden sonrası, numunelerin ara yüzeylerinde meydana gelen birleşme bölgesindeki yapısal değişikliklerin incelenmesi amacı ile numuneler; birleşme ara yüzeyinde dik doğrultuda 25 mm boyunda içyapıya zarar vermeden soğutma sıvısı kullanılarak kesilmiştir. Daha sonra merkezdeki yapıya ulaşabilmek için numuneler orta eksenine kadar, soğutma sıvısı kullanılarak frezede işlenmiş ve yüzeyler düzlem haline getirilmiştir.

Birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişikliklerin belirlenmesi amacıyla geleneksel temizle ve parlatma yöntemi kullanılmış olup; soğutma sıvısı kullanılarak hazırlandıktan sonra, sırasıyla 80, 120, 240, 800 ve 1200 mesh'lik zımpara ile zımparalandıktan sonra 3 μm 'lik elmas pasta ile parlatılarak dağlamaya hazır hale getirilmiştir. Metalografik incelemeler ve mikro sertlik ölçümleri için hazırlanan numune boyutları Şekil 7.5.' de gösterilmiştir.



Şekil 7.5. Metalografik İncelemeler için hazırlanan numune boyutları[83].

Dağlama işleminde AISI 4340 çeliği için % 2 nital kullanılarak 5 sn süre nital dağlama yapılmıştır. AISI 2205 içine ise %25 HNO₃+%75 H₂O kimyasal çözeltisi kullanılarak 7.5 Volt ve 30 sn elektrolitik dağlama işlemi yapılmıştır.

Kaynak parametreleri kaynak bölgesi ve mikro yapı üzerinde etkilerinin araştırılması amacı ile her bir numune için taramalı elektron mikroskobu ile inceleme yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda özellikle çatlak başlangıç ve ilerleme özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla Fırat Üniversitesi, Merkez Araştırma Laboratuvarında bulunan taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

Kaynaklı numunelerin mikroyapı analizi çalışmalarında EDS analizleri kaynak bölgesinde oluşan fazların kimyasal içerikleri belirlenmiştir. Bu amaçla Fırat üniversitesi, Merkez Araştırma Laboratuvarında bulunan JEOL marka JSM-2001F analiz test cihazı kullanılmıştır.

Kaynaklı bağlantıların ara bölgesinde oluşan fazların tespiti için X-Ray analizleri, Fırat Üniversitesi, Metalürji Malzeme Mühendisliğine ait cihaz ile yapılmıştır.

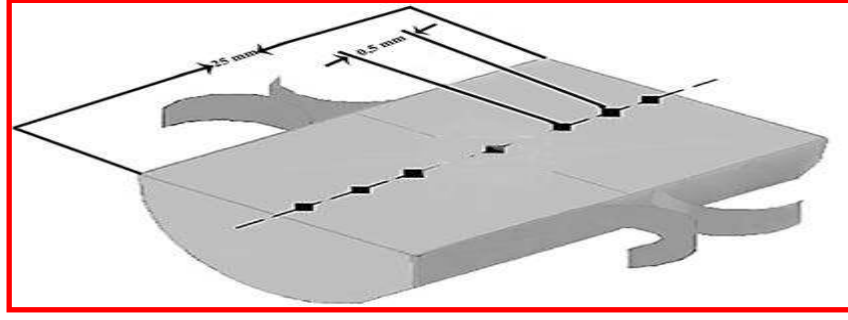
7.3.2. Mikrosertlik Analizi

Kaynak işlemi sonrasında sertlik değişimlerini incelemek amacı ile mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri yapılmadan önce numuneler metalografik olarak hazırlanıp dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin mikrosertlik ölçümleri Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında bulunan EMCOTEST DuraScan marka mikrosertlik cihazı ile 50 gr yük uygulanarak, numunelerin tam orta ekseninden ve kaynak kesitine dik olacak şekilde bir hat üzerinden 0,5 mm aralıklarla ve 10 sn'lik yükleme hızında gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçümünün gerçekleştirildiği cihaz Şekil 7.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 7.6. Mikrosertlik cihazı[82].

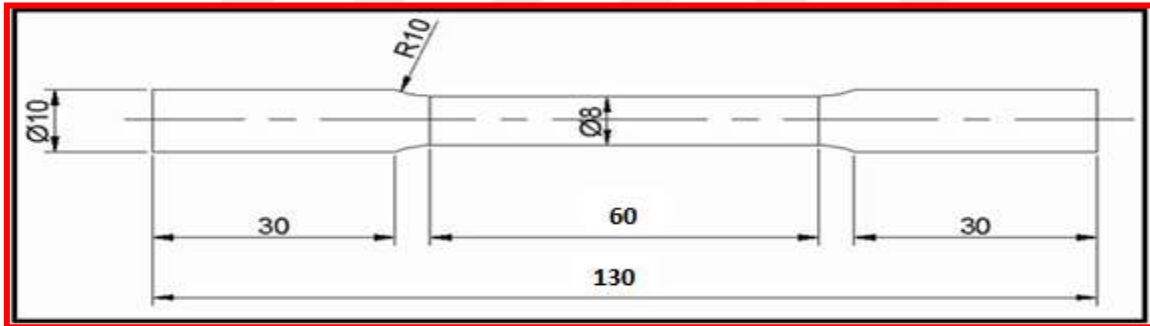
Ölçümlerde 136° tabanı kare olan piramit uç kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı bölgeler Şekil 7.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. Mikrosertlik ölçümü yapılan noktaların şematik gösterimi[82].

7.3.3. Çekme Deneyi

Sürtünme kaynağı sonrasında numunelere çekme testi uygulamak amacı ile kaynak yapılmış numuneler üniversal torna tezgâhında içyapının bozulmaması için soğutma sıvısı kullanılarak hassas bir şekilde işlenmiş ve TS 138'e uygun ölçülere getirilmiştir. Numuneler 12 mm çapında ve 70 mm boyunda silindirik olarak hazırlanmıştır. Deney numunelerine ait ölçüler Şekil 7.8.'de gösterilmektedir.



Şekil7.8. Çekme deney numunelerine ait ölçüler [TSE 138].[82].

Deney numuneleri yüzeylerindeki fazla kaynak metali giderilecek şekilde talaş kaldırma işlemine tabi tutulmuştur. Numune hazırlamanın son aşamasında, yüzeyde çekme sertleşmesi veya aşırı malzeme ısınmasından kaçınmak için gerekli tedbirler alınarak, talaş kaldırma ve taşlama işlemi yapılmıştır. Yüzeyler, paralel uzunluk “Le” boyunca, çizik ve çentiklerden tamamen temizlenerek pürüzsüz bir test yüzeyi elde edilmiştir. Şekil7.9’da çekme numunesine ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 7.9. Çekme deney numunesi

Sürtünme kaynağı yapılmış numunelerin çekme deneyleri Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan *SHIMADZU AG-X 50 KN* marka çekme cihazı ile 50.000 N yük altında ve 1mm/dk çekme hızında standartlara uygun olarak yapılmıştır. Deney sonucunda kırılma yerleri not alınmış, değerlendirme esnasında kullanılmak üzere kırık numunelerin ve kırık yüzeylerin fotoğrafları çekilmiştir. Tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapıldığı çekme cihazı Şekil 7.10.'da gösterilmektedir.

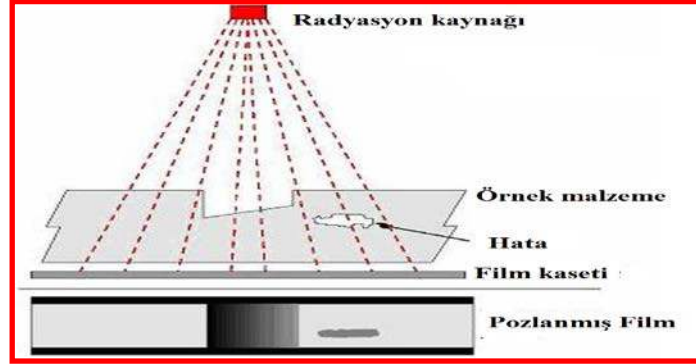


Şekil 7.10. Çekme deney cihazı[82].

7.3.4.Radyografi Testi

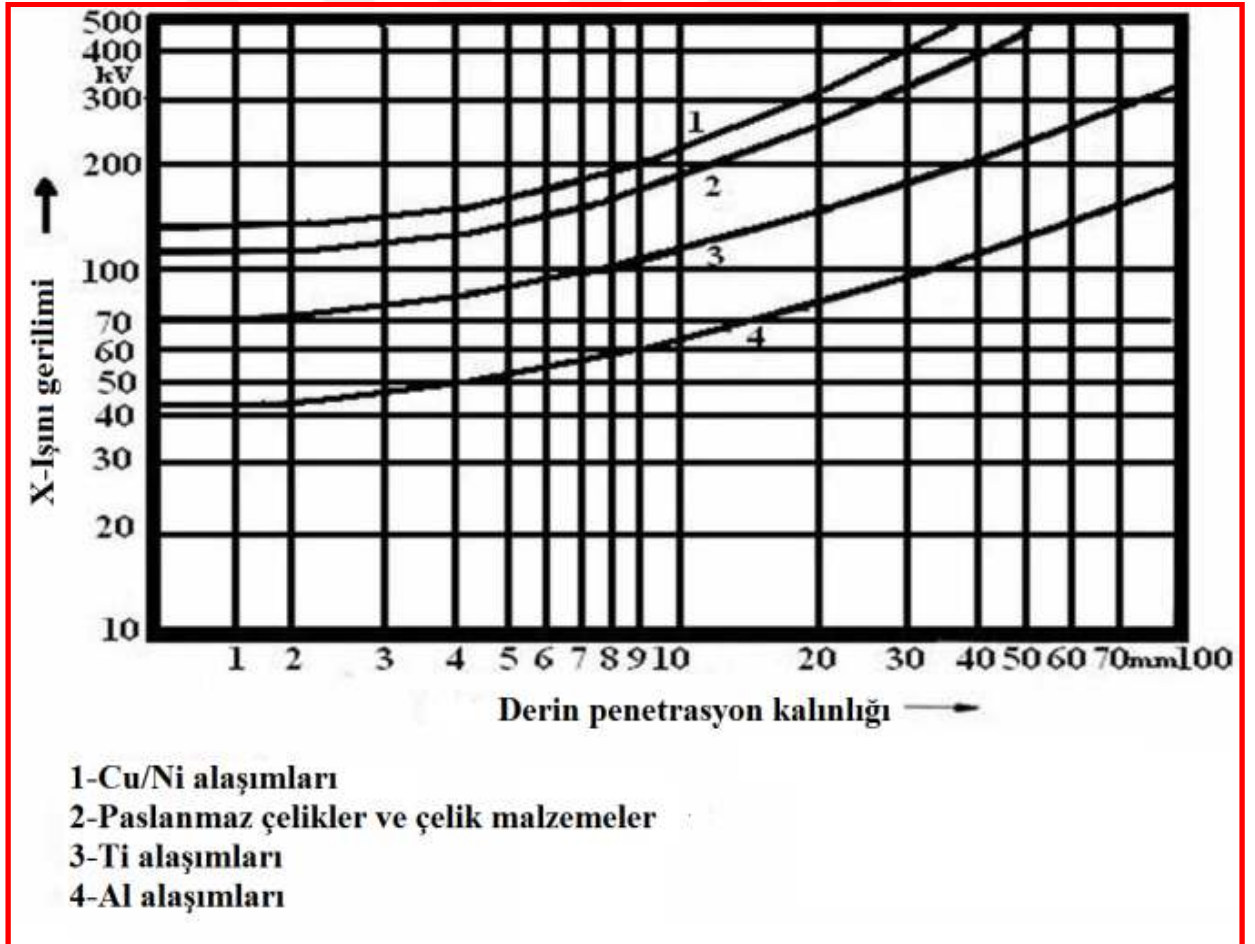
Sürtünme kaynak işlemi yapılan numunelerin birleşme bölgelerinin detaylı olarak incelenmesi amacı ile numuneler radyografik teste tabi tutulmuştur. Kaynak dikişinin kontrolünde, tahribatsız yöntemler arasından kalınlığı 4 mm olan radyografik test ve

radyasyon kaynağı olarak da x-ışını tüpü kullanılmıştır. Prensip olarak Şekil 7.11.'de görülebilir.



Şekil.7.11. Radyografik testin çalışma prensibi[86].

X-ışını gerilimi malzemenin kalınlığına göre Şekil 7.12.'ye bakılarak 130 kV seçildi.



Şekil.7.12.X-ray cihazında 500 kV bir gerilimle belirlenen derin penetrasyon kalınlığı ve malzeme grafiği[84].

X-Işını cihazı olarak, 300 KV kapasiteye sahip, RigakuRadioflex-300EGS3 tipi cihaz kullanıldı (Şekil.7.13).



Şekil 7.13.Rigaku marka Radioflex -300EGS3 tipi cihaz (a) ve control paneli (b)[84].

C4 tipi 100x240 mm Kodak film kullanıldı.0.125 mm kalınlığında ön ve arka kurşun ekranlar kullanıldı. 4 mm kalınlığındaki malzemeye uygulanan kaynak dikişi 48 saniye boyunca, diyagramı oluşturmak için ışın gönderilerek filmlendi. X-ışını cihazı ve film arasındaki mesafe 600 mm'dir. Filmin yerleşimi Şekil 7.14'de gösterilmiştir.



Şekil7.14.Film, penetrometer, şablonlu kalıp, ışın kümesi.[84].

8.DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1. Kaynaklı Numunelerin Makroskobik Değerlendirmesi

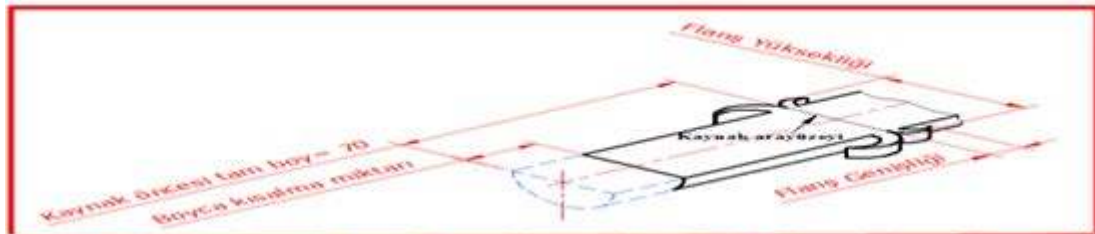
Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilen parçalarda kaynak ara yüzeyinden dışarı taşan malzeme bir flanş oluşturmakta ve flanş oluşumu sırasında da malzeme boyca kısalmaktadır. Farklı işlem parametreleri kullanılarak sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin, yüzey ve dışarı taşan metalin profilindeki değişim Şekil 8.1’ de şematik resmi ele alınarak değerlendirilmiştir. Bu kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinden alınan makro fotoğrafları değerlendirildiğinde; temelde benzerlik göstermesine rağmen dışarı taşan malzemenin görünüş ve miktarında önemli farklılıklar olduğu gözlenmiştir.

Kaynaklı bağlantılarda birleştirilen ara yüzey ve ara yüzeye yakın yani (ITAB)’nin kaynak kalitesi için çok büyük öneme sahiptir. Kaynaklı bağlantılara ait makro fotoğraflar incelendiğinde ısıdan etkilenen bölge her iki numune üzerinde de net bir şekilde görülmektedir.(Şekil 8.1).



Şekil 8.1. Kaynak bölgesinde oluşan flanş ve IEB’ nin gösterimi.

Kaynaklı numunelerin her birinde oluşan boyca kısaltmalar ve flanş miktarları Şekil 8.2’de verilen düzende ölçülmüştür.



Şekil 8.2. boyca kısalma miktarı ve flanş geometrisine ait özellikler.

Sürtünme kaynağı parametrelerine bağlı olarak ortalama boyca kısalma miktarı AISI 4340 ve AISI 2205 ayrı ayrı gösterilecek biçimde Tablo 8.1’de verilmiştir.

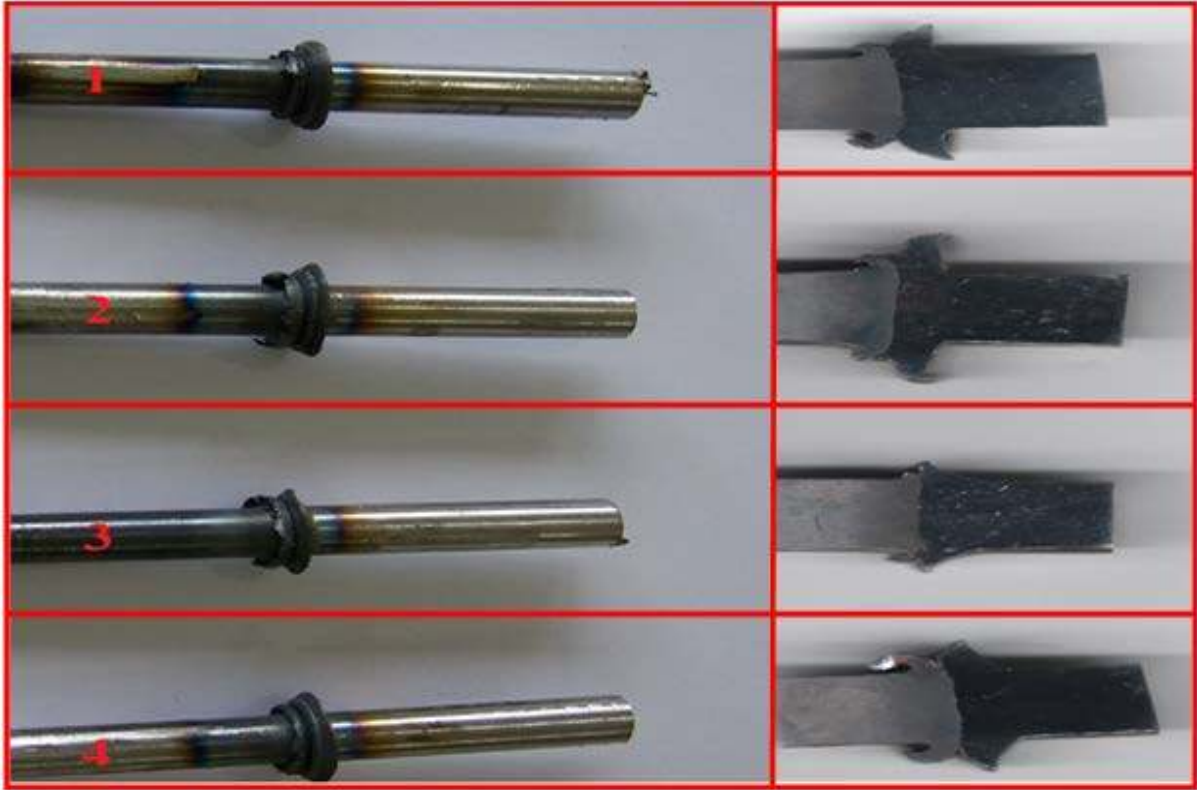
Tablo 8.1. Kaynak parametrelerine bağlı olarak boyca kısalma miktarları.

Numune no	KULLANILAN PARAMETRELER					Boyca Kısalma (mm)
	Devir (dev/dk)	Sürtünme Süresi(sn)	Sürtünme Basıncı(Mpa)	Yığma Basıncı(Mpa)	Yığma Süresi(sn)	Ortalama boyca kısalma
N1	2000	6	30	60	3	2.10
N2		10	30	60	5	2.80
N3		6	40	80	3	2.20
N4		10	40	80	5	2.60
N5	2100	6	30	60	3	3.15
N6		10	30	60	5	3.41
N7		6	40	80	3	3.44
N8		10	40	80	5	3.96
N9	2200	6	30	60	3	4.00
N10		10	30	60	5	4.37
N11		6	40	80	3	4.50
N12		10	40	80	5	4.78

8.1.2. 2000 dev/dk ile Birleştirilen Kaynaklı Bağlantıların Makroskobik İncelemeleri

Sürtünme kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen, kaynaklı bağlantıların üzerinden alınan yüzey ve ara yüzey fotoğrafları, sürtünme süresi esas alınarak değerlendirilmiştir.

2000 dev/dk devir sayısı, 30 Mpa ve 40 Mpa sürtünme basıncı, iki farklı sürtünme süresi (6 ve 10 sn) kullanılarak birleştirilen N1, N2,N3 ve N4 no’ lu kaynaklı bağlantılara ait kaynak sonrası yüzey ve ara yüzey makro fotoğrafı şekil 8.3.’de verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantılara ait makro yüzey fotoğrafları incelendiğinde artan sürtünme süresine bağlı olarak dışarı taşan malzeme miktarında artış gözlenmiştir.



Şekil 8.3. N1, N2, N3ve N4 no'lu numunelere ait yüzey ve ara yüzey fotoğrafları.

Bu numunelere ait arayüzey makro fotoğrafları incelendiğinde; N1 no'lu numunede, arayüzeyde plastik deformasyon için gerekli olan sıcaklığa ulaşmada sürtünme süresi yetersiz olduğundan düzgün bir arayüzeyin oluşmadığı makro fotoğrafında da açıkça gözlenmektedir. N2 no'lu numunede ise kısmen de olsa kritik sıcaklığa ulaşmış ve bunun sonucunda da birleştirme gerçekleşmiş.

N3 no'lu numunede, N2 no'lu numune gibi sürtünme basıncının artmasına rağmen sürtünme süresi yetersiz olduğundan arayüzey makro fotoğrafından da anlaşılabileceği üzere kısmi bir birleşme olmuştur. N4 no'lu numune ise sürtünme süresinin artmasıyla birlikte plastik deformasyonun oluşması için yeterli sıcaklığa ulaşıldığı için arayüzeyler kusursuz olarak birleşmiştir. Basıncın artmasıyla flanş oluşumunda AISI 2205 DPÇ tarafında artış gözlenmiştir.

Tablo 8.2. N1, N2, N3 ve N4 no'lu numunelerdeki boyca kılmalma miktart.

Numune no	KULLANILAN PARAMETRELER					Boyca Kılmalma (mm)
	Devir (dev/dk)	Sürtünme Süresi (sn)	Sürtünme Basıncı (Mpa)	Yığma Basıncı (Mpa)	Yığma Süresi (sn)	Ortalama boyca kılmalma
N1	2000	6	30	60	3	2.10
N2		10	30	60	5	2.80
N3		6	40	80	3	2.20
N4		10	40	80	5	2.60

8.1.3. 2100 dev/dk ile Birleştirilen Kaynaklı Bağlantıların Makroskobik İncelemeleri

2100 dev/dk devir sayısı 30 ve 40MPa sürtünme basıncı(6 ve 10sn) sürtünme süreleri kullanılarak birleştirilen N5, N6, N7, N8 no'lu numuneler üzerinde alınan makro yüzey ve ara yüzey fotoğrafları şekil 8.4'de verilmiştir.



şekil 8.4. N5, N6,N7,N8 no'lu numunelere ait yüzey ve ara yüzey fotoğrafları

Bu numunelerin kaynak bölgelerinin yüzey fotoğrafları incelendiğinde, artan sürtünme süresine bağlı olarak boyca kısalma ölçüleri tablo 9.4’de görülmektedir. N5, N6 no’lu numunelerde sırasıyla (3.15 - 3.45), N7, N8 numuneleri de ise (3.44 - 3.96) ölçülmüştür. Elde edilen bu sonuçlardan artan sürtünme süresine ve devir sayısına (2000 dev/dk yapılan birleştirmelere) göre bağlı olarak boyca kısalma miktarlarında artış olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 8.3. N5,N6,N7,N8 no’lu numunelerdeki boyca kısalma miktarı.

Numune no	KULLANILAN PARAMETRELER					Boyca Kısalma (mm)
	Devir (dev/dk)	Sürtünme Süresi (sn)	Sürtünme Basıncı (Mpa)	Yığma Basıncı (Mpa)	Yığma Süresi (sn)	Ortalama boyca kısalma
N5	2100	6	30	60	3	3.15
N6		10	30	60	5	3.41
N7		6	40	80	3	3.44
N8		10	40	80	5	3.96

9.1.4. 2200 dev/dk ile Birleştirilen Kaynaklı Bağlantıların Makroskobik İncelemeleri

2100 dev/dk devir sayısı 30 ve 40 MPa sürtünme basıncı (6 ve 10sn) sürtünme süreleri kullanılarak birleştirilen N9, N10, N11, N12 no’lu numuneler üzerinden alınan makro yüzey ve ara yüzey fotoğrafları Şekil 8.5.’de verilmiştir.



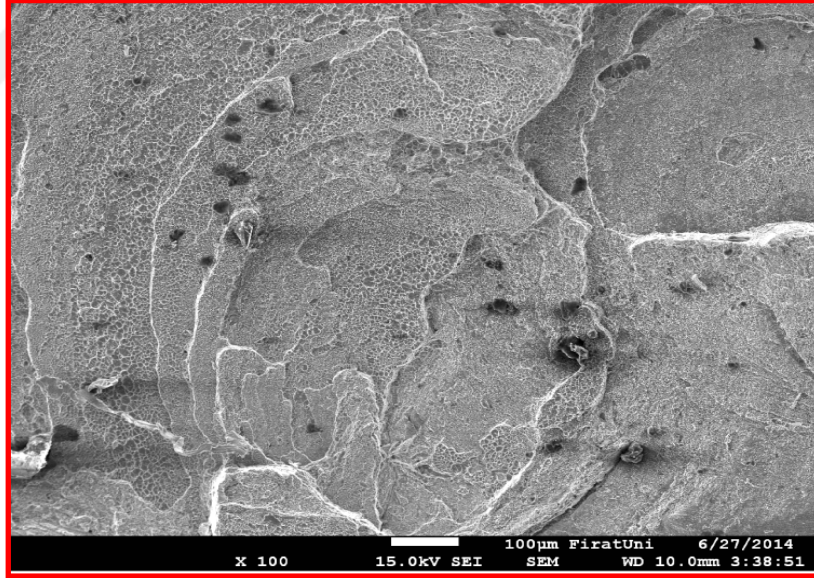
Şekil 8.5. N9, N10, N11 ve N12 no'lu numunelere ait yüzey ve ara yüzey fotoğrafları.

Kademeli olarak artırılan devir sayısının ve sürtünme süresinin flanş oluşumu üzerindeki etkisi kararlı bir şekilde olmuştur, boyca kısalma miktarı, sürtünme fazında ortaya çıkan enerji ve ısı girdisindeki artış ile ilişkilidir. Devir sayısı ve sürtünme basıncının artışı, ısı miktarını yükseltmesi sebebi ile diğer numunelere göre boyca kısalma miktarının lineer olarak arttığı görülmektedir ve iki parça arasındaki sertlik değerinin ve kimyasal kompozisyonlarının farklı olması bileşme noktalarındaki kaynak yüzeylerinin kararlı bir yapı oluşturmasında da büyük önem arz etmektedir. Yüzey ve arayüzey fotoğrafları incelendiğinde flanş oluşumları devir ve sürtünme süresindeki artışa bağlı olarak flanş oluşumu kararlı olarak artış göstermiştir ve numunelerin ara kesitlerinde herhangi bir boşluk, çatlak ve bağlantısız bölgenin oluşmadığı bununla birlikte kaynak arayüzeylerinin daha düzgün bir formda meydana geldiği görülmektedir. Numunelerin ortalama boyca kısaltmaları tablo 8.4'de verilmiştir.

Tablo 8.4. N9, N10, N11, N12 no'lu numunelerdeki boyca kılalma miktartı.

Numune no	KULLANILAN PARAMETRELER					Boyca Kılalma (mm)
	Devir (dev/dk)	Sürtünme Süresi (sn)	Sürtünme Basıncı (Mpa)	Yıgma Basıncı (Mpa)	Yıgma Süresi (sn)	Ortalama boyca kılalma
N9	2200	6	30	60	3	4.00
N10		10	30	60	5	4.37
N11		6	40	80	3	4.50
N12		10	40	80	5	4.78

8.2.Kaynaklı Bağlantıların Mikro Yapı Değerlendirmesi



Şekil 8.6. AISI 4340 çelik malzemenin SEM fotoğrafı.

Martenzitik paslanmaz çeliklerde östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950–1050 °C arasındadır. Bu sıcaklıklara çıkarılan çeliğe su verildiğinde martenzitik içyapı elde edilir. Martezitik paslanmaz çelikler tavlanmış veya ıslah edilmiş durumda kullanılırlar. Tavlanmış olarak alınan martenzitik paslanmaz çelikler, şekil verildikten sonra ıslah işlemine (su verme

+ temperleme) tabi tutulduğunda ıslah çelikleri elde edilir. AISI4340 çeliği bu şekilde elde edilen ve içeriğinde Ni ve Mo bulunan bir ıslah çeliğidir. Şekil 8.6'da görülen AISI4340 çeliğinde yapı temperlenmiş martenzittir. Yer yer bainitik yapı mevcuttur. Aynı zamanda matriste ikincil çökelmiş karbürlerde görülmektedir.

Çelik malzemenin üretiminden sonra malzemenin endüstride kullanılabilmesi için o malzemenin karbon eşdeğerinin iyi bilinmesi gerekmektedir ve çelik malzemenin şekillendirilmesi, kaynak kabiliyeti gibi hususları tablo 8.5'de bakarak bize kolaylık sağlayacaktır.

$$Ceş = C + (Mn/6) + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

AISI 4340 çelik malzeme içinde ki değerler formülde ki yerlerine konulursa;

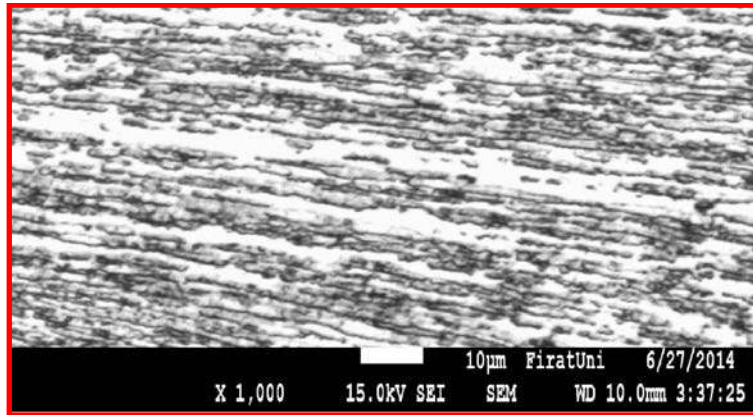
$$Ceş(4340) = 0.4 + (0.8 / 6) + (0.9 + 0.3 + 0) / 5 + (2 + 0) / 15$$

$$= 0.906 \text{ bulunur.}$$

Tablo 8.5. N9,N10 no'lu numunelerdeki boyca kısılma miktarı.

Karbon eşdeğeri %	Ön tavlama sıcaklığı C
0.45'den küçük	Normal atmosfer sıcaklığında tavlamaya gerek yoktur
0.45 ile 0.60 arası	100 ile 200 C tavlmalıdır.
0.60'dan büyük	200 ile 300 C tavlmalıdır.

Karbon eşdeğerinde görüldüğü gibi tamamen çeliğin birleşimi ile ilgili olup, kaynağa tatbik edilen enerji, kaynak ağzı formu, parçanın geometrisi ve kalınlığı ile ilgili değil tamamen malzemenin kimyasal kompozisyonu ile alakalı olduğunu görüyoruz. $Ceş(4340) > 0,6$ kaynaklı bağlantının AISI4340 çelik tarafında sertleşme ve çatlama eğilimi aynı zamanda martenzitik oluşma olasılığının çok yüksek olduğu görülmektedir ve bundan dolayı ergitme kaynak yöntemleri ile kaynak yapılması çok zordur.



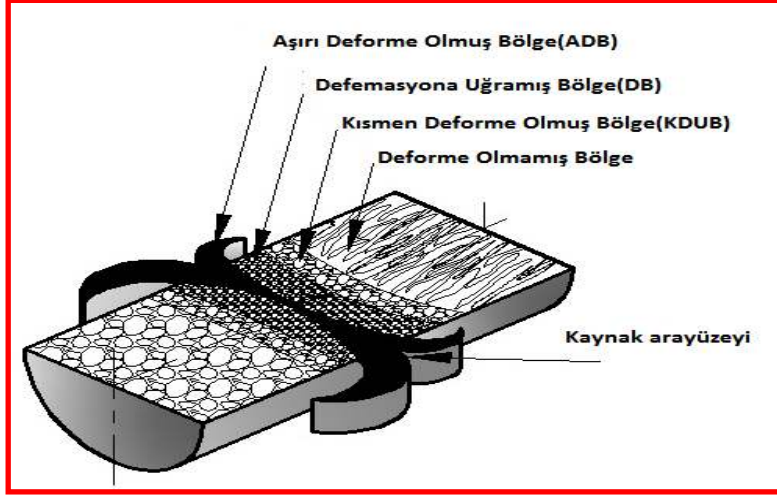
Şekil 8.7. AISI 2205 çelik malzemenin SEM fotoğrafı.

Deneyde kullanılan AISI2205 dubleks paslanmaz çeliğin kaynak öncesi yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı Şekil 8.7 'de verilmiştir. Dubleks paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ferrit matris tarafından sarılan östenit tanelerden oluşur. İçerdikleri bu iki faz nedeniyle östenitik ve ferritik çeliklerin sahip oldukları avantajlara ve dezavantajlara sahiptirler.

AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak işleminde ortaya çıkan sıcaklık değişimleri, kaynak metalinin ve ısıdan etkilenen bölgenin içerdikleri ferrit ve östenit oranını değiştirir. Bu oranın değişmesi malzemenin mekanik özelliklerinin ve korozyon direncinin değişmesine neden olur. Kaynak yöntemi, kaynak prosedürü, kullanılan ilave metalin türü bu oranı dengeleyecek şekilde seçilmeli ve uygulanmalı ki; kaynak işlemindeki ısı çevirimleri nedeni ile meydana gelebilecek mikroyapısal değişiklikler ve çökelmeler engellenebilsin. Ancak, sürtünme kaynak yönteminde özellikle ergimenin olmaması, çok kısa zamanda tamamlanması ve hızlı soğuma nedeniyle yukarıda anlatılan metalurjik değişimler elimine edilebilir. DPÇ'lerin katı hal kaynak karakteristikleri üzerine bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar lokal segragasyon etkilerinin olmaması sonucunda korozyon ve mekanik özelliklerin ana malzemeyle benzer, kaynak bölgesi korozyon direncinin, kaynağıyla yapılan kaynaklardan daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Sürtünme kaynak yönteminde, kaynak sonrası birleşme arayüzeyinde meydana gelen yapısal değişim bazı araştırmacılar tarafından üç farklı bölgeye ayırarak incelenmiştir. Bu bölgeler Şekil 8.8'de gösterildiği gibi; esas malzeme (EM), deformasyon bölgesi (DB), kısmen değişime uğramış bölge (KDUB) olarak isimlendirilmektedir.

Bununla birlikte deformasyona uğramış bölge içinde kalan, ancak yapısal olarak farklılık gösteren aşırı deformasyona uğramış bölge (ADB) varlığı yapılan detaylı SEM çalışması ile belirlenmiştir. (ADB)'nin deformasyon bölgesi dışında, ilave bölge olarak kabul edilmesi ile yapı dört farklı bölüm olarak belirlenmiş ve incelenmiştir. Tanımlanan bu dört bölgenin boyutlarının, işlem parametrelerine bağlı olarak değişim gösterdiği literatürde vurgulanmaktadır.



Şekil 8.8. Mikroyapı değişikliğinin meydana geldiği bölgeler[84].

Farklı işlem parametreleri kullanılarak, sürtünme kaynak tekniği ile birleştirilen AISI4340/AISI2205 çelik malzemelerin birleşme arayüzeyi SEM fotoğrafları çekilerek incelenmiştir. Bu çalışmada, farklı birleşime sahip iki metal çifti (AISI 4340/AISI 2205 DPÇ) kullanılmıştır. Bu nedenle birleşme arayüzeyinin her iki tarafında farklı yapılar ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla her iki metal çifti içindeki yapılar ayrı ayrı incelenmiştir.

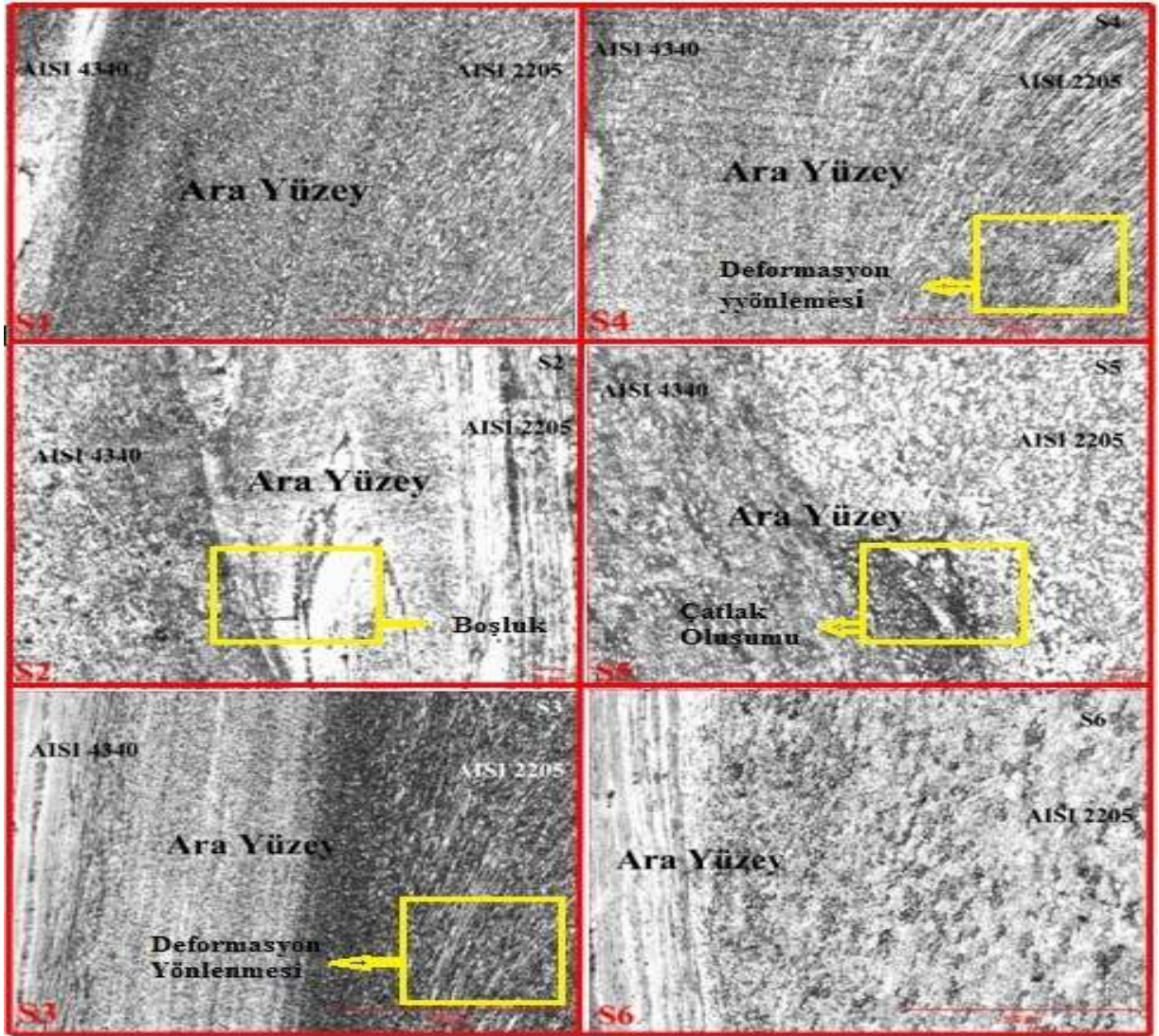
8.2.1. 2000-2100 dev/dk ile Birleştirilen Numunelerin Optik, EDS ve X-Ray Analizleri

2000 dev/dk, 30 ve 40 MPa sürtünme basıncı, 60 ve 80 yığma basıncı 6, 10sn sürtünme süreleri kullanılarak birleştirilen N1, N2, N3 ve N4 no'lu kaynaklı bağlantılara ait kaynak sonrası arayüzey optik fotoğrafları Şekil 8.9'da verilmiştir. Kaynak sonrası birleşme bölgesinin aşırı deformasyona uğramış bölge (ADB), deformasyona uğramış bölge (DB), kısmen deformasyona uğramış bölge (KDUB), ve esas metal (EM) olarak, literatürde belirtildiği gibi dört bölgeden meydana gelmektedir.

Bu kaynaklı bağlantıların arayüzeylerinden alınan optik fotoğrafları incelendiğinde, birleşme yüzeyinde boşluk ve çatlaklı bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Yüzey ve arayüzey fotoğraflarını incelerken çatlak ve boşluk oluşumunun olmadığını izah etmiştik fakat optik fotoğraflar incelendiğinde bu yapıların oluştuğu görülmektedir.

Farklı sürtünme süreleri kullanılarak yapılan bu kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişim ve sürtünme süresinin bu yapısal değişim üzerinde etkisi açıkça görülmektedir. N1, N2, N3, N4, N5, N6 no'lu numunelerin Optik fotoğraflarında görülen, birleşme arayüzeyinin her iki tarafında sıcaklık ve eksenel basıncını etkisi ile aşırı

deformasyona uğramış bölgenin genişliği ve şeklin sürtünme süresine göre değiştiği görülmüştür. Fotoğraflardan daha açıkça görüldüğü gibi; arayüzey sürtünmesi ile her iki malzeme karışımından medya gelen ve birleşme hattına dik doğrultuda yönelen bu bölgedeki düzensizlik, kaynaklı bağlantıların mekanik davranışları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu [13] belirtilmiştir. Kaliteli bağlantı elde etmek için başlangıç ara yüzey sürtünmesi ile meydana gelen karışım bandının dışarı atılması için yeterli aksenal basınç ve sürtünme fazının kullanılması gerekir.



Şekil 8.9. N1, N2, N4, N5 ve N6 no'lu numunelerin arayüzey Optik görüntüleri.

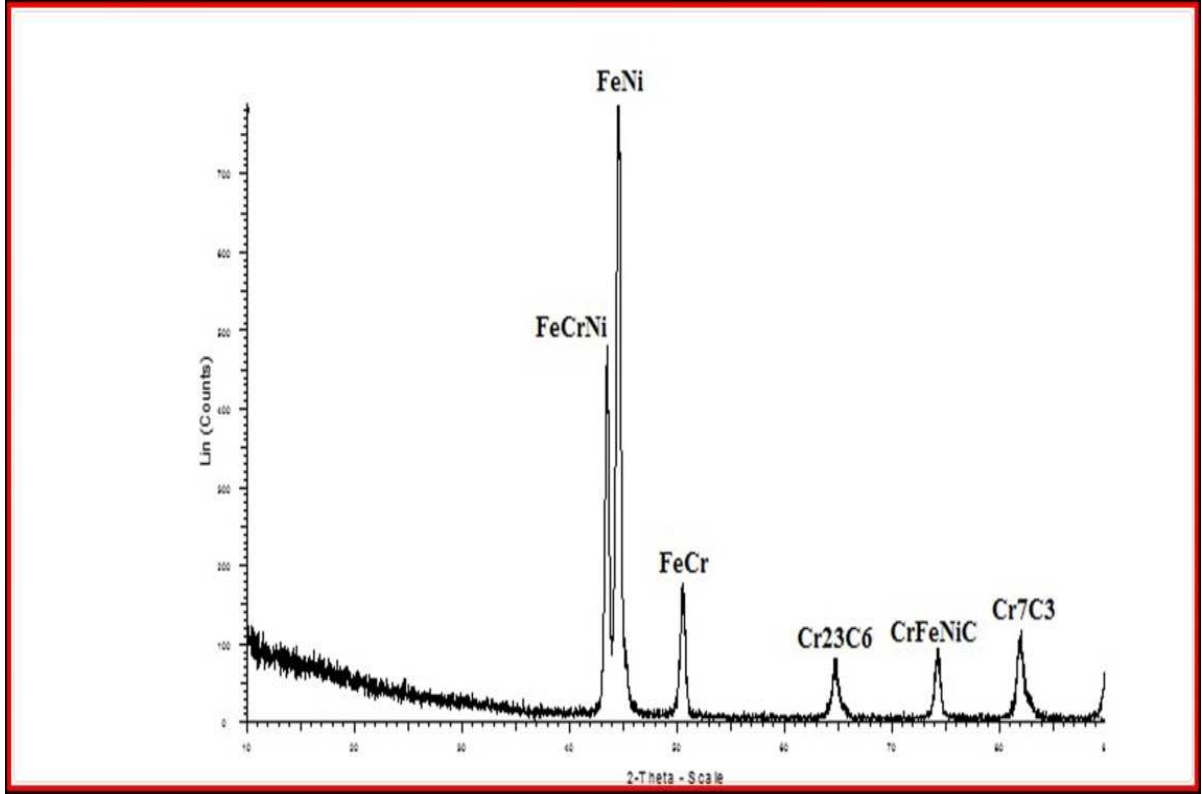
2000 dev/dak sabit devir sayısı kullanılarak, 30 Mpa ve 40 Mpa sürtünme basıncı ile birleştirilen sırası ile N1, N2 ve N3, N4 no'lu kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinde

ortaya çıkan yapısal değişimi gösteren optik fotoğrafları şekil 8.10’da verilmiştir. N1, N3, N4 no’lu numunelerde çatlak boşluk ve bağlantısız bölgenin olmadığı görülmektedir.

N1 ve N3 no’lu numunelerin sürtünme basınlarının farklı N2 no’lu numunenin sürtünme basıncının N1 no’lu numune ile aynı olmasına rağmen N1 ve N3 no’lu numunelerde ortaya çıkan sonucunun çok benzerlik gösterdiğini optik fotoğraflara bakarak rahatça gözlemleyebiliriz. Birleşme sonuçlarına bakılarak yeterli vizikoziteye ulaşamayan ve dışarıya atılamayan (ADB)’ nin daha da genişlemesine neden olmuştur.

2100 dev/dk kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmede görüldüğü gibi devir sayısı artırılıp sürtünme basıncı ve sürtünme süresinin düşürülmesi ile N5 no’lu numunenin kaynaklı bölgesinde çatlak oluşumu meydana gelmiştir ve burada oluşan çatlağın, yeterli seviyede viskoz hale gelmemiş, arayüzeydeki malzemenin dışarı ekstrüze edilmesi için gerekli sürenin kullanılmamış olmasından kaynaklanmaktadır. N6 no’lu numune incelendiğinde, daha önce düşük sürtünme basıncı kullanılarak birleştirilen numunelerle kıyaslandığında ADB’ nin daraldığı görülmüştür ve IEB’ nin genişliği üzerinde en etkili parametrelerin sürtünme süresi ve sürtünme basıncı olduğunu gözlemlemekteyiz. Bu numunede ADB’ nin daralması arayüzeydeki malzemenin dışarı atılması ve sıcaklığın dışarı atılan malzeme üzerinden uzaklaştırılmasını sağlamıştır.

Kaynak arayüzeyindeki birleşme bölgesinde meydana gelen ADB’ nin sürtünme süresine paralel olarak değiştiği görülmektedir. Şekil 8.10’da S1 no’lu numunenin birleşme ara bölgesinde oluşan fazların ve bileşikleri tespit etmek amacı ile yapılan X-Ray analiz grafiği verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere AISI4340-AISI2205 malzeme çiftinin sürtünme kaynağı ile yapılan birleştirmelerin; FeCrNi, FeNi, FeCr, Cr23C6, CrFeNiC ve Cr7C3 ara fazlarının meydana geldiği görülmektedir.

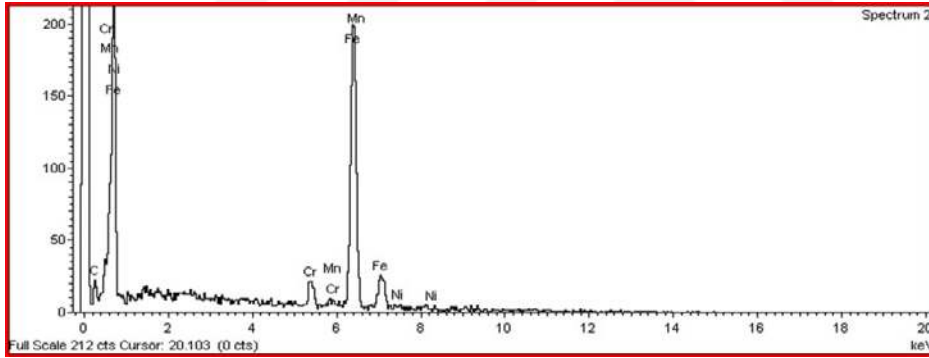
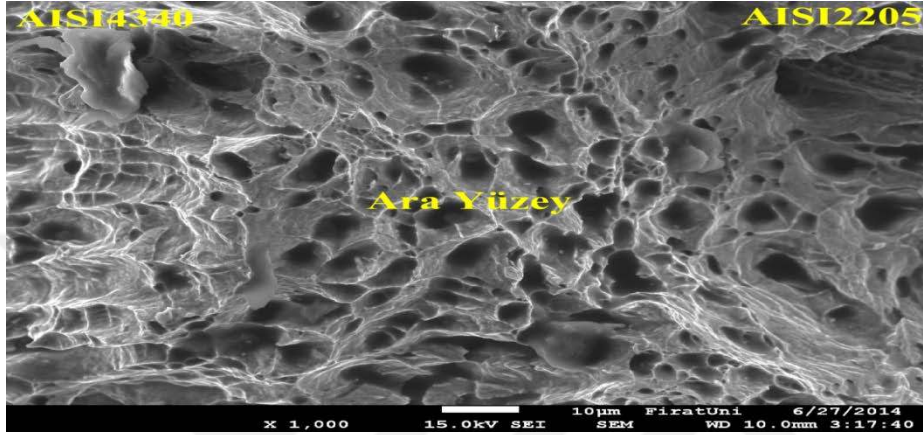


Şekil 8.10. N1 no' lu numunenin X-Ray analiz grafiği.

AISI 4340 ıslah çeliği ve AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliği farklı süreler ve parametreler kullanılarak sürtünme kaynağı tekniği ile başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. Yukarıda görüldüğü gibi (EDS) bölgeleri ve Alaşım elementleri %'leri gösterilmektedir. Kapsamlı bir mikro analiz araştırması yapılmış, ayrıca farklı bölgeler ve ara yüzey bölgesi incelenmiş olup; ısı ile etkilenen alan büyük ölçüde sürtünme süresi, devir sayısı gibi parametrelere göre değiştiği gözlenmiştir. En fazla deformasyon AISI 2205 malzeme çifti tarafında gözlenmiştir. Burada 2000 dev/dk AISI 4340 ıslah çeliği ile AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliği birleştirmek için yeterli olduğu, ancak 2100 dev/dk ise bu birleşme için daha iyi birleştirme olduğu tespit edilmiştir. Fakat 2000 dev/dk' nın altında, yapılan birleştirmelerin yeterli olmayacağı anlaşılmaktadır.

291,41 MPa maksimum gerilme mukavemeti 30 MPa sürtünme basıncı 60 MPa yığma basıncı 6 sn sürtünme süresi ve 3 sn yığma süresi ile elde edilmiştir.

EDS noktası	Alaşım elementleri%				
	C	Cr	Mn	Fe	Ni
1. (AISI 4340bölgesi)	13,34	0,88	1,29	83,35	1,13
2 .(Ara yüzey)	11,85	8,71	2,02	75,71	1,71
3.(AISI 2205 bölgesi)	10,94	15,44	1,99	67,96	3,66



Şekil 8.11. EDS, sũrtũnme kaynaklı S1 numunenin kaynak ara yüzeyi boyunca analiz.

AISI 4340 ıslah çeliği ve AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliği farklı süreler ve parametreler kullanılarak sũrtũnme kaynağı tekniği ile başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. Yukarıda görũldüđu gibi (EDS) bölgeleri ve Alaşım elementleri %'leri gösterilmektedir. Kapsamlı bir mikro analiz araştırması yapılmış, ayrıca farklı bölgeler ve ara yüzey bölgesi incelenmiş olup; ısı ile etkilenen alan büyük ölçũde sũrtũnme süresi, devir sayısı gibi parametrelere göre değiştiği gözlenmiştir. En fazla deformasyon AISI4340 malzeme çifti tarafında gözlenmiştir. Burada 2000 dev/dk AISI 4340 düşük ıslah çeliği ile AISI2205

dubleks paslanmaz çeliği birleştirmek için yeterli olduğu, ancak 2100 dev/dk ise bu birleşme için daha iyi birleştirme olduğu tespit edilmiştir. Fakat 2000 dev/dk' nın altında, yapılan birleştirmelerin yeterli olmayacağı anlaşılmaktadır.

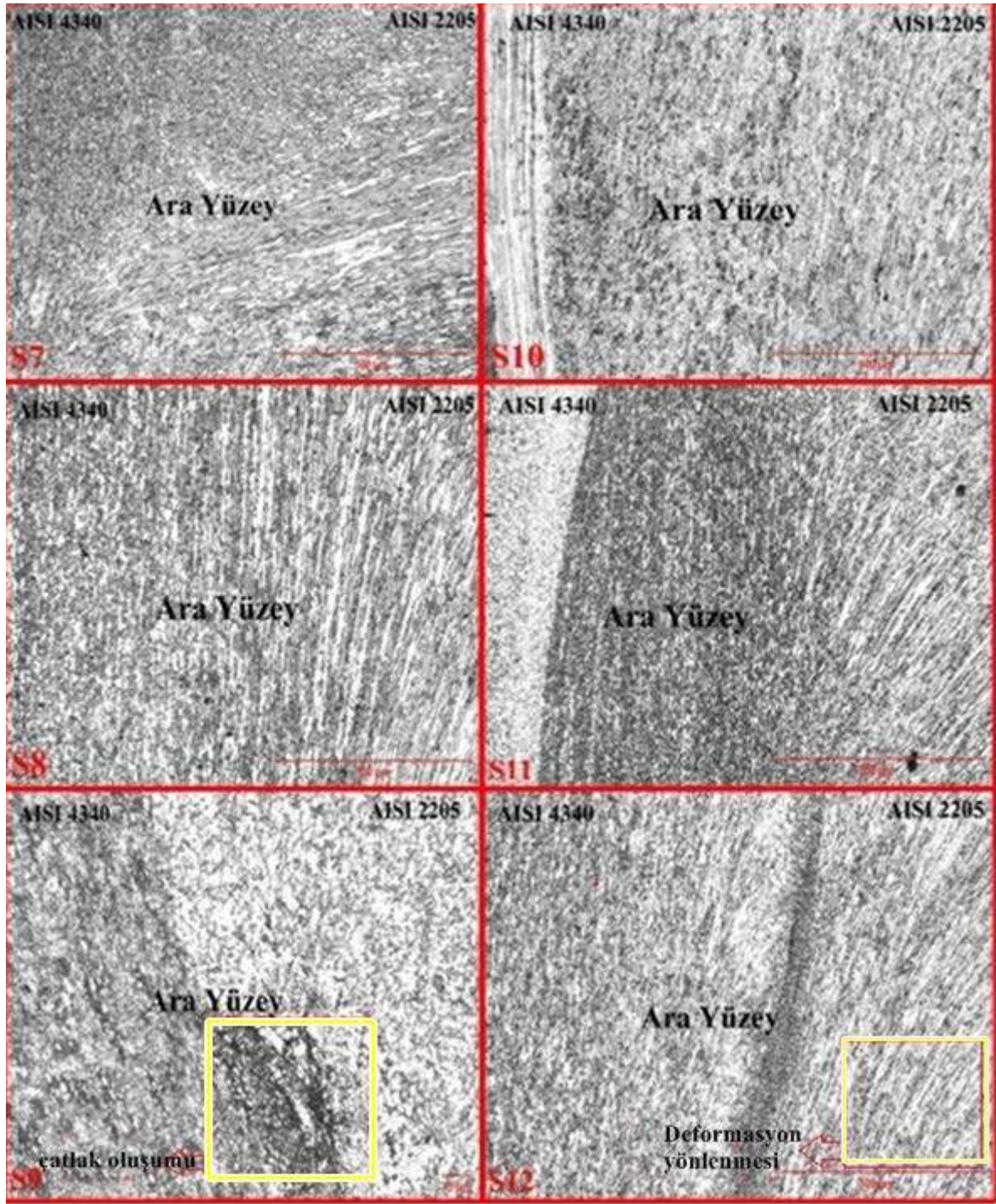
8.2.2. 2100 -2200 dev/dk ile Birleştirilen Numunelerin Optik, EDS ve X-Ray Analizleri

2100-2200 dev/dk, 30 ve 40 MPa sürtünme basıncı, 60 ve 80 yığma basıncı 6,10 sn sürtünme süreleri kullanılarak birleştirilen N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no'lu kaynaklı bağlantılara ait kaynak sonrası arayüzey Optik fotoğrafları Şekil 8.12'de verilmiştir.

Sürtünme kaynaklı bağlantılarda ADB' nin özelliği tanelerin aşırı derecede dövülmüş haddeleme yönüne göre değiştirmiş olmasıdır. Malzemeler birbirine zoraki karışma bölgesi denebilecek bu bölgede, malzeme türlerine bağlı olarak her iki malzemeni iç içe geçtikleri ve yön değiştirdikleri görülmektedir.

SEM fotoğrafları incelendiğinde; temelde literatürde belirtilen bölgeler benzerlik göstermesine rağmen en önemli değişim ADB ve DB' de meydana geldiği görülmektedir.

Artan devir sayısı ve sürtünme süresine bağlı olarak ADB ve DB' genişleme kaydedilmiştir. Sürtünme süresini kademeli artışı ile birlikte ara yüzeyin sıcaklık etkisinde kalma süresini artırması sonucu ekstrüzyon derecesinin artacağı ve bununla birlikte birleşme bölgesinde termo-mekanik etki aşırı dövülmüş ve yönelmiş tanelerden oluşan bir yapıyı ortaya çıkarır.

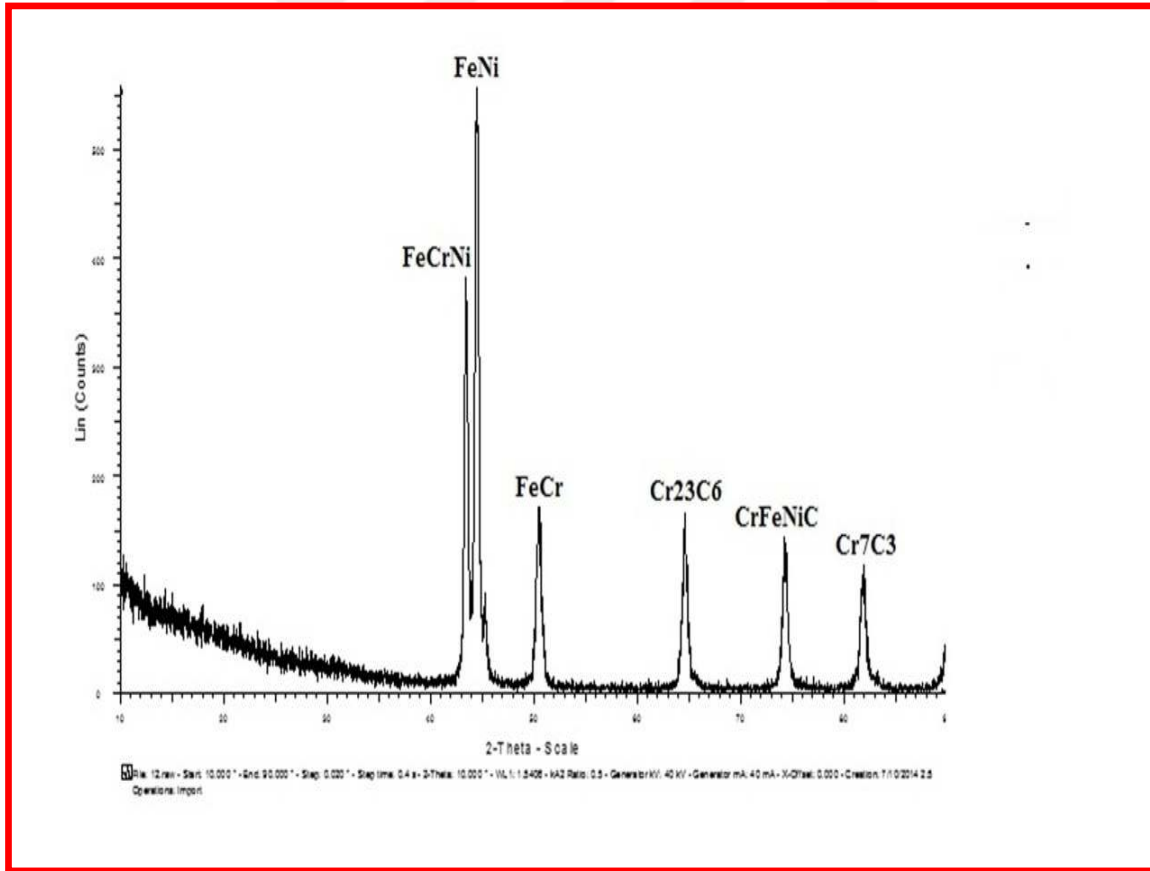


Şekil 8.12. N7, N8, N9, N10, N11 ve S12 no'lu numunelerin arayüzey optik görüntüleri.

Bu kaynaklı bağlantıların arayüzeylerinden alınan optik fotoğraflar incelendiğinde, artan sürtünme süresine bağlı olarak ADB, DB ve KDUB' inde meydana gelen yapısal değişiklikler net olarak görülmektedir. Bu değişim üzerinde, yüksek devir sayısı ve artan sürtünme basıncının önemli rol oynadığı bilinmektedir. ADB ve DB' lerinde tanelerin numune eksenine dik doğrultuda yönlendikleri ve her iki malzemenin kaynak

arayüzeylerinden aktığı, bu akışa bağlı olarak deformasyon bantlarının meydana geldiği görülmektedir. N7, N8, N9, N10, N11, N12 no'lu numunelere ait optik fotoğraflar incelenerek, sürtünme süresine göre değerlendirildiklerinde yapısal olarak değişimler net olarak görülmektedir. Yüksek devir sayısı ile birlikte düşük sürtünme süresi kullanılması ADB'nin daha geniş ancak düzenli bir yapıya sahip olmasını sağlarken, yüksek devir sayıları ile yüksek sürtünme süresinin birlikte kullanılması ise ADB'deki düzensiz yapının önemli oranda artmasına neden olmaktadır. N9 no'lu numunenin devir sayısının yüksek olmasına rağmen N2 no'lu numune ile aynı sonuç elde edilmiştir.

Kaynak arayüzeyindeki birleşme bölgesinde meydana gelen ADB' nin sürtünme süresine ve devir sayısına paralel olarak değiştiği görülmektedir. Şekil 8.13'de N9 no'lu numunenin birleşme ara bölgesinde oluşan fazların ve bileşikler tespit etmek amacı ile yapılan X-Ray analiz grafiği verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere AISI 4340-AISI 2205 malzeme çiftinin sürtünme kaynağı ile yapılan birleştirmelerin; FeCrNi, FeNi, FeCr, Cr23C6, CrFeNiC ve Cr7C3 arafazlarının meydana geldiği görülmektedir.

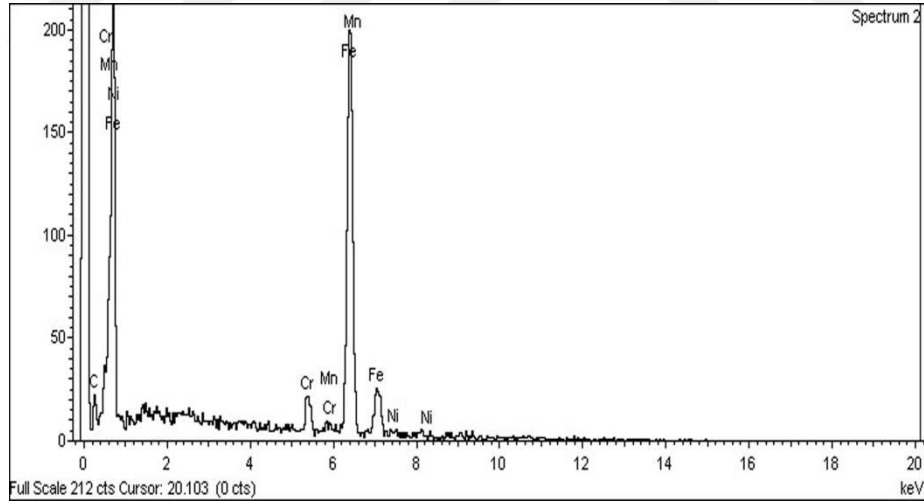
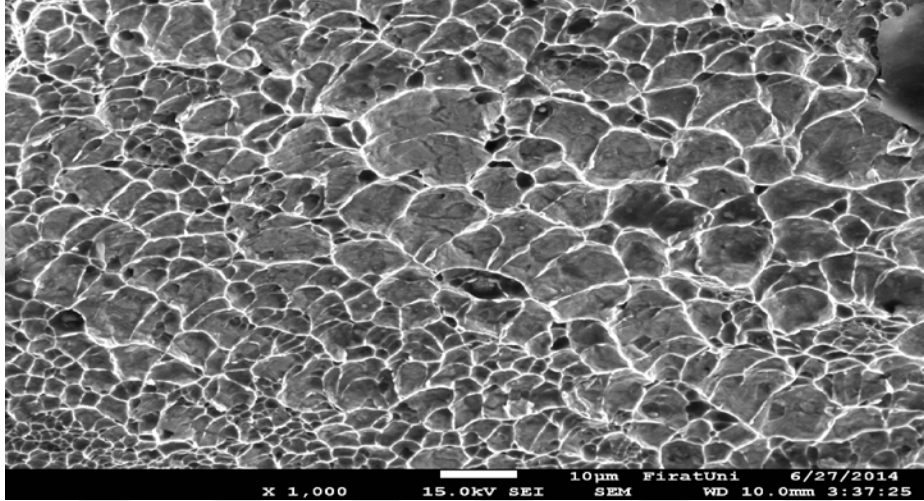


Şekil 8.13. N9 no' lu numunenin X-Ray analiz grafiği.

AISI 4340 ıslah çeliği ve AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliği farklı süreler ve parametreler kullanılarak sürtünme kaynağı tekniği ile başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. Yukarıda görüldüğü gibi (EDS) bölgeleri ve Alaşım elementleri %'leri gösterilmektedir. Kapsamlı bir mikro analiz araştırması yapılmış, ayrıca farklı bölgeler ve ara yüzey bölgesi incelenmiş olup; ısı ile etkilenen alan büyük ölçüde sürtünme süresi, devir sayısı gibi parametrelere göre değiştiği gözlenmiştir. En fazla deformasyon AISI 2205 malzeme çifti tarafında gözlenmiştir. Burada 2100 dev/dk AISI 4340 ıslah çeliği ile AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliği birleştirmek için yeterli olduğu, ancak 2200 dev/dk ise bu birleşme için daha iyi birleştirme olduğu tespit edilmiştir. 620.86 MPa maksimum gerilme mukavemeti 30 MPa sürtünme basıncı 60 MPa yığma basıncı 6 sn sürtünme süresi ve 3 sn yığma süresi ile elde edilmiştir.



EDS noktası	Alaşım elementleri%				
	C	Cr	Mn	Fe	Ni
1. (AISI 4340bölgesi)	11,15	11,56	1,22	71,73	4,34
2 .(Ara yüzey)	14,13	3,46	0,74	80,57	1,10
3.(AISI 2205 bölgesi)	17,18	1,01	0,74	78,83	2,24



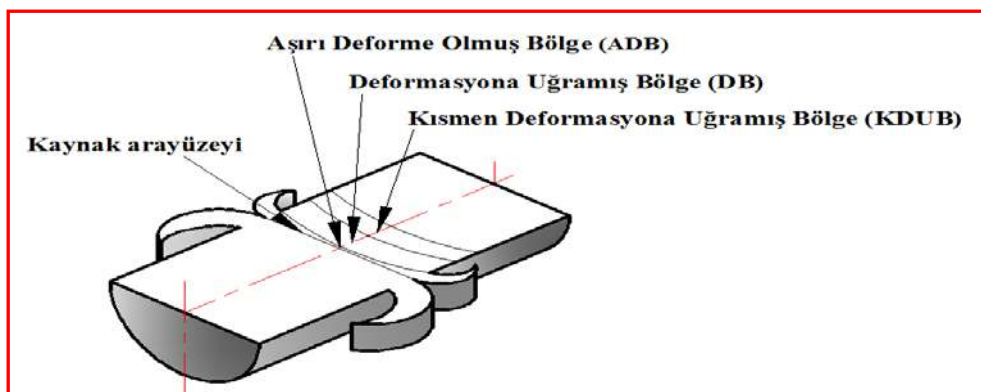
Şekil 8.14. EDS, sürtünme kaynaklı S9 no'lu numunenin kaynak ara yüzeyi boyunca analizi.

8.3. Mikrosertlik Analiz Sonuçları

AISI 4340 ıslah çeliği ve AISI2205 dubleks paslanmaz çeliği birleştirilmeden önce mikrosertlik değerleri ölçümü yapılmıştır. AISI4340 ıslah çeliği için sertlik değeri 411-525 HV, AISI2205 dubleks paslanmaz çeliği için sertlik değeri 240-270 HV olarak tespit edilmiştir.

Sürtünme kaynaklı bağlantılarda mikro sertlik ölçümleri, farklı parametrelere bağlı olarak çıkan yapısal değişimi ve bu değişimin, malzemenin sertliği üzerine olan etkisinin belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla OM (Optik Mikroskop) analizi için hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri, kaynaklı bağlantının birleşme hattında karşılıklı olarak çizgisel bir doğru üzerinde alınmıştır. Üç farklı devir sayısı (2000, 2100 ve 2200 dev/dk), sürtünme basıncı (30 ve 40 MPa) ve sürtünme süresi (6 ve 10 sn), kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantıların, birleşme merkezinden ana metale doğru çizgisel bir hat boyunca 1 mm aralıklarla yapılan mikro sertlik ölçüm sonuçları sırasıyla Şekil 8.17, 8.18 ve 8.19’da verilmiştir.

Sürtünme kaynaklı bağlantılarda mikro sertlik dağılımı literatüre uygun olarak üç bölgede değişmektedir (Şekil 8.15). Bu bölgeler aşırı deforme olmuş bölge (ADB), deformasyona uğramış bölge (DB), ve kısmen deformasyona uğramış bölge (KDUB), olarak adlandırılmaktadır. Kaynak ara yüzeyinde değişiklik gösteren mikro sertlik sonuçları, esas malzemeye ulaştığında, ana malzemenin sertlik değerlerine düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil8.15.Mikrosertlik ölçüm sonuçlarının değiştiği bölgeler [84].

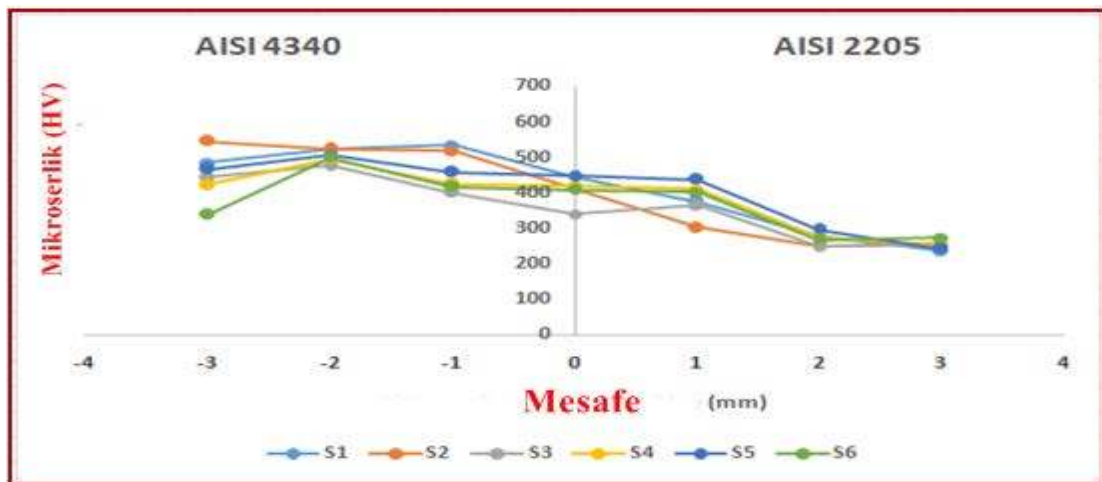
Kaynak arayüzeyine yakın kısımlarda, sıcaklık ve basınç etkisi ile her iki malzeme tarafında sertliğin, plastik deformasyon nedeni ile ana malzemeye oranla daha yüksek çıkması

beklenmektedir. AISI 4340 tarafına bakıldığında bazı noktalarda düştüğü bazı noktalarda ise kaynak öncesi sertlik değerine yaklaştığı görülmektedir, AISI2205 dubleks paslanmaz çeliği tarafına bakıldığında ise ana malzemeye oranla sertlik değerinin DB, ADB artış göstermiştir. Bunun nedeni ise ısı iletim katsayılarının birbirine yakın olması ve buna bağlı olarak soğuma zamanını birbirine yakın olması ve AISI 4340 tarafından difüzyonlu element geçişinden dolayı AISI 2205 tarafında sertlik değerinin yükselmesine neden olmuştur.

8.3.1. 2000-2100-2200 dev/dk İle Birleştirilen Numunelerin Mikro Sertlik Sonuçları

2000-2100-2200 dev/dk devir sayısı, sürtünme basıncı (30 MPa) ve iki farklı sürtünme süresi (6 ve 10 sn) kullanılarak birleştirilen N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 nolu numunelere ait sertlik profilleri Şekil 8.16'da sırasıyla verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantılara ait sertlik profilleri incelendiğinde, numunelerin sürtünme süresi ve sürtünme basıncına göre bazı bölgelerde mikrosertlik ölçümlerinde farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir.

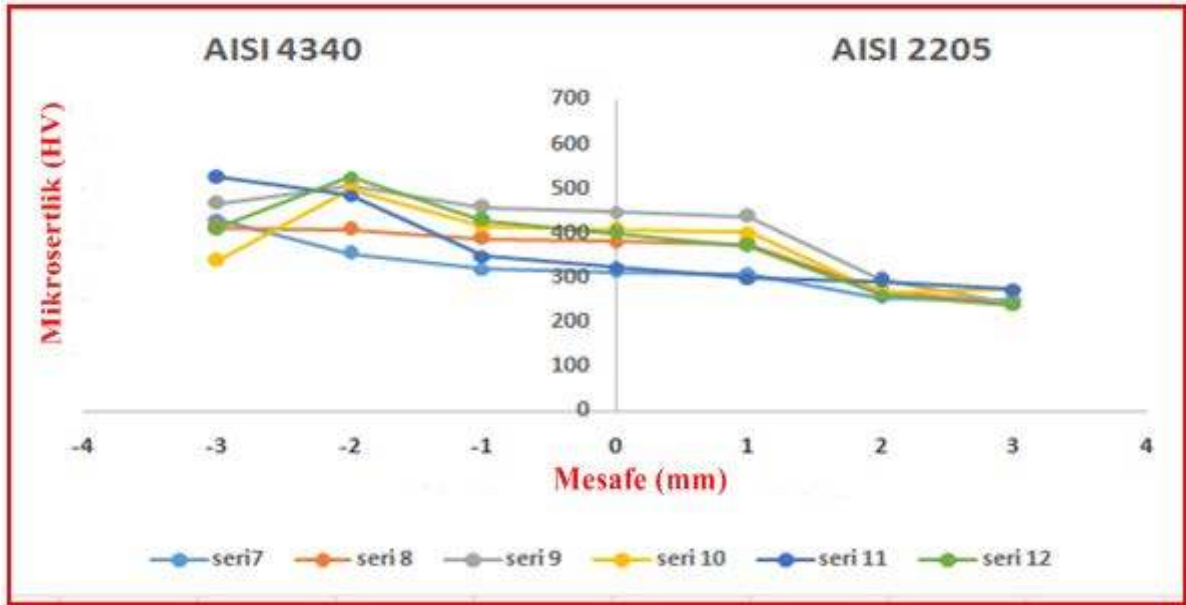
2000 dev/dk AISI 4340 tarafına bakıldığında arayüzey de sertlik değerlerinin azaldığı, IEB'den uzaklaştıkça sertlik değerlerinin bazı noktalarda artış, bazı noktalarda ise ana malzemenin sertlik değeri ile aynı değeri gösterdiği tesbit edilmiştir. AISI 2205 tarafında ise numunelerin sertlik değerleri arayüze de arttığı ADB 'den uzaklaştıkça sertlik değerinin ana malzemeye yaklaştıkça sertlik değerinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni ise AISI 2205 numunesinin IEB'nin kimyasal bileşiminin değişmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 8.16. N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 no'lu numunelerde kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımları.

8.3.2.2000- 2100-2200 dev/dk İle Birleştirilen Numunelerin Mikro Sertlik Sonuçları

2000-2100-2200 dev/dk devir sayısı, sürtünme basıncı (40 MPa) ve iki farklı sürtünme süresi (6 ve 10 sn) kullanılarak birleştirilen N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 numunelere ait sertlik profilleri Şekil 8.17’de sırasıyla verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantılara ait sertlik profilleri incelendiğinde, AISI 4340 tarafına bakıldığında arayüzeye yaklaştıkça sertlik değerlerinin azaldığı fakat bir önceki sertlik değerlerine göre ölçüm bandının genişlediği görülmektedir. AISI 2205 tarafında ise IEB’ ye yaklaştıkça arttığı uzaklaştıkça ise sertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Burada yapılan deneyler sonucunda en ideal mikrosertlik ölçümü 2200 dev/dk, sürtünme süresi 6 Sn, sürtünme basıncı 40 Mpa, yığma basıncı 80 Mpa olan birleştirmenin en iyi birleştirme olduğu tespit edilmiştir. Buradan anlaşılabileceği üzere sürtünme kaynağında kaynak öncesi yapılan parametrelerin sertlik değerleri üzerindeki öneminin çok büyük etki ettiğini görmekteyiz.

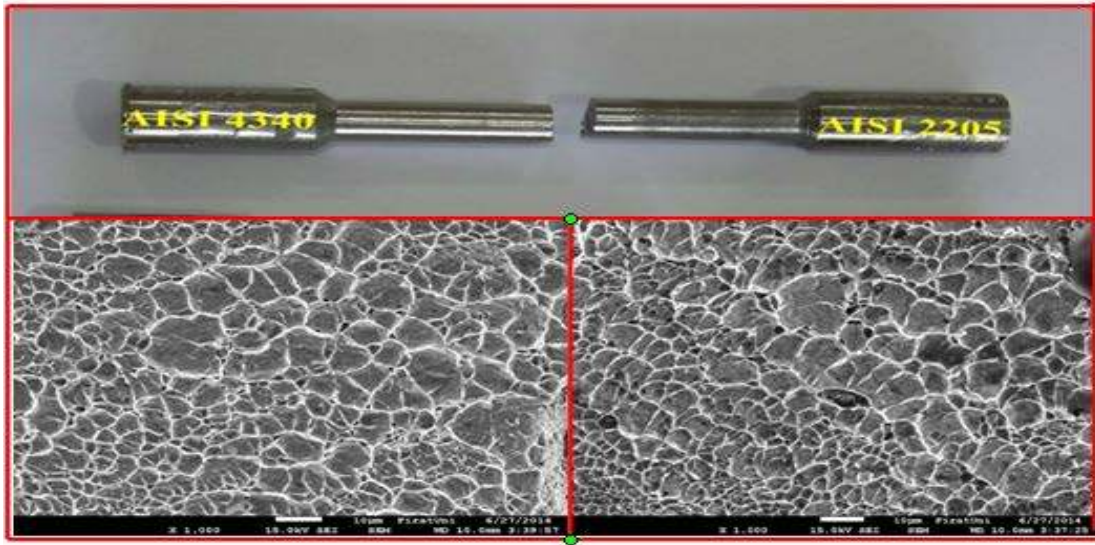


Şekil 8.17. N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no'lu numunelerde kaynak bölgesindeki mikrosertlik dağılımları.

8.4. Kaynaklı Bağlantıların Mekanik Özelliklerine Ait Sonuçlar

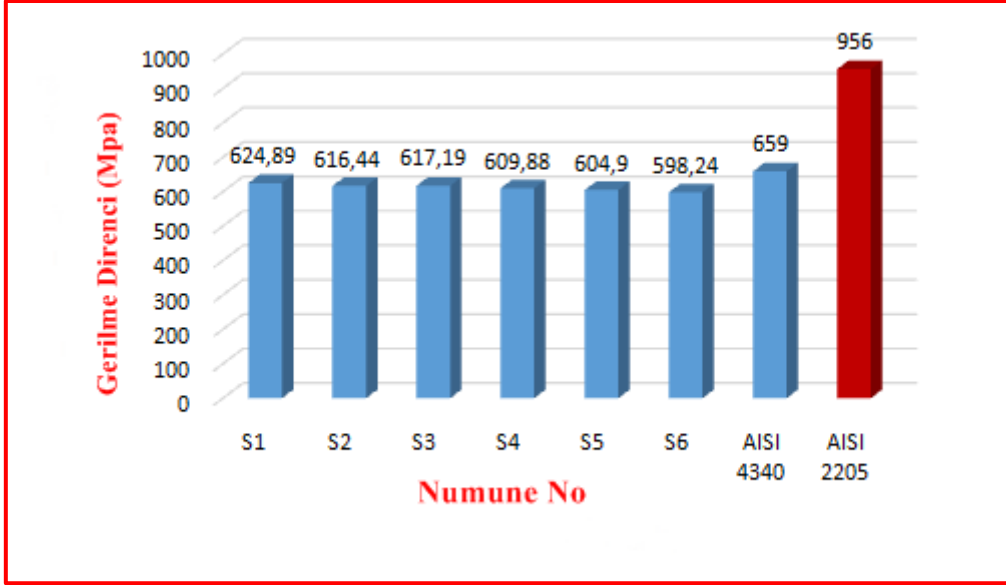
8.4.1. Çekme Test Sonuçları

Deneylerde kullanılan ana malzemeler (AISI 4340 ve AISI 2205) için çekme deneyi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar, deney sonrası kopan parçalarla birlikte gösterilmiştir. Yapılan çekme deneyi sonrasında; AISI 4340 ıslah çeliğinin çekme gerilmesi 659 MPa, AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik malzemesinin çekme gerilmesi ise 956 MPa olarak ölçüldüğü tespit edilmiştir.



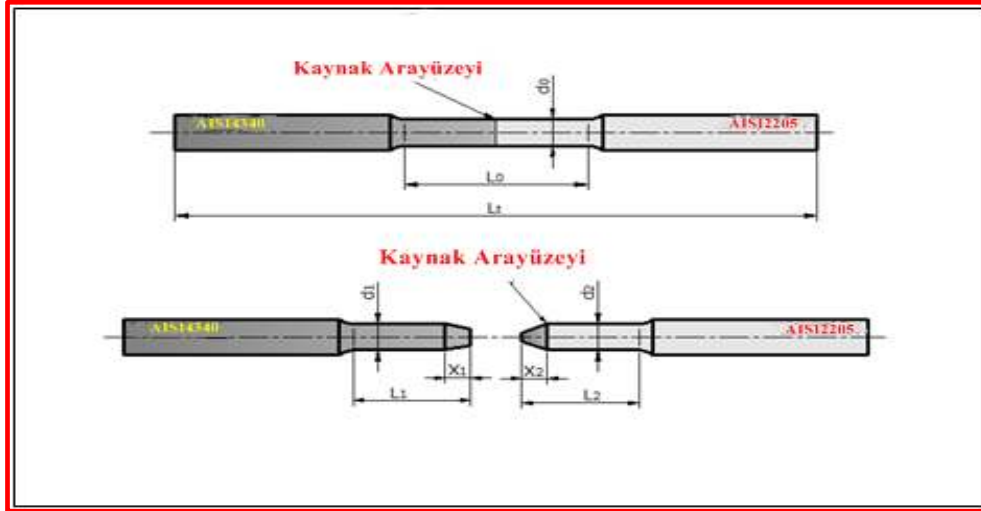
Şekil 8.18. AISI 4340 ve AISI2205 çekme testi sonunda elde edilen kırık yüzey makro fotoğrafı.

Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 4340 ve AISI 2205 malzemenin kaynaklı numunelere ait çekme test sonuçları Şekil 8.19'da grafik halinde gösterilmektedir. Devir sayısı ve sürtünme süresi kaynak kalitesi bakımından en etkin parametrelerdir[2]. Yapılan çalışmalarda 2000, 2100 ve 2200 dev/dk'lık devir sayıları kullanılmıştır. Her bir devir sayısında farklı sürtünme basınçları ve farklı sürtünme süreleri kullanılarak dört adet numune hazırlanmış ve kaynaklı bağlantılar gerçekleştirilmiştir. Ancak diğer kaynak parametrelerinin kaynak edilebilirlik üzerindeki etkileri incelenmesi için her bir grup kendi içinde sınıflandırılmış sürtünme süreleri 6 ve 10 sn, sürtünme basınçları ise 30 ve 40 MPa olarak düzenlenmiştir.



Şekil 8.19. Çekme test sonuçlarına ait grafik.

Çekme deney sonrası kırılan numuneler, kırık yüzey makro fotoğrafları ile birlikte verilmiştir. Kırık yüzey fotoğraflarında ki ayrıntıların daha net görülebilmesi amacıyla fotoğraflar büyütülerek gösterilmiştir. Deney sonunda kırılan yüzeylere ait parçaların şematik gösterimi Şekil 8.20’de gösterilmektedir.



Şekil 8.20. Çekme deneyi sonunda kırılan parçaların şematik gösterimi[84].

8.4.1.1. 30 MPa Sürtünme Basıncı İle Birleştirilen Numunelerin Çekme Test Sonuçları

2000-2100-2200dev/dk ile devir sayısı, 30 MPa sürtünme basıncı ile iki farklı sürtünme süresi (6 ve 10 sn) kullanılarak birleştirilen N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 no' lu kaynaklı bağlantılara uygulanan çekme testi ile elde edilen mekanik özellikler Tablo 8.6'da verilmiştir.

Tablo 8.6. N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 no' lu numunelere ait çekme deney sonuçları.

Numune No	KULLANILAN PARAMETRELER					MEKANİK ÖZELLİKLER
	Devir (dev/dk)	Sürtünme Süresi (sn)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yıgma Basıncı (MPa)	Yıgma Süresi (sn)	Çekme Mukavemeti (Mpa)
N1	2000	6	30	60	3	624,89
N2		10			5	616,44
N3	2100	6	30	60	3	617,19
N4		10			5	609,88
N5	2200	6	30	60	3	604,9
N6		10			5	598,24

Sürtünme süresi kademeli değiştirilerek (6 ve 10 sn) birleştirilen N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 no' lu numunelerde sırasıyla 624,89, 616,44, 617,19, 609,88, 604,9 ve 598,24, MPa olarak ölçülmüştür. Çekme değerleri açısından en iyi sonuç N1 no'lu numune izlenmiştir. N1 no'lu numunede düşük sürtünme süresi, düşük sürtünme basıncı, düşük devir sayısına rağmen yeterli plastik şekil değiştirmesi için gerekli olan ısıya ulaştığı için ara yüzey birleşme noktaları bu grup içerisindeki en iyi sonuç elde edilmiştir. Literatürde kaynak arayüzeyinde yer alan bağlantısız bölgelerin, çatlakların ve boşlukların varlığı ile bunların büyüklükleri ve genişliği ile birlikte IEB' nin geniş olmasının mekanik özellikleri olumsuz etkilediği bildirilmiştir. N6 no'lu numunede ise seçilen sürtünme süreleri ve sürtünme basıncının 30 MPa olarak kullanılmasına bağlı olarak plastik deformasyon için gerekli olan sıcaklığa ulaşmasında yeterli olmadığı, bunun sonucunda ise bağlantı kesitinin düştüğü ve kaynaklı bağlantı mukavemetinin diğer numunelere göre daha az olduğu tespit edilmiştir. N1, N2, N3, N4, N5

ve N6 no' lu numunelerin çekme testi sonucunda elde edilen kırık yüzey makro fotoğrafları Şekil 8.21' de gösterilmektedir.



Şekil 8.21 .N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 no'lu numunelerin çekme testi sonunda ki kırık yüzey makro fotoğrafları.

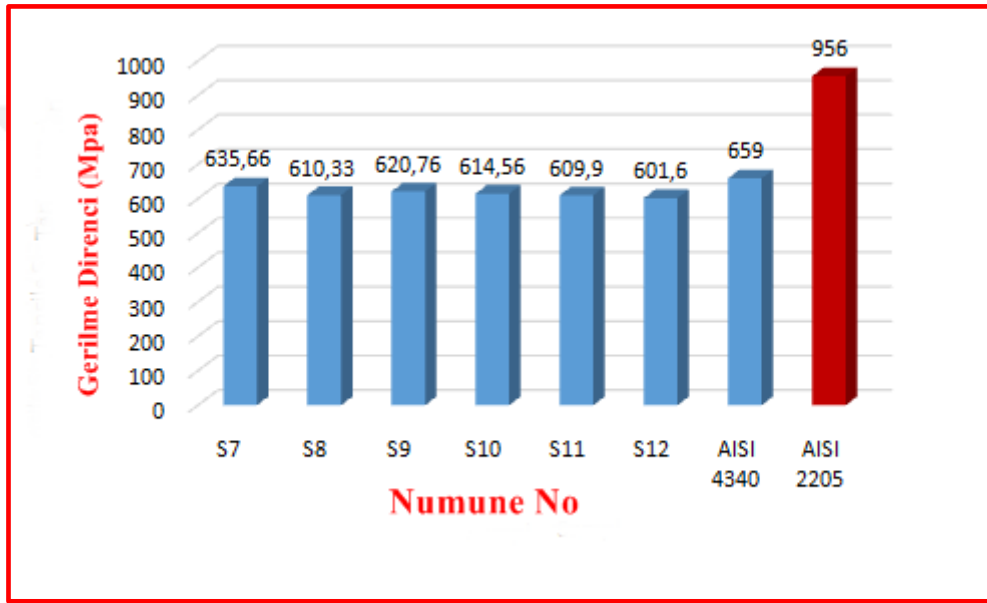
2000-2100 dev/dk devir sayısı, 6-10 sn sürtünme süresi, 30-40 Mpa sürtünme basıncı, 60-80 Mpa yığma basıncı ve 3-5 sn yığma süresinde birleştirilen AISI 4340/AISI 2205 çelik çiftine uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen mekanik özellikler tablo 9.6'da, numunelerin kırıldıktan sonraki makro fotoğrafları şekil 9.21'de verilmiştir.

Makro fotoğraflar incelendiğinde N1 ve N4 no'lu numuneler kaynak bölgesinden diğer numuneler ise çekme dayanımı düşük olan ve boyun vererek AISI 4340 tarafından

kırılmıştır. Sürtünme süresinin, sürtünme basıncındaki uyumsuzluk ve devir sayısındaki artış kaynak bölgesinin çekme mukavemetini artırmak yerine azaltmıştır bunun nedeni ise kaynak bölgesine ısı girdisinin fazla olması ile IEB'nin geniş bir bant'a yayılmasından dolayı içyapıda ki değişimin çekme mukavemetini olumsuz yönde etkilemiştir.

8.4.1.2. 40 MPa Sürtünme Basıncı İle Birleştirilen Numunelerin Çekme Test Sonuçları

Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 4340 ve AISI 2205 malzemenin kaynaklı numunelere ait çekme test sonuçları Şekil 9.22'de grafik halinde gösterilmektedir.



Şekil 8.22. Çekme test sonuçlarına ait grafik.

2000-2100 dev/dk ile devir sayısı, 40 MPa sürtünme basıncı ile iki farklı sürtünme süresi (6 ve 10 sn) kullanılarak birleştirilen N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no' lu kaynaklı bağlantılara uygulanan çekme testi ile elde edilen mekanik özellikler Tablo 9.7 'de verilmiştir.

Tablo 8.7. N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no' lu numunelere ait çekme deney sonuçları.

Numune No	KULLANILAN PARAMETRELER					MEKANİK ÖZELLİKLER
	Devir (dev/dk)	Sürtünme Süresi (sn)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Yığılma Basıncı (MPa)	Yığılma Süresi (sn)	Çekme Mukavemeti (Mpa)
N7	2000	6	40	80	3	635,66
N8		10			5	610,33
N9	2100	6	40	80	3	610,76
N10		10			5	620,76
N11	2200	6	40	80	3	614,56
N12		10			5	609,9

Sürtünme süresi kademeli değiştirilerek (6 ve 10 sn) birleştirilen N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no' lu numunelerde sırasıyla 635,66, 610,33, 610,76, 620,76, 614,56 ve 609,9 MPa olarak ölçülmüştür. Çekme değerleri açısından en iyi sonuç N7 no'lu numunede 635,66 MPa izlenmiştir. N7 no'lu numunede düşük sürtünme süresi, düşük sürtünme basıncı, düşük devir sayısına rağmen yeterli plastik şekil değiştirmesi için gerekli olan ısıya ulaştığı için ara yüzey birleşme noktaları bu grup içerisindeki en iyi çekme mukavemeti sonucunu N7 no'lu numunenin birleştirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Literatürde kaynak arayüzeyinde yer alan bağlantısız bölgelerin, çatlakların ve boşlukların varlığı ile bunların büyüklükleri ve genişliği ile birlikte IEB' nin geniş olmasının mekanik özellikleri olumsuz etkilediği bildirilmiştir. N12 no'lu numunede görüldüğü gibi bütün parametrelerin yüksek olmasına rağmen IEB'nin genişlemesi ile çekme mukavemet sonucunun istenilenden daha düşük çıkmıştır ve N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no' lu numunelerin çekme testi sonucunda elde edilen kırık yüzey makro fotoğrafları Şekil 8.23' de gösterilmektedir.



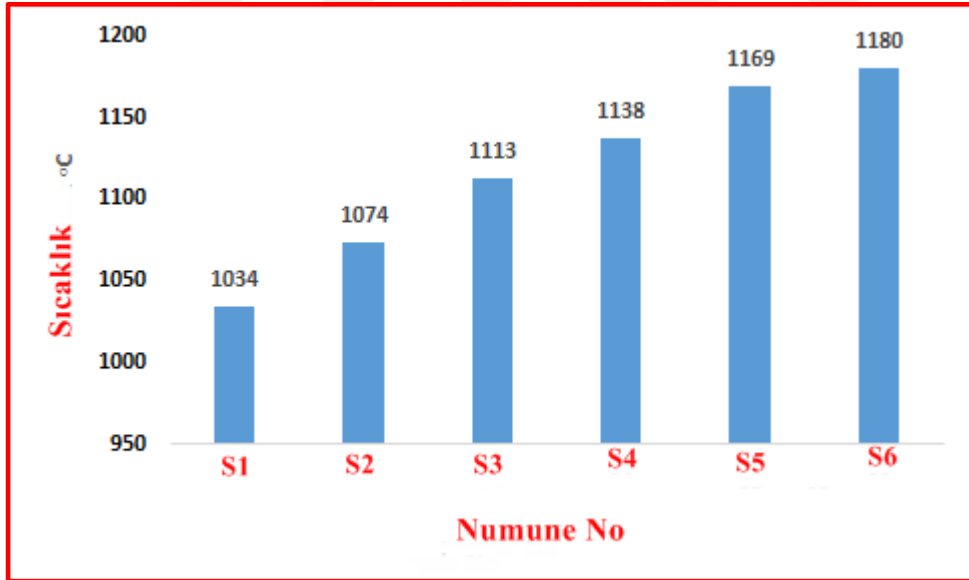
Şekil 8.23. N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no'lu numunelerin çekme testi sonunda ki kırık yüzey makro fotoğrafları.

2100-2200 dev/dk devir sayısı, 6-10 sn sürtünme süresi, 30-40 Mpa sürtünme basıncı, 60-80 Mpa yığma basıncı ve 3-5 sn yığma süresinde birleştirilen AISI 4340/AISI 2205 çelik çiftine uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen mekanik özellikler tablo 8.7'de, numunelerin kırıldıktan sonraki makro fotoğrafları şekil 8.23'de verilmiştir.

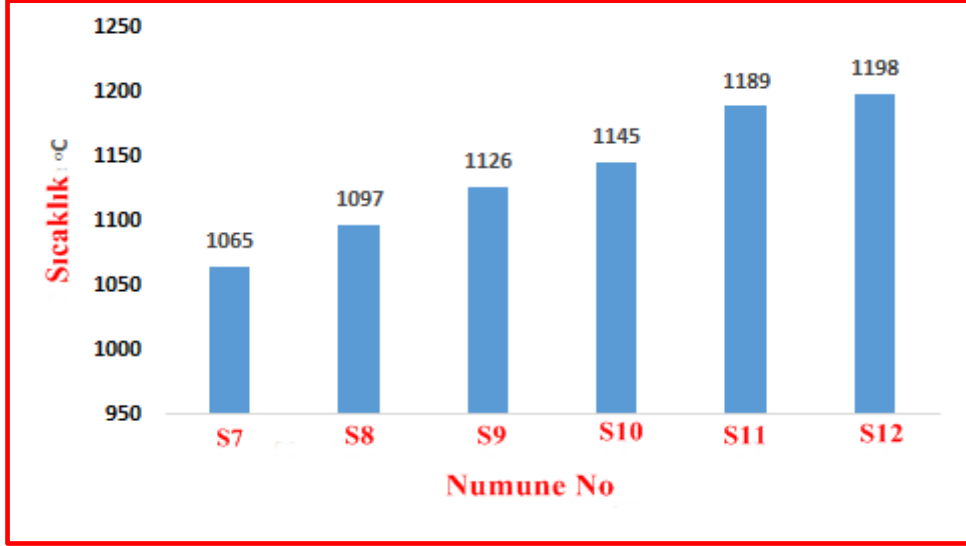
Makro fotoğraflar incelendiğinde N11 no'lu numuneler kaynak bölgesinden diğer numuneler ise çekme dayanımı düşük olan ve boyun vererek AISI 4340 tarafından kırılmıştır. Sürtünme süresinin, sürtünme basıncındaki uyumsuzluk ve devir sayısındaki artış kaynak bölgesinin çekme mukavemetini artırmak yerine azaltmıştır, bunun nedeni ise kaynak bölgesine ısı girdisinin fazla olması ile IEB'nin geniş bir bant'a yayılmasından dolayı içyapıdaki değişimin çekme mukavemetini olumsuz yönde etkilemesidir.

8.4.1.4. Sürtünme Kaynaklı Numunelerin Arayüzey Sıcaklık Ölçümleri

Sürtünme kaynağı işlemi esnasında birleştirilecek malzemelerin ara yüzeyinde oluşabilecek sıcaklığı belirlemek amacı ile 250-1800 °C arasında sıcaklık ölçümü yapabilen IGA 15 PLUS marka sıcaklık ölçer lazer ısı detektörü tezgâh üzerine monta edilmiştir. Cihazın kaynaklı bağlantıların birleşme ara yüzeyine odaklı, 70 cm uzağa sabitlenerek, 0,5 sn aralıklarda yapılan ölçümlerin bilgisayar ortamına aktarılması ile sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sürtünme kuvveti etkisi ile parçaları ayna içerisinde kaymasını, burkulma ve eksen kaçıklıklarını önlemek amacıyla aynaların iç kısmında 35 mm mesafede dayamalar yerleştirilmiştir. Deneylerin tamamında AISI 4340 çeliği sabit aynaya bağlanırken AISI 2205 malzemesi dönen aynaya bağlanmıştır. Artan sürtünme basıncına bağlı olarak kaynak arayüzeyinde sıcaklığın arttığı tespit edilmiştir. Kaynak parametreleri sürtünme süresi, sürtünme basıncı, devir sayısı, yığma basıncı, yığma süresi kendi aralarında değerlendirildiğinde ise 30 MPa ve 40 MPa 'lık sürtünme basıncında yapılan birleştirmelerde artan devir sayısına bağlı olarak sıcaklığın arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 8.24. N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 no'lu numunelerin arayüzey sıcaklıkları.



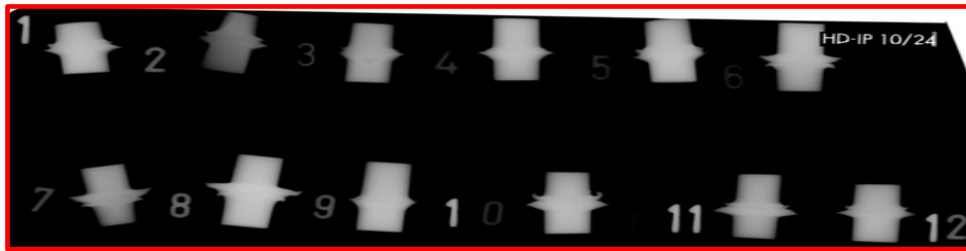
Şekil 8.25. N7, N8, N9, N10, N11 ve N12 no'lu numunelerin arayüzey sıcaklıkları.

8.4.1.5. Radyografi Testi Sonuçları

Uluslararası Kaynak Enstitüsüne göre, kaynak kusurları ve radyografik görüntülerin açıklamaları Tablo 8.8'de tanımlanmıştır. Filmler, Şekil 8.26'da gösterilen görüntüleyici içine yerleştirilir ve görüntü Tablo 8.8'de göre değerlendirilir. Tablo 8.8'de gösterilen en yaygın kaynak kusurları kaynak kusurlarının tanımlarına ve radyografik görüntülere göre yetersiz kaynak olduğu tespit edilmiştir (C).



Şekil 8.26. Film inceleme cihazı (Görüntüleyici)[84].



Şekil 8.27. Numunelerin radyografik test fotoğrafları .

Tablo 8.8.Kaynak kusurları ve radyografik görüntünün tanımı.

A: Gaz boşluğu Aa: Porozite Ab: Gaz kabarcıkları	Tanım	* Yakalamadan dolayı gaz kabarcıkları oluşur. * Gaz kanalları veya uzun boşluklar
	Radyografik Görüntü	* Dairenin etrafında keskin siyah gölgeler. * Daireye bağlı keskin siyah veya hata değişiminin uzun gölgeleri.
B: Cüruf Ba: Cüruf Bb: Cüruf hataları	Tanım	* Kaynak boyunca cüruf veya diğer yabancı maddeler. * Boşluklarda yakalanmış cüruf veya yabancı maddeler.
	Radyografik Görüntü	* Karanlık gölgeler ya da rastgele şekiller. * Kaynak dikiş kenarına paralel sürekli koyu çizgiler.
C. Yetersiz Kaynak	Tanım	Ana malzeme kaynağı ve malzeme arasında kaynak dikişi boyunca iki boyutlu hata olmaması için birleşme
	Radyografik Görüntü	Keskin kenarlı ince koyu çizgi.
D. Yetersiz Penetrasyon	Derin Tanım	Kök kaynağındaki birleşmede dikiş eksikliği.
	Radyografik Görüntü	Orta koyu dikiş sürekliliği veya farklı çizgide kaynak.
E. Çatlaklar Ea: Dikey çatlaklar Eb: Yatay çatlaklar	Tanım	Metal lokal gerilme mukavemetinin aşılması.
	Radyografik Görüntü	Düz, ince koyu çizgi.
F. Hararet kanalı	Tanım	Kanal veya olukta oluşan yüzey ve dikiş arasındaki kaynak metali
	Radyografik Görüntü	Kaynak dikiş boyunca geniş ve koyu çizgi olarak yayılır .

Bu çalışmada, piyasada yaygın bir şekilde kullanılan ıslah çelik grubundan AISI 4340 çeliğinin sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirildikten sonra radyografik olarak incelenmesi yapılmıştır.

Tablo 8.8'de gösterilen en yaygın kaynak kusurları tanımları ve radyografik görüntülere göre AISI 4340 çeliği yetersiz kaynak grubuna girmektedir (C).

2100 dev/dk devir sayısı, 40 MPa sürtünme basıncı, 60 Mpa yığma basıncı, 10 sn sürtünme süresi ve 5 sn yığma süresi ile birleştirilen N3 numunesinde en iyi birleşme gerçekleşmiştir. Bu durum bize artan devir sayısı ile birlikte daha yeterli ve etkili birleşmelerin gerçekleştiğini göstermiştir.

Devir sayısının artması ile birlikte kaynaklı bağlantıların birleşme kalitesinin artması durumu ise, artan devir sayısı ile birlikte sıcaklığın artmasına ve buda viskoz hale gelen malzeme miktarının ve dolayısı ile bağlantı kalitesini olumsuz etkileyecek yapıların viskoz hale gelen malzemeye birlikte dışarı atılmasına bağlanabilir.

9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1.Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı bileşime sahip olan AISI 4340/AISI 2205 çiftinin farklı üretim parametreleri kullanılarak katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürekli tahrikli sürtünme kaynağı ile birleştirilerek, kaynaklı bağlantılardan işlem parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerinde olan etkileri incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ AISI 4340/AISI 2205 çifti başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.
- ✓ Kaynaklı bağlantılara ait mikroyapı incelendiğinde numunelerin bazılarında mukavemetini olumsuz etkileyecek çatlak, boşluk ve bağlantısız bölgelerin oluştuğu görülmektedir.
- ✓ Farklı işlem parametreleri kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantılar üzerinde makro yapı analizi sonucunda, artan devir sayısına bağlı sürtünme sonucunda AISI 2205 daha sünek olduğundan AISI 4340 ıslah çeliğine göre daha fazla boyca kısalma miktarı görülmüştür.
- ✓ Kaynaklı bağlantıların arayüzeyinden alınan mikroyapı fotoğraflarından, sürtünme kaynaklı bağlantıların literatürde belirtilen dört temel bölgeden meydana geldiği görülmüştür. Bu bölgelerin kaynak arayüzeyinden başlayarak esas metale doğru sıralandığında a) ADB olmuş bölge, b) DB olmuş bölge, c) KDB bölge ve d) Esas metal olduğu görülmüştür.
- ✓ Kaynak sonrası arayüzeyde, değişken parametrelere bağlı olarak en önemli yapısal değişim ADB ve DB’ de meydana geldiği görülmüştür. ADB olmuş bölge, kaynak arayüzeyinin sürtünmesi ile termo-dinamik etki sonucu iki metalin karışımında oluşan bir bant olarak ortaya çıkmaktadır.
- ✓ Yüksek çevresel hız ve yüksek sürtünme basıncı kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılarda, arayüzeyde oluşan sıcaklık derecesinin artması ile birlikte dışarı taşan malzeme miktarı artmıştır. Dışarı taşan malzeme miktarı arttıkça ADB ve DB bölgelerinin daraldığı görülmüştür. Ancak yüksek sürtünme süreleri kullanılarak yapılan kaynaklı bağlantılarda IEB’ nin bağlantının her iki tarafında da genişlediği görülmüştür.

- ✓ Devir sayısı, sürtünme süresi ve eksenel basınç kuvvetinin ADB ve DB bölgelerinin genişliği ve bu bölgelerde meydana gelen yapısal değişim üzerinde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür.
- ✓ Sürtünme ve yığma basıncının oluşturduğu plastik deformasyon etkisi ile kaynak arayüzeyinde, vizkoz hale gelen malzemelerin (akış yönüne doğru) haddeleme izlerine dik doğrultuda yöneldikleri görülmüştür.
- ✓ Kaynaklı bağlantıların deformasyona uğramış bölgelerinde meydana gelen tane küçülmesi ve plastik deformasyon miktarındaki değişimin, devir sayısı ve sürtünme basıncının değişmesine paralel olarak değiştiği tespit edilmiştir.
- ✓ Bu kaynaklı bağlantılara ait numuneler incelendiğinde kopma; arayüzeye yakın bir noktada başlayıp AISI 2205 tarafına doğru sünek kırılma davranışı sergileyerek kopmuştur.
- ✓ Kaynaklı bağlantıların arayüzeyinde ölçülen sertlik ölçümlerinden, en önemli sertlik artışı 6 sn sürtünme süresi kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantıda ortaya çıktığı görülmüştür.
- ✓ En yüksek çekme mukavemeti N7 no' lu numunede 635,66MPa, en düşük çekme mukavemeti ise N6 no' lu numunede 598,24MPa olarak elde edilmiştir.
- ✓ Çekme test sonuçlarından, her bir kaynak parametresi kaynaklı bağlantının kalitesini bir miktar etkilediği fakat mekanik ve metalürjik özelliklere en önemli etkinin kullanılan sürtünme kaynak parametrelerinin (devir sayısı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığma basıncı ve yığma süresi) etkili olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Yapılan radyografik teste göre gösterilen en yaygın kaynak kusurları tanımları ve radyografik görüntülere göre AISI 4340 çeliği yetersiz kaynak grubuna girmektedir.

9.2. Öneriler

- Bu malzemelerin başka katı hal kaynak yöntemleri yapılabilir.
- Kaynaklı bağlantının korozyon dayanımı incelenebilir.
- Bu kaynaklı birleşmenin yorulma dayanımı incelenebilir.
- Genel kaynak bağlantılarının diğer tahribatsız yöntemleri uygulanabilir.

KAYNAKLAR

1. **Vill, V.I., et. al.,** (1962), Friction Welding of Metals, AWS, Newyork,
2. **Tylecote, R.Y.,** (1968), The Solid Phase Welding of Metals, Edward Arnold Ltd., London, pp 1-150.
3. **Jenning, P.,** (1971), Some Properties of Dissimilar Metal Joints Made By Friction Welding, The Welding Institute, Abinghton Hall, Cambridge, pp 147-153.
4. **Lucas, W.,** (1971), Process Parameters and Friction Welds, Met. Const. and British, Welding J., pp 293-297.
5. **Duffin, F.D., Bahrani, A.S.,** (1973), Frictional Behaviour of Mild Steel of Friction Welding, Wear, pp 53-73.
6. **Dobrovidov, A.N., et al,** (1975), Selection of Optimum Conditions for The Friction Welding of High-Speed Steel R6m5 to Carbon Steel 45, Welding Prod., pp 22-26.
7. **Seregin, S.A., Sabantsev, V.P.,** (1977), The Friction Welding of Quenched Steel, Weld. Prod., pp. 20-23.
8. **Westgate, S.A., Dunkerton, S.B.,** (1985), Friction and Flash Welding-Mechanical Properties Reviwed, The Welding Int. Research Bulletin, pp 49-53.
9. **Murti, K.G.K., Sundersan, S.,** (1983), Parameter Optimisation in Friction Welding Dissimilar Materials, Met. Const., pp 331-335.
10. **Yılmaz, M. , Kaluç, E., Karagöz, S. , Tülpenç, K. ,** "Alaşımsız C45 Ve HS 6-5-2 Yüksek Hız Çeliği Çiftinin Sürtünme Ve Yakma Alın Kaynağında Kaynak Bölgesinin Mikroyapısal Analizi", 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, s: 185-196, 12 - 13 - 14 Nisan 1995.
11. **Otmanbölük , AN,** (1999). " A Study on Friction Welding Process " , 7th Denizli Materials Symposium , sa: 507-511 , April 2-3-4 .
12. **Yılbaş, B.S., Şahin A.Z., et al,** (1994), Friction Welding of St-Al and Al-Cu Materials, Journal of Mat. Proc. Tech., 49: pp 431-443.
13. **N. Özdemir,** Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 steel as a function rotational speed, Materials Letters, Volume 59, Issues 19-20, August 2005, Pages 2504-2509.

14. **Mumin Sahin**, Evaluation of the joint-interface properties of austenitic-stainless steels (AISI 304) joined by friction welding, *Materials & Design*, Volume 28, Issue 7, 2007, pp2244-2250.
15. **V. V. Satyanarayana, G. MadhusudhanReddy**, T. Mohandas, Dissimilar metal friction welding of austenitic–ferritic stainless steels, *Journal of Mat. Proc. Tech.* Volume 160, Issue 2, 20 March 2005, pp 128-137.
16. **Niyazi Özdemir, Nuri Orhan**, Microstructure and mechanical properties of friction welded joints of a fine-grained hypereutectoid steel with 4% Al, *J. of M. Processing Technology*, Volume 166, Issue 1, 15 July 2005, pp 63-70.
17. **P. Sathiya, S. Aravindan, A. Noorul Haq, K. Paneerselvam** , Optimization of friction welding parameters using evolutionary computational techniques, *Journal of Mat. Proc. Tech*, Volume 209, Issue 5, 1 March 2009, Pages 2576-2584.
18. **Ellis, C.R.G.**, (1976), "Recent industrial Developments inFriction Welding", *Welding J*, pp 582-589.
19. **Lysov, v.s, Nazarov, v.p.**, Fain, ml., Makorova, T.A., Fadeeva, L.N. “Friction Welding 38KhS Steel Components With A Large Cross Secton”, *Weld. Prod.*, 22- 24. April 1983. Murti,
20. **N. Özdemir, U. Çalgülü ve İ. Kirik.**, "Effect of particle size and volume fraction of the reinforcement on the microstructure and mechanical properties of friction welded MMC to AA 6061 aluminum alloy", *KOVOVE MATERIALS*, Vol. 51, 04/2013, pp. 221-227, 2013.
21. **U. Çalgülü, M. Açık.**, " Interface characterization of friction welded low carbon steel and copper alloys", *Mp-Materials Testing*, Vol. 57(1), pp 29-36, 2015. doi: 10.3139/120.110670.
22. **N. Özdemir, F. Sarsılmaz, A. Hasçalık**, Effect of rotational speed on the interface properties of friction-welded AISI 304L to 4340 steel, *Materials & Design*, Volume 28, Issue 1, 2007, pp 301-307.
23. **Gurley K , MY** , " Friction Welding of Cast Parts " , *Engineer and Machinery* Volume: 30 Issue: 357 October 1989, the sa: 13-17 .
24. **Ellis, C.R.G.**, (1976), “Friction Welding: Where Industry Uses It”, *Weld. Design And Fab.*, pp 78- 81.
25. www.haddemetal.com/tr/Download/ısıl işlem çelikleri.pdf

- 26.Kurban, A. O. , Karaman, N. ,**The Effect of Different Metals and Welding Friction Welding of Welding Parameters " , 6th Symposium of Denizli Materials SA: 226-235 12 - 13 - April 14, 1995.
- 27.Kırık, i.,**2012.Sürtünme Kaynağı ile birleştirilen AISI 1040/AISI 304L çelik çiftinin elektrokimyasal korozyon dayanımının araştırılması, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- 28.Odabaş, C.,**2004. Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikler,Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri, Eczacıbaşı yayınları, İstanbul.
- 29.Brooks, J.A., Lippold, J.C.** 1993. Selection of wrought austenitic stainless stell, *ASM Metal Handbook*, V.56, 456-469
- 30.Korkut, M.H.,**1997. Ferritik paslamaz mikroyapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- 31. ASKAYNAK,** 2006. Çelikler için elektrod seçimi, gaz altı kaynağı, paslanmaz çeliklerin kaynağı, İstanbul.
- 32. Alptekin, A.,** 2006. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin paslanmaz çeliklere uygulanabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- 33. Kayır, Y.Z.,** 2003 Türkiye paslanmaz çelik üretebilir mi?, *Demir Çelik Sempozyumu* ve Sergisi, 98-101, Zonguldak.
- 34. Yüksel, M.,** 2002. Malzeme bilgisi, cilt 1, yayın no:2002/271-1, TMMOB makine mühendisleri odası, 547, Ankara.
- 35. Tülbentçi, K.,** 1990. MIG-MAG eriyen elektrot ile gazaltı kaynağı, Gedik Holdink A.Ş. yayınları, 168, İstanbul.
- 36. Türkyılmazoğlu, A.,** 2006. Dupleks, martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya..
- 37. Smith, W.F.,** 2000. Paslanmaz çelikler, mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri, Bölüm 5, cilt 1, çeviri: Erdoğan, M., 169-214, Ankara.
- 38. Aran, A., Temel, M.A.,** 2004. Paslanmaz çelik yassı mamul üretimi kullanımı standartları, Sarıtaş Teknik Yayın No:1 113 s., İstanbul.
- 39. Krysiak, K. F., Grubb, J. F., Campbell, R. D.,** 1993 Selection of Wrought Ferritic Stainless Stell, *ASM Metal Handbook*, V.6, 443-454.

40. **Mohandas, T., Madhusudhan, R., Naveed, M.,** 1999. A comparative evaluation of gas tungsten and shielded metal arc welds of a ferritic stainless steel. *J. Mater. Proc. Tech.*, 133-140.
41. **ASM International,** 1980, properties and selection; stainless steel, tool materials and specials-purpose metal, ASM, 123s. Ohio.
42. **Brooks, J.A., Lippold, J.C.** 1993. Selection of wrought austenitic stainless steel, *ASM Metal Handbook*, V.56, 456-469.
43. **Yıldırım, M. M.,** 1984. Malzeme Bilgisi, F.Ü. Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., Yayın No:61
44. **Noble, D. N.,** 1993. Selection of Wrought Duplex Stainless Steel, *ASM Metal Handbook*, V.6, 471-479.
45. **Polland, B.,** 1993. Selections of Wrought Precipitation-Hardening Stainless Steel, *ASM Metal Handbook*, V.6 482-493
46. **Davis, J. R.,** 1993. Selections of Wrought Martensitic Stainless Steel, *ASM Metal Handbook*, V.6, 432-441.
47. <http://www.celmercelik.com>.
48. <http://mumintutar.home.uludag.edu.tr/otomlz/12.pdf>.
49. **Savaşkan, T.,** 2009. Malzeme bilgisi ve muayenesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Trabzon.
50. <http://www.muhsak.ktu.edu.tr/metalurji/foylar/cekme%20Deneyi.pdf>.
51. <http://izmitemlmetal.com>.
52. <http://www.muhsak.ktu.edu.tr/metalurji/foylar/centik%20Darbe%20Deneyi.pdf>.
53. **Bakioğlu, M.,** cisimlerin mukavemeti, Cilt-1 beta yayınları, İstanbul teknik üniversitesi, istanbul.
54. **Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F.,** 1996. Metalik malzemelerin mekanik deneyleri, İ.T.Ü. rektörlüğü, sayı 1580, ISBN 975-561-098-7, üçüncü baskı.
55. <http://tez.sdu.edu.tr/Terzler/TF00956.pdf>.
56. **Prof.Dr.Levon Capan** Metallerde Plastik şekil verme.
57. <http://www.belgeler.com/blg/a2c/burulma-projesi>.
58. Metalişleri45.webstarts.com
59. www.teknikport.com
60. **Gourd, L.M.,** 1996 kaynak teknolojisinin esasları, London (Çeviri Prof.Dr. İ.B. Eryürek, Prof.Dr. H.O. Bodur, Prof.Dr. A.Dikicioğlu, İstanbul).
61. www.youtube.com

62. Argoncu.wordpress.com
63. Ağca, E., 2010. Doğrusal olmayan iki takı yoluyla alüminyum alaşımlı sac malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
64. Tülbentçi, K., 1993. Gazaltı kaynağı, MIG-MAG kaynağı İTÜ kimya metalürji makinesi, TMMOB makine mühendisliği odası arşivi.
65. Kaluç, E., 1993 Lazer ışını ile kaynak ve kesme, diğer kaynak yöntemleri, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.
66. Uzun, H., 1991. Elektro-curuf kaynak metodu ve yüzey kaplama, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
67. www.cgcrail.com
68. MEGEP, 2007. Metal Teknolojisi, elektrik direnç kaynağı, Ankara.
69. Anık, S., 1991. Kaynak tekniği el kitabı, İstanbul.
70. Anık, S., Vural, M., 1993. Özel kaynak yöntemleri, İTÜ makine fakültesi.
71. Çelik, Ö., 2008. Sürtünme Kaynağı yapılmış farkı malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Manisa.
72. Marr, S., 2001. Friction welding into the future, welding design and fabrication, 74 (8):34-36.
73. Sömez, F., 2007. Sürtünme kaynağıyla birleştirilmiş yüksek hız çeliği (HSS) ve AISI 1040 çeliklerinde mukavemet ve metalürji özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
74. Gül, A., 2006. Farklı metalsel malzemelerin sürtünme kaynağında, kaynak parametrelerin dikiş üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
75. Anıl, S., 1983. Kaynak Teknolojisi El Kitabı, İTÜ Makine Fakültesi.
76. Ünal, E., 2003. Sürtünme Kaynağı ile birleştirilmiş AISI 4340 çeliği ile paslanmaz çeliklerin yorulma dayanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
77. Bahrani, A.S., Grassland, B., 1996. Friction welding, CME, 61-66.

78. **Çil, E.**, 2009. Sürtünme Kaynağıyla birleştirilmiş paslanmaz çelik ve bakır parçaların kaynak bölgesi özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
79. **Şahin, M.**, 2001. Sürtünme kaynağı ile birleştirmede parça boyutları ve plastik şekil değiştirmenin etkilerinin araştırılması, Doktora tezi, Trakya üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
80. <http://www.mtiwelding.com>, manufacturing technology, 2011
81. **Gürleyik, M.Y.**, 1977. Sürtünme kaynağı , Mühendis ve Makine Dergisi, 16 (241).
82. **Katı, N.**, 2014. Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilmiş AISI 4340 / AISI 420 çelik çiftinin burulma davranışının incelenmesi Doktora tezi, Fırat üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
83. **Çalığülü, U.**, 2009, AISI 304–430 Paslanmaz–AISI 1010 Çelik Çiftlerinin Lazer Yöntemi İle Kaynağında Birleşme Özelliklerinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
84. **Mercan, S.**, 2013. Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş AISI 2205 / AISI 1020 Malzeme Çiftinin Mikroyapı Ve Yorulma Davranışının Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Doktora Tezi , Elazığ.
85. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı “Uçaklarda Tahribatsız Muayene” http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/525MT0004.pdf (2012).
86. **Seçim, C.**, “Tahribatsız muayene yöntemleri ve uygulama alanları”, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, (2011).
- A. Topuz , The Non-desctructive Inspections, YTU, İstanbul, 1993.(84

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut YALÇINÖZ 1985 K.Maraş/Elbistan doğumludur. İlk, Orta ve Lise öğrenimini K.Maraş/Elbistan'da tamamladı. 2006 yılında lisans programına Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Metal öğretmenliği programında başlamıştır ve 2010 yılda mezun olmuştur. 2012 yılından beri Elbistan Mesleki Eğitim Merkezinde TİG kaynakçılığı kursunda kurs öğretmenliği yapmaktadır. Şuanda ise Fırat Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Mahmut YALÇINÖZ evli ve bir çocuk babasıdır.

