



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**AISI 420 PASLANMAZ ÇELİK VE E 360 ÇELİĞİNİN SÜRTÜNME
KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

SUNAY AKYAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERKAN APAY**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AISI 420 PASLANMAZ ÇELİK VE E 360 ÇELİĞİNİN SÜRTÜNME
KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ

Sunay AKYAY tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Volkan ONAR

Pamukkale Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 21/01/2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

21 Ocak 2022

Sunay AKYAY

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneysel çalışmalarımı gerçekleştirmemde yardımcı olan MAS DAF Makina Sanayi A.Ş.'ye ve İbrahim DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2021.06.05.1181 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

21 Ocak 2022

Sunay AKYAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ÇELİKLER	3
2.1. GENEL YAPI ÇELİKLERİ	7
2.2. PASLANMAZ ÇELİKLER	8
2.2.1. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri.....	9
2.2.2. Paslanmaz Çelik Türleri.....	10
2.2.2.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	12
2.2.2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	13
2.2.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	14
2.2.2.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler.....	14
2.2.3. Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	15
2.2.3.1. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	15
3. SÜRTÜNME KAYNAĞI.....	17
3.1. SÜRTÜNME KAYNAĞI ÇEŞİTLERİ.....	21
3.1.1. Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı.....	21
3.1.2. Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı.....	23
3.1.3. Kombine Sürtünme Kaynak Yöntemi.....	25
3.2. SÜRTÜNME KAYNAK PARAMETRELERİ	28
3.2.1. Dönme Hızı (Çevresel Hız)	29
3.2.2. Sürtünme Basıncı	29
3.2.3. Yığma Basıncı	29
3.2.4. Sürtünme Süresi	29
3.2.5. Yığma Süresi.....	30
3.3. SÜRTÜNME KAYNAĞI YAPILABİLEN PARÇA GEOMETRİLERİ	30
3.4. SÜRTÜNME KAYNAĞI UYGULAMA ALANLARI	31
3.4.1. Makine İmalatı ve Hidroelektrik Endüstrisi	31
3.4.2. Otomotiv Endüstrisi.....	32
3.4.3. Havacılık ve Uzay Endüstrisi	33
3.4.4. İş Takım Endüstrisi.....	33
3.4.5. Elektronik ve Elektroteknik Endüstrisi	33
3.5. SÜRTÜNME KAYNAĞI YAPILABİLEN MALZEMELER.....	34
3.6. SÜRTÜNME KAYNAĞI AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI.....	36
3.6.1. Avantajları	36
3.6.2. Dezavantajları	37

4. LİTERATÜR TARAMASI.....	38
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	43
5.1. ÇALIŞMANIN AMACI	43
5.2. MALZEME	43
5.3. METOD	44
5.4. MİKROYAPI İNCELEMELERİ.....	46
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
6.1. MİKROYAPI DEĞERLENDİRMESİ	49
6.2. TARAMALI ELEKTRİN MİKROSKOBU (SEM) DEĞERLENDİRMESİ	55
6.3. ÇEKME DENEYİ DEĞERLENDİRMESİ	63
6.4. ELEMENTSEL HARİTALANDIRMA DEĞERLENDİRMESİ.....	66
6.5. MİKROSERTLİK SONUÇLARI DEĞERLENDİRMESİ	67
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
8. KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Fe-Fe ₃ C faz diyagramı çelik kısmı [5].	4
Şekil 2.2. a) Ferrit b) östenit c) perlit mikroskop görüntüleri [6].	5
Şekil 2.3. Paslanmaz çelik türleri için Cr ve Ni yüzdeleri.	11
Şekil 2.4. Paslanmaz çelik türlerinin iç yapısı.	11
Şekil 3.1. Sürtünme kaynağında temel adımlar [32].	18
Şekil 3.2. Sürtünme kaynağında parçaların hareket türleri [34].	19
Şekil 3.3. İki çelik arasında meydana gelen yapısal bozulma	20
Şekil 3.4. Sürtünme kaynak cihazı ve donanımları [37].	21
Şekil 3.5. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak parametreleri	22
Şekil 3.6. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı.	22
Şekil 3.7. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı özellikleri.	23
Şekil 3.8. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak parametreleri.	23
Şekil 3.9. Volan tahrikli sürtünme kaynağı.	24
Şekil 3.10. Volan tahrikli sürtünme kaynak özellikleri.	25
Şekil 3.11. Volan tahrikli sürtünme kaynak parametreleri.	25
Şekil 3.12. Kombine kaynak yönteminde zamana bağlı kaynak parametreleri.	26
Şekil 3.13. Lineer titreşim hareketli sürtünme kaynağı.	27
Şekil 3.14. Açısal titreşim hareketli sürtünme kaynağı.	28
Şekil 3.15. Radyal sürtünme kaynağı.	28
Şekil 3.16. Yörüngesel titreşim hareketli sürtünme kaynağı.	28
Şekil 3.17. Sürtünme kaynağına uygun parça geometrileri.	31
Şekil 3.18. Dizel motor pistonu.	32
Şekil 3.19. Egzoz supapları.	32
Şekil 3.20. Ticari araçlarda sürtünme kaynağı uygulanmış çeki kolları.	33
Şekil 3.21. Sürtünme kaynağı ile üretilmiş uçak parçası.	33
Şekil 3.22. Sürtünme kaynağı ile üretilmiş parçalar.	34
Şekil 5.1. Sürtünme kaynak makinesi bağlama mekanizması.	45
Şekil 5.2. D-1 parametre grubu sürtünme kaynağı numunesi.	46
Şekil 5.3. D-2 parametre grubu sürtünme kaynağı numunesi.	46
Şekil 5.4. Çapağı temizlenen numune.	47
Şekil 5.5. İnceleme öncesi kesilen numune.	47
Şekil 5.6. Metalografik incelemeler için kesilen numune.	47
Şekil 6.1. Mikroyapı değişimlerinin meydana geldiği bölgeler.	49
Şekil 6.2. D-1 numaralı deneye ait mikroyapı görüntüleri.	50
Şekil 6.3. D-2 numaralı deneye ait mikroyapı görüntüleri.	50
Şekil 6.4. Malzemede oluşan tane yönelmesi.	51
Şekil 6.5. D-1 numuneye ait mikroyapı görüntüleri.	52
Şekil 6.6. D-2 numuneye ait mikroyapı görüntüleri.	54
Şekil 6.7. D-1 no'lu numuneye ait SEM görüntüleri.	56
Şekil 6.8. D-1 no'lu numune kaynak arayüzey görüntüsü.	57
Şekil 6.9. D-1 no'lu numune EDS analizi yapılan noktalar.	58
Şekil 6.10. 1 noktasından alınan EDS analizi.	58
Şekil 6.11. 2 noktasından alınan EDS analizi.	58
Şekil 6.12. D-1 no'lu numunenin XRD grafiği.	59
Şekil 6.13. D-2 no'lu numuneye ait SEM görüntüleri.	60
Şekil 6.14. D-2 no'lu numune kaynak arayüzey görüntüsü.	61
Şekil 6.15. AISI 420 tarafı EDS analizi.	62
Şekil 6.16. Arayüzeyden alınan noktanın EDS analizi.	62

Şekil 6.17. E 360 tarafı EDS analizi.	62
Şekil 6.18. D-2 no'lu numunenin XRD grafiği.	63
Şekil 6.19. D-1 numunesine ait gerilme uzama grafiği.	64
Şekil 6.20. D-2 numunesine ait gerilme uzama grafiği.	65
Şekil 6.21. E 360 tarafı elementsel haritalama analizi.	66
Şekil 6.22. AISI 420 tarafı elementsel haritalama analizi.	66
Şekil 6.23. D-1 ve D-2 numunesine ait sertlik değişimi.	67



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. American Society for Testing and Materials’a göre paslanmaz çelikler [16].	12
Çizelge 2.2. Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analiz değerleri [29].	16
Çizelge 3.1. Benzer ve farklı metallerin sürtünme kaynak kabiliyetleri.	35
Çizelge 5.1. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri.	44
Çizelge 5.2. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.....	44
Çizelge 5.3. Sürtünme kaynağında kullanılan parametreler.	45
Çizelge 6.1. D-1 numunesine ait çekme deneyi sonuçları.	64
Çizelge 6.2. D-2 numunesine ait çekme deneyi sonuçları.	65



KISALTMALAR

AISI	American Iron and Steel Institute
Cr_7C_3	Krom karbür
Dev	Devir
Dk	Dakika
EDS	Enerji dispersif spektrometresi
EDX	Enerji dağıtıcı x-ışını
Fe_3C	Sementit
HMK	Hacim merkezli kübik
ITAB	Isı tesiri altında kalan bölge
mm	Milimetre
MPA	Megapaskal
PLC	Programlanabilir mantıksal denetleyici
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
sn	Saniye
XRD	X- Işınları difraksiyon
YMK	Yüzey merkezli kübik

SİMGELER

α	Alfa
C	Karbon
Cr	Krom
$^{\circ}\text{C}$	Derece Santigrat
Fe	Demir
HV	Vickers sertliği
Mo	Molibden
Mn	Mangan
N	Azot
Ni	Nikel
P	Fosfor
S	Kükürt
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
γ	Gama

ÖZET

AISI 420 PASLANMAZ ÇELİK VE E 360 ÇELİĞİNİN SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Sunay AKYAY

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Ocak 2022, 75 sayfa

Kaynaklı birleştirme teknolojilerindeki gelişmeler ışığında, sürtünme kaynağı birçok sanayi ve endüstride geniş uygulama alanı imkânı bulmuş katı hal kaynak yöntemidir. Sürtünme kaynağı özellikle otomotiv, savunma sanayi, havacılık ve uzay endüstrilerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Geleneksel kaynak teknikleri ile birleştirilmesi güç ve problemli olan özellikle silindirik parçaların kaynaklarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Alüminyum-çelik, alüminyum-bakır, çelik-seramik, alüminyum-seramik gibi malzemeler, bu yöntemle birleştirilebilir. Bu yöntem malzemelerin tam ergime oluşmadan birleştirilmesine olanak sağlar ve avantaj oluşturur. Mekanik ve fiziksel özellikleri farklı olan iki metal malzeme kusursuz bir şekilde birleştirilebilir. Aşınmanın, yorulmanın ve mekanik diğer zorlamaların çok olduğu birçok makine parçası imalatında sürtünme kaynağı başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Deniz suyu altında çalışacak olan bir su pompası fanı için aşınmanın çok olduğu yerde aşınmaya dayanıklı malzeme kullanmak (paslanmaz, titanyum vb.), diğer kısımda ise normal kalite (S235, S355 vb.) bir malzeme kullanmak imalatı olumlu yönde iyileştirebilmektedir. Bu iyileşme çalışma performansı olarak daha sonrada mevcut imalatın maliyeti olarak kendini gösterecektir. Bu çalışmada farklı özelliklere sahip 20 mm çapında AISI 420 ve E 360 çeliği sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde devir sayısı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi gibi parametreler literatür çerçevesinde değerleri değiştirilerek farklı mikroyapı ve mekanik özelliklere sahip birleştirmeler elde edilmiştir. İncelemeler sonucunda iki farklı malzeme türünün boşluksuz olarak birleştiği ve parametrelerin birleşme kalitesinde önemli role sahip olduğu tespit edilmiştir. Farklı özelliklere sahip çelik alaşımlarının sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde uygun parametrelerin kullanılarak kaynak kalitesini artırmanın mümkün olduğu görülmüştür.

Anahtar sözcükler: AISI 420 Paslanmaz çelik, E 360 çelik, Mikroyapı, Sürtünme kaynağı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF AISI 420 STAINLESS STEEL AND E 360 STEEL WELDING BY FRICTION WELDING METHOD

Sunay AKYAY

Duzce University

Institute of Graduate Studies, Department of Manufacturing Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan APAY

January 2022, 75 pages

In the light of developments in welded joining technologies, friction welding is a solid state welding method that has found wide application in many industries and industries. Friction welding is widely used in the automotive, defense industry, aerospace and aerospace industries. It is successfully applied especially in the welding of cylindrical parts, which are difficult and problematic to join with traditional welding techniques. Materials such as aluminum-steel, aluminum-copper, steel-ceramic, aluminum-ceramic can be combined with this method. This method allows the materials to be joined before full melting occurs and is advantageous. Two metal materials with different mechanical and physical properties can be seamlessly combined. Friction welding is successfully applied in many machine parts manufacturing where abrasion, fatigue and other mechanical stresses are high. For a water pump fan that will operate under sea water, using abrasion resistant material (stainless, titanium, etc.) where abrasion is abundant, and using a normal quality material (S235, S355 etc.) in the other part can improve the manufacturing positively. This improvement will manifest itself as operating performance and then as the cost of the current manufacturing. In this study, 20 mm diameter AISI 420 and E 360 steel with different properties were combined with friction welding. In welded joints, the values of parameters such as speed, friction pressure, friction time were changed within the framework of the literature, and joints with different microstructure and mechanical properties were obtained. As a result of the investigations, it has been determined that two different material types join without gaps and the parameters have an important role in the quality of the joint. It has been seen that it is possible to increase the welding quality by using appropriate parameters in joining steel alloys with different properties by friction welding method.

Keywords: AISI 420 Stainless steel, E 360 steel, Friction welding, Microstructure

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insan ihtiyacı olan araç ve gereçleri imal etme, üretme düşüncesinden kaynaklı birleştirme ortaya çıkmıştır. Bu araç gereçlerin yapımında farklı kaynaklı birleştirme yöntemleri kullanılmış ve iki malzeme birbirleriyle ısı basınç veya her ikisini kullanarak birleştirmiş, sonucunda da kaynaklı bağlantılar ortaya çıkmıştır. İleri teknoloji malzemeler ve üretim yöntemlerindeki gelişmelere bağlı olarak benzer veya farklı malzemelerin imalat esnasında birleştirilmesi ihtiyacı önem kazanmıştır [1]-[2].

Kaynak teknikleri ergitmeli ve ergitmesiz (katı hal) kaynak metotları olarak iki gruba ayrılmıştır. Ergitmesiz kaynak yönteminde malzemeler ergitilmeden katı haldeyken birleşme sağlanabilmektedir. Bu katı hal kaynak yöntemlerinden biri sürtünme kaynağı yöntemidir. Sürtünme kaynağı temelde dönen silindirik malzemelerin kaynağında kullanılır ve kaynak işlemi için parçalardan biri sabit, diğeri dönmekte olan iki parçanın birbirleri ile sürtünerek ortaya çıkardıkları ısıdan yararlanarak artan basınç altında gerçekleştirilir ve işlem sonunda dönme hareketi aniden durdurularak kaynak tamamlanır. Malzemelerin yüzeylerinin birleştirildiği sürtünme kaynağı yöntemi imalat sektöründe silindirik malzemelerin birleştirilmesinde enerji ve zaman tasarrufu sağlamaktadır [2].

Martenzitik paslanmaz çelikler %11-18 Cr, %0.1-1.2'ye kadar C ve düşük miktarlarda Mn ve Ni içeren ve soğuk şekillendirilebilen çeliklerdir. Bu çelikler yüksek sıcaklıklarda östenitik iç yapıya sahiptirler. Çeliğin türüne göre östenitin sıcaklığı 950-1050 °C olup bu sıcaklıklarda çeliğe su verilirse martenzitik iç yapı elde edilebilir. Kimya, petro-kimya ve gıda sektörleri genel kullanım alanlarıdır [3]. Bu sektörlerde imalat esnasında sıklıkla AISI 420 çeliğinin kullanıldığı görülmektedir.

Alaşımız çelik olarak adlandırılan yapı çeliklerinin, mekanik özellikleri daha çok karbon miktarına bağlıdır. Çekme gerilmeleri ve akma sınır değerleri dikkate alınan yapı çelikleri, otomotiv sektörü, makine konstrüksiyon, köprü yapımı, gemi inşa vb. gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Genel yapı çeliği olan E 360 çeliği, %0.5-0.65 arası C içeren sıcak haddelenen ve normal tavlanan bir çeliktir. Perçin, özel civata, kama ve mukavemet gerektiren makine elemanlarında yaygın olarak kullanılır [3].

Bu çalışmada, sürtünme kaynağı yöntemi kullanılarak iki farklı malzeme türünün

birleştirilmesini incelemek için yapılmıştır. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliği ile E 360 yapı çeliğinin sũrtũnme kaynak yũntemi ile kaynak edilebilirliği incelenmiştir. Sũrtũnme kaynağı işleminde dũnme hızı değişken ortam sıcaklığı sabit tutulmuştur. Yapılan kaynaklı birleştirmenin ara kesitinden alınacak olan mikroyapılar optik mikroskop ile incelenmiştir. Kaynağı yapılan malzemelerin mekanik ȳzelliklerini belirlemek için numunelere çekme testi ve sertlik testi uygulanmıştır.



2. ÇELİKLER

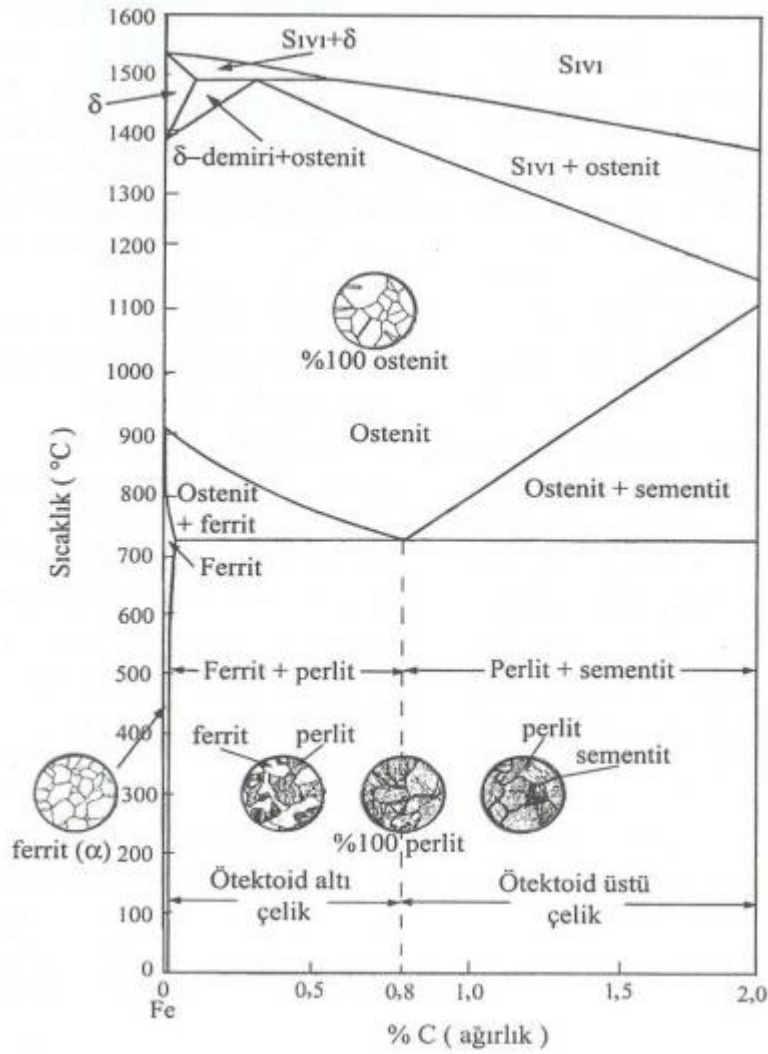
Demir- Karbon alaşımları içeriğindeki karbon miktarlarına göre “Çelikler” ve “Dökme Demirler” olarak iki gruba ayrılmaktadır. Buna göre %2’den az karbon içeren alaşımlar çelik ve %2’den fazla karbon içeren alaşımlar da dökme demirler olarak adlandırılmaktadır [4]. Oda sıcaklığında saf demir ergime sıcaklığına kadar üç farklı kristal yapılarda bulunur.

- 1- Oda sıcaklığından 912°C’ye kadar hacim merkezli kübik,
- 2- 912°C den 1394°C’ye kadar yüzey merkezli kübik,
- 3- 1394°C den ergime sıcaklığına kadar tekrar hacim merkezli kübik yapıdadır.

Malzemenin kimyasal yapısında değişiklik olmaksızın kristal yapısında değişiklik meydana geliyorsa, malzeme allotropik ve poliformik özellik göstermektedir. Demir ve demir alaşımlarının allotropik özellik göstermesi; sertlik, tokluk, süneklik gibi özelliklere sahip olmasıyla birlikte birçok alanda kullanılmasına neden olmaktadır [5].

Demir içerisinde bulunan karbon miktarındaki artış ile dönüşüm sıcaklıkları değişmektedir. Karbon miktarı %0.8 kadar olan kısım ötektoid altı çelik, %0.8 ile %2 aralığındaki çelikler de ötektoid üstü çelik olarak isimlendirilmektedir.

Şekil 2.1’de Demir-Sementit faz diyagramı çelik kısmına ait fazlar ve bu fazların metalografik yapılarının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Fe-Fe₃C faz diyagramı çelik kısmı [5].

Ferrit;

α - demiri olarak bilinmektedir.

Hacim merkezli kübik (HMK) yapıya sahiptir.

Fe-C sistemindeki en yumuşak fazdır.

Tokluğu düşüktür.

Uzaması %40 civarındadır.

723°C'de %0.025 C, bu oran oda sıcaklığında ise %0.008 C çözer.

Manyetiktir. Metalografik yapısı Şekil 2.2'de verilmiştir.

Östenit;

γ - demiri olarak bilinmektedir.

Yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahiptir.

1147°C'de %2.0 oranında C çözündürür.

Tokluğu oldukça yüksektir.

Oda sıcaklığında kararsız bir faz olmasına rağmen, bazı özel durumlarda oda sıcaklığında östenit eldesi sağlanabilmektedir.

Çok iyi şekil değiştirilebilir.

Manyetik değildir. Metalografik yapısı Şekil 2.2’de verilmiştir.

Sementit (Fe_3C);

%6.67 oranında C içeren ara yer bileşiğidir.

Oldukça sert ve gevrek bir yapıya sahiptir.

Çekme mukavemeti düşük, basma mukavemeti nispeten yüksektir.

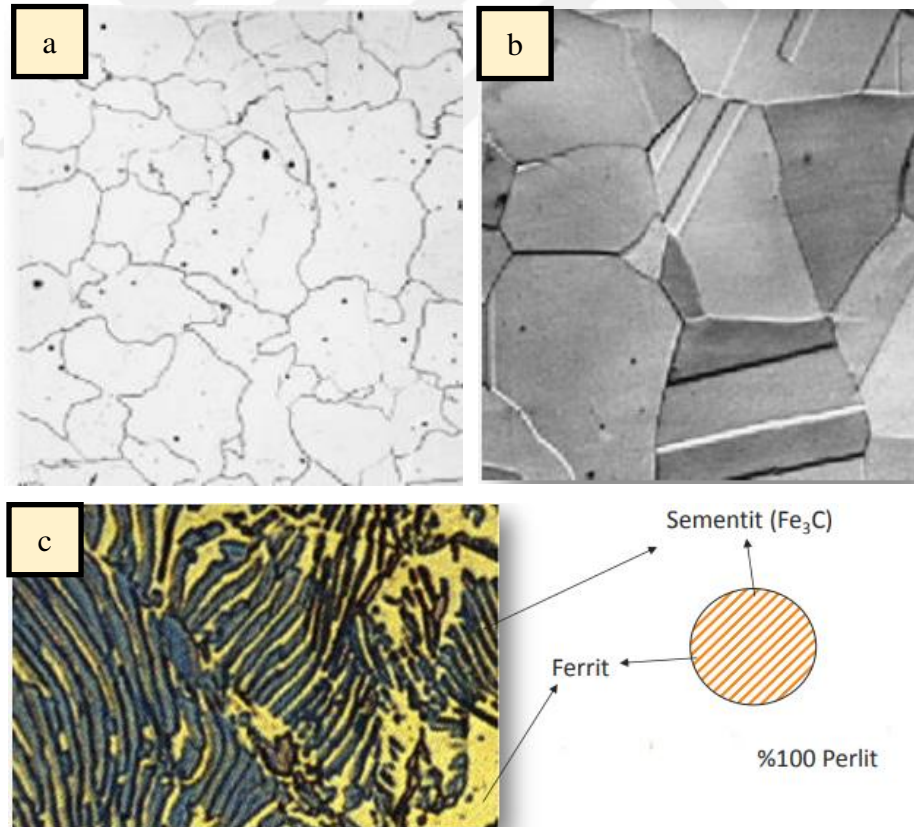
Perlit ($\text{Fe}_3\text{C} + \alpha$);

Ötektoid yapı olarak da bilinmektedir.

Metalografik yapısı ferrit ve sementitten oluşur.

Bu noktada %0.8 C içerir ve sıcaklık 723°C ’dir.

Metalografik yapısı Şekil 2.2’de verilmiştir [5].



Şekil 2.2. a) Ferrit b) östenit c) perlit mikroskop görüntüleri [6].

Temel olarak demir-karbon alaşımlarına çelik adı verilir. Çelik malzemenin özelliklerinin sınırlı kalmaması için, içerisine karbon dışında farklı alaşım elementleri ve saf olmayan elementler bulunur. Çeliğe farklı özellik kazandırmak için alaşım elementleri ekleneceği gibi ısıtılımlar uygulanarak istenilen özelliklerde çelik elde edilebilir. Uygulanan ısıtılımlar sonucunda sertlik, elektriksel özellik, korozyon direnci, mekanik ve fiziksel özelliklerinin eldesi sağlanmış olur [7].

Demir cevherinden veya hurdadan geri dönüşüm gibi iki farklı yolla çelik elde edilmektedir. Çelik üretim metodlarına göre aşağıda sıralanmaktadır;

- Bessemer ve Thomas çelik yöntemleri,
- Siemens – Martin çelik üretim yöntemleri,
- Elektrik ark ve elektrik endüksiyon çelik üretim yöntemleri,
- Pota içerisinde çelik üretim yöntemleri,
- Oksijenli konverter çelik üretim yöntemleri,
- Vakum çelik üretim yöntemleri.

Kullanım alanlarına göre çelikler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- Genel yapı çelikleri,
- Makine ve imalat çelikleri,
- Takım çelikleri.

Çeliklerin temel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Çelikler, ısıtılımlara karşı duyarlıdır. Isıtılımlar sonucunda malzemeye istenen sertlik, tokluk, fiziksel ve mekanik özellik, elektriksel özellik, korozyon ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanım özellikleri kazandırılabilir.
- Çeliğin şekillendirilmesi için yapısının gerektiği miktarda ısıya maruz bırakılır (hadde, pres, dövme). Ayrıca çelikler kimyasal bileşim ve iç yapısına uygun olarak da soğuk olarak şekillendirmeye tabii tutulabilir (hadde, pres, bükme).
- Sünekliği sayesinde talaş kaldırma işlemi uygulanarak istenilen şekil ve yüzey kalitesi elde edilebilir.
- Kimyasal kompozisyonu uygun olan çelikler, kaynak yöntemleri ile

birleştirilebilirler.

- Çeliklerin büyük bir bölümü kaplanmaya (metal, plastik maddeler), boyanmaya uygundur [3]-[8].

2.1. GENEL YAPI ÇELİKLERİ

Toplam çelik üretimi içinde en yaygın kullanıma sahip çelik grubudur. Yapı çelikleri çekme dayanımı ve akma sınırı değerleri dikkate alınarak, köprü yapımı, inşaat işleri, yol yapımı, makine konstrüksiyon ve taşıt imalatında kullanılır. Bu çelikler aynı zamanda alaşımsız çelik olarak da tanımlanabilirler. Mekanik özellikleri daha çok karbon miktarına bağlıdır. Karbonun yanı sıra başta azot ve fosfor olmak üzere, silisyum, bakır ve kükürt elementleri de oldukça etkilidir [9].

Yüksek mukavemet, çekme ve akma dayanımı, tokluk gibi özellikler için kullanıldığı alana göre farklı yapı çelikleri mevcuttur. Yapı çeliklere uygulanan imalat yöntemleri arasında; kesim, talaşlı imalat, sıcak-soğuk deformasyon ve kaynak yöntemleri yer almaktadır. Düşük karbon içeriklerinden dolayı iyi kaynaklanabilen bu çelikler için en önemli imalat yöntemi arasında kaynaklı birleştirme yer almaktadır.

Yapı çeliklerinin sahip olduğu genel özellikler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

- Uygun akma sınırı ve çekme dayanımı,
- Uygun darbe dayanımı,
- Gevrek kırılmalara karşı dayanım,
- İyi kaynaklanabilirlik,
- İyi şekillendirilebilirlik,
- İyi işlenebilirlik.

Genel yapı çelikleri kalite gruplarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma kapsamında;

Kalite 1: grubunda yalnızca St33 (S185) çeliği verilmektedir. Bu çelikte kimyasal analiz değerleri verilmez. Üretim yöntemi ve döküm tarzı serbest bırakılmıştır. Bu gruptaki çelikler itinalı olarak ergitilemezler.

Kalite 2: bu gruptaki çelikler daha çok kaynak konstrüksiyonlarında tercih edilirler.

İçeriğindeki silisyum ve mangan miktarları belirlenmiştir. S235 çeliği kaynar, sakın veya yarı sakın dökülmüş olarak dökülebilir. S275, S355, E335 ve E360 çelikleri mutlaka sakın veya yarı sakın dökülürler.

Kalite 3: bu gruptaki çelikler yaşlanmaya dayanıklı ve ince taneli çelik olarak, özellikle sakınleştirilerek dökülürler. Fosfor ve kükürt miktarları %0.04 olarak sınırlandırılmıştır. Genellikle 0.020 Alüminyum ilavesi ile deokside edilerek çentik darbe tokluğu ve yaşlanma dayanımı iyileştirilir [3].

2.2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler, bileşiminde minimum %10.5 krom elementi ve maksimum %1.2 karbon elementi barındıran çelik çeşididir. İçeriğinde kullanılan krom, çelik yüzeyinde yüzeye tutunmuş sünek ve ince oksit tabakası oluşturmaktadır. İnce bir yapıya sahip olan bu oksit tabakası, yüzeyi aktif olmayan bir hale getirir ve oksidasyonun ilerlemesine engel olur. Oksit tabakasının kendini iyileştirme yeteneği, yüzeyin ne kadar kısmı kaldırılırsa kaldırılırsın, çeliğin korozyona dayanıklı olduğu anlamına gelir. Karbon veya düşük alaşımlı çeliklerin çinko veya kadmiyum gibi metalik kaplamalarla veya boya gibi organik kaplamalarla korozyondan korunduğu durumlarda bu durum söz konusu değildir [10]. Aynı zamanda bu oksit tabakası talaşlı imalat, kesme vb. durumlara maruz kalsa dahi kendini yeniler ve eski özelliğine tekrar kavuşurur [11].

Paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliğini sağlayan elementlerin yanında, özelliklerini geliştirmek amacıyla diğer alaşım elementleri de eklenmektedir.

Krom: Bir karbür ve ferrit yapıcı elementtir. Korozyon dayanımı ve tufallaşma direncinin artmasına katkı sağlamaktadır. Paslanmaya karşın direnç sağlar ve bunun yanı sıra malzemeye parlak bir görüntü kazandırır.

Nikel: Östenit yapıcı ve dengeleyicidir. Nikel mukavemet ve tokluğu artırmaktadır. Mekanik özellikleri iyileştirici etkisi vardır. Kaynak metali tokluğunu artırıcı etkisi vardır. Paslanmaz çeliklerin yüzeyinde meydana gelen koruyucu pasif tabakaya direk etkisi bulunmamaktadır. Ancak paslanmaz çeliklerde sülfürlü ve klorürlü ortamlarda korozyon direncini arttırmaktadır.

Karbon: Ferrit yapıcı bir elementtir. Karbon miktarındaki artış sertlik ve dayanımı artırırken, şekillenebilirlik ve kaynak kabiliyetini azaltır. Kaynak metalinin korozyon

direncini, tokluğunu olumsuz yönde etkilemektedir.

Azot: Östenit yapıcı bir elementtir. Östenit oluşturmada nikel elementi kadar etkilidir. Negatif sıcaklıklarda kaynak metali tokluğunu ters yönde etkiler. Mukavemeti artırmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerde katı eriyik içerisinde çözünmekte ve akma dayanımını arttırmaktadır.

Bakır: Korozyon dayanımlarını artırmak amacıyla paslanmaz çeliklere eklenir. Yaşlanma yolu ile sertleşmeye teşvik eder. Oksitlenmeyi azaltarak korozyon direncini artırır.

Kobalt: Yüksek sıcaklıklarda paslanmaz çeliklerin sürünme ve mukavemet özelliklerini geliştirmek amacıyla katılır.

Mangan: Östenit yapıcı element olarak kullanılır. Alaşım elementleri arasındaki en iyi deoksidasyon metalidir. Sertleşebilme, dayanım ve kaynak kabiliyetini artırır. Yüksek sıcaklıklarda ferrit oluşturmaktadır. Kükürt ile manganer sülfat bileşiği oluşturur.

Molibden: Ferrit yapıcıdır. Malzemenin yüksek sıcaklıklardaki dayanıklı olmasını sağlar. Redükleyici ortamlarda malzemelerin korozyona karşı dayanımlarının artmasını sağlamaktadır.

Niyobyum: Bir karbür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerin krom karbür çökmesine karşı dengelemede kullanılır. Orta şiddette ferrit yapıcı bir elementtir. Taneler arası korozyonu önler.

Fosfor, Kükürt, Selenyum: Paslanmaz çeliklerde işlenebilme kabiliyetini artırır. Ancak kaynak esnasında sıcak çatlak oluşumuna neden olduğundan kaynağı sınırlandırmaktadır.

Silisyum: Ferrit yapıcı bir elementtir. Çekme dayanımı ve elastikiyeti artırır. Östenitik paslanmaz çeliklerde korozyon direncini artırmak için kullanılır [12]-[13] .

2.2.1. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri

Paslanmaz çeliklerin tercih edilmesindeki sebepler aşağıda sıralanmıştır.

Korozyon direnci: Minimum %10.5 krom içeriği ile paslanmaz çelik, kromun havadan veya sudan gelen oksijenle reaksiyonu sonucunda yüzeyde meydana gelen pasif bir krom oksit tabakası ile sürekli olarak korunur. Yüzey çizilirse kendini yeniler. Bu özellik paslanmaz çeliklere korozyon direncini kazandırır. Bu sebeple tüm paslanmaz çelik türlerinin korozyona karşı dirençleri yüksektir. Paslanmaz çelikler aynı zamanda yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilirler.

Yüksek ve düşük sıcaklıklar: Paslanmaz çeliklerin bazı türlerinde yüksek sıcaklıklarda dahi tufallaşma ve malzemenin mekanik dayanımında önemli ölçüde düşme görülmez. Bazı türleri ise çok düşük sıcaklıklarda dahi gevrekleşmez ve tokluklarını korurlar.

İmalat kolaylığı: Paslanmaz çeliklerin çoğu kolayca kesilebilir, kaynaklanabilir, şekillendirilebilir, işenebilir ve imal edilebilirler.

Mekanik dayanım: Diğer çelik türleri ile kıyaslandığında paslanmaz çelik, ortam sıcaklığında güçlü mekanik özelliklere sahiptir. Soğuk şekillendirme ile serleştirilebilen paslanmaz çeliklerin, dayanım artması sayesinde tasarımlarda malzeme kalınlıkları azaltılarak parça ağırlığı ve fiyatta düşüşler sağlanabilir. Bazı paslanmaz çelik türlerinde ise ısıtıl işlem uygulanarak malzemeye yüksek dayanım kazandırılabilir. Ayrıca hem düşük hem de yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik davranış sunarlar.

Görünüm: Paslanmaz çelik, mat, parlak, fırçalanmış ve oyulmuş gibi çok çeşitli yüzey kaplamalarına sahiptir. Bu yüzeylerin bakımları kolay olduğundan uzun süre korunabilirler.

Hijyenik özellik: Paslanmaz çeliklerin temizliği ve bakımı kolay olduğundan hastanelerde, mutfaklarda, gıda ve ilaç sektöründe kullanım olarak ilk tercih haline getirmektedir.

Uzun ömür: Paslanmaz çeliğin uzun ömürlülüğü, sürdürülebilir yapı gereksinimlerini karşılar. Dayanıklı ve az bakım gerektiren paslanmaz çelikler uzun ömürleri sayesinde ekonomik malzemelerdir [14].

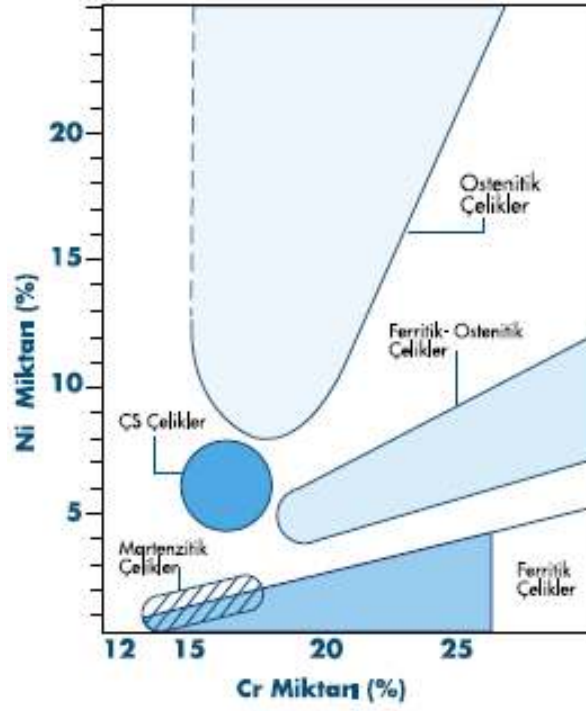
2.2.2. Paslanmaz Çelik Türleri

Korozyona ve ısıya dayanıklı olan paslanmaz çelikler, yüksek oranda krom ve nikel içermektedirler. Paslanmaz çeliklerde korozyon direncinin yüksek olması, yüzeyde ince ve kararlı krom oksit veya nikel oksit tabakalarının oluşmasından kaynaklıdır [15]. Farklı özellikler kazandırmak amacıyla krom, nikel, molibden, mangan gibi alaşım elementleri çeliğe katılabilir. Böylece farklı kaliteler ortaya çıkmaktadır. Bunlar;

- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Ferritik paslanmaz çelikler
- Östenitik paslanmaz çelikler
- Dupleks paslanmaz çelikler

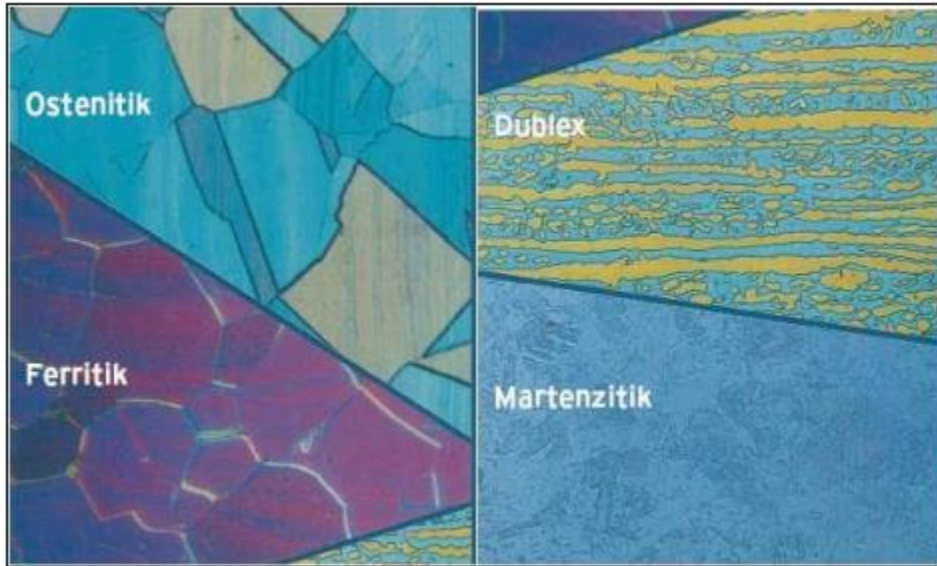
- Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler

Paslanmaz çeliklerin Cr ve Ni yüzdeleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir [14].



Şekil 2.3. Paslanmaz çelik türleri için Cr ve Ni yüzdeleri.

Paslanmaz çelik türlerinin metalografik yapıları Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Ayrıca paslanmaz çelik türlerinin kimyasal bileşimi Çizelge 2.1'de verilmiştir [16].



Şekil 2.4. Paslanmaz çelik türlerinin iç yapısı.

Çizelge 2.1. American Society for Testing and Materials’a göre paslanmaz çelikler [16].

ASTM	EN Malzeme No.	Kimyasal Bileşim, ağı. % max.									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
Ferritik Paslanmaz Çelikler											
409	1,4512	0.08	1,0	1,00	0,005	0,03	10,5-11,75	-	-	-	(6xC)Ti
430	1,4016	0.12	1,0	1,00	0,04	0,03	16,0-18,0	-	-	-	-
430Ti	1,450	0.10	1,0	1,00	0,04	0,03	16,0-19,5	0,75	-	-	(5xC)Ti
439	1,4510	0.07	1,0	1,00	0,04	0,03	17,0-19,0	0,5			0.2+4(C+N)Ti
Martenzitik Paslanmaz Çelikler											
410	1,4006	0.15	1,0	1,00	0,04	0,03	11,5-13,0	-	-	-	-
420	1,4021	0.15 min.	1,0	1,00	0,04	0,03	12,0-14,0	-	-	-	-
440A	-	0,6-0,75	1,0	1,00	0,04	0,03	16,0-19,5	-	0,75	-	-
440C	1,4125	0,95-1,2	1,0	1,00	0,04	0,03	16,0-18,0	-	0,75	-	-
Dublex Paslanmaz Çelikler											
2205	1,4462	0.03	2,0	1,00	0.03	0.02	21,0-23,0	4,5-6,5	2,5-3,5	0,08-0,2	-
329	1,446	0.20	1,0	0.75	0.04	0.03	23,0-28,0	2,5-5,0	1,0-2,0	-	-
Östenitik Paslanmaz Çelikler											
201	1,4372	0.15	5,5-7,5	1,00	0.06	0.03	16,0-18,0	3,5-5,5	-	0.25	-
301	1,4310	0.15	2,0	1,00	0.045	0.03	16,0-18,0	6,0-8,0	-	-	-
304	1,4301	0.08	2,0	1,00	0.045	0.03	18,0-20,0	8,0-10,5	-	-	-
304L	1,4306	0.03	2,0	1,00	0.045	0.03	18,0-20,0	8,0-12,0	-	-	-
304LN	1,4311	0.03	2,0	1,00	0.045	0.03	18,0-20,0	8,0-12,0	-	0.1-0.16	
309	1,4828	0.2	2,00	1,00	0.045	0.03	22,0-24,0	12,0-15,0			
309S	1,4833	0.08	2,00	1,00	0.045	0.03	22,0-24,0	12,0-15,0			
310	1,4841	0.25	2,00	1.50	0.045	0.03	24,0-26,0	19,0-22,0			
310S	1,4825	0.08	2,00	1.50	0.045	0.03	24,0-26,0	19,0-22,0			
316	1,4401	0.08	2,00	1,00	0.045	0.03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	-
316L	1,4404	0.03	2,00	1,00	0.045	0.03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	-
316LN	1,4406	0.03	2,00	1,00	0.045	0.03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	0.1-0.16	
316Ti	1,4571	0.08	2,00	1,00	0.045	0.03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	5x(C+N)Ti
321	1,4541	0.08	2,00	1,00	0.045	0.03	17,0-19,0	9,0-12,0	-	-	(5xC)Ti
347	1,4550	0.08	2,00	1,00	0.045	0.03	17,0-19,0	9,0-13,0	-	-	(10xC)Nb
Çökeltme Sertleşme Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler											
631	1,4568	0.09	1,0	1,0	0.04	0.04	16,0-18,0	6,5-7,5	-	-	0.75-1.5 Al
632	1,4532	0.09	1,0	1,0	0.04	0.03	14,0-16,0	6,5-7,5	2,0-3,0	-	0.75-1.5 Al

2.2.2.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler; krom (%12-18), karbon (%0.2-1) ve demir elementinden oluşmaktadırlar. Yüksek alaşımlı çeliklere suda veya yağda su verilerek elde edilen martenzitik paslanmaz çeliklere mekanik özelliklerini geliştirebilmek amacıyla ısıtılma işlemi de uygulanabilir. Bu çelikler ısıtılma işlemi sonucu daha yüksek sertleşebilirlik göstermektedirler. Bu çelikler 950-1050°C arasındaki sıcaklıklarda östenitleştirildikten sonra su verilerek sertleştirilebilirler. Bu çeliklere sertleştirme işleminden sonra gevrekliğin azaltılıp, sünekliğin artırılması için 590°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda

menevişleme işlemi uygulanır. Menevişleme sıcaklığı arttıkça bazı karbürlerin çökmesi nedeniyle martenzitik paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri azalır. Yani aynı krom ve alaşım içeriğine sahip diğer paslanmaz çelikler ile kıyaslandığı zaman korozyon dayanımları daha düşüktür. Aşınmaya karşı dayanımın önemli olduğu yerlerde bu çeliklerin kullanımı söz konusudur. Örneğin, AISI 420 kalite martenzitik paslanmaz çelik genellikle ulaşım, valflerde, pistonlarda, pompa ve vana mili, mutfak gereçlerinde sıklıkla kullanılırlar [17]-[18].

Martenzitik paslanmaz çelikler hem sıcak hem de soğuk şekillendirmeye elverişli olup manyetikler. Bu çelikler atmosferde ve farklı kimyasal ortamlarda korozyona karşı yüksek direnç gösterirler. Martenzitik paslanmaz çeliklerden karbon oranı düşük olanlar talaşlı işlemeye uygundur [15].

Martenzitik paslanmaz çelikler korozyon direnci gerektiren uygulamalardan başka yüksek sıcaklıklarda mekanik zorlamalara dayanım gerektiren uygulamalarda da kullanılır. Üç tip martenzitik paslanmaz çelik vardır.

Birinci tip, karbon içeren ve alaşım karbürlerinin çökeltmesi ile güçlendirilen martenzitik paslanmaz çelikleri içerir.

İkinci tip, bakır veya intermetalik partiküllerin çökmesiyle güçlenen ve düşük oranda karbon içeren martenzitik paslanmaz çelikleri içerir.

Üçüncü tip, alaşımlı karbür ve ara metallerin çökmesi ile güçlendirilen martenzitik paslanmaz çeliklerdir.

Yüksek oranda krom içeriği ve yüksek sıcaklıklarda östenitleşmeye izin veren alaşım kombinasyonlarına sahip olması bu üç tip martenzitik paslanmaz çeliğin ortak özelliğidir [19].

2.2.2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler %11-30 oranında krom içermekte olup martenzitik paslanmaz çeliklere göre çok düşük oranda karbon içermektedir. Hacim merkezli kübik yapıya sahip olan ferritik paslanmaz çelikler ısı işlemleriyle sertleştirilemez. Ancak soğuk şekil değiştirme ile sertleştirilebilirler. Bu çelikler manyetik özellik içermekte olup sıcak veya soğuk şekillendirmeye elverişlidirler. Martenzitik paslanmaz çeliklere kıyasla çok iyi korozyon direncine sahiptir ve düşük sıcaklıklarda kullanıma uygundur [20].

Ferritik paslanmaz çeliklerin özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Ferromanyetik özellik göstermektedir.

Süneklik ve şekillendirilebilirlik özellikleri iyidir.

Yüksek sıcaklıklarda çeliğin sertliği yüksek olup korozyon dayanımı azalır.

Düşük sıcaklıklarda tokluk azalır.

Soğuk şekillendirmeye elverişli olmasına rağmen soğuk şekillendirme ile dayanım artırma uygulanamaz.

Ferrit-östenit dönüştürülemez.

Bu çeliklerin kaynaklanabilirliği iyidir.

Ferritik paslanmaz çelikler, mutfak gereçleri imalatı, otomotiv sektörü, mimari uygulamalarda, petrol arıtma tesislerinde, bağlama elemanları ve boru sektöründe kullanıma sahiptir [21]-[22].

2.2.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler temel olarak krom, nikel ve demir içermektedirler. Yüzey merkez kübik kristalografik yapıya sahiptir [23].

Paslanmaz çeliklerin içerisinde korozyona karşı dirençleri, yüksek sıcaklıktaki mekanik özellikleri sebebiyle en yaygın kullanıma sahip olan çelik türüdür [24]. Östenitik paslanmaz çelikler hem yüksek hem de normal sıcaklıklarda östenitik içyapılarını korumaktadırlar. Isıl işlemle sertleştirilemezler. Yüksek sıcaklıklarda üstün mekanik özelliklere sahip olan östenitik paslanmaz çeliklerin tokluğu ve sünekliği, düşük sıcaklıklarda bile üstündür. Yüksek sıcaklıklarda kolay şekillendirilebilirler. Soğuk şekil değiştirme ile sertleştirilebilir ve mukavemetleri artırabilir. Korozyona karşı dayanımı ferritik paslanmaz çeliğe göre daha iyidir [25].

Östenitik paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklıktaki değişikliklere karşı direnç sunar, bu nedenle borular, fırınlar, ısı eşanjörleri, yakma fırınları, mutfak gereçleri ve buhar türbinleri dahil olmak üzere geniş endüstriyel uygulamalara sahiptir [26].

2.2.2.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks paslanmaz çelikler; yapıda aynı oranlarda östenit ve ferrit her iki fazı da bulunduran çift fazlı çelik grubudur. Dupleks (çift fazlı) çeliklerin genel olarak özellikleri;

Östenitik çeliklere göre iyi gerilme korozyonu dayanıma sahiptir.

Feritik paslanmaz çeliklere göre de daha iyi süneklik ve tokluğa sahiptir.

Yapısında ferrit fazı bulundurması sebebiyle yüksek sıcaklıklardaki özellikleri iyi değildir [27].

Dubleks paslanmaz çelikler petrokimya endüstrisi, nükleer endüstri, kağıt makineleri ve silindirleri, liman imalatı ve diğer klorürlü ortamlar kullanım alanları arasında yer almaktadır [28].

2.2.3. Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Paslanmaz çeliklerin çoğunun iyi kaynaklanabilirliğe sahip olduğu kabul edilir. Ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ışın kaynağı, lazer kaynağı, sürtünme kaynağı, sert lehimleme gibi farklı kaynak çeşitleri ile kaynaklanabilirler. Bu işlemlerden herhangi biri için metal yüzeyleri ve dolgu metali temiz olmalıdır. Bu karakteristikler aşağıda sıralanmıştır [12].

Düşük ısı iletme katsayıları,

Yüksek ısıl genleşme katsayıları,

Yüksek elektirik iletme direnci,

Soğuk şekillendirmeye karşı hassasiyet,

Kaynakta izlenen yapısal değişimler (tane irileşmesi, karbür oluşumu, sigma fazı, delta ferrit),

Korozyon hassasiyeti.

2.2.3.1. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Martenzitik paslanmaz çelikler %11 ile 18 Cr, %1.2'ye kadar C ve düşük oranlarda Mn ve Ni içermektedirler. Bu çelikler tavlansarak östenite dönüştürülür ve bu nedenle soğutma sırasında martenzit oluşumu ile sertleşebilirler. Bu grupta 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431 ve 440 türü malzemeler bulunmaktadır. Hem standart hem de standart olmayan martenzitik paslanmaz çelikler Çizelge 2.2'de verilmiştir. Soğuma sırasında sert ve gevrek martenzitik yapı oluştuğunda kaynakta çatlamaya eğilimlidirler. Seçilmiş dolgu metalinin krom ve karbon içeriği genellikle ana metaldeki bu elementlerle eşleşmelidir. Tip 410 dolgu malzemeleri, örtülü elektrot, dolu tel ve özlü tel olarak mevcuttur ve 402, 410, 414 ve 420 tipi çeliklerin kaynağında kullanılabilir. Tip 410NiMo dolgu metali de kullanılabilir. Tip 420 çelikte karbonun eşleşmesi gerektiğinde, dolu tel ve özlü tel olarak

mevcut olan Tip 420 dolgu kullanılmalıdır. 308, 309 ve 310 tipi östenitik dolgu malzemeleri, martenzitik çeliklerin birbiri ile veya iyi bir tokluğun gerekli olduğu diğer çeliklere kaynaklamak için kullanılabilir. Çoğu martenzitik paslanmaz çelik için 204 ile 316°C aralığında ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklık önerilir. %0.20'nin üzerinde C içeren martenzitik tip paslanmaz çeliklere, kaynak dikişinin süneklik ve tokluğunu artırmak için genellikle kaynak sonrası ısıtma işlemi uygulanmalıdır [29].

Çizelge 2.2. Martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analiz değerleri [29].

Türü	UNS Numarası	Kimyasal Analiz Değerleri (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
403	S40300	0.15	1.00	0.50	11.5-13.0		0.04	0.03	
410	S41000	0.15	1.00	1.00	11.5-13.0		0.04	0.03	
410Nb	S41040	0.18	1.00	1.00	11.5-13.5		0.04	0.03	0.05-0.03 Nb(Cb)
410S	S41008	0.08	1.00	1.00	11.5-13.5	0.6	0.04	0.03	
414	S41400	0.15	1.00	1.00	11.5-13.5	1.25-2.50	0.04	0.03	
414L		0.06	0.50	0.15	12.5-13.0	2.5-3.0	0.04	0.03	0.5 Mo; 0.03 Al
416	S41600	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	0.6 Mo
416Se**	S41623	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.06	0.06	0.15 min. Se
416 Plus X**	S41610	0.15	1.5-2.5	1.00	12.0-14.0		0.06	0.15 min.	0.6 Mo
420	S42000	min. 0.15	1.00	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	
420F**	S42020	min.0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.06	0.15 min.	0.6 Mo
422	S42200	0.2-0.25	1.00	0.75	11.0-13.0	0.5-1.0	0.025	0.025	0.75-1.25 Mo 0.75-1.25 W 0.15-0.30 V
431	S43100	0.2	1.00	1.00	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	
440A	S44002	0.6-0.75	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo
440B	S44003	0.75-0.95	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo
440C	S44004	0.95-1.20	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo

*) Tek değerler maksimum değerlerdir.

**) Genel olarak kaynak edilemeyen ürünler olarak kabul edilirler.

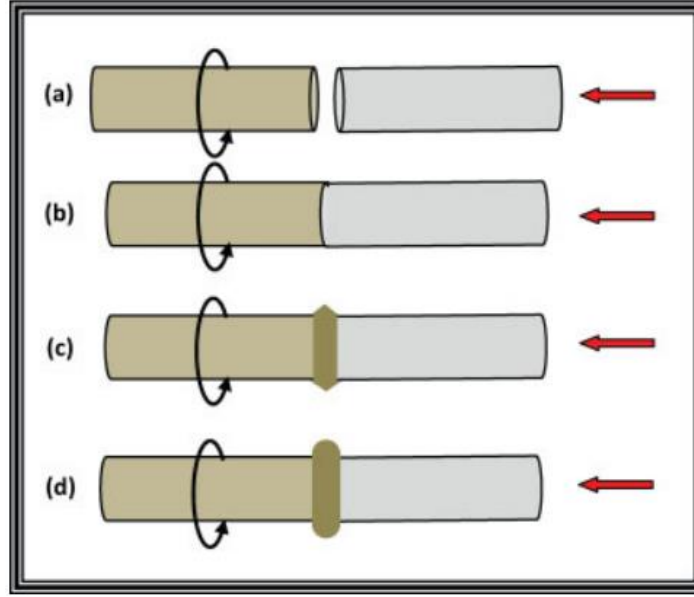
3. SÜRTÜNME KAYNAĞI

Sürtünme kaynağı teknolojik gelişmelerle birlikte dünyada birçok ülke ve endüstride kullanım alanı bulan katı hal kaynak yöntemlerinden biridir. Malzemelerin kaynağı ve şekillendirilebilmesi için sürtünme yoluyla ısı üretimi fikri eskilere dayanmaktadır. Tarih öncesinde bile insanlar ateş yakmak için sürtünme ısısından yararlanmıştır. Fakat konu ile ilgili ilk patent 1981’de Amerikalı makinist J.H. Bevington tarafından boru ve plastiklerin sürtünme ısını kullanarak kaynağı üzerine alınmıştır. Konu ile ilgili daha sonraları 1924’de W. Richter tarafından İngiltere’de, 1929’da Almanya’da, 1924’de H. Klopstock tarafından Sovyetler Birliği’nde patent alınmıştır. Sürtünme kaynağı ile ilgili bilimsel çalışmalar bu yıllarda sürekli devam etmiştir. Başarı ile sonuçlanan bu çalışmalar sonucunda Amerikan yapımı kaynak makinesi piyasaya sürülmüştür. Sürtünme kaynak yöntemi ile ilgili çalışmalar günümüzde halen daha devam etmekte ve geliştirilmektedir [30].

Metal ve malzeme biliminde son yıllarda gelişmelere bağlı olarak metalik malzemelerin birleştirilmesi önemli hale gelmiştir. Farklı bileşime sahip malzeme türlerinin var olan ergitme yöntemlerinde ortaya çıkan sorunlar, sürtünme kaynağı için uygulama alanı sağlamıştır. Dolayısı ile bu malzemeler için meydana gelen sorunları ortadan kaldıracabilecek ve en az oranda iç yapıda değişikliğe sebep olacak birleşme yöntemleri kullanılması zorunlu olmuştur. Boyutları ve şekilleri uygun olan benzer veya benzer olmayan bileşime sahip malzemelerin kaynaklanmasında, ergitme olmaması veya sınırlı oluşu, kaynak sonrası en az iç gerilmeler oluşturmaması sebebiyle sürtünme kaynağı önemli avantaj sağlamaktadır [31].

Sürtünme kaynağı, elektrik enerjisi veya ısı enerjisi uygulanmadan malzeme ara yüzeylerinde mekanik enerjinin doğrudan termal enerjiye dönüşmesi ile oluşan katı hal kaynak yöntemlerinden biridir. Sürtünme kaynağı, dönmeyen bir iş parçası ve dönen bir parçanın yüzeylerinin temas halinde tutularak kaynak sıcaklığına ulaşana kadar döndürülmesi ile yapılır. Kaynak işlemi boyunca malzemelerin birbirine sürtünen yüzeyleri basınç altındadır [32]. Sürtünme fazı veya ısıtma fazı olarak adlandırılan bu süreç malzeme yüzeylerinde plastik şekil verme sıcaklığı meydana gelene kadar devam eder. Isıtma fazı sonrasında basınç artırılırsa birleşme ara yüzeyindeki metaller yığılır

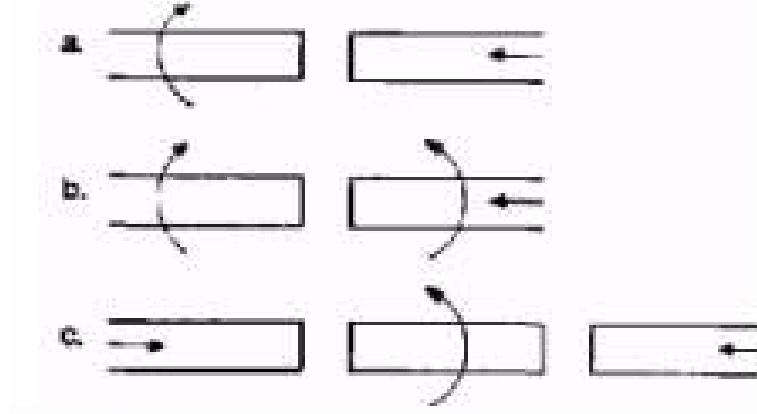
(Şekil 3.1.). Bu sayede kaynatılan bölgede iyi bir tane yapısı meydana gelir. Diğer kaynak yöntemleri ile kaynatılması sağlanamayan metal ve metal alaşımları sürtünme kaynak yöntemi ile kolaylıkla birleştirilebilir [33].



Şekil 3.1. Sürtünme kaynağında temel adımlar [32].

- (a)- Başlangıçta, bir iş parçası döndürülürken diğer parça sabit tutulur. Sabit olan parça ilerletilerek dönen parçaya yaklaştırılır.
- (b)- Uygun dönme hızına ulaşıldığında iki iş parçası bir araya getirilir ve eksenel kuvvet uygulanır.
- (c)- Sürtünme sayesinde iş parçası ısınmaya başlar ve yığılma oluşur.
- (d)- Son olarak iş parçalarından birinin dönüşü durdurularak yığılma işlemi tamamlanarak kaynak işlemi bitirilir.

Temelde dönen parçaların birleştirilmesinde kullanılan sürtünme kaynağında, sürtünme ısısının oluşabilmesi için iş parçalarından en az birinin döndürülmesi gerekmektedir. Bu hareket dönme şeklinde olabileceği gibi doğrusal olarak da yapılabilir. Her iki harekette de kaynak işlemi için malzemelerden biri hareketsiz diğeri dönen veya her iki parça birbirine ters yönde dönmektedir (Şekil 3.2.).



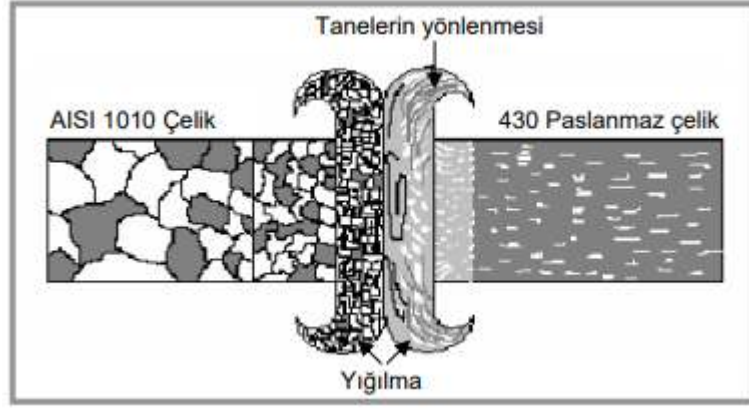
Şekil 3.2. Sürtünme kaynağında parçaların hareket türleri [34].

- a- Parçalardan biri sabit diğeri dönmekte
- b- Her iki parça birbirine ters yönde dönmekte
- c- Kaynatılacak iş parçaları sabit, arada bir parça dönmektedir [34].

Sürtünme kaynağında birleşme işlemi ara yüzeyde ergimeye yakın bir sıcaklıkta meydana gelmektedir. Sürtünme kaynak işlemi üç aşamada incelenebilir.

1. Düşük eksenel basınç kuvveti ile malzemelerde yüzey teması ve sürtünme kuvveti ile deformasyon işlemi gerçekleştirilir.
2. Yük artırılır ve malzeme temas yüzeylerinde sürtünme ısısı meydana gelir. Yumuşama ve sertleşme işlemleri ortaya çıkar.
3. Bu aşamada ısı iletimi biter. Isınan malzemenin yığılması için yük artırılır. Artırılan yük sebebiyle oluşan çapaklar temizlenir.

Sürtünme kaynağı süresi boyunca malzeme ara yüzeylerinde uygulanan basınç; hareketsiz iş parçası, dönen iş parçası veya dönmekte olan her iki parça tarafından sağlanmaktadır. Sürtünme kaynağı ile birleştirilen malzemelerde, ergitmesiz bölge, ısıdan etkilenen bölge, deforme oluşan malzeme meydana gelir. AISI 1010 ve AISI 430 paslanmaz çeliğin sürtünme kaynağında oluşan yapısal bozulma Şekil 3.3'te gösterilmiştir [35].



Şekil 3.3. İki çelik arasında meydana gelen yapısal bozulma

Sürtünme kaynağı genel olarak eksenel simetriye sahip olan ve daire şeklindeki parçaların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Otomasyon ve bilgisayar kontrol imkanlarının gelişmesi sebebiyle daire dışı malzemelerin birleştirilmesine olanak sağlamıştır. Ek olarak aynı veya farklı türdeki malzeme, aynı veya farklı ebatlardaki malzemelerin birleştirilmesi kolaylıkla yapılabilmektedir.

Sürtünme kaynağındaki diğer önemli konu ise parametrelerdir. Sürtünme kaynağındaki en önemli parametreler;

Sürtünme süresi,

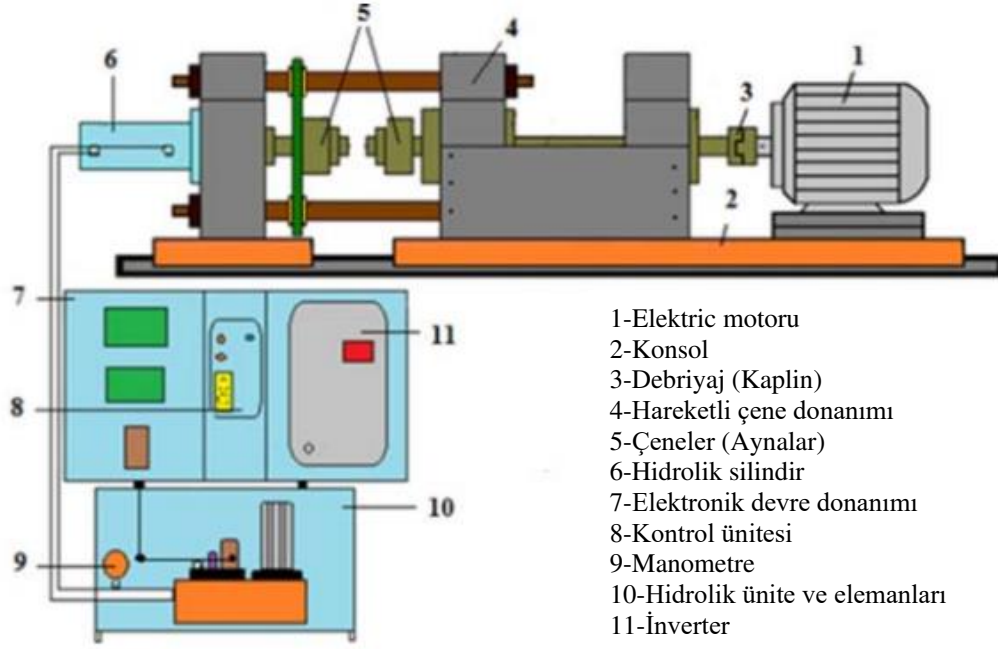
Sürtünme basıncı,

Yığılma süresi,

Yığılma basıncı,

Devir sayısıdır [36].

Sürtünme kaynak makinesi görünüş olarak bir torna tezgahını andırmaktadır. Yapılan birtakım modifiyeler ile birlikte Şekil 3.4'te bölümleri verilen sürtünme kaynak cihazları elde edilmektedir.



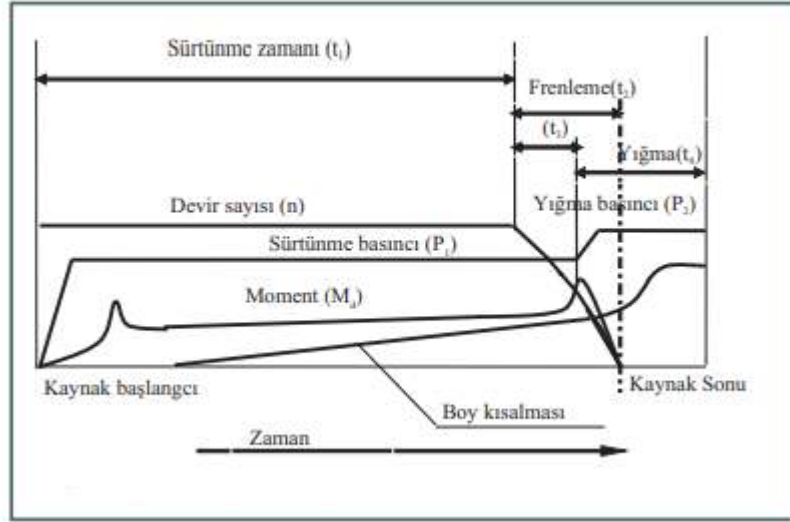
Şekil 3.4. Sürtünme kaynak cihazı ve donanımları [37].

3.1. SÜRTÜNME KAYNAĞI ÇEŞİTLERİ

Sürtünme kaynağı enerji kaynağına göre üç ve hareket şekline beş farklı yöntemle incelenmektedir. Sürtünme kaynağı enerji kaynağına göre sürekli tahrikli, volan tahrikli ve kombine sürtünme kaynağı olarak üçe ayrılmaktadır. Hareket şekline göre dairesel hareketli, lineer titreşim hareketli, açısal hareketli, radyal hareketli ve yörüngesel hareketli olarak beşe ayrılmaktadır.

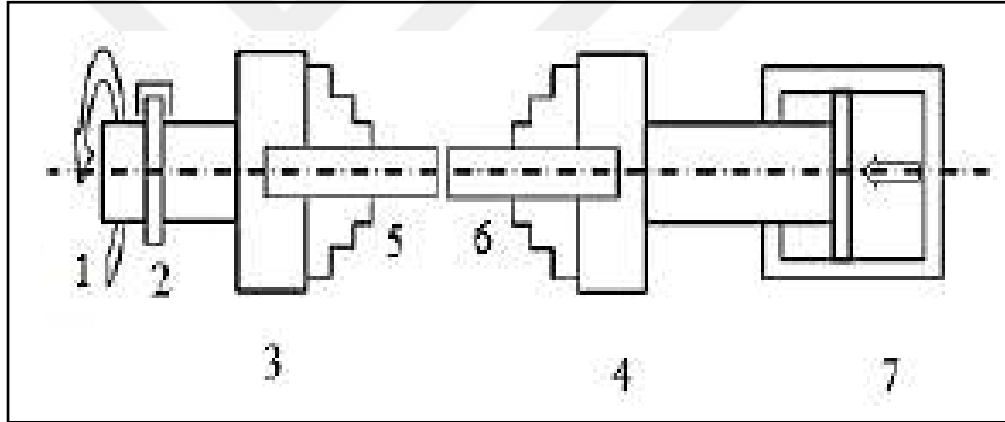
3.1.1. Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Direkt sürtünme kaynağı olarak da bilinmektedir. Mekanik enerji hareketli iş parçasından hareketsiz iş parçasına basınç uygulamak amacıyla ısı enerjisine dönüştürülür. Malzemelerden biri enerji kaynağı olan motor tahrik ünitesine bağlanır ve sabit bir hızda döndürülür. Diğer malzeme de aksel bir basınçla temas ettirilir. Birleştirilecek parçalarda yeterli ısı girdisi ve belirlenen aksel kısalma sağlanana kadar dönme hareketi devam eder. Daha sonra frenleme işlemi yardımıyla hareket durdurulur. Uygulanan basınç kaynak sırasında yığılma oluşturmak için artırılır ve kaynaklı malzeme soğumaya bırakılır [35]. İki aşamalı olarak uygulanan basıncın; birinci aşaması “Isınma veya Sürtünme Basıncı” ve ikinci aşama da “Yığılma veya Dönme Basıncı”dır. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı parametreleri Şekil 3.5’te verilmiştir [36].



Şekil 3.5. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak parametreleri

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağının şematik gösterimi Şekil 3.6’da verilmiştir [38].



Şekil 3.6. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı.

- 1- Tahrik motoru
- 2- Fren
- 3- Dönen iş parçasının bağlandığı ayna
- 4- Sabit parçanın bağlandığı ayna
- 5- Dönen iş parçası
- 6- Sabit iş parçası
- 7- Yığılma silindiri.

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı özellikleri Şekil 3.7’de verilen bu kaynak çeşidi Avrupa’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada zamanın fonksiyonu olarak dönme

hızı ve eksenel basınç görülmektedir. Durdurma işlemi için gerekli zaman önemli olduğu gibi kaynak sıcaklığı ve yığma kuvvetinin zamanlamasını etkilemektedir [39].

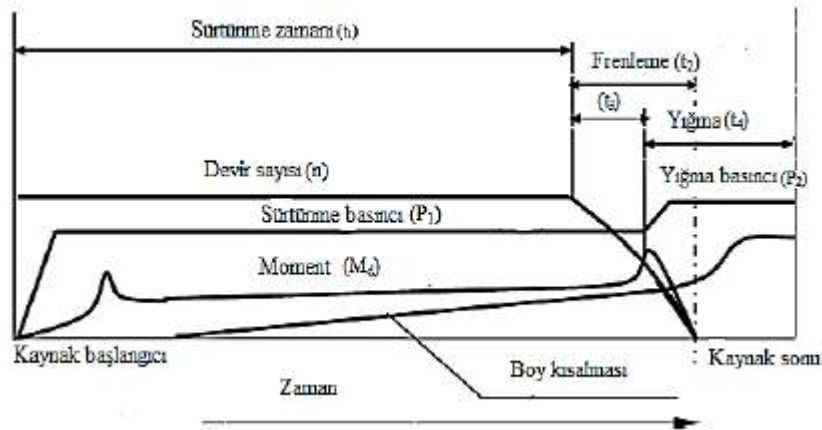


Şekil 3.7. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı özellikleri.

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında kaynak kalitesinde etkili olan parametreler;

- 1- Devir sayısı
- 2- Yüzeye bağlı yığma kuvveti
- 3- Eksenel boy kısalması
- 4- Yüzeye bağlı sürtünme kuvveti.

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı kaynak parametreleri Şekil 3.8’de verilmiştir [40].

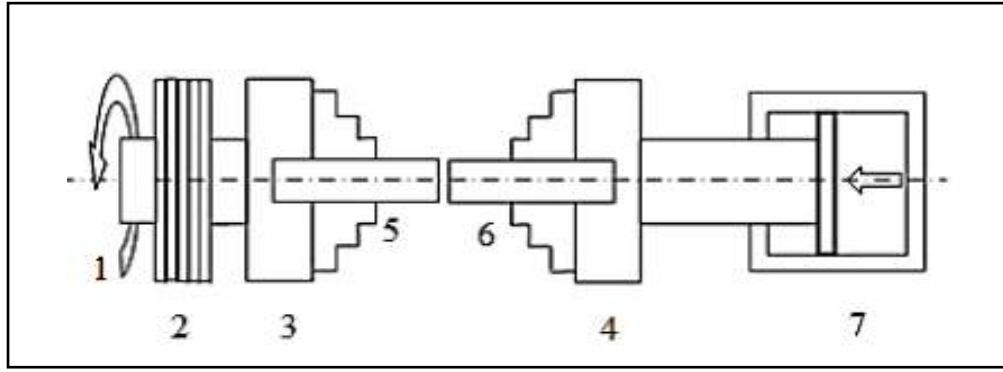


Şekil 3.8. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak parametreleri.

3.1.2. Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Bu kaynak yöntemi atalet kaynağı olarak da bilinmektedir. Buradaki sistem sürekli tahrikli sürtünme kaynağına benzemektedir. Sadece bu yöntemde dönmekte olan

malzemeye tutunan mil bir volana bağlanmaktadır. Diğer malzeme sabittir. Kaynak bölgesinde enerji girişini volan kontrol eder ve tahrik motoru volan sistemi sürekli döner. İstenilen dönme hızında volan döndürülür. Dönmeden kazanılan enerji volan üzerinde depolanır. Belirli bir basınç altında malzemeler birbirine temas ettirilir. Volandaki depolanan enerji malzemelerin sürtünmesi ile kaynak ara yüzeyinde ısı enerjisine dönüşür ve volanın hızı düşer. Motor serbest bırakılarak dönen volan frenleme olmaksızın hızlı bir şekilde durdurulur. Bu teknik çoğunlukla uzay ve uçak sanayinde kullanılmıştır [41]. Volan tahrikli sürtünme kaynağı şematik gösterimi Şekil 3.9’da verilmiştir [38].

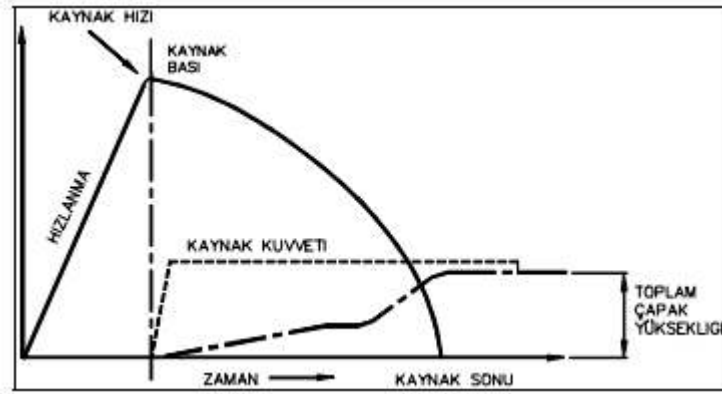


Şekil 3.9. Volan tahrikli sürtünme kaynağı.

- 1- Tahrik motoru
- 2- Değiştirilebilir volan
- 3- Dönen parçanın bağlandığı ayna
- 4- Sabit parçanın bağlandığı ayna
- 5- Dönen iş parçası
- 6- Sabit iş parçası
- 7- Yığılma silindiri

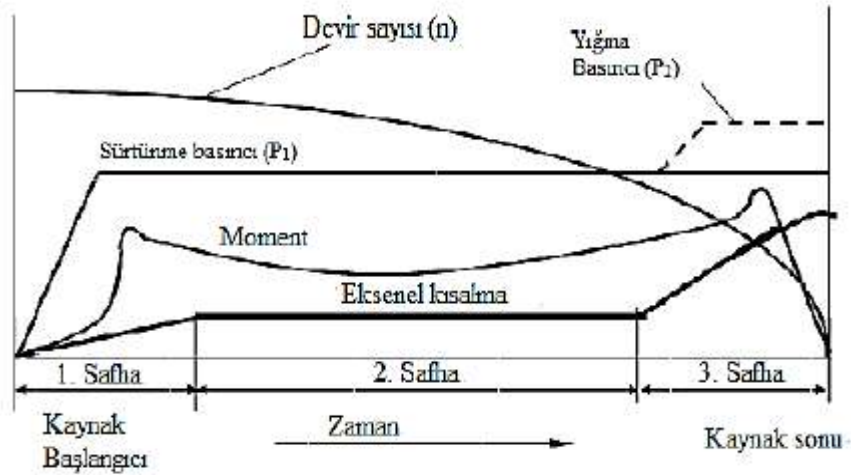
Sürekli tahrikli sürtünme kaynağına yığılma ve sürtünme aşaması ile benzemektedir. Ayrıca Şekil 3.10’da görüldüğü gibi sürtünme ve yığılma aşamalarında her iki kaynak yönteminde farklılıklar bulunmaktadır. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı ile arasındaki en büyük fark sürtünme hızıdır. Volan tahrikli sürtünme kaynağında sürtünme aşamasında sürtünme hızı sürekli düşerken, sürekli tahrikli sürtünme kaynak yönteminde sürtünme hızı sabit durmaktadır [39]. Volan tahrikli sürtünme kaynağındaki temel kaynak parametreleri; yüzeye bağlı dönme kuvveti, devir sayısı, dönme momenti ve eksenel boy

kısalmasıdır.



Şekil 3.10. Volan tahrikli sürtünme kaynak özellikleri.

Volan tahrikli sürtünme kaynak parametreleri Şekil 3.11’de verilmiştir [40].



Şekil 3.11. Volan tahrikli sürtünme kaynak parametreleri.

3.1.3. Kombine Sürtünme Kaynak Yöntemi

Kombine sürtünme kaynak yöntemi, sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemi ve volan tahrikli sürtünme kaynak yönteminin birlikte uygulandığı kaynak çeşididir. Ebatları büyük olan parçaların birleştirilmesinde avantajlı olduğu söylenebilir. Bu kaynak yönteminde çok iyi kalitede birleştirmeler elde edilebilir.

Kombine sürtünme kaynak yöntemi, sürtünme ve yığma olarak iki aşamadan oluşmaktadır. İşlemin başlangıcında malzemeler arasında kuru sürtünme söz konusudur. Bu sürtünmenin etkisiyle moment eğrisi bir üste değer yaptıktan sonra tekrar dengeye gelir. Süreç içerisinde parçaların sürtünen yüzeyleri üzerindeki oksit tabakalarının parçalanmasına bağlı olarak temas yüzeyleri artar ve bu temaslar sırasında kuvvetli

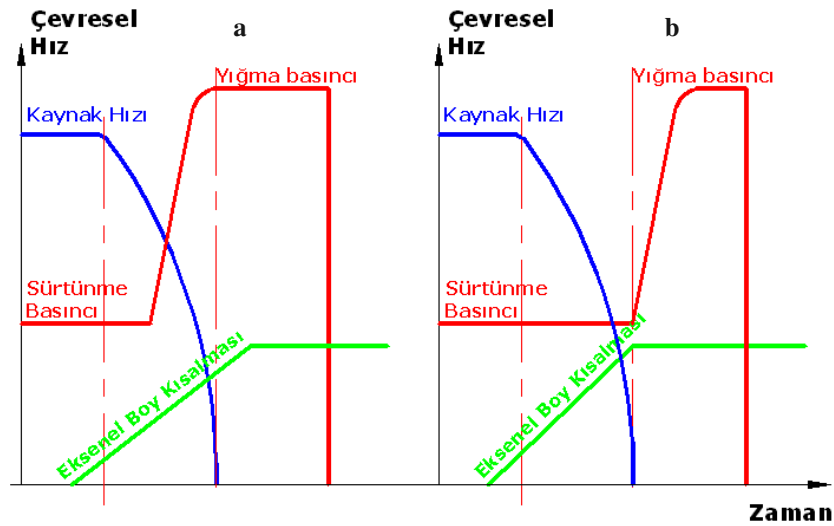
atomsal bağlar oluşmaya başlar. Sürtünme hareketi ile bu kuvvetli atomsal bağlar kopmaya zorlanır. Sonuç olarak bu temas eden kısımlarda büyük adhezyon kuvvetleri oluşur, moment artar ve sıcaklık da istenilen düzeye ulaşır. Frenleme işlemi sonrası hız azalırken moment de sıfıra düşer [3].

Daha sonra, malzemelerin sürtünme ile yeterince ısınması sonucu, atalet momentine sahip olan mil durdurulur. Yığma işlemi için basınç korunur veya artırılır. Kaynak yapılacak malzemelerin sıcaklık mukavemetine göre bu basınç seçilir.

Kombine edilmiş sürtünme kaynağı için temel kaynak parametreleri;

- 1- Devir sayısı,
- 2- Dönme momenti,
- 3- Yüzeye bağlı sürtünme kuvveti,
- 4- Eksenel boy kısalması,
- 5- Yüzeye bağlı yığma kuvvetidir [3]-[35].

Kombine edilmiş sürtünme kaynak yönteminde zamana bağlı kaynak parametreleri Şekil 3.12’de verilmiştir [42].



Şekil 3.12. Kombine kaynak yönteminde zamana bağlı kaynak parametreleri.

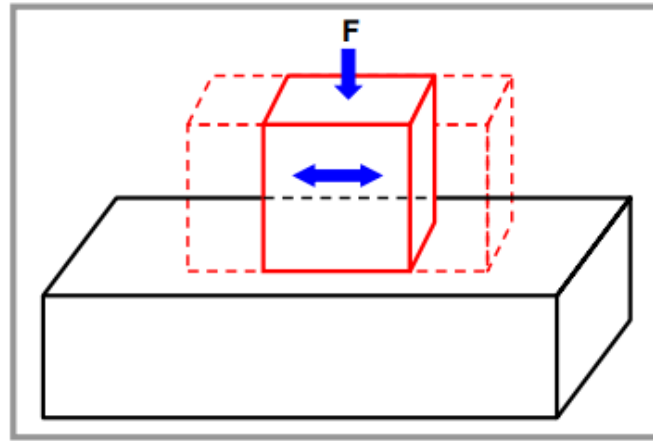
a) Dönen parçadaki yığma

b) Frenlenmiş parçadaki yığma

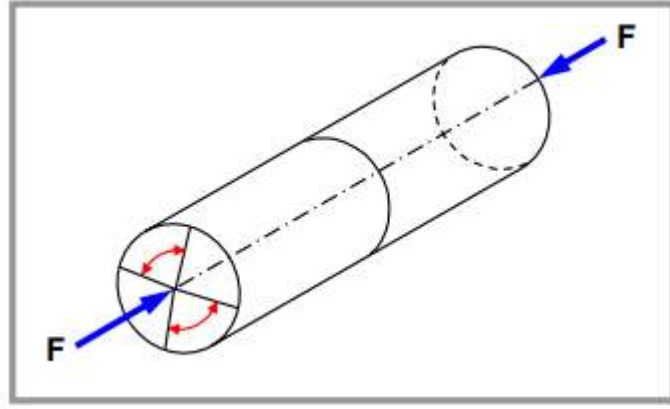
Sürtünme kaynağı, dönel simetriye sahip parçalarda kullanılacağı gibi yuvarlak kesitli olmayan parçaların da kaynağında uygulanmaktadır. Yuvarlak kesitli olmayan parçaların kaynağında merkezleme sorunu ortaya çıkmaktadır. Sürtünme kaynağı, dönen veya sabit

duran ara parça kullanılması ile de yapılabilir. Hareket şekline göre sürtünme kaynağı çeşitleri;

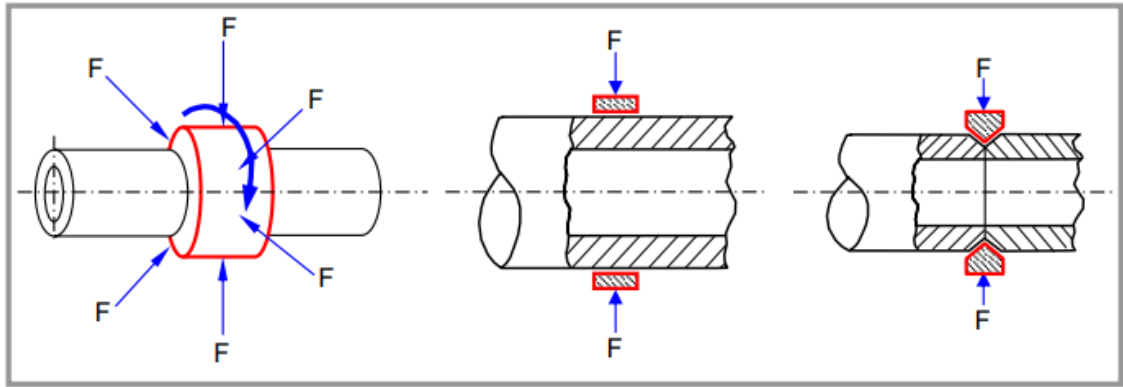
- 1- Dairesel sürtünme kaynağı; geleneksel sürtünme kaynağı olarak bilinir. Yapılan kaynakların büyük çoğunluğu dairesel kesitli çubukların veya boruların kaynağından oluşmaktadır.
- 2- Lineer titreşim hareketli sürtünme kaynağı; parçalardan birisi uygulanan basınç altında ileri geri titreşim hareketi yaparak gerekli ısıyı sağlar ve kaynaklama işlemi gerçekleşir (Şekil 3.13.).
- 3- Açısal hareketli sürtünme kaynağı; parçalardan biri uygulanan basınç altında belirli bir açıyı gören yay parçası yörüngesinde hareket etmektedir (Şekil 3.14.).
- 4- Radyal sürtünme kaynağı; Şekil 3.15'teki gibi boruların kaynağı için geliştirilen ve radyal kuvvet etkisi altında dönel bir bilezikten faydalanılarak yapılan kaynak görülmektedir.
- 5- Yörüngesel hareketli sürtünme kaynağı; dairesel kesitli olmayan parçaların kaynağında kullanılır. Şekil 3.16'da sabit duran bir parça üzerinde diğer parçanın bir köşesi dairesel yörünge çizecek şekilde hareket eder [35].



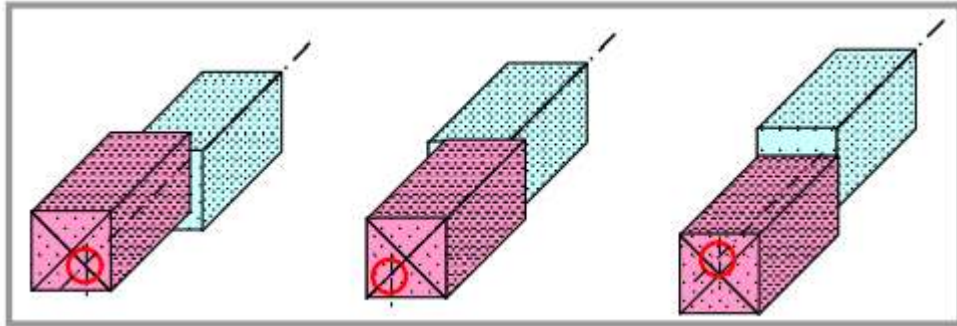
Şekil 3.13. Lineer titreşim hareketli sürtünme kaynağı.



Şekil 3.14. Açısal titreşim hareketli sürtünme kaynağı.



Şekil 3.15. Radyal sürtünme kaynağı.



Şekil 3.16. Yörüngesel titreşim hareketli sürtünme kaynağı.

3.2. SÜRTÜNME KAYNAK PARAMETRELERİ

Bütün kaynak yöntemlerinde, kaynak parametrelerinin optimum düzeyde kontrolü kaynak kalitesini etkilemektedir. Sürtünme kaynak mekanizmasını etkileyen parametreler [43];

- 1- Dönme hızı (çevresel hız),
- 2- Sürtünme basıncı,
- 3- Yığma basıncı,
- 4- Sürtünme süresi,
- 5- Yığma süresidir.

3.2.1. Dönme Hızı (Çevresel Hız)

Kaynak yapılacak malzemelerin çaplarına bağlı olarak değişiklik gösterebilirler. Kaynak kalitesi üzerinde önemli etkisi olan çevresel hız, ısıdan etkilenen bölgelerin genişliğinde etkili olabilmektedir. Aşırı yüksek çevresel hız, temas bölgelerinde yüksek sıcaklık yaratabilir ve nispeten düşük bir deformasyon hızı sağlayabilmektedir. Bu durum, kaynak malzemelerinin temas bölgelerinde metalürjik dönüşümlere sebep olabilmektedir. Seçilen malzemelerin mekanik ve kimyasal özellikleri dönme hızını etkilemektedir [35].

3.2.2. Sürtünme Basıncı

Kaynak yapılacak malzemelerin mekanik özellikleri bu parametrenin seçiminde önemlidir. Bu parametrenin değeri, kaynağı yapılacak malzemelerin ara yüzeylerinde bulunan kir, oksit vb. kalıntıları temizlemesi açısından hem de ara yüzeyde ısıнын homojen dağılması açısından önem taşımaktadır. Eksenel kısalma ve ara yüzeyde oluşan sıcaklıkların fonksiyonu olarak sürtünme basıncı belirlenir [44].

3.2.3. Yığma Basıncı

Yığma basıncı malzemenin akma sınırına bağlıdır. Sürtünme kaynağında kullanılacak malzemelerin boyca kısalmasının kontrol edilmesi açısından önem taşımaktadır. Ayrıca yığma basıncı malzeme grubunun çeşidine bağlı olarak da değişmektedir. Malzeme geometrisi ve yapılacak olan sürtünme kaynağı türüne göre basınç değeri seçimi yapılır. Yüksek yığma basıncı aşırı sıcak şekillenmeye ve yüksek oranda eksenel kısalmaya neden olur. Düşük yığma basıncı eksenel kısalmayı kısıtlamakta ve metalürjik bağın kalitesini olumsuz etkilemektedir [45].

3.2.4. Sürtünme Süresi

Sürtünme süresi kaynağı yapılacak malzemelere göre değişir. Sürtünme süresinin fazla olması hem eksenel boyda kısalmaya hem de malzemelerde aşırı deformasyona neden

olmaktadır.

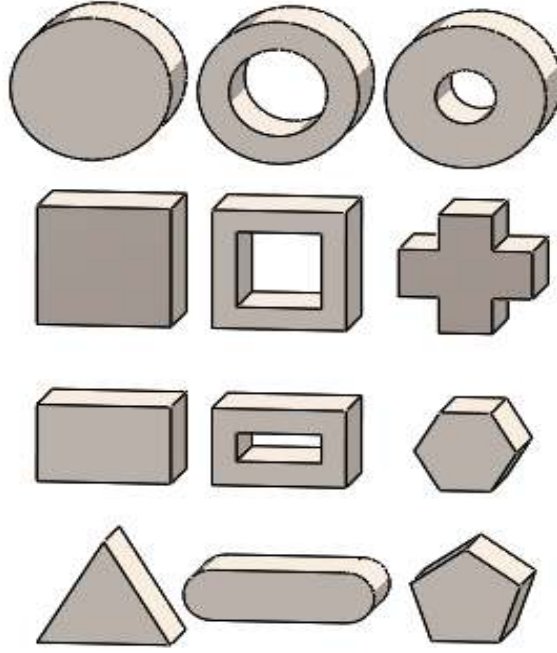
3.2.5. Yığma Süresi

Sürtünme kaynağında oluşan metalürjik bağ kalitesinde önemli rol almaktadır. Yığma süresinin fazla olması kaynağı yapılacak malzemelerde eksenel boyda kısalmaya neden olmaktadır [45].

3.3. SÜRTÜNME KAYNAĞI YAPILABİLEN PARÇA GEOMETRİLERİ

Sürtünme kaynağında ilk başlarda dönel simetriye sahip olan malzeme grupları kullanılmıştır. Cihazların otomasyonu ve bilgisayar kontrol imkanlarının gelişmesi, dönel simetriye sahip olmayan malzeme gruplarının birleştirilmesine imkân tanımıştır. Sürtünme kaynağı ile hem içi boş hem de dolu boru şekilli malzemelerin kaynağı da yapılabilmektedir. Ancak içi boş olan boru malzemelerinde düşük seviyede yüzey alanı mevcuttur. Bu sebeple kaynak esnasında meydana gelen ısı artışı, içi boş olan malzemeye nazaran içi dolu malzemedede daha homojen bir dağılım göstermektedir.

Günümüzde yapılan araştırmalar neticesinde, sürtünme kaynak yöntemi ile birçok malzemenin birleştirilebileceği ortaya çıkmıştır. Uygun kumanda teknolojisinin gelişmesi ile, sürtünme kaynağı cihazındaki dönel aynanın istenilen pozisyonda frenlemesi sayesinde, yuvarlak olmayan kesite sahip malzeme gruplarının da alın kaynağı yapılabileceği ve oluşabilecek olan açısız çarpılmaların önlenilebileceği ortaya konmuştur. Sürtünme kaynağı için uygun parça geometrileri Şekil 3.17’de verilmiştir [46].



Şekil 3.17. Sürtünme kaynağına uygun parça geometrileri.

3.4. SÜRTÜNME KAYNAĞI UYGULAMA ALANLARI

Sürtünme kaynağı aynı veya farklı metallerin kaynağında yaygın olarak kullanıma sahiptir. Birçok demir ve demir dışı malzemelerin sürtünme kaynağı ile yapılması mümkündür. Günümüzde birçok çeşitli endüstrilerde uygulama alanına sahiptir [42]. Bunlar;

3.4.1. Makine İmalatı ve Hidroelektrik Endüstrisi

Dişli çarklar, hidroelektrik silindirler, radyal pompalar, piston kolları, iğneler, sonsuz vidalı miller, krank milleri, matkap uçları, çelik kalemler, valfler, freze bıçakları, rayların kaynatılması (Şekil 3.18.).



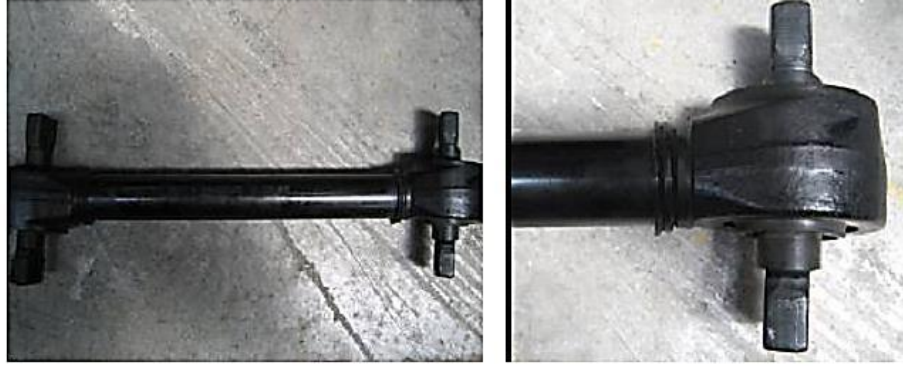
Şekil 3.18. Dizel motor pistonu.

3.4.2. Otomotiv Endüstrisi

Supaplar, krank milleri, fren milleri, motor valfleri, akslar, vites kolları, turbo dondurucular, fren kalibratörleri, diş-mil parçaları, şanzıman parçaları, ön ısıtma ve yıkama odaları, boru milleri, taşıyıcı aks boruları (Şekil 3.19. ve Şekil 3.20.).



Şekil 3.19. Egzoz supapları.



Şekil 3.20. Ticari araçlarda sürtünme kaynağı uygulanmış çeki kolları.

3.4.3. Havacılık ve Uzay Endüstrisi

Rotorlar, türbinler, miller, yanma odaları, itme jetleri, borular, flanşlar, fittingsler (Şekil 3.21.). Süper alaşımlar, bimetalik malzemeler, paslanmaz çelikler ve alüminyum malzeme grupları kullanılmaktadır.



Şekil 3.21. Sürtünme kaynağı ile üretilmiş uçak parçası.

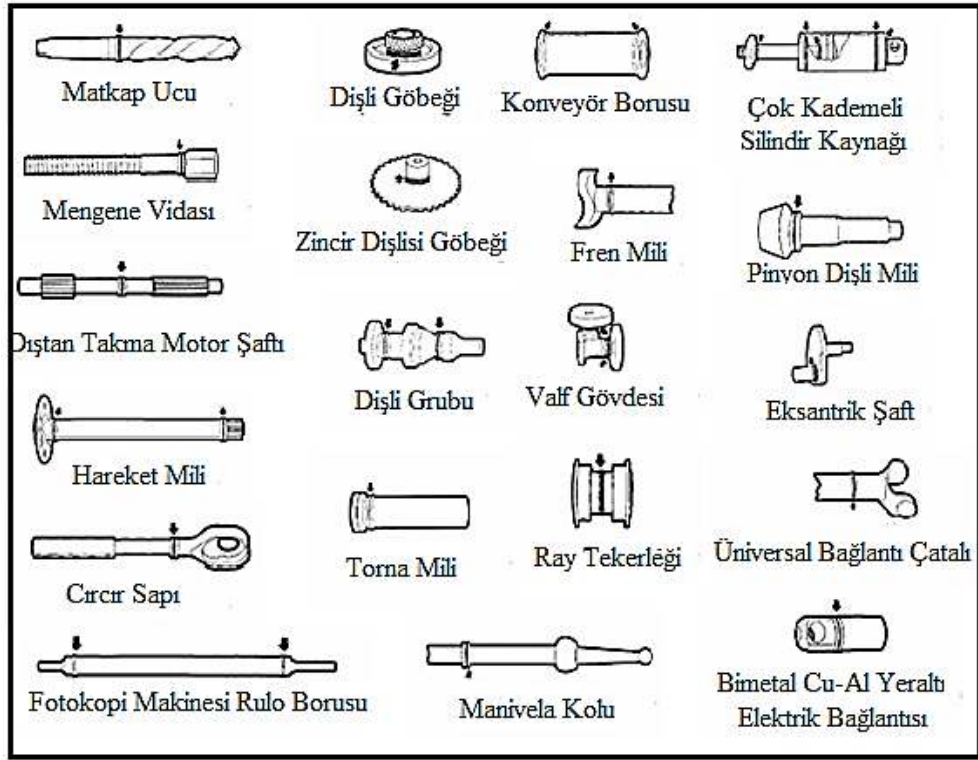
3.4.4. İş Takım Endüstrisi

Spiral matkaplar, freze bıçakları, delik zımbaları, çelik kalemler (munç), raybalar.

3.4.5. Elektronik ve Elektroteknik Endüstrisi

Gaz analizleri için alıcı kamaraları, kromatograflar için ayırma sütunları, röntgen cihazı tüpleri için döner anod milleri, sürekli lehim uçları, devre kontakları, geçiş parçaları, cihazlar ve borular, flanşlar, fittingsler, supap yuvaları, boru tesisatı bağlantıları.

Sürtünme kaynağı yöntemi ile imal edilmiş parçalar Şekil 3.22’de verilmiştir [40].



Şekil 3.22. Sürtünme kaynağı ile üretilmiş parçalar.

3.5. SÜRTÜNME KAYNAĞI YAPILABİLEN MALZEMELER

Yaygın olarak sürtünme kaynağı, benzer veya benzer olamayan malzemelerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca farklı türdeki malzemelerin birleştirilmesi endüstride önemlidir.

Sürtünme kaynağı, ergitme yöntemleri ile birleştirilemeyen malzeme kombinasyonlarına da uygulanabilmektedir. Örneğin; bakır, bronz ve pirincin alüminyum ve alaşımlarına, bakırın çeliğe, pirincin çeliğe, titanyum ve alaşımlarının çeliğe bu tür malzeme grupları sürtünme kaynak yöntemi ile kaynak edilebilir [47]. Yapılan bazı araştırmalarda Titanyum-Çelik, Çelik-Zirkonyum ve Alüminyum-Çelik çiftleri sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir [48]-[49].

Çizelge 3.1’de benzer ve farklı malzeme kombinasyonları için sürtünme kaynağının uygunluğu görülmektedir [35].

Çizelge 3.1. Benzer ve farklı metallerin sürtünme kaynak kabiliyetleri.

	Zirkonyum Alış.	Otomotiv Valfleri	Titanyum Alış.	Titanyum	Takım çeliği	Paslanmaz çelik	Sinterlenmiş çelik	Maraging çeliği	Otomat çelikleri	Karbonlu çelik	Düşük Alış. Çelik	Gümüş Alış.	Gümüş	Nikel Alış.	Nikel	Molibden	Magnezyum Alış.	Kurşun	Demir (sinterli)	Bakır-Nikel Alış.	Bakır	Kobalt	Sementit- karbür	Bronz	Pirinç	Alüminyum Alış.	Alüminyum
Alüminyum	X		X	X		X				X	X				X		X				X		X		X	X	X
Alüminyum Alış.						O				O	O										O					X	
Pirinç																									X		
Bronz										X														X			
Sementit- karbür										X													X				
Kobalt										X	X											X					
Bakır	X			X		X				X			X								X						
Bakır- Nikel Alış.						X				X										X							
Demir (sinterli)										X									X								
Kurşun																		X									
Magnezyum Alış.																	X										
Molibden																X											
Nikel					X	X		X	O	X	X				X												
Nikel Alış.		X			X	X		X	O	X	X			X													
Gümüş																											
Gümüş Alış.												O															
Düşük Alış. Çelik		X			X	X	O	X	O	X	X																
Karbonlu çelik		X			X	X	O	X	O	X																	
Otomat çelikleri		O			O	O		O	O																		
Maraging çeliği		X			X	X		X																			
Sinterlenmiş çelik						O	O																				
Paslanmaz çelik	O	X	O	O		X																					
Takım çeliği					X																						
Titanyum				X																							
Titanyum Alış.			X																								
Otomotiv Valfleri		X																									
Zirkonyum Alış.	X																										

X :Tam uygun

O : Uygulamada tam bir bağlanma olmayabilir

□ : Deneyimler yetersiz veya hiç yok

3.6. SÜRTÜNME KAYNAĞI AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

3.6.1. Avantajları

- 1- Katı hal kaynak yöntemi olduğundan, kaynak bölgesinde cüruf ve kalıntı benzeri unsurlar içermez.
- 2- Sürtünme kaynağında sarf edilen enerji diğer kaynak yöntemlerine göre daha azdır.
- 3- Sürtünme kaynağında malzeme kaybı azdır. Diğer kaynak yöntemleri ile kaynağı yapılamayan malzemelerin kaynaklanabilmesini sağlaması nedeniyle malzeme maliyetinde tasarruf sağlamaktadır.
- 4- İlave metal kullanılmadığı için düzgün bir kaynak kalitesi elde edilebilir.
- 5- Sürtünme kaynağında ergitme kaynak yöntemlerindeki gibi zararlı gazlar oluşmaz.
- 6- Sürtünme kaynağı otomatik işlemlere adapte edilebilir (parçaların otomatik yüklenmesi, boşaltılması, diğer operasyonlara transfer gibi)
- 7- Kaynak öncesi yüzeyde temizleme gerektirmez. Sürtünmenin etkisi ile kaynak bölgesindeki kir, oksit ve pas yüzeyden uzaklaştırılır.
- 8- Malzemeler ergime derecelerinin altında bir sıcaklıkta kaynak yapılır. Bu sebeple diğer kaynak yöntemleri ile yapılamayan farklı kimyasal bileşime sahip malzeme ve alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılabilir.
- 9- Yığılma ile kaynak dikişi havanın zararlı etkilerinden korunur.
- 10- Sürtünme kaynağında oluşan ısı bölgeseldir. Bu sebeple kaynak dikişinin her iki tarafında ısıda etkilenen bölge alanı dardır.
- 11- Kaynak sırası ve sonrasında oluşan ısıl çevrimler ince taneli bir yapı oluşturur. Bu ise mukavemet değerlerini korur.
- 12- Sadece dairesel değil farklı kesite sahip malzemelerin kaynağını yapmak mümkündür.
- 13- İşçilik değeri minimum durumda ve malzemeler çok kısa sürede birleştirilebilmektedir.
- 14- Çok küçük kesitli parçaların kaynağı da mümkündür [50]-[47].

3.6.2. Dezavantajları

- 1- Genel olarak kaynağı yapılan malzemeler silindirik ve kendi etrafında dönen malzemelerden oluşmaktadır.
- 2- Kaynak işlemi sonrası malzemede aksel olarak kılma söz konusu olduğundan malzeme sarfiyatı vardır.
- 3- Büyük ebatlı malzemelerde ısıtma homojen olmamasından dolayı kaynaklanabilme zordur.
- 4- Kaynak sonrası gevrekleşme söz konusudur.
- 5- Yüksek karbon oranına sahip çeliklerde kaynaklı birleştirme sonrası sertleşme olur.
- 6- Malzemeler aksel yönde basınç, ısı ve torka karşı dayanıklı olmalıdır.
- 7- Su verilmiş malzemelerde mukavemet düşer.
- 8- Sürtünme kayığında makine ve donanımlarının maliyeti yüksektir [47].

4. LİTERATÜR TARAMASI

Mercan ve arkadaşları, AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik ve düşük karbon içerikli AISI 1020 çelik çiftini, farklı parametreler kullanarak sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirmişlerdir. Kaynaklı bağlantılara çekme testi ve yorulma testi uygulamışlardır. Kaynak parametrelerinin yorulma dayanımına etkisini incelemişlerdir. AISI 2205 ve AISI 1020 çelik çiftinin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri doğru seçildiğinde, bağlantının yorulma mukavemetinin ana malzemeye göre artacağı ve uyumsuz parametrelerin yorulma mukavemetini azalttığı keşfetmişlerdir [51].

Taşkın ve arkadaşları, AISI 430 ve AISI 1010 çelik çifti, 40 MPa yığma basıncı, 6 sn'lik sürtünme, 8sn'lik yığma sürelerinde, 2000 ve 2200 dev/dk'luk devirlerde, 25 ve 35 MPa'lık farklı sürtünme basıncı kullanarak sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirmişlerdir. Birleştirmenin arayüzeyinde, artan parametrelere bağlı olarak metalürjik değişimleri belirlemek için SEM ve optik mikroskop kullanmışlardır. Birleşme arayüzeyine dik doğrultuda mikrosertlik ölçümleri yapmışlardır. Analiz sonuçlarında, bütün kaynaklı numunelerin birleşme bölgesinde meydana gelen mikroyapısal değişiklikte önemli farklılıklar gözlemlemişlerdir. Artan devir sayısına bağlı olarak ITAB'nin genişlediği ve aşırı deformasyona uğramış bölgede sertliğin azaldığını görmüşlerdir. Ancak, artan devir sayısına paralel olarak birleşme arayüzeyinde ulaşılan sıcaklığın artması ile birlikte, viskoz haldeki malzemenin dışarı taşma miktarında artış kaydedilmiş olup, aşırı deformasyona uğramış bölgenin daraldığını görmüşlerdir [52].

Özdemir çalışmasında standart AISI 304L östenitik paslanmaz çelik ve AISI 4340 çelik çiftini sürtünme kaynak yöntemi ile 5 farklı dönme hızı kullanarak birleştirmişlerdir. Isıdan etkilenen bölgenin mikroyapısal özelliklerini SEM ile incelenmiştir. Ara yüzeye dik olarak ara yüzey boyunca mikrosertlik ölçülmüş ve çekme testleri ile bağlantıların mukavemeti belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, sürtünme kaynaklı 304L/4340 bileşenlerinin çekme mukavemetinin, seçilen birleştirme dönüş hızından önemli ölçüde etkilendiğini görmüşlerdir [53].

Çelik ve arkadaşı, çalışmalarında AISI 4140 çeliği (orta karbonlu ve düşük alaşımlı çelik)

ile AISI 1050 çeliği (orta karbonlu çelik)sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirme işlemini başarıyla gerçekleştirmişlerdir. Bu işlemle birleştirilen malzemelerin mekanik özellikleri, makro ve mikro yapısal incelemeleri tamamlanmış; bağlantı mukavemeti test edilmiş ve optimum kaynak parametreleri elde edilmiştir. Ayrıca kaynak sırasında kızılötesi sıcaklık ölçüm cihazı ile kaynak bölgesinin sıcaklık değişimi ölçülmüş ve sürtünme kaynak parametrelerinin kaynak bölgesi sıcaklığına etkilerini araştırmışlardır. Kaynaklı numunelerde elde edilen en yüksek çekme mukavemeti, ana AISI 1050 çeliğinden %6 daha yüksek ve elde edilen en düşük çekme mukavemeti, ana AISI 1050 çeliğinden %1.9 daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir [54].

Ozan ve arkadaşı, AISI 420 ve AISI 1010 çelik çiftini, 60 MPa yığma basıncı, 6sn'lik sürtünme, 8sn'lik yığma sürelerinde, 2000 ve 2200 dev/dk'luk devirlerde, 25 ve 35 Mpa'lık farklı sürtünme basıncı kullanılarak sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesinde birleştirmişlerdir. Birleştirmenin arayüzeyinde SEM optik mikroskop ve sertlik ölçümleri yapmışlardır. Analiz sonuçlarında, numunelerde birleşme bölgelerinde mikroyapısal olarak önemli farklılıklar görmemişlerdir. Artan devir sayısı ile ITAB' nin genişlediğini ve aşırı deforme olan bölgede sertliğin arttığını gözlemlemişlerdir. Ancak birleşme arayüzeyindeki sıcaklığın artması ile malzemenin dışarı atılma miktarı da artmış olup aşırı deforme olan bölgenin daraldığını görmüşlerdir [55].

Kırık ve arkadaşı, 12 mm çapında martenitik paslanmaz çelik ile orta karbonlu çelik çiftini sürtünme kaynağı ile birleştirmişlerdir. Kaynaklı arayüzeye taramalı elektron mikroskopu, X-ışını kırınımı ve enerji dağılımı spektroskopisi analizleri uygulamışlardır. Mekanik özelliklerini belirlemek için mikrosertlik ve çekme testine tabi tutmuşlardır. Deneysel sonuçlar neticesinde, AISI 420 ve AISI 1020 çeliğinin birleştirilebildiğini görmüşlerdir. Fakat yeterli bir dayanıma sahip bir kaynak elde etmek için sürtünme süresinin kısa tutulması gerektiğini, dönme hızı, sürtünme ve dönme süresinin mümkün olduğunca kısa tutulması gerektiği sonucuna varmışlardır. Basınç ise mümkün olabildiğince yüksek olması gerektiğini görmüşlerdir [56].

Hong ve arkadaşları, 1045 karbon çeliği ile 340 paslanmaz çelik çiftini sürtünme kaynağı ile birleştirmişlerdir. Kaynak sonrası ısıtılma işlemine tabi tutmuşlardır. Kaynaklı birleştirmenin arayüzünde birleşme olmayan kısımlar bulmuşlardır. Isıl işlem miktarının artması ile kaynak arayüzeyinde karbürler oluştuğunu görmüşlerdir. Termomekanik olarak etkilenen bölgede, kaynaklı bağlantının karbon çeliği tarafında heterojen mikroyapı meydana gelmiş, 400°C'den sonra homojen hale gelmiştir. 400°C'de ısıtılma işleminden sonra,

paslanmaz çeliğin eşdeğer mukavemetine ve karbon çeliğinin uzamasına ulaşılabilen çekme mukavemeti ve uzama iyileştirilmiştir. Mikroyapının belli bir dereceye kadar homojen hale geldiğini ve krom karbürlerin çok az miktarda arttığını gözlemlemişlerdir. Kırılma ısıtıl işlem öncesi yarı bölünme iken ısıtıl işlem sonrası çukur kırılma olarak bulmuşlardır [57].

Shubhavardhan ve arkadaşı, sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemi ile AA6082 alüminyum alaşımı ve AISI 304 paslanmaz çelik malzemelerini birleştirmek üzerine çalışma yapmışlardır. Fazları belirlemek amacıyla çekme testi, Vickers mikro sertlik testi, yorulma testi, çentik darbe testi SEM-EDX analizi uygulamışlardır. Artan sürtünme basıncı ve sürtünme süresi ile mukavemet artmış ve maksimum değere ulaştıktan sonra azalmıştır. Alüminyum alaşımı ve paslanmaz çelik arasındaki sürtünme kaynağı işlemini aşağıdaki gibi gelişmesini önermişlerdir: kaynak, dış bölgeden iç bölgeye doğru ilerler; daha kısa sürtünme süresi ile kaynak ara yüzünün merkezinde sınırsız bir bölge tutulur; daha uzun sürtünme süresi, kaynak ara yüzeyinde bir intermetalik reaksiyon tabakasının oluşmasına neden olur ve sürtünme süresi arttıkça reaksiyon tabakası büyür. Kaynakların bir kısmı, bağlantı ara yüzeyinde alaşım elementlerinin birikmesi nedeniyle zayıf dayanıma sahip olduğunu görmüşlerdir. Reaksiyon tabakasının kalınlığı kritik bir değerin üzerine çıktığında, kaynak ara yüzeyinde bağlantı gevrekleşir ve kırılır. Sınırsız bölge olmadığında ve tüm kaynak ara yüzü boyunca ince bir reaksiyon tabakası oluştuğunda bağlantının sağlam olduğunu gözlemlemişlerdir [58].

Katı çalışmasında, ergitme kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi güç olan AISI 420 paslanmaz çeliğini sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirmiştir. Kaynak sırasında 3 farklı devir kullanmış ve sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığılma süresi ve yığılma basıncı gibi parametreleri sabit tutmuştur. Kaynaklı birleştirmeden sonra kaynak arayüzeylerini SEM ile incelemiştir. Daha sonra bu parçaları mikrosertlik testine tabi tutmuştur. Daha sonra mekanik dayanımlarını belirlemek için çekme testi uygulamıştır. İncelemeler sonucunda AISI 420 paslanmaz çeliğinin sürtünme kaynağı ile problemsiz bir şekilde kaynak edilebildiğini gözlemlemiştir [59].

Kırık ve arkadaşı, eski bir torna tezgâhı üzerinde tasarımı ve imalatı yapılan sürtünme kaynak makinesi bileşenleri monte edilerek PLC kontrollü bir sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi imalatı yapmışlardır. Çalışmalarında AISI 1040 ve AISI 304L çelik çiftini sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirmişlerdir. Kaynak sonrasında malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Tezgâha yapılan eklentiler sayesinde

devir sayısı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığma basıncı ve yığma süresini ayarlanabilir olarak yapmışlardır. İncelemeler sonucunda literatüre uygun dört farklı bölgenin oluştuğunu görmüşlerdir. Artan sürtünme süresine bağlı olarak deformasyona uğramış bölgede ve aşırı deformasyona uğrayan bölgede artış gözlemlemişlerdir [60].

Sarsılmaz ve arkadaşları, SCR 420 ve AISI 1040 çelik çiftini, sabit sürtünme ve yığma süreleri altında üç farklı devir, sürtünme basıncı ve yığma basıncı kullanılarak sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirmişlerdir. Kaynaklı numunelerin metalürjik özelliklerini belirlemek için taramalı elektron mikroskobu kullanmışlardır. Kaynaklı birleşmelerin arayüzeyine dik doğrultuda mikrosertlik ölçümleri yapmışlardır. Mikroyapı ve mikrosertlik analizi sonuçlarından, düşük devir, yığma ve sürtünme basınçlarıyla yapılan kaynaklarda birleşme bölgesinde bağlantısız bölgelerin oluştuğu belirlenerek bu bölgelerin sertlik değerlerinin yüksek devir sayısı, yığma ve sürtünme basıncıyla yapılan kaynaklara nazaran daha düşük değerlerde olduğunu görmüşlerdir. Buna karşın, artan devir sayısına bağlı olarak ITAB'nin genişleyerek ve aşırı deformasyona uğramış bölgede martenzit oluşumuyla beraber sertliğin arttığını gözlemlemişlerdir [61].

Balasubramanian ve arkadaşları; bakır ara katmanı kullanarak Ti Grade2 ve 304L paslanmaz çeliklerini kullanarak iki farklı malzeme türünü birleştirmişlerdir. Sürtünme kaynağı yöntemini kullanarak titanyum ve paslanmaz çeliğin ara katman olarak bakır kullanılarak birleştirilmesini gerçekleştirmişlerdir [62].

Karabulut ve arkadaşı, bir masa üstü torna tezgahını düzenleyerek sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi imalatı yapmışlardır. Kaynak makinesi ile farklı çelikler üzerinde birleştirme işlemi yapılarak, donanımı yapılan cihazın kaynak işlemi için kullanımının uygunluğu test etmişlerdir. Farklı malzeme gruplarını yapılan sürtünme kaynak makinesi ile birleştirmişlerdir. Kaynak işlemleri sonucunda, sürtünme süresinin yüksek olması numunelerde boy kısalmasındaki artmaya neden olmuştur. Artan yığma basıncı sonucunda yığılma çapak miktarının arttığını gözlemlemişlerdir. Çekme testi sonuçlarına göre mukavemeti düşük olan ana malzeme kısmından koptuğunu görmüşlerdir [63].

Batı ve arkadaşları, sürtünme kaynağı yöntemi ile birleştirilmiş AISI 6840 ısıtılabilir çelik ve AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin birleştirilebilirliğini araştırmışlardır. Bu iki çelik tamamen farklı özelliklere sahip olup endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. 1800 dev/dk dönüş hızı, 50 MPa sürtünme

basıncı ve 2,4,6,8 ve 10 sn sürtünme süresi parametreleri kullanılarak çelikleri sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi ile birleştirmişlerdir. Kaynak işleminden sonra numunelerin dayanımlarını belirlemek amacıyla çekme ve sertlik testi uygulamışlardır. Mikroyapısal özelliklerin belirlenmesi için optik mikroskop, SEM ve EDS analizi yapmışlardır. İnceleme sonuçlarına göre AISI 304 ve AISI 8640 çelikleri sürtünme kaynağı ile sorunsuz bir şekilde birleştirilmiştir [64].

Özdemir ve arkadaşları, çalışmalarında AISI 304L ve AISI 4340 çeliğini birleştirmek için sürtünme kaynak yöntemi kullanmışlardır. Kaynak işlemi için doğrudan tahrikli bir tip sürtünme kaynak makinesi kullanılarak 5 farklı dönme hızında gerçekleştirilmiştir. Sürtünme basıncı, yığma basıncı, sürtünme süresi ve yığma süresi gibi parametreler sabit tutulmuştur. Arayüzey incelemek için taramalı elektron mikroskopu kullanırken, mekanik özellikleri değerlendirmek için mikrosertlik ve çekme testi kullanmışlardır. İncelemeler sonucunda dönme hızının artmasıyla kaynak arayüzeyinden atılan daha fazla malzemenin sonucu olarak tam plastik deforme olmuş bölgenin azaldığını görmüşlerdir [65].

Geng ve arkadaşları, 1045 karbon çeliği ve 304 paslanmaz çeliğinin sürekli tahrikli sürtünme kaynağında ısı transferi ve plastik deformasyonu analiz etmek için eksenel simetri ve termo mekanik model ile sayısal bir simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Simüle edilen sonuçlar, 304 paslanmaz çelik tarafını çevreleyen ısıdan etkilenen bölgede daha yüksek sıcaklık ve daha düşük stres dağılımının olduğunu görmüşlerdir. Ara yüzey sıcaklığı, merkezden çevreye doğru artan bir eğilim gösterir ve bu da arayüz boyunca sıcaklık dağılımının tekdüze olmadığını göstermektedir. Karbon çeliğinin daha büyük deformasyon miktarı, düşük yüksek sıcaklık mukavemetine bağlanır. İşlem sırasında, yumuşatılmış metallerin ekstrüzyonu ile arayüzden daha fazla ısı akması nedeniyle, başlangıçta 304 paslanmaz çelik tarafında ve daha sonra 1045 karbon çelik tarafında arayüze yakın daha büyük bir sıcaklık gradyanı ortaya çıkar. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması, geliştirilen modun, farklı çelikler sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemindeki sıcaklık ve deformasyonu tahmin etmek için etkili bir şekilde kullanılabileceğini görmüşlerdir. Geliştirilen modele dayalı olarak, kaynak parametrelerinin benzer olmayan çeliklerdeki sıcaklık ve deformasyon değişkenleri üzerindeki etkileri bu kaynak yönteminde sistematik olarak araştırmışlardır. Son olarak, gerçek kaynaklı bağlantının mikro yapısı deneysel olarak incelemişlerdir [66].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Sürtünme kaynak yöntemi; makine imalatı ve endüstrisi (miller, flanşlar, borular, hidrolik silindirler, matkap uçları), havacılık ve uzay endüstrisi (rotorlar, türbin, miller, borular), otomotiv endüstrisi (supap, akslar, şanzıman parçaları), takım endüstrisi (freze çakıları, çelik kalemler, raybalar) ve diğer özel uygulamalarda kullanılabilir. Sürtünme kaynak yöntemi ile benzer veya benzer olmayan malzeme gruplarının basınç ile başarılı bir şekilde birleştirilmesi yapılabilmektedir.

Sürtünme kaynağı ile metallerin birleştirilmesi konusu araştırmacılar için büyük önem taşımaktadır. Yapılan farklı bilimsel çalışmalarda, parametrelerin değiştirilmesi, malzemelerin farklı türlerde kullanılması ve kaynakların metalürjik yapısının incelendiği görülmektedir.

Sürtünme kaynağının avantajlarından çevre dostu ve ekonomik oluşu ilgiyi çekmiştir. Aynı zamanda diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi zor olan malzeme gruplarının kaynak edilebilmesi sürtünme kaynak yöntemi ile sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip iki çelik türünün (E 360 ve AISI 420) sürtünme kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğini inceleme amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirme sonucu deney numunelerinin optik mikroskop, taramalı elektron mikroskopu (SEM), element analizi (EDS), çekme ve mikrosertlik testi incelemeleri Düzce Üniversitesi ve Gazi Üniversitesi Malzeme Bilimi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

5.2. MALZEME

Deneysel çalışmalarda, kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1’de verilen AISI 420 (martenzitik paslanmaz çelik) ve E 360 (genel yapı çeliği) çelikleri kullanılmıştır.

AISI 420 paslanmaz çeliği yapısında en az %12 krom içerir ve korozyon dayanımına yeterlidir. Ancak bu çeliğin kaynak kabiliyeti zayıftır. AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik makine sanayinde, petrol ve petrokimya sanayilerinde, gıda ve gıda üretim

tesislerinde, dekorasyonlarda, nakliyede, mil, piston ve valflerde sıklıkla kullanılmaktadır.

Yüksek karbonlu çeliklerden E 360 çeliği ve cıvatalar, somunlar, çelik konstrüksiyonlar ve makine parçaları uygulama örnekleridir. Deneylerde kullanılan malzemelerin mekanik ve kimyasal kompozisyonları Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri.

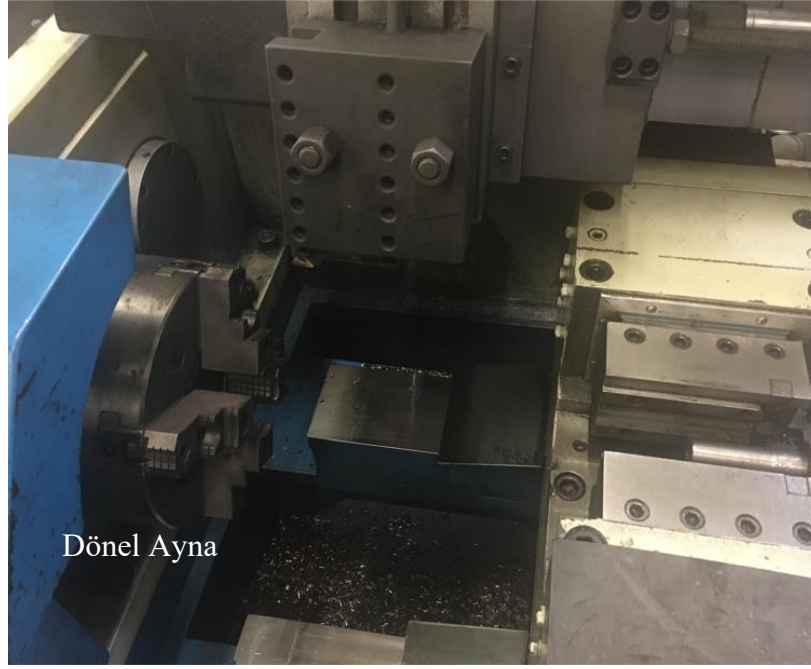
Malzeme	C	Mn	Si	P	S	Cr	N
AISI 420	0.15-0.25	1.5	1.0	0.04	0.03	12-14	-
E 360	0.65	0.8	0.27	0.45	0.45	-	0.012

Çizelge 5.2. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.

Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Sertlik (HV)	Uzama (%)
AISI 420	600	800-950	400-550	13-10
E 360	285-360	690-900	200-270	11-7

5.3. METOD

Deneylerde kullanılacak olan AISI 420 ve E 360 malzeme çifti 20 mm çap ve 250 mm boylarında temin edilmiştir. Deney numuneleri fabrikanın kullandığı tezgâhın ayna ve mengene kısmına uygun olarak hazırlanmıştır. Kaynaklı birleştirme sırasında cihazın dönel aynasına E 360 çeliği, sabit çeneye AISI 420 çeliği bağlanmıştır (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Sürtünme kaynak makinesi bağlama mekanizması.

Farklı parametrelerin sürtünme kaynak işlemi üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.3. Sürtünme kaynağında kullanılan parametreler.

Numune No	Devir Sayısı (dev/dk)	Sürtünme Basıncı (MPa)	Sürtünme Süresi (sn)	Yığma Basıncı (MPa)	Yığma Süresi (sn)
D-1	1500	60	5	140	4
D-2	1800	80	7	140	4

Bu çalışmada tezgâh koşulları dahilinde yığma süresi, yığma basıncı sabit tutularak, devir sayısı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi değiştirilerek farklı parametre grubu için deneyler yapılmıştır.



Şekil 5.2. D-1 parametre grubu sürtünme kaynağı numunesi.



Şekil 5.3. D-2 parametre grubu sürtünme kaynağı numunesi.

5.4. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Çizelge 5.3'teki kaynak parametreleri baz alınarak numunelerin metalografik incelemeye uygun hale getirilmesi için çapağı da temizlenerek ilk olarak tornada ortadan ikiye kesilmiştir (Şekil 5.4. ve Şekil 5.5.). Malzemede ısı etkisi ile herhangi bir değişim meydana gelmemesi için uygun devir ve ilerleme seçilmiş, soğutma sıvısı kullanılmıştır.



Şekil 5.4. Çapağı temizlenen numune.



Şekil 5.5. İnceleme öncesi kesilen numune.

Kaynak işleminden sonra, metalografik incelemeler için kaynak dikişinin merkez bölgesi kullanılacağından tel erozyon tezgâhında kesilerek bakalite alınacak forma getirilmiştir. Bu yöntemle malzemelerin ısıl değişime uğraması engellenmiştir.



Şekil 5.6. Metalografik incelemeler için kesilen numune.

Metalografik incelemeler için hazırlanan numune Şekil 5.6’da gösterilmiştir. 10 mm boyunda kesilen numuneler bakalite alındıktan sonra birleşme bölgelerinin incelenmesi için sırasıyla 320-1200 mesh’lik zımpara kağıtları ile zımparalanmıştır. Zımparalama işleminden sonra numune 1 µm ve 3 µm elmas pasta ile parlatılarak dağlama işlemi için hazır hale getirilmiştir.

Aynı zamanda parlatma işleminden sonra oksitlenmeyi engellemek amacıyla numune yüzeyleri alkol ile temizlenmiş ve kurutulmuştur. Numunelerde meydana gelen fazları belirgin hale getirmek için pikral çözeltisi kullanılarak daldırma işlemine tabi tutulmuştur.

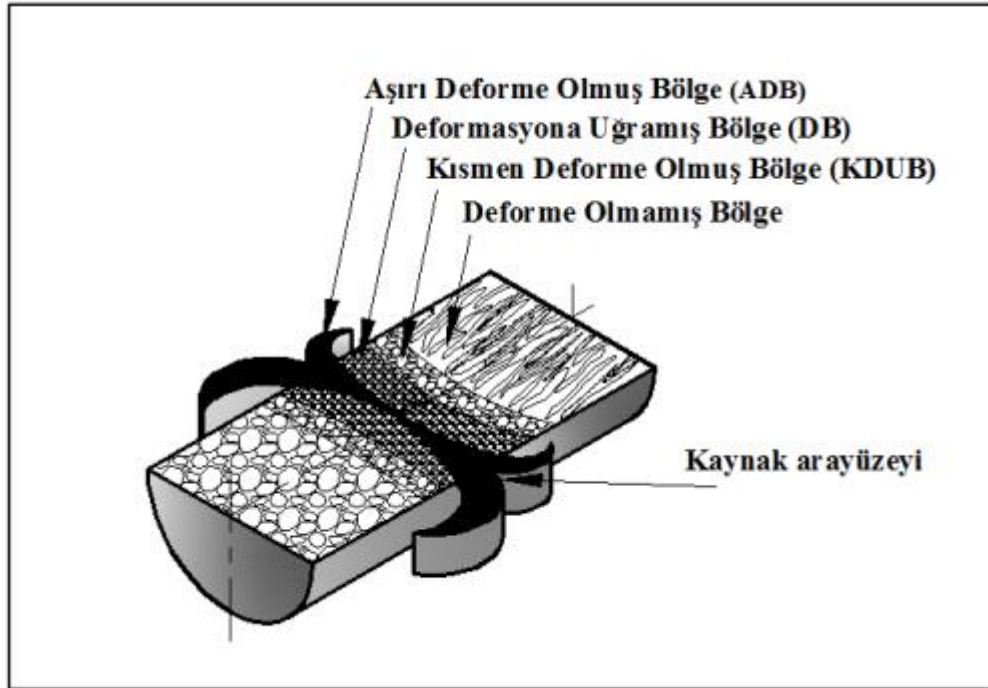


6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. MİKROYAPI DEĞERLENDİRMESİ

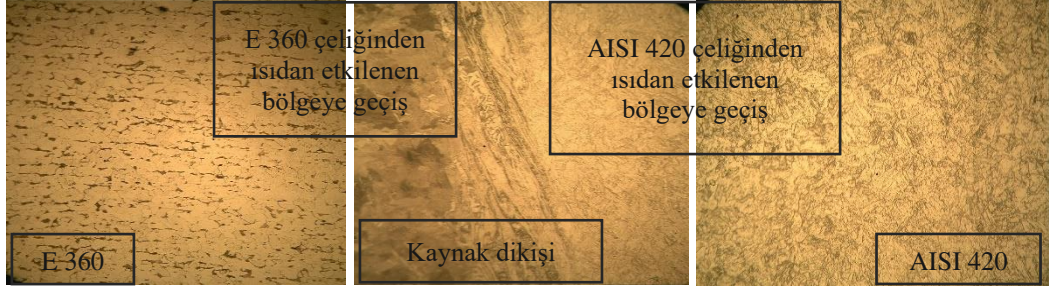
Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde deney numunelerinde benzer bir tane yapısı olduğu görülmüştür. Kaynak dikiş hattına yakın kısımlarda deformasyon etkisiyle ince bir tane yapısı oluşmuştur. Kaynak sırasında oluşan sıcaklık ve basınç sebebiyle deformasyon etkisi ile kaynak bölgesinde taneler incelmıştır. Kaynak dikiş hattından ana metal kısmına doğru tanelerin irileştiği görülmüştür. Ana metal kısmında sıcaklık ve basınçtan daha az etkilenen bölgelerde tane boyutu daha iridir.

Bazı araştırmacılar, sürtünme kaynak yöntemini farklı bölgelere ayırarak incelemeye tabi tutmuşlardır. Bu bölgeler esas malzeme, deformasyon bölgesi, kısmen deformasyona uğramış bölge ve aşırı deformasyona uğramış bölge olarak adlandırılmış ve Şekil 6.1’de gösterilmiştir [42].



Şekil 6.1. Mikroyapı değişimlerinin meydana geldiği bölgeler.

Kaynaklı numunelerin incelemesinde plastik deformasyon etkisi ile özellikle kaynağın birleşme kısmında malzemeler birbirine karışmıştır.



Şekil 6.2. D-1 numaralı deneye ait mikroyapı görüntüleri.

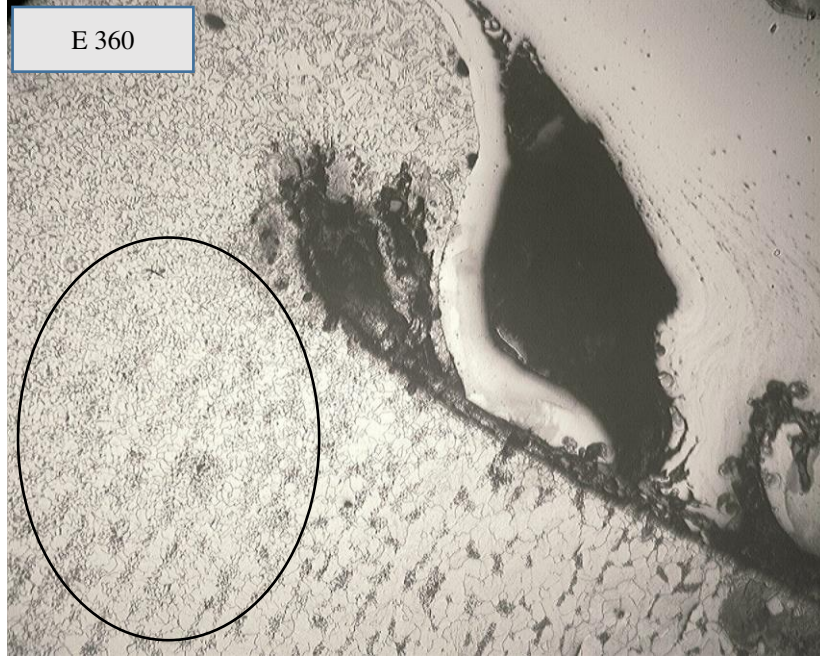


Şekil 6.3. D-2 numaralı deneye ait mikroyapı görüntüleri.

Kaynak dikişinden ana metale doğru sıcaklık ve basıncın etkilendiği bölgede oluşan tane boyutu ve geometrisindeki değişimler görülmektedir. Sürtünmenin etkisi ile meydana gelen ince taneli yapı kaynak dikiş bölgesinin hemen yakınındadır. Şekil 6.2. ve Şekil 6.3'te kaynak bölgesi, deformasyona uğramış bölge, kısmen deformasyona uğramış bölge ve esas metal mikroyapısı görülmektedir. Kaynak sırasında oluşan yüksek sıcaklık sebebiyle esas metalden kaynak dikişine doğru tane yapılarının incelendiği görülmektedir. Kaynak dikişinden yatay doğrultuda esas metale doğru tane yapılarının giderek arttığı ve ilerledikçe esas malzemenin mikroyapılarına benzediği görülmektedir.

Her iki malzemenin olduğu taraftan kaynak bölgesine bakıldığında sıcaklık ve basıncın etkisi ile meydana gelen tane yönelmelerinin büyük çoğunluğu E 360 çeliğinde olduğu görülmüştür.

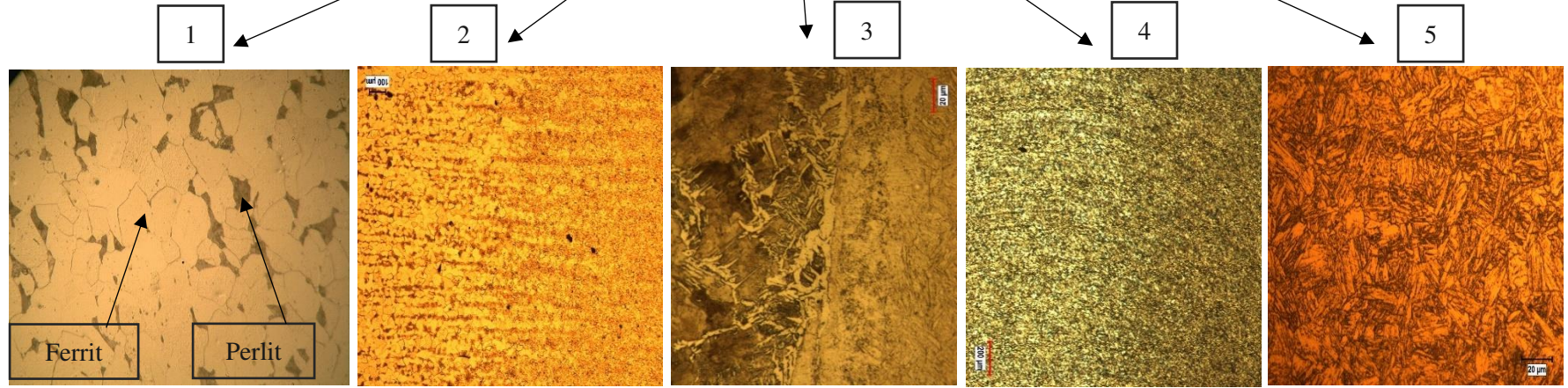
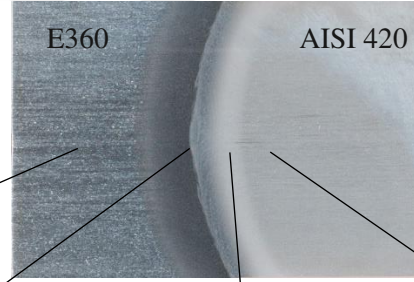
Sürtünme kaynağında kaynak merkezinde çevresel hız sıfırdır. Malzeme çapı arttıkça çevresel hız da artar. Çevresel hızın artışına bağlı olarak kaynak yapılacak malzeme yüzeylerindeki sürtünme ve ısı da artar. Mikroyapı görüntüleri incelemesinde tanelerin yönelmesi Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4. Malzemedeki oluşan tane yönelmesi.

Her iki malzemenin olduğu taraftan kaynak bölgesi incelendiğinde AISI 420 paslanmaz çelik deformasyon alanının E 360 çeliğinin deformasyon alanına göre daha küçük olduğu görülmüştür. Paslanmaz çelikler yapısal karakteristiğinden kaynaklı daha küçük miktarda deformasyona uğramıştır. Deformasyonun büyük çoğunluğu E 360 çeliğinde meydana gelmiştir. Çapak oluşumuna bakıldığında E 360 çelikte oluşan çapak miktarının AISI 420 paslanmaz çeliğine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Birleşme bölgelerinde meydana gelen tane yönelmelerine bakıldığında E 360 tarafındaki yönelme AISI 420 paslanmaz çeliğine göre daha fazladır.

E 360 genel yapı çeliğinde küçük ve çok sayıda ince taneli yapı olduğu görülmüştür. Kaynak dikişinden esas metale yaklaşıldıkça da bu tane yapılarının irileştiği her iki çelikte de görülmüştür.



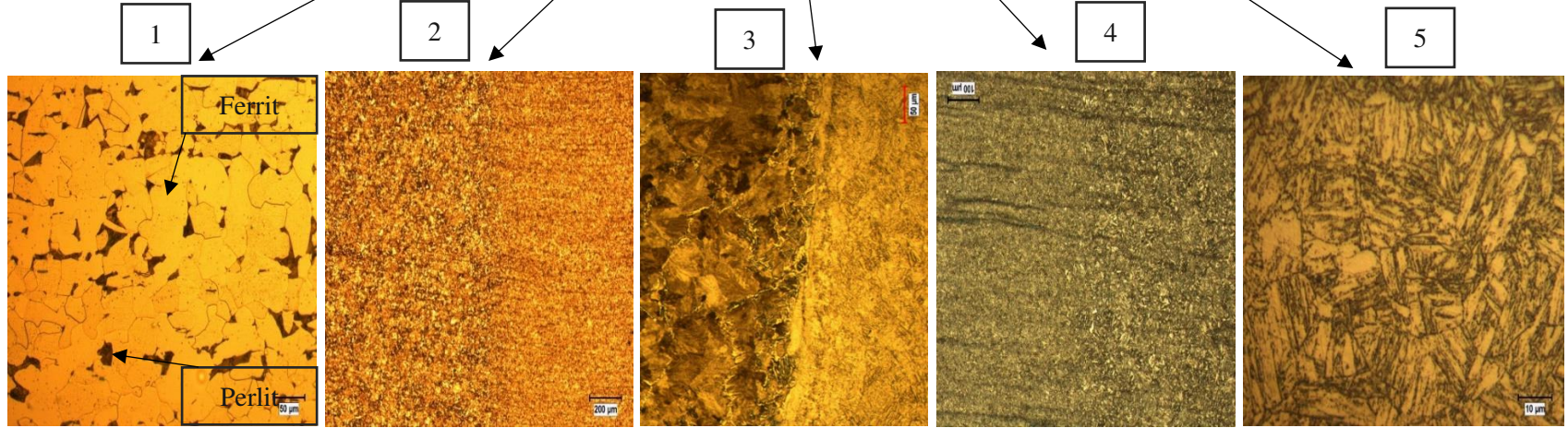
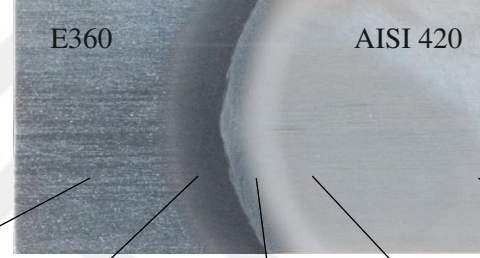
Şekil 6.5. D-1 numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

1 numaralı mikroyapı görüntüsü E 360 çeliği esas metal kısmıdır. 2 ve 4 numaralı bölge kısmi deformasyona uğramış bölgelerdir. 3 numaralı bölge tamamen deforme olmuş ve kaynak bölgesidir. 5 numaralı mikroyapı görüntüsü de AISI 420 çeliği esas metal kısmıdır. 1 numaralı E 360 genel yapı çeliğine ait mikroyapı görüntülerine bakıldığında yapıda ferrit (açık) ve perlit (koyu) bulunduğu görülmektedir. Bu çeliğin kimyasal bileşimine bakıldığında yapısındaki 0.65 karbon içeriği bulundurması görüntüyü doğrulamaktadır.

2 ve 4 no'lu bölgelere bakıldığında ısının etkisi ile tane yapısında incelmeler olduğu görülmüştür.

Görüntülerin incelemesinde martenzitik paslanmaz çelikte meydana gelen deformasyon alanı genel yapı çeliğine göre daha küçük olduğu görülmüştür. Paslanmaz çelikte yapısal karakteristiğinden kaynaklı daha dar bir alanda deforme meydana gelmiştir [67]. Dışarı atılan malzeme miktarına bakıldığında E 360 tarafında daha fazla çapak oluşumu olduğu görülmüştür. E 360 malzemesi geçiş bölgesinde çok sayıda ince taneli yapı olduğu ve ana metale doğru ilerledikçe de bu tanelerin boyutunun arttığı görülmektedir.

İncelemelerde kaynaklı birleşme bölgesine yakın kısımlarda sıcaklık ve basıncın etkisi ile meydana gelen yönelmeler göze çarpmaktadır. Ana metalden kaynak bölgesine doğru sıcaklık ve basıncın etkilediği bölgelerdeki tane boyutu ve geometrisindeki değişimler görülmektedir. Sürtünme sırasındaki yüksek sıcaklık ve gerçekleşen soğuma sonucunda birleşme bölgelerinin hemen yakın kısmında ince taneli yapı meydana gelmiştir. Klasik sürtünme kaynağı tane yapısına benzer olan bu yapıda, ana metale doğru yaklaştıkça sıcaklığın düşmesi sonucu tane yapıları ana metallerin tane yapısının benzeridir.



Şekil 6.6. D-2 numuneye ait mikroyapı görüntüleri.

1 numaralı mikroyapı görüntüsü E 360 çeliği esas metal kısmıdır. 2 ve 4 numaralı bölge kısmi deformasyona uğramış bölgelerdir. 3 numaralı bölge tamamen deforme olmuş ve kaynak bölgesidir. 5 numaralı mikroyapı görüntüsü de AISI 420 çeliği esas metal kısmıdır. E 360 çeliğine ait mikroyapı görüntülerine bakıldığında yapıda ferrit ve perlit bulunduğu görülmektedir. Bu çeliğin kimyasal bileşimine bakıldığında yapısındaki 0.65 karbon içeriği bulundurması görüntüyü doğrulamaktadır.

Mikroyapı incelemelerinde kaynak bölgesinin tane yapısının küçüldüğü görülmüştür. Kaynak esnasındaki yüksek sıcaklık oluşumuyla tanelerin plastik deformasyon tarafına yönelmeleri ve yığılma basıncına bağlı olarak olduğu düşünülmüştür [68].

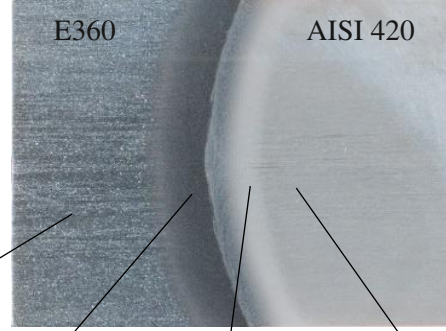
Mikroyapı incelemelerinde yığılmanın etkisiyle 2 ve 4 no'lu bölgelerde küçülen ve yönelen taneler görülmektedir. Bazı araştırmalarda sıcaklığın A₃ sıcaklığı üzerine çıkmasına bağlı olarak ferritin yanında kalıntı östenitin olabileceği, soğumanın da hızlı olmasından dolayı östenitin bir kısmının ferrite dönüşemediği düşünülmüştür. Elde edilen verilerin bu çalışmaları desteklediği düşünülmektedir [69].

AISI 420 çeliğinde daha dar bir alanda deforme meydana gelmiştir. Çapak oluşuma dikkat edildiğinde E 360 malzemesinde daha fazla malzeme dışarı atılmıştır. Tane yapılarına bakıldığında E 360 çeliğinde çok sayıda ince taneli yapı meydana gelmiştir. Ana metale doğru yaklaşıldığında tanelerin boyutunun arttığı ve ana metale benzer bir tane yapısı olduğu görülmektedir.

Birleşme hattına yakın kısımlarda sıcaklık ve basıncın neden olduğu yönelmeler görülmektedir. Sürtünmenin etkisi ile meydana gelen ince taneli yapının kaynaklı birleşmenin hemen yakınında olduğu görülmüştür. Bu yapı klasik sürtünme kaynak tane yapısına benzer olup sıcaklık ve ardındaki soğuma neticesinde kaynak bölgesine doğru ince taneli yapı meydana gelmiştir. Ana metale doğru maruz kalan sıcaklığın düşmesine bağlı olarak tane yapısı ana metale benzer bir yapı göstermektedir. E 360 malzemesinde ferrit ve perlitten oluştuğu görülmektedir.

6.2. TARAMALI ELEKTRİN MİKROSKOBU (SEM) DEĞERLENDİRMESİ

D-1 numunesine ait ana malzemelerden ve kaynak bölgesinden elde edilen SEM ve EDS analiz sonuçları verilmiştir.



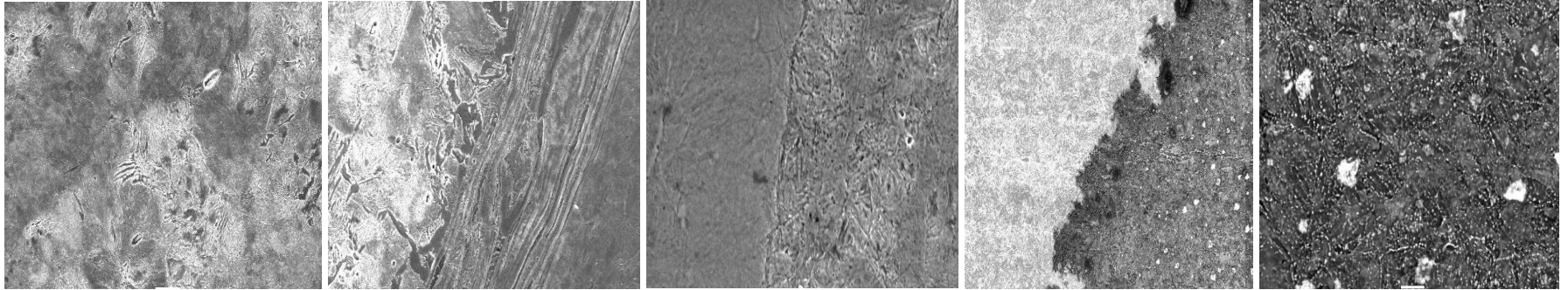
1

2

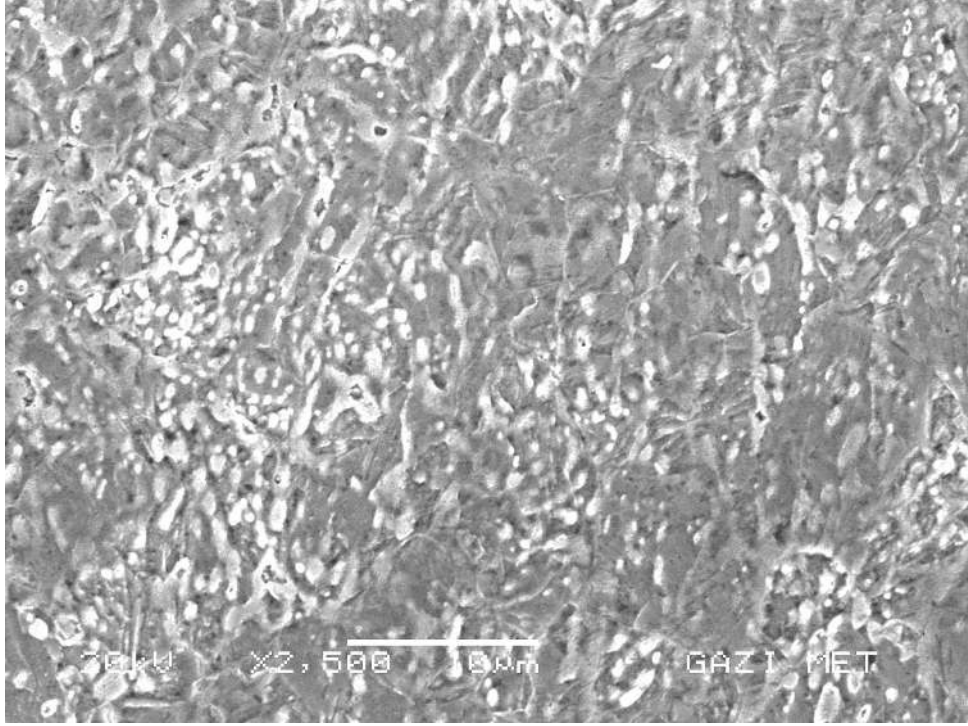
3

4

5



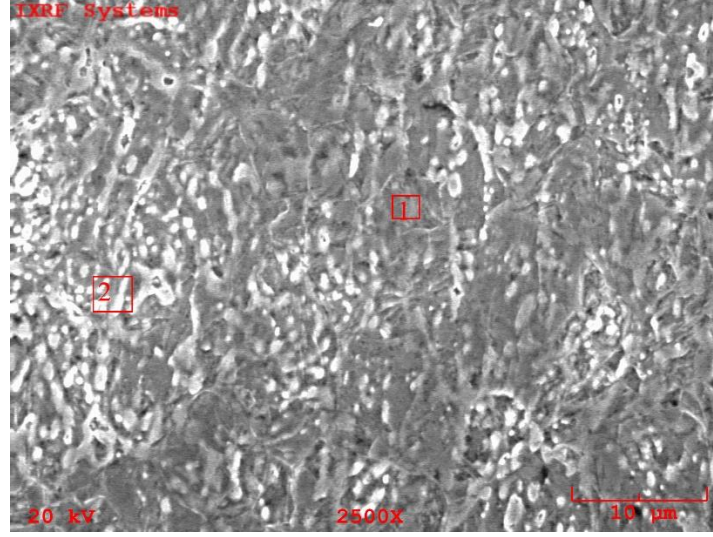
Şekil 6.7. D-1 no'lu numuneye ait SEM görüntüleri.



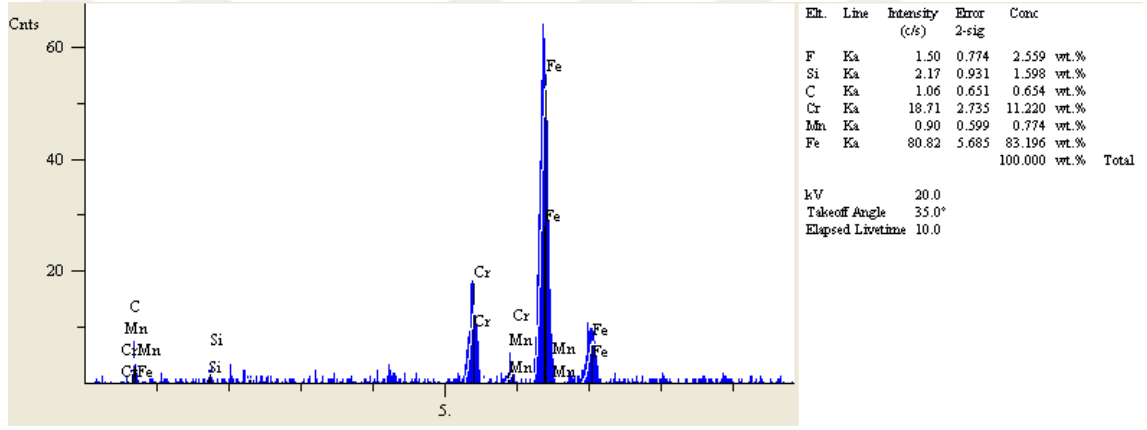
Şekil 6.8. D-1 no'lu numune kaynak arayüzey görüntüsü.

Devir sayısı 1500 dev/dk, sürtünme süresi 5 sn sürtünme basıncı 60 MPa, yığma basıncı 140 MPa ve yığma süresi 4 sn olan kaynaklı numunenin arayüzey görüntüleri Şekil 6.8'de verilmiştir. Numunenin esas malzeme kısımlarından, aşırı deformasyona uğramış bölgesinden görüntüler alınmıştır.

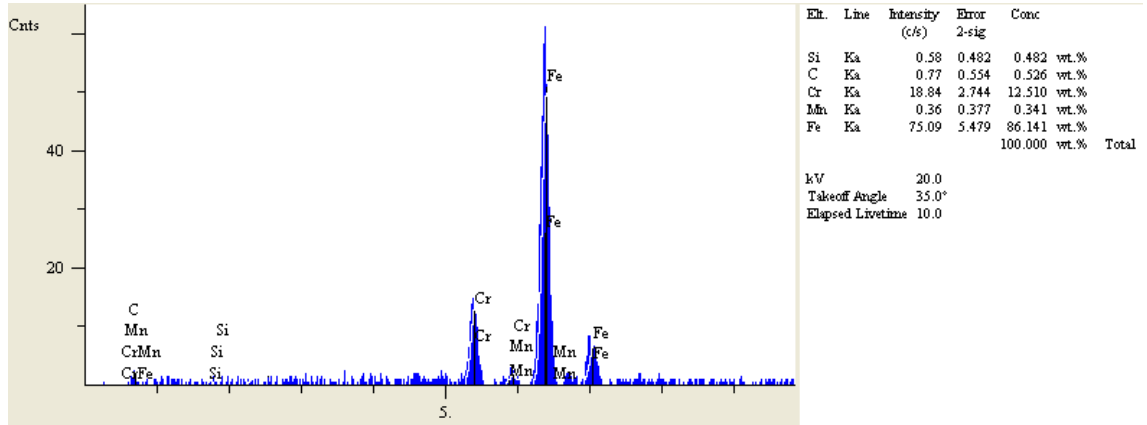
Kaynaklı birleştirmenin arayüzeyinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, birleşme arayüzeyinde çatlak ve boşluğa rastlanmamıştır. 1 numara E 360 çeliğine, 5 numara AISI 420 çeliğine, 2 ve 4 numara kısmen deforme olmuş bölge ve 3 numara aşırı deforme olmuş bölgeye aittir. Kaynak bağlantı bölgesinde deformasyona uğramış bölge meydana gelirken bu bölgenin hemen yanında basıncı etkisi ile oluşan bölgenin olduğu görülmektedir. Kısmen deforme olmuş bölgede mikroyapının kısmen de olsa orijinal iç yapıya benzediği görülmektedir. Kaynak bölgesinden alınan optik görüntüde bölgede tanelerin homojen olarak dağıldığı görülmektedir (Şekil 6.8.). Deforme olmayan bölgelerde hem E 360 hem de AISI 420 tarafında yapı orijinal haline benzerdir.



Şekil 6.9. D-1 no'lu numune EDS analizi yapılan noktalar.



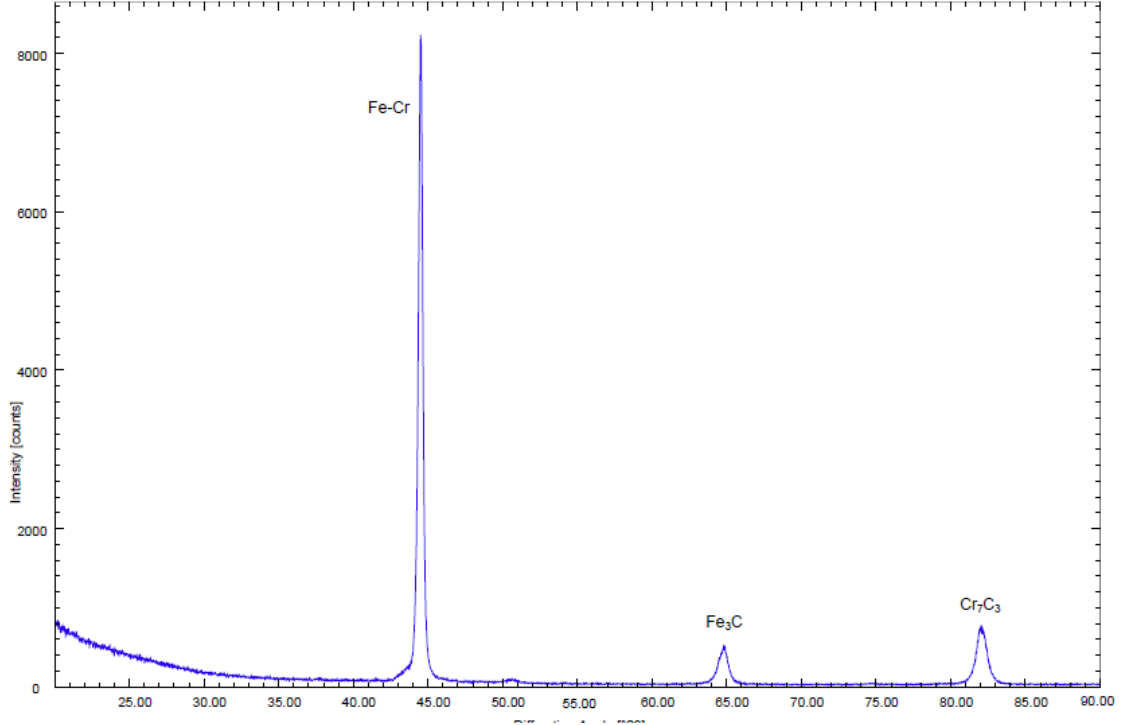
Şekil 6.10. 1 noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 6.11. 2 noktasından alınan EDS analizi.

D-1 numunesinin aşırı deformasyona uğramış bölgesinde iki farklı noktada EDS analizi yapılmıştır. 1 ve 2 noktalarına ait analiz sonuçları Şekil 6.10. ve Şekil 6.11’de verilmiştir. İncelemeler sonucunda bağlantı bölgesinde AISI 420 ve E 360 çeliklerinin her ikisinde

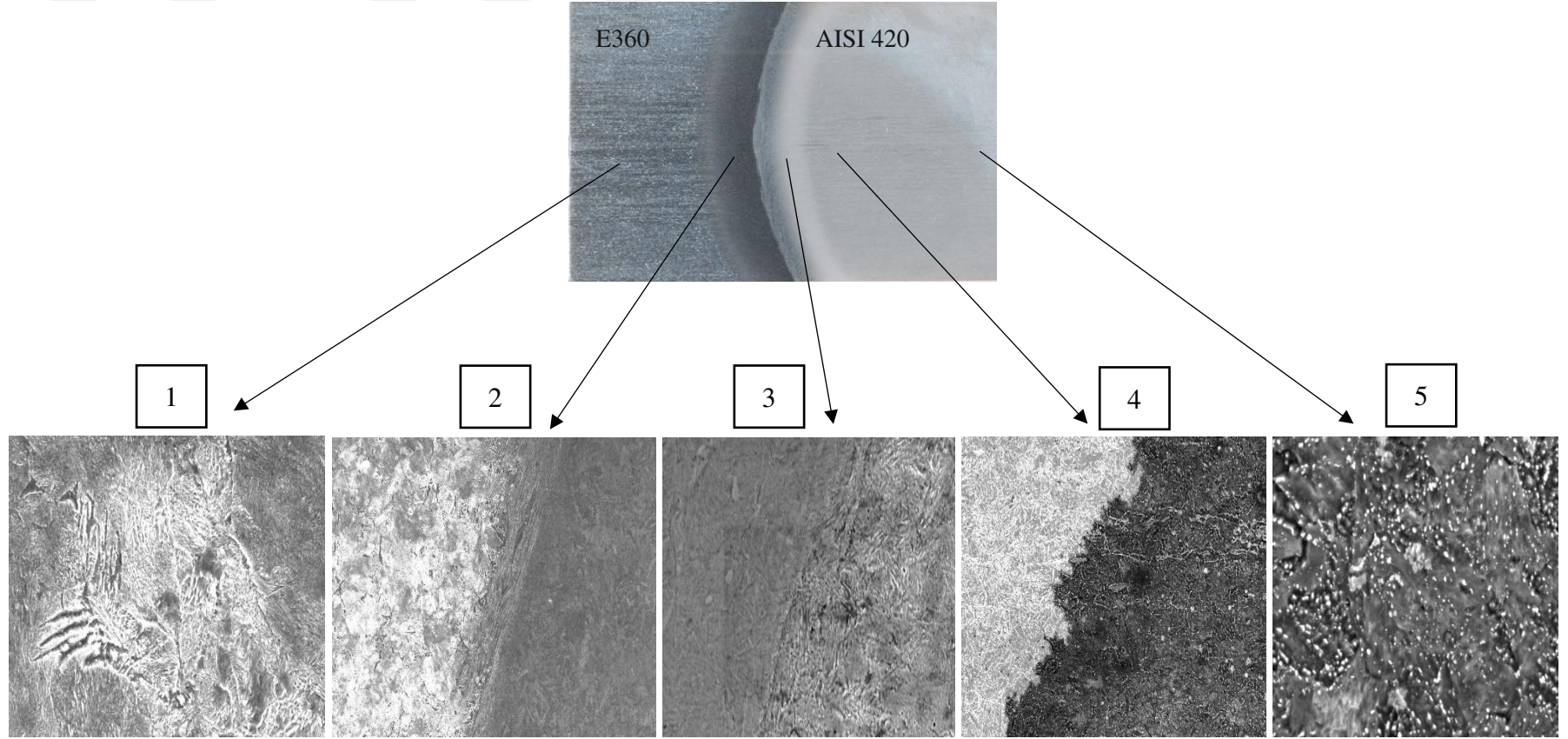
de bulunan elementler olduğu görülmektedir. AISI 420 bulunan ve E 360 çeliğinde bulunmayan Cr elementinin bağlantı bölgesine difüze olduğu görülmektedir. Sürtünmeye bağlı oluşan sıcaklık ve basınç etkisi ile Cr elementinin arakesite difüze olması beklenmektedir. Noktasal analiz sonuçları incelendiğinde her iki noktanın da C ve Cr değerleri yüksek çıkmıştır. Bu değerlerin yüksek olmasına bağlı olarak bu noktalarda krom karbür olabileceği düşünülmektedir. Yapılan XRD analizi sonucunda bu düşünce desteklenmiştir.



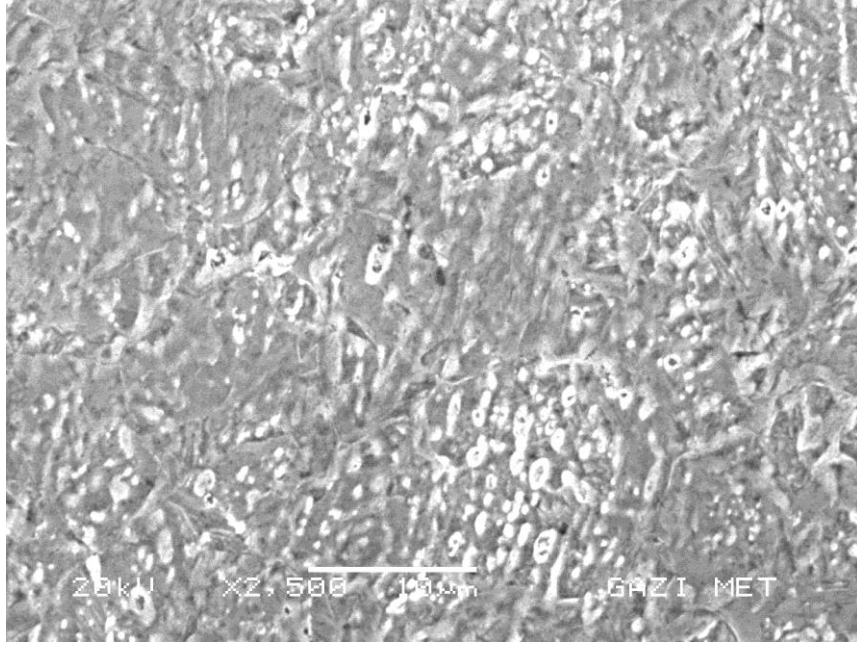
Şekil 6.12. D-1 no'lu numunenin XRD grafiği.

D-1 numunesine ait XRD grafiği Şekil 6.12'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde kaynak arayüzeyinde Cr₇C₃ ve Fe₃C fazları olduğu tespit edilmiştir.

D-2 numunesine ait ana malzemelerden ve kaynak bölgesinden elde edilen SEM ve EDS analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.13. D-2 no'lu numuneye ait SEM görüntüleri.

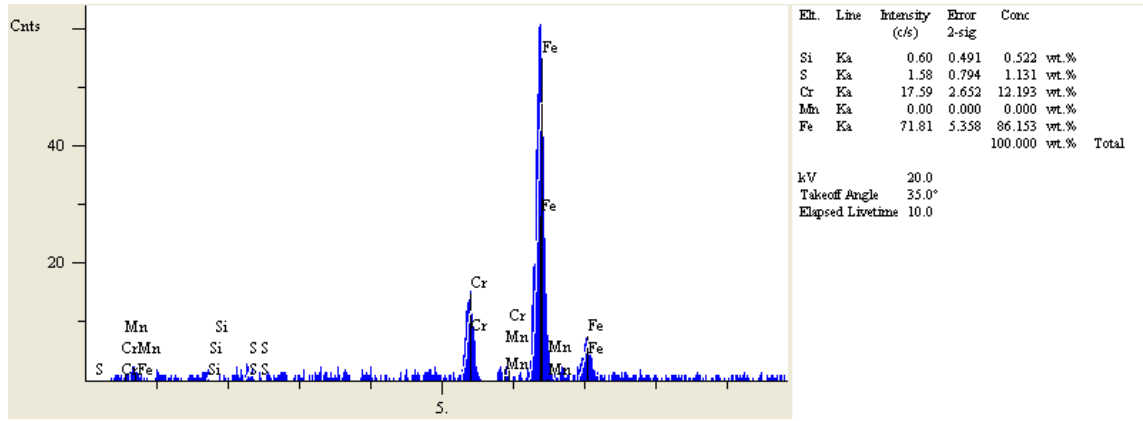


Şekil 6.14. D-2 no'lu numune kaynak arayüzey görüntüsü.

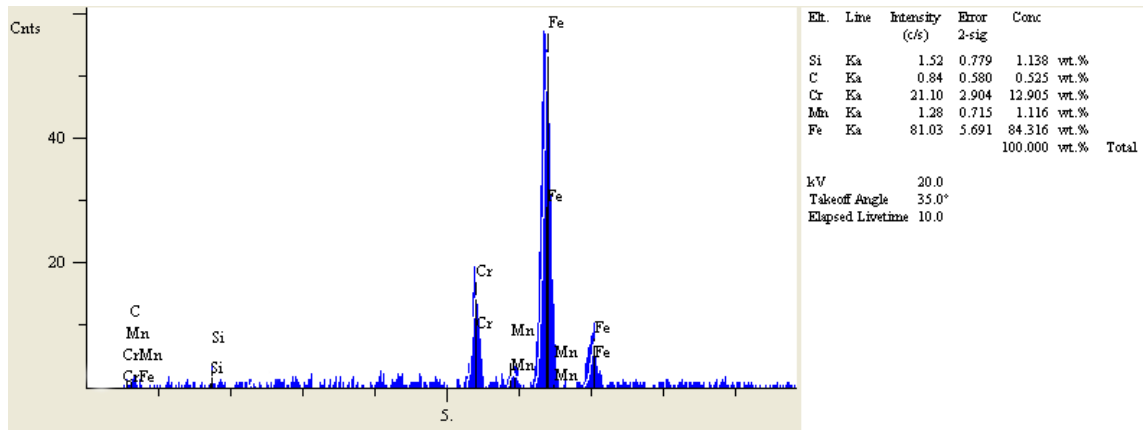
Devir sayısı 1800 dev/dk, sürtünme süresi 7 sn sürtünme basıncı 80 MPa, yığma basıncı 140 MPa ve yığma süresi 4 sn olan kaynaklı numunenin arayüzey görüntüleri Şekil 6.14'te verilmiştir. Numunenin esas malzeme kısımlarından, aşırı deformasyona uğramış bölgesinden görüntüler alınmıştır.

Kaynaklı birleştirmenin arayüzeyinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde arayüzeyde çatlak, boşluk ve birleşmeyen bölgeye rastlanmamıştır. Kaynak bölgesinden alınan görüntülerde D-1 numunesine benzer şekilde D-2 numunesi de bölgeye homojen dağılmıştır. 2 numunenin karşılaştırılmasında artan devir sayısına bağlı olarak deformasyona uğrama miktarları da artmıştır.

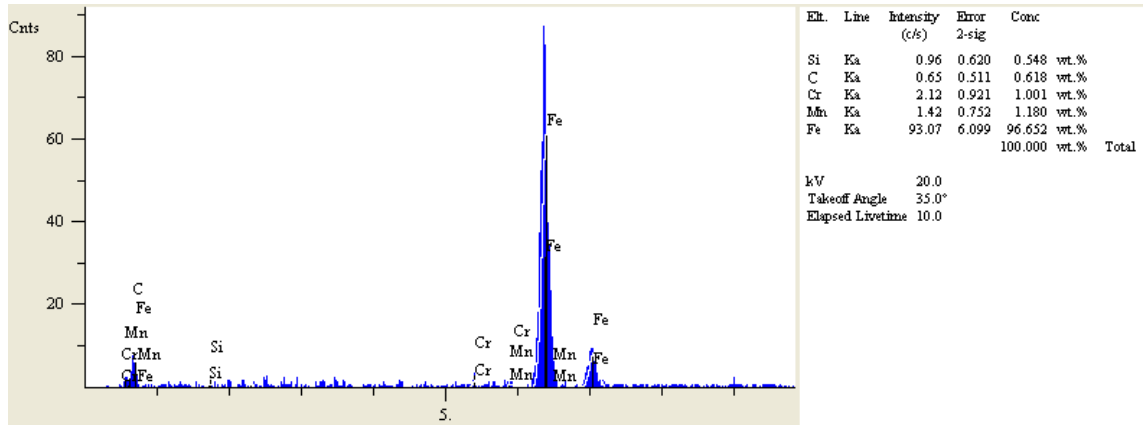
Esas malzeme ve aşırı deformasyona uğramış bölgelerden alınan EDS sonuçları verilmiştir. EDS analizi sonuçlarına göre D-1 numunesinde olduğu gibi element geçişleri meydana gelmiştir.



Şekil 6.15. AISI 420 tarafı EDS analizi.

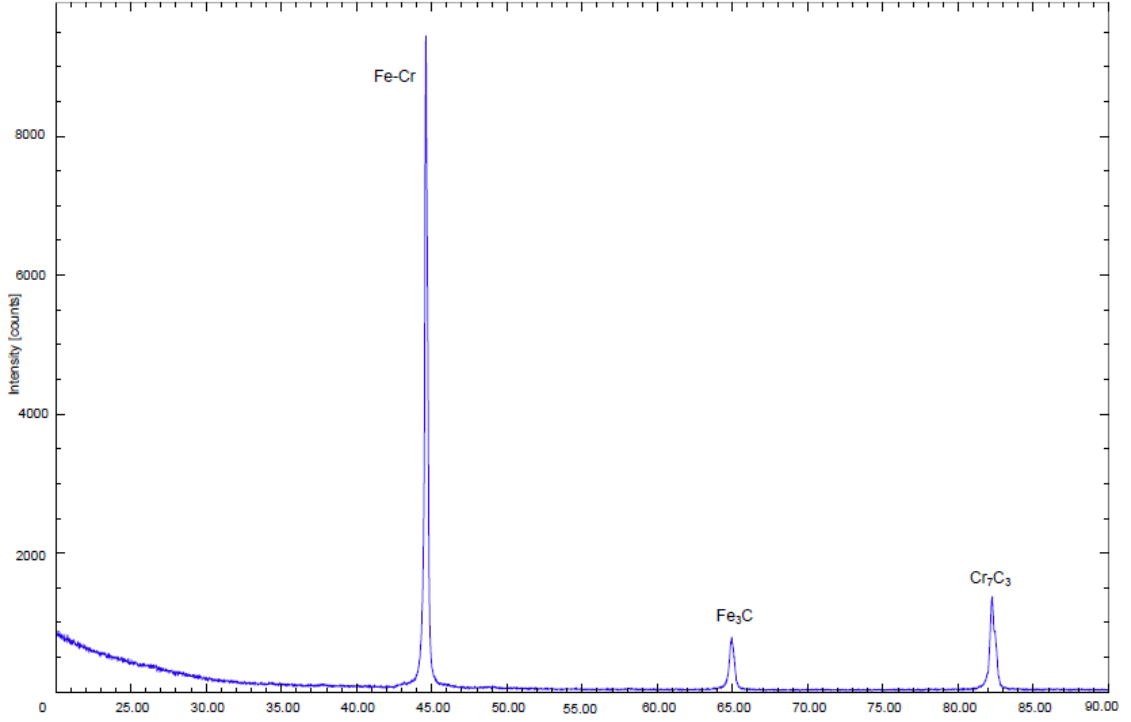


Şekil 6.16. Arayüzeyden alınan noktanın EDS analizi.



Şekil 6.17. E 360 tarafı EDS analizi.

D-1 numunesine benzer şekilde C ve Cr oranı yüksek çıkmıştır. Bu bölgelerde de krom karbür oluştuğu düşünülmektedir. Bu düşünce XRD grafiği ile desteklenmiştir.



Şekil 6.18. D-2 no'lu numunenin XRD grafiği.

D-2 numunesine ait XRD grafiği Şekil 6.18'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde kaynak arayüzeyinde Cr_7C_3 ve Fe_3C fazları olduğu tespit edilmiştir.

D-1 ve D-2 numuneleri incelendiğinde her iki numunenin kaynaklı birleştirilen arayüzeylerinde çatlak, boşluk ve bağlantısız bölge bulunmamaktadır. Numunelerde devir sayısı artışına bağlı olarak deformasyona uğrayan bölgenin genişlediği gözlemlenmiştir.

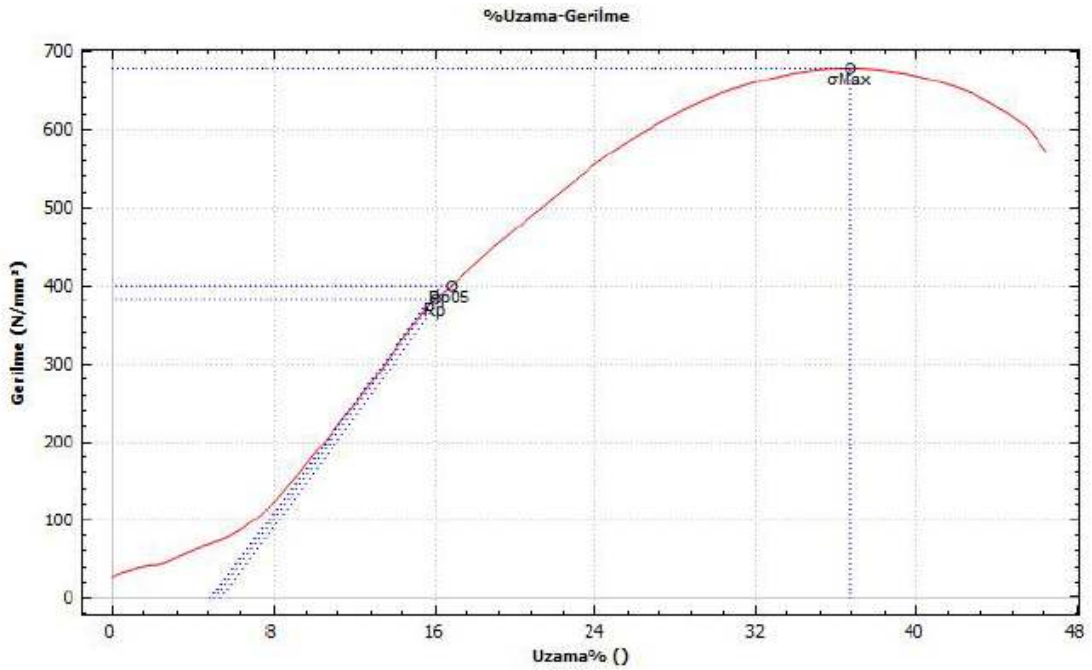
Her iki numunenin deformasyona uğramayan esas malzemelerin orijinal iç yapıda olduğu görülmüştür. EDS analizi sonuçlarında element geçişi olduğu görülmüştür. SEM, EDS ve XRD analizleri sonuçlarında numunelerin kaynak arayüzeylerinde Cr_7C_3 ve Fe_3C gibi fazların oluştuğu görülmüştür.

6.3. ÇEKME DENEYİ DEĞERLENDİRMESİ

Sürtünme kaynağı yapılan numuneler, kaynak işlemi sonrası çekme testine tabi tutulmuştur. Deneylere ait sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 6.1. D-1 numunesine ait çekme deneyi sonuçları.

D-1	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	% Uzama
	-	679,01	567,1	46,9



Şekil 6.19. D-1 numunesine ait gerilme uzama grafiği.

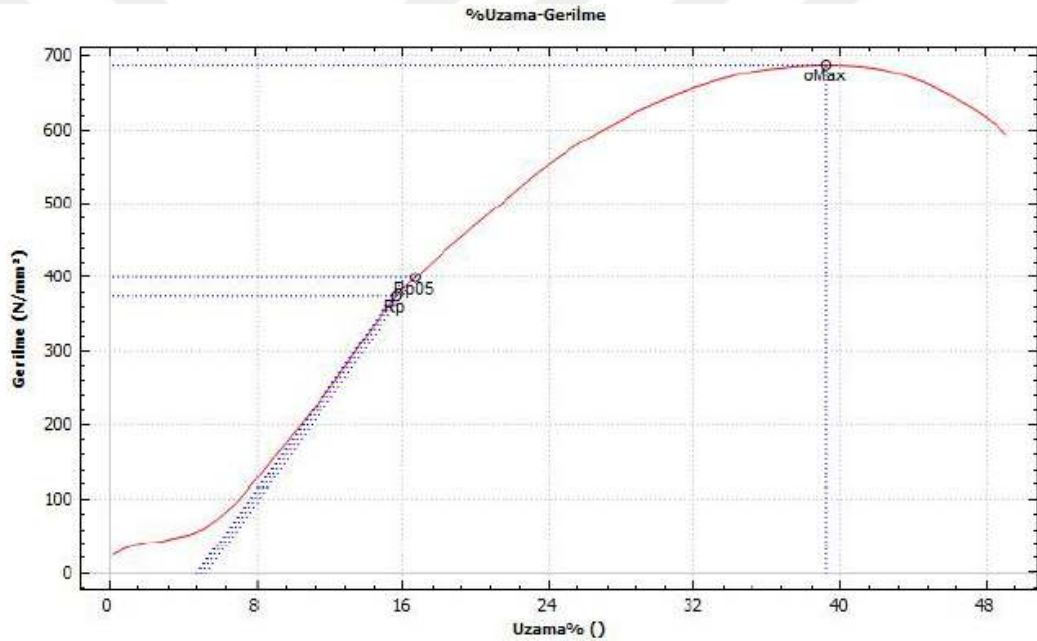
Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirme işleminin gerçekleştirildiği AISI 420 ve E 360 çelik çiftinin belirlenen parametrelerde birleştirilmesi ve bu birleştirme işlemi sonucunda uygulanan çekme testi sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde devir sayısı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığma basıncı ve yığma süresi gibi parametrelerin kaynaklı bağlantıların dayanımı üzerinde önemli etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kaynağın kalitesi bakımından devir sayısı ve sürtünme süresi en etkili parametrelerdendir. Deneysel çalışmalarda yığma basıncı ve yığma süresi sabit tutularak değişen devir sayısı, sürtünme süresi ve basıncının numunelerin çekme deneyi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesinde, çekme işlemi sonrasında çekme uygulanan çubuğun kopma yeri, akma ve çekme mukavemeti değerlerinin malzemelerin kabul edilebilir değerlerine uygunluğu, yüzde uzama miktarı belirleyici olabilmektedir.

D-1 numunesine ait çekme gerilmesi değeri 679,01 MPa'dır. Bu değer malzemelerin orijinal değerlerinin düşük çıkmıştır. Çekme sonrası numune kaynak bölgesinin dışından sertliği daha düşük olan E 360 tarafından kopmuştur. Çekme değerinin malzemelerin orijinal değerinden düşük olmasının nedeni, kaynak sırasında meydana gelen Cr_7C_3 ve Fe_3C gibi bileşiklerdir.

Çizelge 6.2. D-2 numunesine ait çekme deneyi sonuçları.

D-2	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	% Uzama
	-	688,24	594,3	50,2



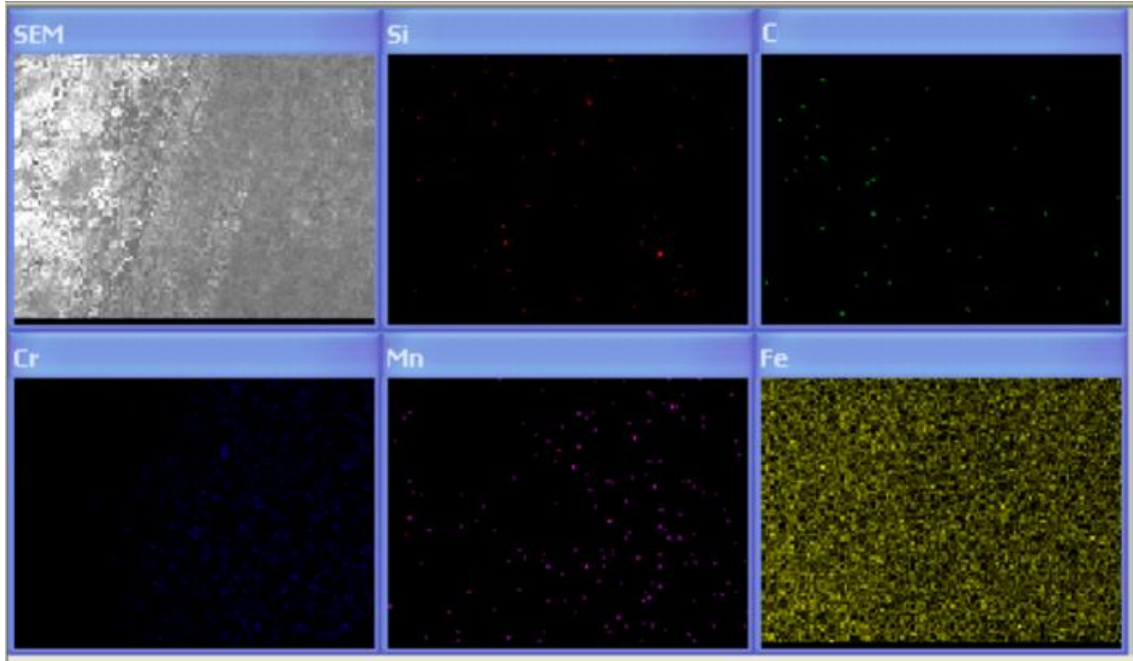
Şekil 6.20. D-2 numunesine ait gerilme uzama grafiği.

Sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirme işleminin gerçekleştirildiği AISI 420 ve E 360 çelik çiftinin belirlenen parametrelerde birleştirilmesi ve bu birleştirme işlemi sonucunda uygulanan çekme testi sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

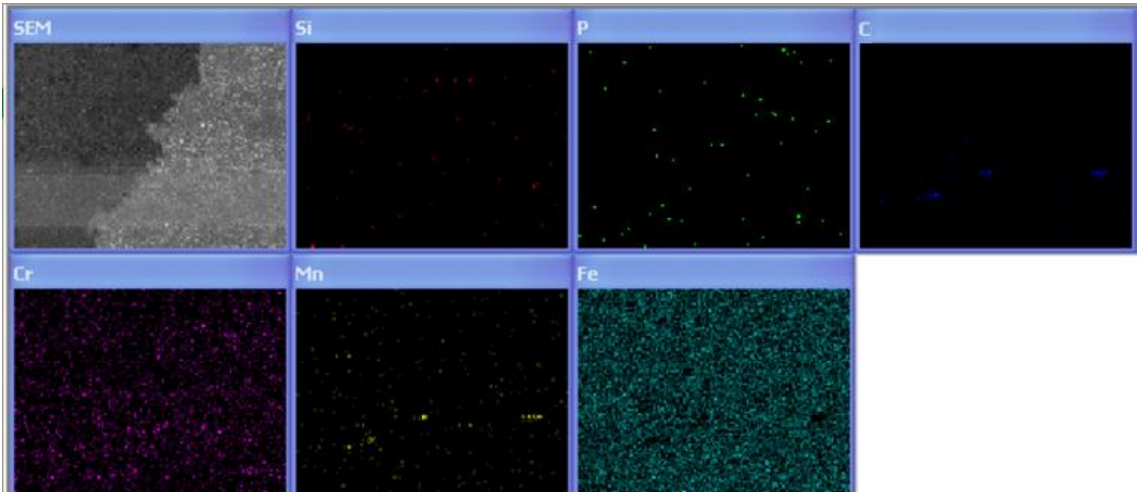
D-2 numunesine ait çekme gerilmesi değeri 688,24 MPa'dır. Bu değer malzemelerin orijinal değerlerinin düşük çıkmıştır. Çekme sonrası numune kaynak bölgesinin dışından sertliği daha düşük olan E 360 tarafından kopmuştur. Çekme değerinin malzemelerin orijinal değerinden düşük olmasının nedeni, kaynak sırasında meydana gelen Cr_7C_3 ve Fe_3C gibi bileşiklerdir.

6.4. ELEMENTSEL HARİTALANDIRMA DEĞERLENDİRMESİ

D-1 ve D-2 no'lu kaynaklı numunelerin sürtünme kaynak yöntemi sonrası ara yüzeylerinin AISI 420 tarafı ve E 360 tarafının elementsel haritalandırma analizleri Şekil 6.21. ve Şekil 6.22'de verilmiştir. Elementsel haritalandırma yöntemi sayesinde kaynaklanan numunelerde bulunan elementlerin nasıl dağıldığı görülmektedir. Yapılan elementsel haritalama analizinde, demir elementinin ana faz olarak mikroyapıya hâkim olduğu görülmektedir. Diğer alaşım elementlerinin kaynak bölgesine yakın yerlerdeki dağılımları farklılık göstermektedir.



Şekil 6.21. E 360 tarafı elementsel haritalama analizi.



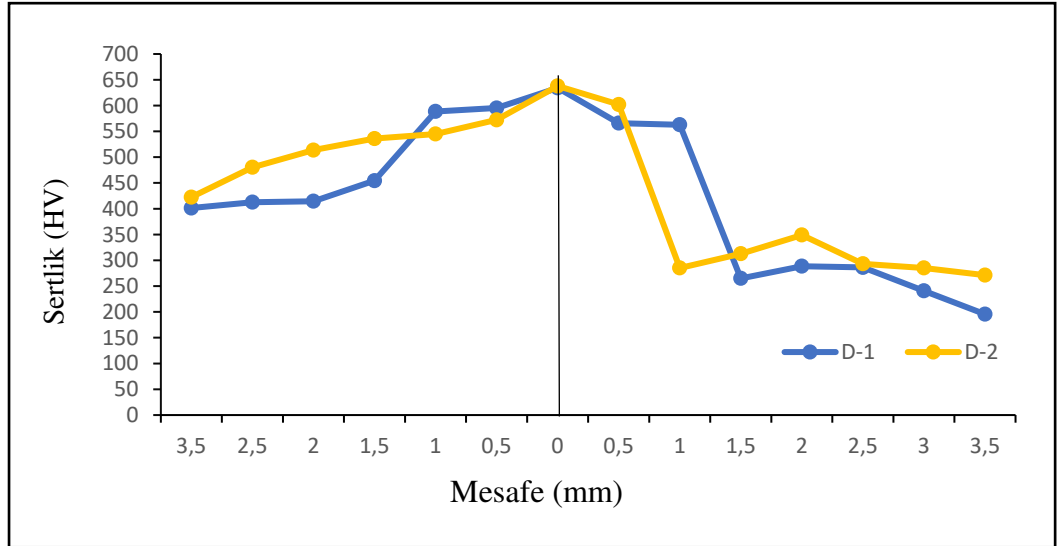
Şekil 6.22. AISI 420 tarafı elementsel haritalama analizi.

6.5. MİKROSERTLİK SONUÇLARI DEĞERLENDİRMESİ

AISI 420 ve E 360 çelik çiftinin sürtünme kaynak işlemi sonrası mikrosertlik analizi yapılmıştır. Bunun için malzemelerin farklı noktalarından ölçüm yapılarak ortalama sertlik değerleri hesaplanmıştır. Bu analiz sonucunda D-1 numunesinin birleşme bölgesindeki sertlik değeri 634,2 Vickers, D-2 numunesinin 637,9 Vickers olduğu tespit edilmiştir.

Sertlik değerleri incelendiğinde numunelerin kaynak bölgesine yaklaştıkça sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesinden ana malzemeye doğru yaklaşıldığında ana malzemenin sertlik değerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Yatay ekseninde alınan sertlik sonuçları değerlendirilmesinde en yüksek ve en düşük değerlerinin, sürtünme kaynak parametrelerinin soğuma hızı, deformasyon sertleşmesi ve farklı sert fazlarının meydana getirdiği olan etkisinin sebep olduğu söylenebilir. Sürtünme süresinin bu değişimlerde etkin rol aldığı düşünülmektedir.



Şekil 6.23. D-1 ve D-2 numunesine ait sertlik değişimi.

Şekil 6.23'te farklı devir sayısı, sürtünme süresi ve basıncında birleştirilen D-1 ve D-2 numunesine ait mikrosertlik grafiği verilmiştir. Bu kaynaklı bağlantılara ait sertlik değişimleri incelendiğinde numunelerin benzer bir dağılımın ortaya çıktığı görülmektedir. Farklı parametrelerde birleştirilen bu numune gruplarına bakıldığında kaynak ara yüzeyindeki sertlik değerinin en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Aşırı deformasyon bölgesi ve deforme olmuş bölgede sertlik değerlerinin maksimum olduğu ve esas metale doğru yaklaştıkça malzemelerin ana sertlik değerlerine yakın sonuçlar elde

edilmiştir. Artan devir sayısı, sürtünme süresi ve basıncına bağlı olarak sertlik değerlerinde artış görülmüştür. Kaynak ara yüzeyindeki sertlik artışının temel nedeni sıcaklığı artışı, krom karbürlerin oluşumu ve plastik deformasyon olduğu düşünülmektedir.

1500 dev/dk devir sayısı, 60 MPa sürtünme basıncı, 5 sn sürtünme süresi, 140 MPa yığma basıncı ve 4 sn yığma süresi ile birleştirilen numunenin mikrosertlik grafiğine bakıldığında maksimum mikrosertlik sonucunun kaynak ara yüzeyinde 634,2 Vickers olarak ölçülmüştür.

1800 dev/dk devir sayısı, 80 MPa sürtünme basıncı, 7 sn sürtünme süresi, 140 MPa yığma basıncı ve 4 sn yığma süresi ile birleştirilen numunenin mikrosertlik grafiğine bakıldığında maksimum mikrosertlik sonucunun kaynak ara yüzeyinde 637,9 Vickers olarak ölçülmüştür.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik ve E 360 genel yapı çelik çifti sürtünme kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Çalışmalar sırasında devir sayısı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi değişken parametre olarak, yığma basıncı ve yığma süresi gibi parametreler sabit tutularak birleşme işlemi gerçekleştirilmiştir. Birleştirme sonrası kaynaklı bağlantıların mikroyapı görüntüleri, SEM, EDS, XRD analizleri, çekme testi ve sertlik değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. Numuneler sürtünme kaynak yöntemi ile başarılı bir şekilde kaynatılmıştır. Kaynak bağlantılarda mukavemeti etkileyecek çatlak, boşluk ve bağlantısız bölge meydana gelmemiştir. Boyca kısalma E 360 tarafında olmuştur.
2. Numunelerin makroyapı incelemelerinde kaynak profillerinin birbirine benzediği görülmektedir. Numunelerde artan parametrelere (devir sayısı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi) bağlı olarak deformasyon miktarında artış gözlenmiş ve daha fazla malzeme dışarı atılmıştır. E 360 tarafında meydana gelen çapak, AISI 420 tarafında meydana gelen çapak miktarına göre daha fazladır.
3. Mikroyapı incelemelerinde genel olarak numunelerde benzer bir tane yapısı oluşmuştur. Kaynak bölgesi hattında ince bir tane yapısı meydana gelirken, birleşme hattından ana metale doğru tanelerin irileştiği görülmektedir.
4. Basıncın etkisi ile deformasyon yönlenmesi kaynak merkezinden dışa doğru oluşmuştur. Sıcaklı ve basınç etkisi ile meydana gelen deformasyon sonucunda tane yönlenmesine bakıldığında, E 360 tarafında meydana gelen yönlenme AISI 420 tarafında göre daha fazladır.
5. Sürtünme sırasında meydana gelen yüksek ısı sebebiyle deformasyon kolaylaşmış, numunelerde deformasyon sonucunda birbiri ile taneselsel bir alışveriş oluşmuştur.
6. AISI 420 paslanmaz çelik deformasyon alanının E 360 çeliğinin deformasyon alanına göre daha küçük olduğu görülmüştür.
7. Numunelerin SEM ve EDS analizlerine bakılarak, numunelerde birleşme hattında

iki farklı çelik arasında yayınmanın tam anlamıyla gerçekleştiği görülmüştür.

8. Her iki numunede XRD analiz sonuçlarında ITAB' da Cr_7C_3 ve Fe_3C gibi fazların oluştuğu belirlenmiştir.
9. Kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçlarına bakıldığında artan parametrelere bağlı olarak çekme gerilmelerindeki değerlerde de artış meydana geldiği görülmüştür. Numunelerin kaynak bölgesinden kopma meydana gelmemiştir.
10. D-1 numunesi çekme deneyi sonucu 679,01 MPa olarak bulunmuştur. D-2 numunesi için de çekme deneyi sonucu 688,24 MPa olarak bulunmuştur. Bu numunelerin çekme deneyi sonuçlarında kaynağın dışındaki bir bölgeden kopduğu görülmüştür.
11. 1500 dev/dk devir sayısı, 60 MPa sürtünme basıncı, 5 sn sürtünme süresi, 140 MPa yığma basıncı ve 4 sn yığma süresi ile birleştirilen numunenin kaynak arayüzeyinde sertlik 634,2 Vickers olarak ölçülmüştür. 1800 dev/dk devir sayısı, 80 MPa sürtünme basıncı, 7 sn sürtünme süresi, 140 MPa yığma basıncı ve 4 sn yığma süresi ile birleştirilen numunenin kaynak arayüzeyinde sertlik 637,9 Vickers olarak ölçülmüştür.
12. Her iki numunedeki kaynaklı bağlantıların mikrosertlik incelemelerinde, kaynaklı bağlantıların benzer sertlik profiline sahip oldukları ve kaynak arayüzeyinde sertliğin maksimum değerde olduğu, esas metale yaklaştıkça sertlik değerinin düşerek esas metalle aynı değere yakın değerde olduğu görülmüştür. Artan parametrelere bağlı olarak, numunelerde mikrosertlik değerleri artmıştır.
13. Elementsel haritalama analizinde Fe elementinin yoğun bir şekilde ana faz olarak mikroyapıya hâkim olduğu tespit edilmiştir. Cr, Si, C, Mn gibi alaşım elementlerinin kaynak bölgesine yakın yerlerdeki dağılımları yer yer farklılık göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında, numunelerin değiştirilmesi ve deneysel parametrelerin değiştirilerek yapılması aynı zamanda optimizasyon çalışmaları ve sonlu elemanlar çalışmaları da yapılması öneri olarak sunulabilir.

Sürtünme kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen AISI 420 ve E 360 çelikleri var olan diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilerek elde edilen dayanım değerleri karşılaştırılarak bu malzeme çiftinin birleştirilmesinde uygun kaynak yöntemi tespit edilebilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] E. Komaç, “Metal kaynağının tanımı”, *Teknik Eğitim El Kitabı*, 2. baskı, Kocaeli, Türkiye: Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., böl. 1, 2014, ss. 1–2.
- [2] S. Anık, “Kaynağın tanımı, önemi ve sınıflandırılması”, *Kaynak Tekniği El Kitabı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Gedik Eğitim Vakfı, böl. 1, 1991, ss. 1–14.
- [3] N. Kaya, “AISI 304 Paslanmaz Çelik İle Genel Yapı Çeliğinin Sürtünme Kaynak Kabiliyetinin Araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [4] B. Oğuz, “Metaller üzerine genellemeler”, *Malzeme Bilgisine Giriş*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Erdini Basım ve Yayınevi, böl. 1, 1989, ss. 1–20.
- [5] T. Savaşkan, “Demir-Karbon Alaşım Sistemi”, *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, 6. baskı, Trabzon, Türkiye: Celepler Matbaacılık, böl. 6, 2012, ss. 161–171.
- [6] A. Alsaran, Demir-Karbon Denge Diyagramı, *Ders Notları*, İzmir, 2022.
- [7] T. Ö. A. Aytaç, M. S. Işık, B. Çanakçı, H. İ. İpek ve K. Aztekin, “AISI 1008 1040 ve 4140 Çeliklerinde Isıl İşlem, Karbon Oranı ve Alaşım Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, *Savunma Bilimleri Dergisi*, c. 17, sayı 2, ss. 139–165, 2018.
- [8] M. Biçen, “Farklı Ark Kaynak Yöntemleriyle Birleştirilen Yüksek Mukavemetli API 5L X80 Çeliğinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2019.
- [9] M. Vural, F. Piroğlu, Ö. B. Çağlayan ve E. Uzgider, “Yapı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, c. 4, sayı 426, ss. 47–51, 2003.
- [10] J. Pearson, “Stainless steels-introduction to the grades and families”, *The Atlas Steels Technical Handbook of Stainless Steels*, 2. baskı, Australia: Atlas Steels Technical Department, böl. 4, 2021, ss. 5–9.
- [11] N. A. Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin ve O. Özbek, “AISI 304 ve AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, c. 20, sayı 1, ss. 43–49, 2017.
- [12] T. Osmanoglu, “AISI 304 ve 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [13] E. Çetin, “Paslanmaz Çeliklerin Lazer Nokta Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinin Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, Yüksek lisans tezi, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [14] A. Aran ve M. A. Temel, “Paslanmaz çeliklerin üstünlükleri”, *Paslanmaz Çelik ve Yassı Mamuller*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: Acar Matbaacılık A.Ş., böl. 1, 2004,

ss. 9–11.

- [15] T. Savaşkan, “Alaşımlı çelikler”, *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, 6.baskı, Trabzon, Türkiye: Celepler Matbaacılık, böl. 8, 2012, ss. 263–265.
- [16] S. C. Yorulmazer, “Paslanmaz Çelik Konstrüksiyonlarda Oluşan Distorsiyonların Etüdü”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [17] A.K. Dewangan, A.D. Patel and A.G. Bhadania, “Stainless Steel for Dairy and Food Industry: A Review”, *Journal of Material Science & Engineering*, c. 04, sayı 05, ss. 1–4, 2015.
- [18] S. Dourandish, M. Jahazi, G. R. Ebrahimi and L. Ebacher, “Influence of Eutectic Phase Precipitation on Cracking Susceptibility During Forging of a Martensitic Stainless Steel for Turbine Shaft Applications”, *Journal of Materials Research and Technology*, c. 13, sayı 1, ss. 260–270, 2021.
- [19] O. Mutlu, “AISI 304 Paslanmaz Çeliğinde Çok Adımlı Bilyalı Dövme Uygulamalarının Mikroyapı ve Malzeme Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, 2021.
- [20] M. Gwalior, “Stainless steel welding”, *Handbook on Stainless Steel Welding*, 1. baskı, India: Camtech, böl. 2, 2012, ss. 1–3.
- [21] Ö. Karaçalı, *Malzeme ve İmalat Teknolojileri Ders Notu-1, Ders Notları*, İstanbul, 2010.
- [22] H. Liua, L. Wei, M. Ma, J. Zheng, L. Chen and R. D. Kumar Misra, “Laves Phase Precipitation Behavior and High-Temperature Strength of W-Containing Ferritic Stainless Steels”, *Journal of Materials Research and Tecnology*, c. 9, sayı 2, ss. 2127–2135, 2020.
- [23] J. Tabin, “Kinematic and Thermal Characteristic of Discontinuous Plastic Flow in Metastable Austenitic Stainless Steels”, *Mechanics of Materials*, c. 163, sayı 1, ss. 1–16, 2021.
- [24] E. M. F. de Souza Silva, G. S. da Fonseca and E. A. Ferreira, “Microstructural and Selective Dissolution Analysis of 316L Austenitic Stainless Steel”, *Journal of Materials Research and Technology*, c. 17, sayı 3, ss. 1–22, 2021.
- [25] T. Türkoğlu, “Borlanmış AISI 304, AISI 420 ve AISI 430 Paslanmaz Çeliklerin İyapı, Sertlik ve Korozyona Dayanıklılık Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2017.
- [26] W. Jiang vd., “Effects of Nanostructural Hierarchy on the Hardness and Thermal Stability of an Austenitic Stainless Steel”, *Journal of Materials Research and Technology*, c. 12, sayı 7, ss. 376–384, 2021.
- [27] G. Gutierrez-Vargas, A. Ruiz, V. H. Lopez-Morelos, J.-Y. Kim, J. Gonzalez-Sanchez and A. Medina-Flores, “Evaluation of 475 °C Embrittlement in UNS S32750 Super Duplex Stainless Steel Using Four-Point Electric Conductivity Measurements”, *Nuclear Engineering and Technology*, c. 53, sayı 9, ss. 2982–2989, 2021.
- [28] A. N. de Moura, C. A. R. Neto, N. A. Castro, E. A. Vieira and M. Orlando,

- “Microstructure, Crystallographic Texture and Strain Hardening Behavior in Hot Tensile Tests of UNS S32304 Lean Duplex Stainless Steel”, *Journal of Materials Research and Technology*, c. 12, sayı 1, ss. 1065–1079, 2021.
- [29] D. Kotecki and F. Armao., “Weldability of stainless steels”, *Stainless Steels Welding Guide*, 1. baskı, A.B.D.: The Lincoln Electric Company, böl. 3, 2003, ss. 2–4.
- [30] A. Dede, U. Soy ve S. Aslanlar, “Sürtünme Kaynak Yöntemi”, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 6, sayı 1, ss. 7–12, 2002.
- [31] İ. Kırık ve N. Özdemir, “PLC Kontrollü Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak Makinesinin Tasarım ve İmalatı”, *International Conference on Welding Technologies and Exhibition*, 2012, ss. 1–7.
- [32] M. B. Uday, M. N. A. Fauzi, H. Zuhailawati and A. B. İsmail, “Advances in Friction Welding Process: a review”, *Science and Technology of Welding and Joining*, c. 15, sayı 7, ss. 534–558, 2010.
- [33] E. Akça ve A. Gürsel, “Solid State Welding and Application in Aeronautical Industry”, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, c. 4, sayı 1, ss. 1–8, 2016.
- [34] S. Anık, “Sürtünme kaynağı”, *Kaynak Tekniği El Kitabı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Gedik Eğitim Vakfı, böl. 12, 1991, ss. 134–137.
- [35] N. Kahraman ve B. Gülenç, “Sürtünme kaynağı”, *Modern Kaynak Teknolojisi*, 3. baskı, Ankara, Türkiye: Epamat Basım Yayın San. Ltd. Şti., böl.2, 2016, ss. 248–260.
- [36] M. Şahin, H. E. Akata ve K. Özel, “Soğuk Şekil Verilmiş Alüminyum Malzemelerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma”, *Mühendis ve Makina*, c. 48, sayı 573, ss. 24–31, 2007.
- [37] I. Kırık, N. Özdemir ve U. Çalgılı, “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*, c. 51, sayı 4, ss. 221–227, 2013.
- [38] S. Anık, S. Anık ve M. Vural, “Sürtünme kaynağı”, *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, böl. 1, 1993, ss. 209–214.
- [39] H. Ateş ve R. Bayındır, “Sürtünme Kaynak Makinası Otomatik Kumanda Devresi Tasarımı ve Uygulaması”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, sayı 2, ss. 201–206, 2003.
- [40] N. Katı, “Sürtünme Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş AISI 4340/ AISI 420 Çelik Çiftinin Burulma Davranışının İncelenmesi”, Doktora tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [41] Y. J. Chen, Y. W. Shi and X. P. Zhang, “Detection of Weak Bonding in Friction Welds by Ultrasound”, *Ultrasonics*, c. 36, sayı 1–5, ss. 141–146, 1998.
- [42] S. Mercan, “Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI 2205 / AISI 1020 Malzeme Çiftinin Mikroyapı ve Yorulma Davranışının Araştırılması”, Doktora tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2013.
- [43] P. S. Vishnu and M. S. Joseph, “Optimization of Friction Welding Parameters for

- Joining Medium Carbon Steels using Response Surface Methodology”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, c. 3, sayı 10, ss. 338–345, 2014.
- [44] M. Şahin, “Characterization of Properties in Plastically Deformed Austenitic-Stainless Steels Joined by Friction Welding”, *Materials & Design*, c. 30, sayı 1, ss. 135–144, 2009.
- [45] M. Yılmaz, “Farklı Takım Çeliklerinin Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1993.
- [46] M. Özasan, “Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demir / AISI 1040 Çelik Çiftinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye, 2019.
- [47] A. Gül, “Farklı Metalsel Malzemelerin Sürtünme Kaynağında, Kaynak Parametrelerinin Dikiş Özelliklerine Etkisi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [48] R. R. Kumar, J. M. Babu, V. K. B. Raja, K. Palanikumar, G. P. Bhargav and M. Alphonse, “Investigation on Mechanical Properties of Ti-6Al-4 V & SS-304L Frictional Welding Process”, *Materials Today: Proceedings*, c. 46, sayı 9, ss. 3561–3565, 2021.
- [49] Z. Dang, G. Qin and H. Ma, “Interfacial Microstructural Characterization and Mechanical Properties of Inertia Friction Welding of 2219 Aluminum Alloy to 304 Stainless Steel”, *Materials Science & Engineering A*, c. 822, ss. 1–12, 2021.
- [50] D. Dinç, “AISI 1040 ve AISI 304 Çeliklerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilebilirliğinin Araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2006.
- [51] S. Mercan, S. Aydın ve N. Özdemir, “Effect of Welding Parameters on the Fatigue Properties of Dissimilar AISI 2205 - AISI 1020 Joined by Friction Welding”, *International Journal of Fatigue*, c. 81, ss. 78–90, 2015.
- [52] M. Taşkın, V. V. Çay ve N. Özdemir, “Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI 430/Ç 1010 Çelik Çiftinin Arayüzey Mikroyapı Değerlendirmesi”, *Teknoloji*, c. 8, sayı 1, ss. 65–70, 2005.
- [53] 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*, c. 59, ss. 2504–2509, 2005.
- [54] S. Çelik ve İ. Ersözlü, “Investigation of the Mechanical Properties and Microstructure of Friction Welded Joints Between AISI 4140 and AISI 1050 Steels”, *Materials and Design*, c. 30, ss. 970–976, 2009.
- [55] S. Ozan ve V. V. Çay, “Sürtünme Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş AISI 420/AISI 1010 Çelik Çiftinin Arayüzey Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi”, *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, c. 2, sayı 3, ss. 174–179, 2004.
- [56] I. Kırık ve N. Özdemir, “Weldability and Joining Characteristics of AISI 420/AISI

- 1020 Steels Using Friction Welding”, *International Journal of Materials Research*, c. 104, sayı 8, ss. 769–775, 2013.
- [57] M. Hong, G. Qin, P. Geng, F. Li, X. Meng and B. Fu, “Effect of Post-Weld Heat Treatment on Friction Welded Joint of Carbonsteel to Stainless Steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 227, ss. 24–33, 2016.
- [58] R. N. Shubhavardhan and S. Surendran, “Friction Welding to Join Dissimilar Metals”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, c. 2, sayı 7, ss. 200–210, 2012.
- [59] N. Katı, “AISI 420 Çeliğinin Sürtünme Kaynak Yöntemi ile Birleştirilebilirliğinin Araştırılması”, *Technological Applied Sciences*, c. 9, sayı 3, ss. 22–30, 2014.
- [60] İ. Kırık ve N. Özdemir, “Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Sürtünme Kaynak Makinesi İmalatı ve Farklı Özellikteki AISI 1040/AISI 304L Çelik Çiftlerinin Sürtünme Enerjisi Kullanılarak Birleştirilmesi”, *Technological Applied Sciences*, c. 7, sayı 3, ss. 60–72, 2012.
- [61] F. Sarsılmaz, İ. Kırık ve M. Ay, “Sürtünme Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmiş SCR 420/AISI 1040 Çelik Çiftlerinin Arayüzey Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi”, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 29, sayı 2, ss. 51–56, 2017.
- [62] M. Balasubramanian, S. Murali, C. Hemadri and R. Kumar, “A New Method of Dissimilar Friction Welding of Titanium to Stainless Steel”, *Materials Today: Proceedings*, c. 46, sayı 9, ss. 3644–3647, 2021.
- [63] A. Karabulut ve S. Taşgetiren, “Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynak Makinesi Tasarım ve İmalatı”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 3, ss. 38–50, 2004.
- [64] S. Batı, M. Kılıç ve İ. Kırık, “Friction Welding of Dissimilar AISI 304 and AISI 8640 Steels”, *European Journal of Technic*, c. 6, sayı 2, ss. 79–86, 2016.
- [65] N. Özdemir, F. Sarsılmaz ve A. Hasçalık, “Effect of Rotational Speed on the Interface Properties of Friction-Welded AISI 304L to 4340 Steel”, *Materials and Design*, c. 28, ss. 301–307, 2007.
- [66] P. Geng, G. Qin and J. Zhou, “Numerical and Experimental Investigation on Friction Welding of Austenite Stainless Steel and Middle Carbon Steel”, *Journal of Manufacturing Processes*, c. 47, ss. 83–97, 2019.
- [67] C. Odabaş, “Paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti”, *Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., böl. 2, 2007, ss. 3–5.
- [68] A. Z. Şahin, B. S. Yılbaş ve A. Z. Al-Garni, “Friction Welding of Al-Al, Al- Steel, and Steel-Steel Samples”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, c. 5, sayı 1, s. 89, 1996.
- [69] M. Şahin, “Joining with Friction Welding of High-Speed Steel and Medium Carbon Steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 168, s. 202, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sunay AKYAY

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2022
Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2017
Lise	Fen Bilimleri	Köksal Toptan Lisesi	2011

İŞ DURUMU

Firma	Pozisyon	Yıl
Realkom Tekstil A.Ş.	Periyodik Bakım Mühendisi	2019-2020

YAYINLAR

S. Apay, S. Karadağ, “Microstructure Properties Of E360/AISI 420 Stainless Steel Joint By Friction Welding”, *IV International Conference On Engineering And Natural Sciences (ICENS 2018)*, Kiev, Ukrayna, 2018.