

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA FARKLI KAYNAK
PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Mehmet BOZU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2007

ANKARA

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA FARKLI KAYNAK
PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Mehmet BOZU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2007

ANKARA

Mehmet BOZU tarafından hazırlanan, SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA FARKLI KAYNAK PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Öğrt. Görv. Dr. Murat Tolga ÖZKAN
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliğiyle Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Kürşad DÜNDAR

Üye : Doç. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil DEMİR

Üye : Dr. Murat Tolga ÖZKAN (Danışman)

Tarih : 18 / 07 / 2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mehmet BOZU

SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞINDA FARKLI KAYNAK PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet BOZU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2007

ÖZET

Sürtünme kaynağının yeni geliştirilen modeli olan sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile Al 7075 T6 malzemelerin alın kaynağı yapılmıştır. Bu yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak sürtünme karıştırma kaynağı sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Kaynak yapılırken karıştırıcı takımın uç şekli, karıştırıcı takım alın şekli, devir sayısı, ilerleme hızı ve kalıp pozisyonu gibi değişken parametreler dikkate alınmıştır. Kaynak esnasında oluşan sıcaklıklar, ısı çiftler (termokuplar) yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen kaynak numunelerine çekme deneyi ve yüzey pürüzlülük deneyi yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonunda artan ilerleme hızının, kaynak yapılmış numunelerde çekme dayanımının arttığı, artan devir sayısının yüksek ısı girdisi sağlamasından dolayı çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. En iyi mekanik özellikleri A tipi karıştırıcı takım, 900 dev/dak devir sayısı ve 20 mm/dak ilerleme hızında kaynak yapılmış olan numuneler sağlamıştır. İlerleme değeri arttıkça kaynakta oluşan sıcaklığın azaldığı devir sayısı artıkça ise sıcaklığın arttığı görülmektedir. Yüzey pürüzlülük deneyi sonucunda ilerleme hızı artıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 708.1.090
Anahtar Kelimeler : Sürtünme Karıştırma Kaynağı
Sayfa Adedi : 130
Tez Yöneticisi : Dr. Murat Tolga ÖZKAN

**EXPERIMENTAL OBSERVATION OF DIFFERENT WELDING
PARAMETERS FRICTION STIR WELDING**

(M.Sc. Thesis)

Mehmet BOZU

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2007

ABSTRACT

Butt welding has been treated to Al 7075 T6 materials through friction stir welding method which is a brand-new way introduced in friction welding. Friction stir welding has been modelled with finite elements method by evaluating the derived conclusions from the works have been done up to present. While welding in progress, such variables as needle form of the stirrer tool, butt form of the stirrer tool, spindle speed, feed rate and position of the mould; are used as parameters. Temperature values of the welding were measured using thermocouple. Tensile strenght and surface roughness experiments have been conducted to the welding samples. After some experiments it has been observed that, rising feed rate increase tensile strength in welded samples whereas rising spindle speed weakens tensile strength due to the high level heat occurance. Best mechanical properties have been designated by those samples which are welded with 20mm/m feed rate, 900 rpm spindle speed and A-type stirrer tool.

Moreover, it is observed that increasing feed rate value concludes with lower temperature occurrence while higher spindle speeds leads to higher temperature values. Surface roughness experiment concluded in that the higher the feed rate is the lower the surface roughness value.

Science Code : 708.1.090
Key Words : Friction Stir Welding
Page Number: 130
Adviser : Dr. Murat Tolga ÖZKAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Dr. Murat Tolga ÖZKAN'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocalarım Dr. Hasan Basri ULAŞ'a ve Yrd. Doç. Dr. Halil DEMİR'e, sıcaklık ölçme deney takımını kullanmam için izin veren hocam Dr. Abdülmecit GÜLDAŞ'a, ayrıca numunelerin hazırlanması ve kaynağın yapılması için takım tezgahlarını kullanma olanağı sağlayan ŞİRİNLER MAKİNA sahibi Ali Bey'e, ŞİRİNLER MAKİNA çalışanlarına, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli ailem ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK TEKNİKLERİ	25
3.1. Sürtünme Kaynak Tekniği	25
3.1.1. Sürtünme kaynak yöntemleri	28
3.1.2. Sürtünme kaynağının avantajları.....	29
3.1.3. Sürtünme kaynağının dezavantajları	30
3.1.4. Sürtünme kaynağı yapılabilen malzemeler	30
3.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağı.....	30
3.2.1. Sürtünme karıştırma kaynağının temel ilkesi.....	31
3.2.2. Sürtünme karıştırma kaynağının kaynak dikiş şekli ve metalürjik yapısı	33
3.2.3. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takım uç şekilleri ve takım özellikleri	35
3.2.4. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilen malzemeler	38

Sayfa

3.2.5. Sürtünme karıştırma kaynağında etkin olan kaynak parametreleri.....	41
3.2.6. Sürtünme karıştırma kaynağının kullanım alanları	42
3.2.7. Sürtünme karıştırma kaynağının avantajları	45
3.2.8. Sürtünme karıştırma kaynağının dezavantajları.....	47
4. MALZEME SEÇİMİ VE KAYNAĞIN YAPILIŞI.....	48
4.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yapılmasında İşlem Sırası	48
4.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yapılmasında Kullanılan Malzemenin Seçilmesi	48
4.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapımında Kullanılan Malzemenin Tedarik Edilmesi ve Kaynak Yapımına Uygun Hale Getirilmesi.....	53
4.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapımında Kullanılan Kalıbın Tasarlanması ve İmal edilmesi.....	55
4.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapımında Kullanılan Karıştırıcı Takımların Tasarlanması ve İmal Edilmesi	59
4.5.1. HSS çeliğinden imal edilmiş takımların imalat aşaması.....	61
4.5.2. 115 CrV3 çeliğinin özellikleri.....	62
4.5.3. 90 MnV8 çeliğinin özellikleri	63
4.5.4. Ç 512200 çeliğinin özellikleri.....	65
4.5.5. Ç 4140 çeliğinin özellikleri.....	67
4.6. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Esnasında Oluşan Sıcaklığı Ölçmek İçin Kullanılan Deney Düzeneginin Kurulması.....	69
4.7. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Esnasında Oluşan Sıcaklıkların Ölçülmesinde Kullanılan Isıl Çiftlerin Kalibrasyonu	70
4.8. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapımında Kullanılan Makine Özellikleri.....	72
4.9. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yapılışı.....	73

Sayfa

4.10. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Esnasında Ölçülen Sıcaklıklar	83
4.11. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılan Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü	88
4.12. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılan Parçalara Çekme-Kopma Deneyinin Yapılması.....	89
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	98
EKLER.....	102
EK-1 Al 7075 T6 Malzemelerin imalat resimleri	103
EK-2 Bağlama kalıbının ilk tasarlanan şeklinin imalat resimleri	104
EK-3 Bağlama kalıbının imalat resimleri	106
EK-4 Uç boyu 4,8 mm olan karıştırıcı takımların imalat resimleri	109
EK-5 Uç boyu 9,8 mm olan karıştırıcı takımların imalat resimleri	112
EK-6 Uç boyu 9,8 mm olan helisel alın kanallı karıştırıcı takımların imalat resimleri.....	115
EK-7 Uç boyu 9,8 mm olan düz alın kanallı karıştırıcı takımların imalat resimleri.....	118
EK-8 Deney düzeneği şematik gösterimi.....	121
EK-9 HEIDENHAIN TNC 155 kontrol ünitesine uygun CNC programı	122
EK-10 Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan parametreler tablosu	124
ÖZGEÇMİŞ	130

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Isıl özellik.....	10
Çizelge 2.2. Alüminyum plaka ve takım ölçüleri	10
Çizelge 2.3. Geçerli viskozite parametreleri	11
Çizelge 4.1. Al 2024 T4 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%).....	51
Çizelge 4.2. Al 2024 T4 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri	51
Çizelge 4.3. Al 7075 T6 Alüminyum alaşımının fiziksel özellikleri	52
Çizelge 4.4. Al 5083 T6 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%).....	52
Çizelge 4.5. Al 5083 T6 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri	52
Çizelge 4.6. Al 5083 T6 Alüminyum alaşımının fiziksel özellikleri	52
Çizelge 4.7. Al 7075 T6 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%).....	53
Çizelge 4.8. Al 7075 T6 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri	53
Çizelge 4.9. Al 7075 T6 Alüminyum alaşımının fiziksel özellikleri	53
Çizelge 4.10. 115 CrV3 çeliğinin kimyasal bileşimi (%)	62
Çizelge 4.11. 115 CrV3 çeliğinin ısıtım işlem özellikleri (°C)	63
Çizelge 4.12. 115 CrV3 çeliğinin sertlik özellikleri	63
Çizelge 4.13. 90 MnV8 çeliğinin kimyasal bileşimi (%).....	64
Çizelge 4.14. 90 MnV8 çeliğinin ısıtım işlem özellikleri (°C).....	64
Çizelge 4.15. 90 MnV8 çeliğinin sertlik özellikleri.....	64
Çizelge 4.16. 90 MnV8 çeliğinin ebada göre sertleşme kabiliyeti	64
Çizelge 4.17. Ç 512200 çeliğinin kimyasal bileşimi (%)	65
Çizelge 4.18. Ç 512200 çeliğinin ısıtım işlem özellikleri (°C)	65

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.19. Ç 512200 çeliğinin sertlik özellikleri.....	66
Çizelge 4.20. Ç 512200 çeliğinin ebada göre sertleşme kabiliyeti	66
Çizelge 4.21. Ç 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi (%)	67
Çizelge 4.22. Ç 4140 çeliğinin ısıt işlemler özellikleri (°C)	68
Çizelge 4.23. Ç 4140 çeliğinin sertlik özellikleri.....	68
Çizelge 4.24. Ç 4140 çeliğinin ebada göre sertleşme kabiliyeti [42]	68
Çizelge 4.25. Yatay işleme tezgâhının özellikleri [43]	72
Çizelge 4.26. Takım tiplerinin gösterilişi.....	79
Çizelge 4.27. Takım tiplerinin özellikleri	80

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. 7050 Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin gösterilişi	5
Şekil 2.2. Sonlu elemanlar modeli	6
Şekil 2.3. Karıştırıcı ucun hareket yönü.....	6
Şekil 2.4. Malzeme içine takım girme bölgesindeki akış çizgisi	11
Şekil 2.5. Hız modülleri	12
Şekil 2.6. Malzeme hız ve sıcaklık alanları.....	12
Şekil 2.7. Sıcaklık alanları	13
Şekil 2.8. Deneysel sonuçlar ile simülasyondan elde edilen sonuçların karşılaştırılması	13
Şekil 2.9. İş parçası ve dönen takımın sonlu elemanlar modeli.....	16
Şekil 2.10. “ALE” yaklaşımı kullanılarak FSW işleminin hesapsal modeli gösterilmektedir.....	17
Şekil 2.11. Dönen ve ötelenen takım çevresindeki hız profilinin “LSDYNA” içindeki “CFD” yaklaşımı kullanılarak FSW işleminin hesapsal modelinin oluşturulması gösterilmektedir.....	18
Şekil 2.12. Alüminyumun FSW karşısındaki artık gerilmeleri.....	19
Şekil 2.13. Titanyumun FSW karşısındaki artık gerilmeleri.....	19
Şekil 2.14. 7050 Al içindeki “LPB” artık gerilme profili	20
Şekil 2.15. 7050 malzemenin sürtünme karıştırma kaynağının “LPB” uygulamasına göre “HCF” ilerlemeleri.....	21
Şekil 2.16. Takım iş parçası merkezindeyken iş parçası alt yüzeyindeki gerilme dağılımı	23
Şekil 2.17. Birleştirilmiş takım ve iş parçası modelinin birleşme çizgisinden boyuna kesit alınmış haldeki hesaplanmış sıcaklık alan dağılımı ($V=133$ mm/dak, $\omega=344$ rpm) [15]	24

Şekil	Sayfa
Şekil 2.18. Birleşme çizgisine 6 mm uzaklıkta yerleştirilmiş ısı çiftleri ile ölçülmüş sıcaklık-zaman grafiği ile modelleme sonucu elde edilen sıcaklık-zaman grafiklerinin karşılaştırılması ($V=133$ mm/dak, $\omega=344$ rpm)	24
Şekil 3.1. Sürtünme kaynağının yapım aşaması	27
Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağının yapım aşaması	32
Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi	33
Şekil 3.4. Soğuk olmayan kaynak koşulları için sürtünme karıştırma kaynağının büyütülmüş şematik gösterimi	34
Şekil 3.5. Basit sürtünme karıştırma kaynağı takımları	36
Şekil 3.6. Bazı tipik sürtünme karıştırma kaynağı takımları	37
Şekil 4.1. Zig zag şeklinde tasarlanmış ısı çiftlerinin yerleştirileceği delikler	56
Şekil 4.2. Düz şeklinde tasarlanmış ısı çiftlerinin yerleştirileceği delikler	56
Şekil 4.3. Kalıp üzerindeki kanallar	57
Şekil 4.4. Uç boyu 4,8 mm olan HSS çeliğinden imal edilen takımlar	59
Şekil 4.5. Uç boyu 9,8 mm olan HSS çeliğinden imal edilen takımlar	60
Şekil 4.6. Uç boyu 9,8 mm olan Ç 512200 ve Ç 4140 çeliğinden imal edilen takımlar	61
Şekil 4.7. Takımın geri kaçmasını önleyen kademe	67
Şekil 4.8. Isıl çift yerleşim planı	70
Şekil 4.9. Isıl çift kalibrasyon grafiği	71
Şekil 4.10. J tipi ısı çift kalibrasyon değerlerine göre sıcaklık değerleri	71
Şekil 4.11. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında kalıbın bağlama konumları	79
Şekil 4.12. İlerleme hızının sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa etkisi	84

Şekil	Sayfa
Şekil 4.13. Devir sayısının sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa etkisi	84
Şekil 4.14. Takım uç profilinin sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa etkisi	85
Şekil 4.15. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklıkların zamana göre artış grafiği	86
Şekil 4.16. Karıştırıcı takımın dönüş yönünün ve kalıba verilen açının sürtünme karıştırma kaynağı esnasındaki oluşan sıcaklığa etkisi	86
Şekil 4.17. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklığın zamana bağlı olarak değişimi	87
Şekil 4.18. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklıkların farklı ısı çiftlerindeki değişimi.....	87
Şekil 4.19. İlerleme hızına göre yüzey pürüzlülüğünün değişimi.....	88
Şekil 4.20. Çekme-Kopma deneye numunesi boyutları.....	90
Şekil 4.21. Karıştırıcı takım uç tipine göre çekme-kopma dayanım sonuçları	90
Şekil 4.22. B tipi takım devir sayısına göre çekme-kopma dayanım sonuçları	91
Şekil 4.23. B tipi takım ilerleme hızına göre çekme dayanım sonuçları.....	92
Şekil 4.24. B tipi takım ve S=900 dev/dak, V=15 mm/dak için çekme deney grafiği	93
Şekil 4.25. B tipi takım ve S=900 dev/dak, V=17 mm/dak için çekme deney grafiği	93
Şekil 4.26. B tipi takım ve S=900 dev/dak, V=20 mm/dak için çekme deney grafiği	93

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Al 7075 T6 Malzemelerin kaynak yapılmış hali önden bakış	49
Resim 4.2. Al 2024 T4 Malzemelerin kaynak yapılmış hali	50
Resim 4.3. Al 5083 T6 Malzemelerin kaynak yapılmış hali	51
Resim 4.4. Al 7075 T6 Malzemelerin kaynak yapımına hazır hali	54
Resim 4.5. Al 7075 T6 Malzemeler üzerine delik delinmesi.....	55
Resim 4.6. Sürtünme karıştırma kaynağı bağlama kalıbı pabucu.....	57
Resim 4.7. Sürtünme karıştırma kaynağı kalıp koruyucu plaka	58
Resim 4.8. Sürtünme karıştırma kaynağı bağlama kalıbı	58
Resim 4.9. Sürtünme karıştırma kaynağı bağlama kalıbı ve pabuçlar.....	59
Resim 4.10. Sürtünme karıştırma kaynağının yapılışı sırasında kırılan takımlar	60
Resim 4.11. HSS çeliğinden imal edilmiş uç boyu 4,8 mm olan takımlar	62
Resim 4.12. HSS çeliğinden imal edilmiş uç boyu 9,8 mm olan takımlar	62
Resim 4.13. 115 CrV3 çeliğinden imal edilmiş uç boyu 4,8-9,8 mm olan takım.....	63
Resim 4.14. 90 MnV8 çeliğinden imal edilmiş 9,8 mm boyundaki takım	65
Resim 4.15. Ç 512200 çeliğinden imal edilmiş helisel takımlar	66
Resim 4.16. Ç 4140 çeliğinden imal edilmiş kanallı takım	68
Resim 4.17. J tipi ısı çift	69
Resim 4.18. Sürtünme karıştırma kaynağının yapıldığı tezgâhın görünüşleri	72
Resim 4.19. Kalıbın makine tablasına bağlanması üstten görünüş.....	74
Resim 4.20. Kalıbın makine tablasına bağlanması açılı görünüş	74

Resim	Sayfa
Resim 4.21. Kaynak yapılacak parçaların kalıp üzerine bağlanmış hali.....	75
Resim 4.22. Isıl çiftlerin kalıp üzerine yerleştirilmiş hali	75
Resim 4.23. Sürtünme karıştırma kaynağının gösterilişi	77
Resim 4.24. Sürtünme karıştırma kaynağının saat ibresi yönünde dönen ucu vidalı takım ile yapılmış şekli	77
Resim 4.25. Sürtünme karıştırma kaynağının saat ibresinin tersi yönünde dönen ucu vidalı ve alnı düz kanallı takım ile yapılmış şekli önden görünüşü	78
Resim 4.26. Sürtünme karıştırma kaynağının saat ibresinin tersi yönünde dönen ucu vidalı ve alnı helisel kanallı takım ile yapılmasından elde edilmiş numune	78
Resim 4.27. Kaynak yapılmış parçaların gösterilişi.....	81
Resim 4.28. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmasında kullanılan takımlar	81
Resim 4.29. Kaynak esnasında takımın parça içine dalması esnasında kalıpta oluşan deformasyon	82
Resim 4.30. Sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynatılmış parçalar.....	82
Resim 4.31. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan parçanın kesiti.....	83
Resim 4.32. Çekme-Kopma deneyi için hazırlanmış numuneler.....	89
Resim 4.33. Çekme-Kopma deney numunelerinin çekme deneyinden sonraki görünüşü	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
ρ	Yoğunluk
p	Hisrostatik basınç
C_p	Özgül ısı
k	Isıl iletkenlik
R	İdeal gaz sabiti
T	Mutlak sıcaklık
θ	Sıcaklık
μ	Viskozite
E	Elastikiyet modülü
v	Gerilme
V	İlerleme hızı
S	Devir sayısı
ω	Açısal Hız
σ	Cauchy gerilme tansörü
S	Gerilme ayırma tansörü
D	Deformasyon hız tansörü
∇	Delta
Ω	Omega
σ	Gerçek gerilme
γ	Isı üretimi iç oranı
η	Mikro yapısal hatalar

Kısaltmalar	Açıklama
HRC	Rockwell C- Sertliği
Rm	Kopma Dayanımı
Ra	Yüzey Pürüzlülüğü
TWI	İngiliz Kaynakçılık Enstitüsü
ALE	Arbitrary Eulerian Langrangran
CFD	Sonlu elemanlar program modülü
LSDYNA	Sonlu elemanlar program modülü
FSW	Sürtünme Karıştırma Kaynağı (Friction Stir Welding)
LPB	Düşük Plastisiteli Haddeleme (Low Plasticity Burnishing)
DEB	Dinamik etkilenen bölge
TEB	Termodinamik olarak etkilenen bölge
ITAB	Isının tesiri altındaki bölge
GTAK	Gaz tungsten ark kaynağı
GMAK	Gaz metal ark kaynağı
GDYS	Genel Dinamik Yer Sistemleri
EKE	Edison Kaynakçılık Enstitüsü
HSS	Yüksek Hız Çeliği
MKE	Makine Kimya Endüstrisi
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
DIN	Alman Endüstri Normu
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
FEA	Sonlu Elemanlar Analizi

1. GİRİŞ

Kaynaklı birleştirmeler günlük hayatımızın her safhasında karşılaştığımız ve kullandığımız bir birleştirme türüdür.

Kaynak; Birbirinin aynı veya ergime aralıkları yakın iki ya da daha fazla metalik veya termoplastik parçayı ergitmeli veya ergitmesiz, ek malzeme ilave ederek ya da etmeden birleştirme işlemidir.

Kaynaklı birleştirmeler tarih boyunca insanların ihtiyacı olan araç ve gereçleri elde etme çalışmaları ile ortaya çıkmıştır. İhtiyaçların sınırsız olması teknolojiye gelişmenin başlıca sebeplerindendir. Kaynaklı birleştirmelerde, başlangıçta iki metal malzemenin birbiriyle birleştirilmesi ihtiyacından doğmuştur. Ancak daha sonraları, sadece birleştirmenin yeterli olmayacağı, kaynaklı birleştirmeler malzeme özelliklerini etkilemeden kaynaklı birleştirmelerin gerçekleştirilebilmesini araştırmışlardır. Buradan hareketle kaynak teknikleri ergitmeli ve ergitmesiz kaynak metotları olarak iki şekilde gruplandırılmıştır. Ergitmeli kaynak yöntemlerinde birleştirilen metalik malzemelerin birleşme yüzeylerinin ergimesi ve eriyik karışımının katılaşması sonucu metaller birleştirilirken, ergitmesiz kaynak yönteminde metalik malzemeler ergitilmeden, malzemelerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta malzeme katı halde iken birleşme sağlanmaktadır. Günümüzde, ileri teknolojilerin uygulandığı gelişmiş makine elemanlarının kaynaklı birleştirilmelerinde faz dönüşümleri ve plastik deformasyon istenmeyen bir durumdur. Bu olumsuzlukları gidermek, ancak malzemelerin mekanik ve metalürjik özelliklerini etkilemeyecek kadar düşük sıcaklıklarda yapılan birleştirme işlemleri ile mümkündür [1].

Sürtünme karıştırma kaynağının bir modeli, kaynak sırasında meydana gelen termo-mekanik yükleme ve koşullar altındaki malzemenin mikro yapısındaki değişim, ısı üretimi, plastik deformasyon ve kaynak takımının geometrisi arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılması amacıyla geliştirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta modelin, uygulama sırasında parametrik çalışmalara karşı göstermiş olduğu

davranışlardır. Yani işlem parametreleri ve takım hızı değiştirildiğinden modelin, sıcaklık ve gerilme dağılımının sonuçlarıdır. Model, vanadyum alaşımları ve sertleştirilmiş çelik çeşitleri gibi, malzemelerdeki nükleer kaynaşmalar için işlem parametrelerini araştırmak amacıyla uygulanabilir [2].

İyi mekanik özellikleri, lityum ile iyi uyumlu olması, yüksek ısı iletkenliği, zarar ve kabarıklıklara karşı parlaklığından dolayı iç direnç göstermesi gibi iç yapısından kaynaklanan nedenlerden dolayı vanadyum alaşımları nükleer kaynaşma için en uygun malzemelerdendir. Yukarıdaki özellikleri azaltmaksızın büyük vanadyum alaşımlarını nükleer kaynaşma ile birleştirmek için fabrikasyon birleştirme teknikleri veya uygulamaları gerekmektedir. Elektro-ark kaynağı, elektron kaynağı, lazer kaynağı birleştirme tekniklerine rağmen kaynak sırasında katı-sıvı karışımı element oksijen ve hidrojen yakalayarak reaktif doğal vanadyum alaşımları özelliklerini kaybetmektedirler. Son zamanlarda, vanadyum alaşımlarına uygun tekniklerin ve atmosfer şartlarının aranmasına rağmen bu element için uygun kaynak tekniği bulunamamıştır. Bu yüzden alternatif kaynak teknolojileri araştırılmaya başlanmıştır [2].

Ark kaynak yöntemi, alın yakma veya direnç kaynak yöntemi gibi ergitme kaynak yöntemleri ile kaynatılması güç olan metaller ile bu metallerin alaşımları kendi aralarında sürtünme kaynak yöntemi ile kolayca kaynatılabilirler. Farklı metallerin kaynağı fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonları nedeni ile ergitme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmeleri hemen hemen imkânsız gibidir. Farklı metal ve alaşımlarının kaynağına mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı gidermek amacı ile yapılan çalışmalar sonucunda sürtünme kaynak yöntemi ile sürtünme karıştırma kaynak yöntemi bulunmuştur. Bu yöntem bir ergitme kaynak yöntemi değildir. Kaynatma sırasında ergime olmadığından katılaşma da olmamaktadır. Dolayısıyla katılaşma sırasında oluşabilecek kristal yapı farklılaşması, erimiş metal içersinde yabancı madde kalma riski ve katılaşma hızına bağlı olarak meydana gelebilecek çatlamlar sürtünme kaynak yönteminde görülmez. Sürtünme kaynağında yüzeyler arasındaki difüzyonun iyi olması için sürtünme kaynak parametrelerinin iyi tayin edilmesi gerekmektedir [3].

Sürtünme karıştırma kaynağı farklı alaşımların birleştirilmesinde ve ürün kaynağında üstün metalürjik özellik ve dayanıklılık göstermektedir. Bu özellikleri sürtünme karıştırma kaynağının gelecek için ümit vaat ettiğini göstermektedir [4].

Sürtünme karıştırma kaynağı, sürtünme kaynağının bir türevi olup kaynak sonrası herhangi bir boşluk, çatlak veya deformasyon meydana gelmeksizin güvenli bir kaynak yapmanın çok zor olduğu birçok malzemenin birleştirilmesini kolaylaştırmıştır. Birçok sanayi kuruluşu bu tekniği üretimlerinde kullanmak için pilot çalışmalar yürütmektedir [5].

Günümüzde uçak, tren, roket, otomobil, gemi, ve helikopter gibi araçların imalatında hafif olmasına rağmen, mekanik özellikleri çok iyi olan alüminyum alaşımlar büyük oranda kullanılmaktadır. Ancak alüminyum ve alaşımlarının ergitme kaynak teknikleri ile kaynatılması hem problemlidir hem de zordur. Bu problemlerin çözümü için yeni bileştirme tekniklerinin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, alüminyum alaşımlarının problemsiz ve kolay birleştirilmesi amacıyla geliştirilmiş ve endüstrideki uygulamalarına başlanmış bir birleştirme tekniğidir [5,6].

Sürtünme karıştırma kaynak tekniği, günümüz endüstrisinde yaygın olarak levha halindeki alüminyum, bakır, kurşun ve plastik gibi malzemelerin birleştirilmesinde, uzay mekiklerinde kullanılan yakıt tankı imalatında, otomobil gövde parçalarının imalatında, feribotların alüminyum güverte imalatında, tren, uçak, gövde parçalarının imalatında, alüminyum ekstrüzyon levhaların birleştirilmesinde ve büyük paneller haline getirilmesinde kullanılmaya başlanılmıştır [7,8].

Sürtünme karıştırma kaynağı ilk olarak 1990 yılında TWI'da (İngiliz Kaynakçılık Enstitüsü) bulunmuş ve bu tarihten sonra Amerika, Japonya, Avustralya, İngiltere ve Avrupa'nın birçok ülkesindeki endüstriyel şirketler, bu birleştirme yöntemini kullanmaya başlamışlardır [1]. Sürtünme karıştırma kaynağının geliştirilmesi ile ilgili yapılan araştırmalar sayesinde tüm dünyada 2000 yılına kadar 225 adet patent

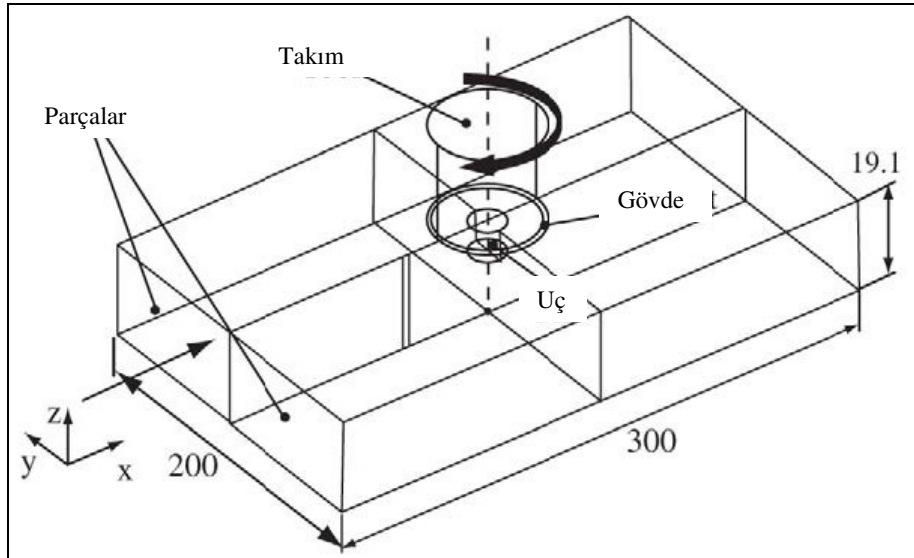
alınması bu kaynak yönteminin ne derece önemli bir kaynak yöntemi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Yapılan bu çalışmanın ana amacı, sürtünme karıştırma kaynağını yapmaktan ziyade malzeme mukavemeti açısından irdelemek, kaynak esnasında oluşan sıcaklıkları belirlemek, devir sayısı, ilerleme hızı, kaynak kalıbı ile karıştırıcı takım arasındaki açı, karıştırıcı takım dönüş yönü ve karıştırıcı takım uç profilinin kaynağın oluşumuna etkisini araştırmaktır. Ayrıca Sürtünme karıştırma kaynağı yapımında en önemli aşamalardan biri olan bağlama kalıbının kaynak oluşumuna etkilerini irdelemektir.

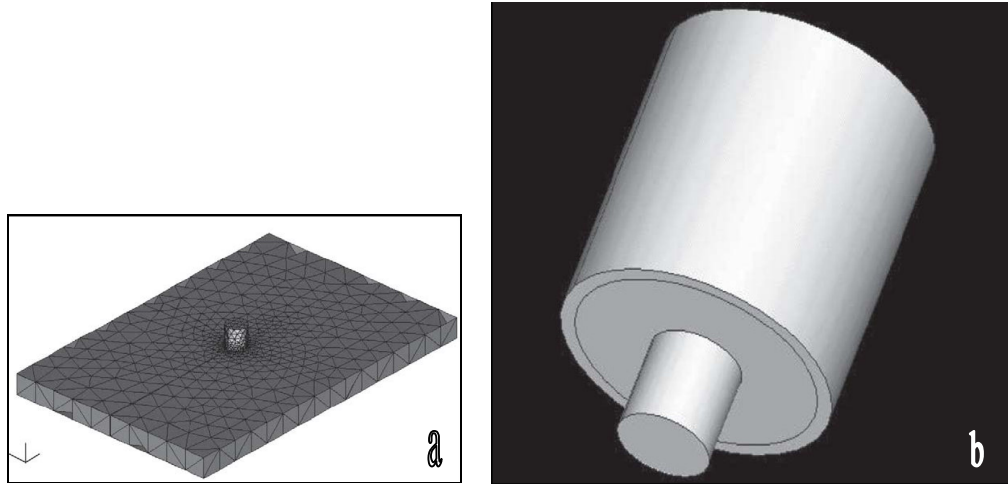
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi katı hal kaynak tekniği olup, malzemelerin ergime derecelerinden daha düşük bir sıcaklıkta birleştirme işlemidir. Sürtünme karıştırma kaynağı, sabitlenmiş iki levhaya yüksek devir sayısında dönen karıştırıcı takımın daldırılarak kaynak yapılmak istenen uzunluk boyunca belirli ilerleme hızında hareket etmesiyle yapılır. Sürtünme karıştırma kaynağı sayesinde bir çok uzay uygulamasında birleştirme elemanları ortadan kaldırılabilir ve önemli maliyet azalmaları olabilir.

Diego ve arkadaşlarına göre; Sürtünme karıştırma kaynak yöntemiyle yapılan kaynak işlemi; sadece mekanik enerji girişiyle iki tabakanın veya kalın plakanın birleştirilmesi tekniğidir. Şekil 2.1’de sürtünme karıştırma kaynağı işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Takım aslında dönen bir katı silindir ile birlikte ucuna eklenmiş vida açılmış küçük bir çapın birleşmesinden meydana gelmiştir (Şekil 2.2). Ana silindir kaynak yapılırken malzemeden parçaların ayrılmasını önlemektedir ve böylece kaynak bölgesinde oluşacak hataların boşlukların oluşmasını engellemektedir [9].

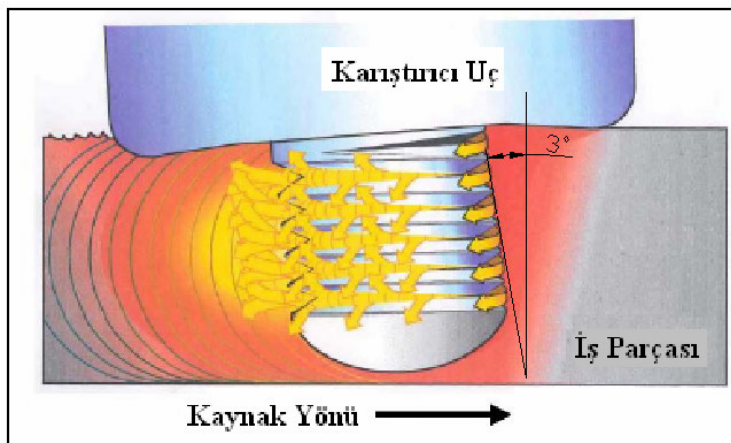


Şekil 2.1. 7050 Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin gösterilişi [9]



Şekil 2.2. Sonlu elemanlar modeli a) 7050 dört yüzlü modeli b) Takım modeli [9]

Silindirik parça iş parçası yüzeyi ile temas ederek kaynak yapılırken kaynak parçasını temas eden takımın dışarı çıkarmaya zorladığı malzemelerin kaynak bölgesinden çıkmasını engelleyerek parçanın kaynatılmasını sağlar. Takımın ek yeri boyunca dönerek ilerlemesi sırasında oluşan sürtünme ısısından dolayı yumuşamış malzemenin parça içine doğru akışıyla burada sağlam bir kaynak yapılmış olur. Bu yüzden “katı fazla” yapılan kaynak yüksek kalitede olur. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi kaynak külçe oluşumunu kolaylaştırmak için ekseninin dikey yönde birkaç derece ($2 - 3^\circ$) eğik olmasına dikkat etmek gerekir [9].



Şekil 2.3. Karıştırıcı ucun hareket yönü [3]

Sürtünme karıştırma kaynak işlemi sırasında, kaynağı gerçekleştiren ucun malzemeye giriş yapan kısmında M8 x 10 mm boyunda diş bulunduğundan, burada aşağı ve yukarı yönlü hareket meydana gelmiştir. Bu hareketlerin önlenmesi için uç üzerinde gerekli tasarım değişikliği yapılmıştır [3].

Çok önemli olmasına rağmen sürtünme karıştırma kaynağı işlem modellerinin oluşturulması hakkında deneysel verilerin kaydedilmesine oranla daha az yayın yapılmıştır.

Gould, sürtünme karıştırma kaynağındaki ısı akışı için bir analitik yol geliştirilmiştir. Hareketli ısı kaynağından dolayı sabit ısı alanları yarı sonsuz plaka olarak kabul edilmiştir. Isı alanlarının kapalı bir çözümünü oluşturmak için bir çok sadeleştirme yapılmıştır [10,11].

Stewart, kaynak yapılmış bölge içindeki sıcaklıklar ve kaynak şeklinde yaklaşık enerji dengesini kullanmayı önermiştir. Sıcaklık alanları için yeni geliştirilen metotların kullanılması önerilmektedir. Çünkü bu alanlar problemin özelliklerini belirtmektedirler. Bu özelliklerden plastik deformasyon en önemlisidir. İyi sonuçlar alabilmek için viskoplastik akışa bağlı olarak termomekanik modeller kullanılmalıdır. Ayrıca kinematik ve geometrik işlem özelliklerine uygun üç boyutlu problemler üretilmelidir. Bu problemle birlikte yüklenmeler karşısındaki deformasyon hızı etrafındaki güç ve ömür eğrileri eklenmelidir. Son zamanlarda bilim adamları bu tür modellemelere yönelmektedirler ama bazı sınırlamalar, nedeniyle yapılabilirlikle ilgili sorunlar meydana gelmektedir [12].

Sıcaklık alanında yapılmış olan doğru bir tanım en önemli yol gösterici elemandır. Bu nedenle etkilenmiş bölgedeki mikro yapısal özellikler kaynak takımının en iyi şekilde tasarlanması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır [12].

Sürtünme karıştırma kaynak işlemi esnasında karmaşık fiziksel olayların meydana gelmesi nedeniyle mevcut araştırmadaki işleyişi geliştirmek için nümerik modellemenin yapılması hedeflenmiştir. Araştırmacı hesaplamada gereken işlemleri

basit bir görünüşle belirlemiştir. Bu tip model temel simgeleri analiz hassasiyetini arttırmada kullanmak için gereklidir [12].

Diego ve arkadaşları, sürtünme karıştırma kaynağının mekanik modelinin oluşturulmasını aşağıda göstermişlerdir.

Kuvvet birimini ve zayıflamayı bir tarafa bırakıp denge denklemindeki malzeme birimi Ω sınır birimi $\partial\Omega$ aşağıdaki şekilde yazılabilir [9].

$$\nabla \cdot \sigma = 0 \quad \Omega \quad (2.1)$$

Burada σ Cauchy gerilme tansörü dür.

Deformasyon hız vektörü simetrik parçadaki hız alan eğimine göre bağdaştırılmıştır.

$$D = \frac{(\nabla u^T + \nabla u)}{2} \quad (2.2)$$

Baskın Ω ları süreklilik denkleminde uyurabilmek için malzeme sıkıştırılmaz kabul edilmemelidir.

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2.3)$$

Eğer büyük plastik deformasyon modelleri için bir akış formülü elde edilirse bu formül sürtünme karıştırma kaynak işlemi gerilme ayırma tansörü “S” ve deformasyon hız tansörünü “D” de kapsamalıdır ki bu sıkıştırılmazlık özelliği aşağıdaki bağıntıda gerçekten ayrılmaktadır.

$$S = 2\mu D, \quad S = \sigma - pI \quad (2.4)$$

$$\mu = \frac{\sigma_e}{3\epsilon_e} \quad (2.5)$$

Burada μ geçerli malzemenin viskozitesi ve p de hidrostatik basınçtır. Bunların yanında σ gerçek gerilme veya ikinci sabit gerilme ve ϵ gerçek deformasyon oranı veya ikinci sabit deformasyon oranıdır.

Bu çalışmadaki malzeme sabit ve viskoplastik varsayılmıştır. Burada gerilme akışı deformasyon oranı ve sıcaklığa bağlıdır. Buda aşağıdaki bağıntıda gösterilmektedir.

$$\sigma e = \frac{1}{\alpha} \arg sh \left[\left(\frac{Z}{Z} \right)^{1/n} \right] \quad (2.6)$$

$$\ln Z = \epsilon e \exp \left(\frac{Q}{RT} \right) \quad (2.7)$$

Burada α , Q , A ve n malzeme sabitleri, R ideal gaz sabiti ve T mutlak sıcaklık dır.

Malzeme sabitlerine basınç desteği uygulanarak karar verilebilir. Mekanik model uygun sınır şartları belirlendikten sonra tamamlanır [9].

Diego ve arkadaşları, sürtünme karıştırma kaynağının termal modelinin oluşturulmasını aşağıda göstermişlerdir.

Sıcaklık dağılımı sıcaklık denge denklemi çözülerek elde edilir [9].

$$\rho C_p \frac{D\theta}{Dt} = \nabla \cdot (k \nabla \theta) + \gamma \quad (2.8)$$

Burada ρ yoğunluk C_p özgül ısı, k ısı iletkenlik, θ sıcaklık ve γ viskoplastik gücün yayımı tarafından ısı üretimi iç oranıdır.

Isı üretim hızına denk gelen terim deformasyon hızının gerilim üretimi olarak açıklanabilir.

$$\gamma = \eta S : D \quad (2.9)$$

Burada η mikro yapısal hatalar tarafından meşgul edilmemiş güç parçacıklarını ifade eder.

Diego ve arkadaşları, sürtünme karıştırma kaynağının geometrik modelinin oluşturulmasını aşağıda açıklamışlardır.

Bu çalışmada referans iskeletin ve levhanın ileri doğru sabit bir hız ile hareket edecek şekilde kaynak takımına sıkıca tutturulduğu varsayılır ve 25 °C lik sıcaklık üzerinde çalışılacak alana verilir [9].

Bu takımın yüzeye sarmal şekilde mekanize olabildiği için bu gibi geometriler için aşağı inen sıvının etkisi uygulama yüzeyine yaptığı hız hareketi simülasyonu yapılır. Bu hız, ilerleme hızının (1,067 mm/dev) ve takımın devir sayısının (11,7 dev/s) fonksiyonudur.

Modelin malzeme verileri ve diğer değişkenleri Çizelge 2.1-Çizelge2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Isıl özellik [9]

Özellikler	Çelik Takım	Alüminyum plaka
ρ [kg/m ³]	7.8 10 ³	2.7 10 ³
C_p [J/kg °C]	0.5 10 ³	1.05 10 ³
k [W/m °C]	40.0	207.0

Çizelge 2.2. Alüminyum plaka ve takım ölçüleri [9]

(mm)	Çelik Takım	(mm)	Alüminyum Plaka
Takım Uc Çapı	6.4	Uzun (X eksenindeki ölçü)	100
Takım Uc Boyu	6.4	Genişlik (X eksenindeki ölçü)	60
Takım Sırt Çapı	19	Kalınlık (X eksenindeki ölçü)	19.1
Takım Sırt Boyu	20		

Çizelge 2.3. Geçerli viskozite parametreleri [9]

Malzeme	A	α (mm ² N ⁻¹)	n	H (J mol ⁻¹)
Alaşımlar 1S	0.224 10 ¹³	0.052	4.54	177876.4

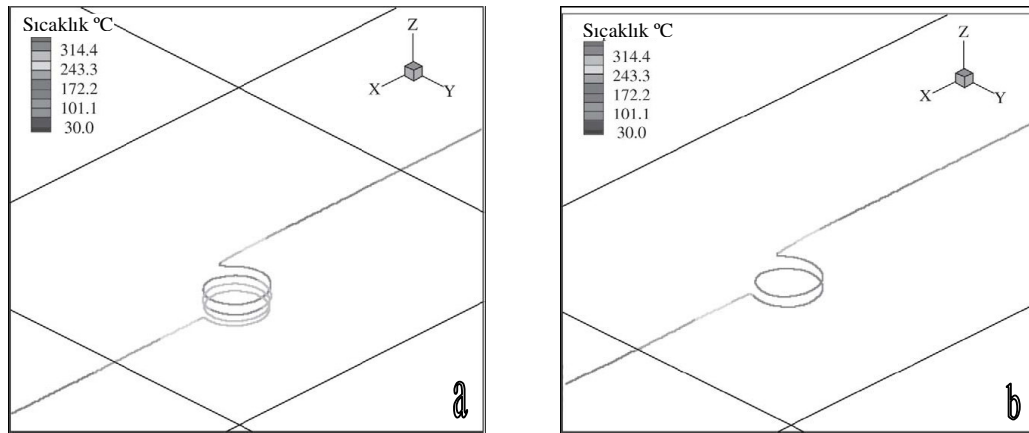
Diego ve arkadaşları, sürtünme karıştırma kaynağının takım alanlarını aşağıdaki şekilde göstermişlerdir.

Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’deki verilerin kullanılabilirliğini arttırmak için hiçbir takım grafiği gösterilmemiştir [9].

Şekil 2.4’de malzeme içinde takımın ilerlemesi gösterilmiştir.

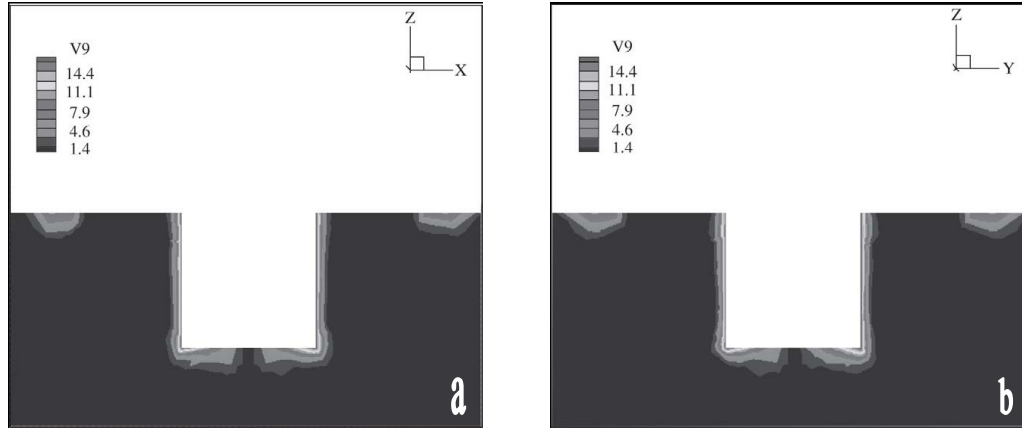
Akan sıvının yüzeyindeki yivden kaynaklanan akışı açıkça gözlemlenebilir.

Kaynak yönündeki çizgi takibinden önce takımın malzemenin girme yüzeyine nasıl yakın olduğu da ayrıca gözlemlenebilir [9].



Şekil 2.4. Malzeme içine takım girme bölgesindeki akış çizgisi a) İlk girişteki sıcaklık akışı b) İlerleme anındaki sıcaklık akışı [9]

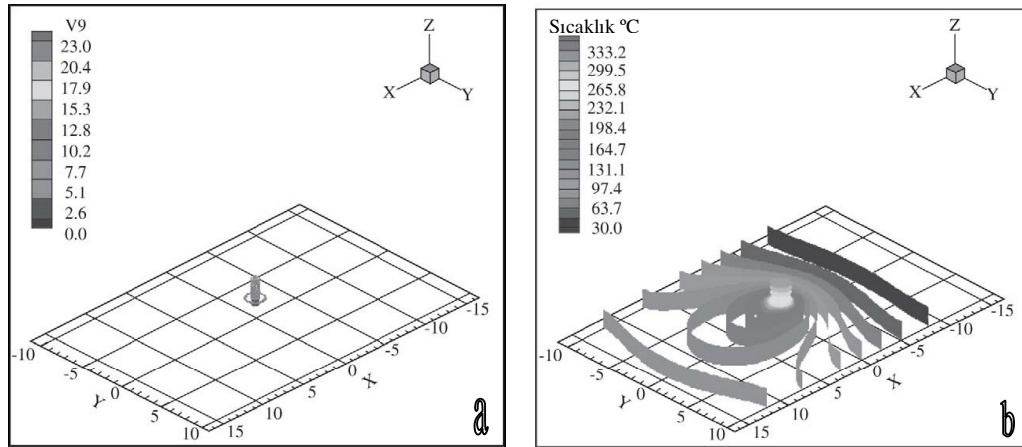
Şekil 2.5’de takımın girme merkezinden geçen XZ ve YZ düzlemlerindeki hız birimleri de görülmektedir. Ayrıca takımın plakaya girme yüzeyinde güçlü bir sınır tabakası bulunur [9].



Şekil 2.5. Hız modülleri a) XZ düzlemi b) YZ düzlemi [9]

Diego ve arkadaşları, sürtünme karıştırma kaynağının ısı alanlarını aşağıdaki şekilde göstermişlerdir.

Sıcaklık alanı ve malzeme şekilleri Şekil 2.6’da gösterilmektedir. Açıkça görülmektedir ki ısı sonuç olarak en büyük ısı üretimi olan en büyük deformasyon hızlarının üretildiği girme yüzeyinde yoğunlaşmıştır [9].



Şekil 2.6. Malzeme hız ve sıcaklık alanları a) Hız alanları b) Sıcaklık alanları [9]

Şekil 2.7’deki sıcaklık alanlarında sırasıyla XZ ve YZ düzlemlerini gösterir. XZ düzleminde kaynak hızı tarafından üretilen sıcaklık alanının akış etkisi gözlemlenir. YZ düzlemindeki sıcaklık alanı girme bölgesinin sağ tarafında daha yüksek bir

Sürtünme karıştırma kaynak işleminin ölçümsel üç boyutlu sonlu elemanlar model işlemi, işlemin ana hatlarını tanımlamak durumundan çıkarılması gereken uygun ölçümsel ihtiyaçları değerlendirmek ve göstermek için sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçlarla uygunluk göstermektedir. Takım girme alanını çevreleyen hız alanındaki çok büyük bir eğim bulunmuştur. Bu eğim problem gereksinimlerini ve optimize edilmiş ölçümsel değerler ile en uygun sonuçları elde edebilmek için ileri hassasiyet analizlerinde kullanılan duyarlılıkların yeniden değerlendirilmesini gerektirir [9].

Sürtünme karıştırma kaynağı modellenirken takım etrafında ve iş parçası üzerinde iki farklı yaklaşım yani değişim alanı kullanılmıştır. Birinci yaklaşımda takım ve iş parçası, “Arbitrary Eulerian Langrangran” (ALE) tekniği kullanılarak birlikte modellenmiştir. İkinci yaklaşımda iş parçası viskoz bir sıvı gibi davranıyormuş varsayıp ayrı ayrı modellenmiştir. Şu andaki geçerli sınırlamalar “DYNA” analiz kodunda ele alınmıştır ve başlangıçta elde edilen hesapsal sonuçların akış modeli gösterilmiştir [2].

Potansiyel problem malzemelerin nükleer kaynaşma sırasında çok fazla radyasyon çekmeleridir. Bu yüzden kaynak yapıları değişir. Bu hasarlı malzemeler helyum tanecikleri içerirler. Ark kaynağı sırasında kaynak metali ve ısının etkilediği parça sınırları içindeki bölgelerdeki taneciklerin birleşmesi yüzünde gerilme ve sıcaklık değişiklikleri oluşmaktadır. Bu olay ısıdan etkilenen bölgelerdeki tanecik çatlamaları ve kaynak çatlamalarına neden olmaktadır. Ark kaynağı sırasında oluşan mikro çatlakları engellemek için şu anki bilgilere göre alaşımların içeriğindeki emniyetli helyum 1 appm ile sınırlandırılmıştır. Vakum kabı gibi kritik parçaları maksimum emniyetli ve şiddetli bir şekilde birleştirebilmek için birkaç yol ile sınırlandırılmıştır. Bu yüzden mevcut problemi çözmek için alternatif birleştirme işlemlerine ihtiyaç duyulmuştur [2].

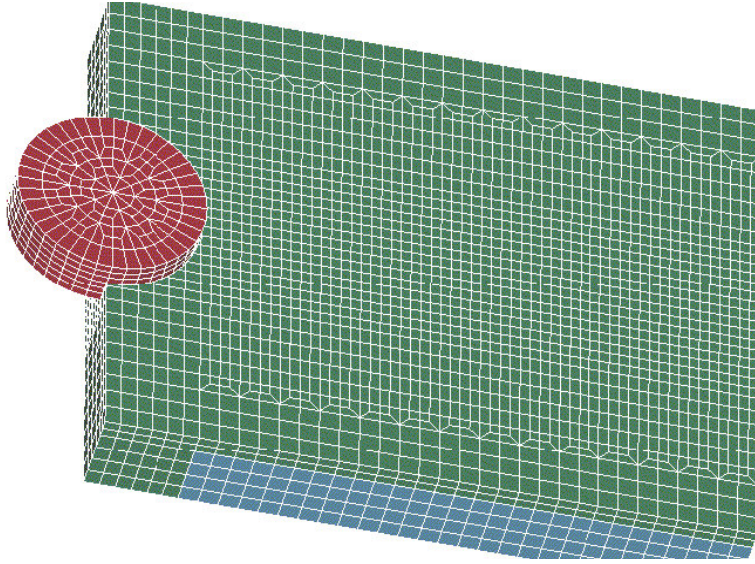
Birinci alternatif birleştirme işlemi, büyük bir potansiyele sahip olan sürtünme karıştırma kaynağıdır. Yeni geliştirilen katı hal birleştirme işleminde fabrikasyon fiçı, laboratuvar, çevresel birleştirilen tabakalar ve metaller için kullanılabilir.

Sürtünme karıştırma kaynak işleminde kaynak dönen bir takım ile yapılmaktadır. Bu takım plastikleşmiş malzemeyi gözeneksiz kaynak bölgesinde sıkıştırarak ve besleyerek birleştirmek için yeterli ısı ve gücü üretir. Bu işlemde ergimiş karıştırma yoktur, bu yüzden gaz oluşması en azdır. Ayrıca katı haldeki yayılma gücü düşük olmasından dolayı birleştirme operasyonların da adım değiştirmeye olanak sunmak için helyum kullanımına izin verilebilir [2].

Bu çalışmada, mevcut hesapsal kaynaklardaki sürtünme karıştırma kaynağı takımının çevresindeki sıcaklık alanı ve akış alanının modellenebilirliği incelenmiştir. Bu amaçla sonlu elemanlar paketi “LSDYNA” kullanılmıştır. İki tane analitik yaklaşım seçilmiştir. Birinci yaklaşım; 3D “Arbitrary Lagrangian Eulerian” (ALE) hidrodinamik formülasyonuna dayandırılmıştır ki bu formülasyon modellenmiş olan sürtünme karıştırma kaynak işleminin geometrisi ve kinematığıdır. Bu tekniğin avantajı, iş parçasıyla ve takımın aynı anda modellenebilmesidir. Bu yüzden sadece iş parçasındaki akış ve sıcaklık alanı değil aynı zamanda takımdaki gerginlik, gerilme ve sıcaklık değişimi hesaplanabilmektedir. İkinci yaklaşım hesapsal akış dinamiğine (CFD) dayanmaktadır. Bu yaklaşımda iş parçası bir sıcaklık ve viskoziteye bağımlı bir akışkan gibi modellenmiştir. Takım gerçekten modellenmeden başlangıç koşullarındaki sıcaklık değişimi ve hızlar, takım ve iş parçası arasındaki ara yüzeyi oluşturulmaktadır. Bu yaklaşımın avantajı ise, iş parçası üzerindeki kararlı hal sıcaklığı ve hız alanları hesaplarının “ALE” yaklaşımına göre çok daha hızlı yapılmasıdır [2].

“ALE” modelin amacı iş parçasının önünden arkasına dönen takım hareketini yakalamaktır. Analiz programının şu anki versiyonunda birkaç kısıtlama vardır. Birincisi, sıcaklık alanlarını, iş parçasındaki deformasyon analizine gerçeğe uygun şekilde katmak mümkün değildir. Programın gelecek versiyonunda bu kodlar belki yapılabilir. Bu yüzden araştırmanın başlangıç aşamasında “ALE” yaklaşımını kolaylaştırıcı birkaç varsayımın uygulanabilirliği araştırılmıştır. İş parçası sıcaklığının, sabit (değişmez) olduğu varsayılmıştır. Malzeme modeli iş parçası gibi viskoz özellikler içermemiştir [2].

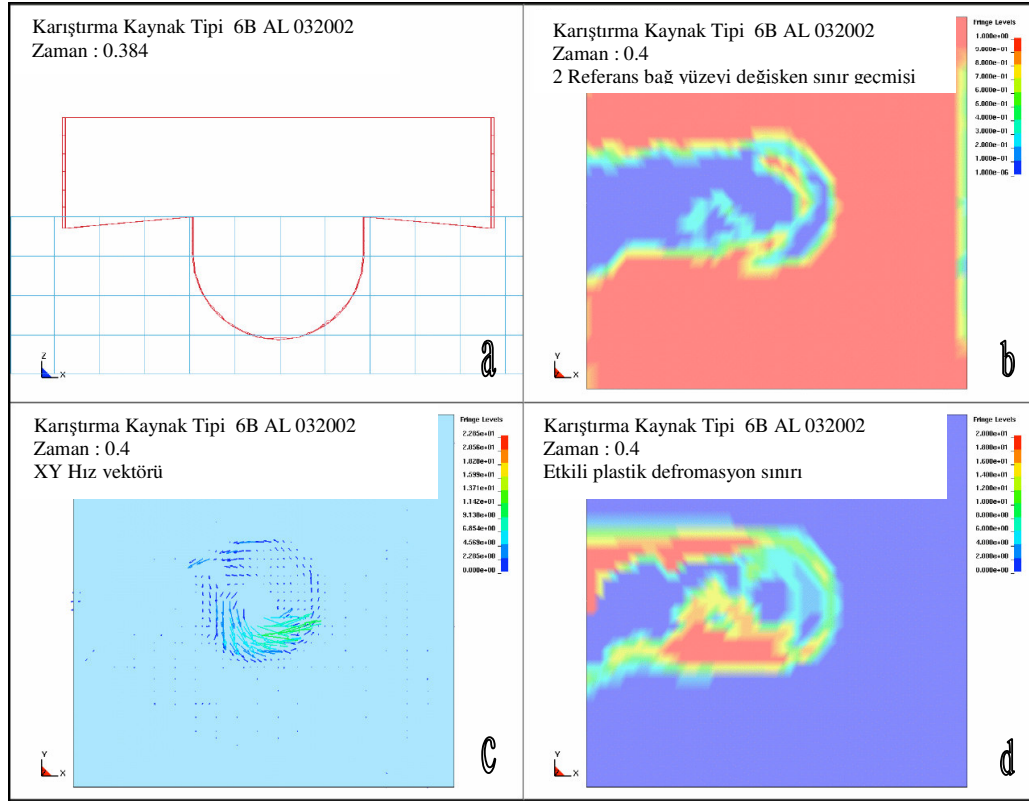
İş parçası ve takımın sonlu elemanlar modeli Şekil 2.9’da gösterilmiştir. Simülasyonda takıma bir dönme bir de ilerleme hızı verilmiştir. İş parçasına da takım çevresinde araştırılmış olan hız alanı verilmiştir. Takımın, malzemenin önünden arkasına geçiş hareketi için şekilde görüldüğü gibi iş parçası malzemesinin başlangıcı boş bırakılmıştır [2].



Şekil 2.9. İş parçası ve dönen takımın sonlu elemanlar modeli [2]

Şekil 2.10’da “ALE” simülasyonunun tipik sonuçları olan takım konumu, takım hız vektörü ve çevredeki plastik gerilme gösterilmektedir. Analiz programının daha yeni bir versiyonu kullanılmaya başlandığında malzemeye gerçek sıcaklık ve akış alanları eklenerek buradaki çalışmalar kullanılarak “ALE” yaklaşımı geliştirilebilir[2].

“CFD” modeli yaklaşımda iş parçası viskoz bir akışkan gibi ele alınmaktadır. Takım modellenmeden iş parçası ve takım arasındaki ara yüzey hız sınır şartları verilmektedir. Amaç; iş parçası kararlı haldeyken hız ve sıcaklık alanlarını hesaplamaktır. Yine “CFD” versiyonunda şu anki sınırlamalardan dolayı hız ve sıcaklık alanlarının bağdaştırılması engellenmektedir. Bu yüzden sürtünme karıştırma kaynak işlemini modelleyebilmek, amaca uygun bu teknikleri kullanmak ve uygulayabilmek için kolaylaştırıcı varsayımlar yeniden kullanılmıştır [2].

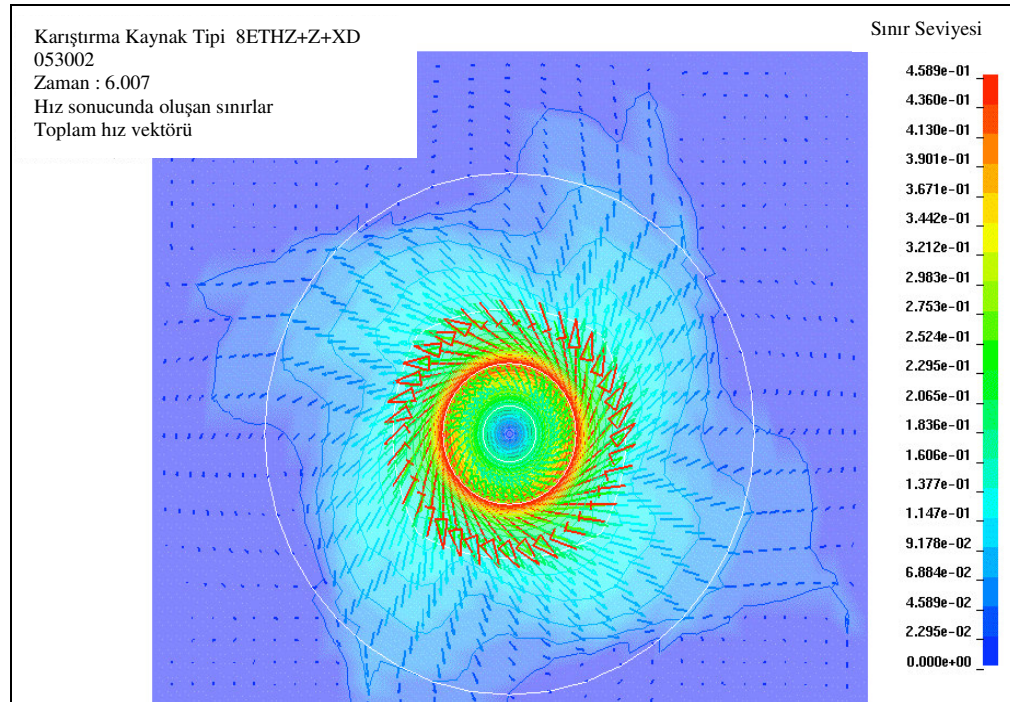


Şekil 2.10. “ALE” yaklaşımı kullanılarak FSW işleminin hesapsal modeli gösterilmektedir a) Takım pozisyonu b) İş parçası malzemesindeki küçük parça hacimler (kırmızı=dolu , mavi=boş) c) Hız vektörü d) İş parçası malzemesi çevresindeki plastik gerilme [2]

Şekil 2.11’de iş parçası üzerinde takım kendi eksenini etrafında dönüp aynı zamanda ötelendiğinde kararlı haldeki hız profilinin çıkartılması gösterilmektedir. Hız profilindeki dikey asimetri dönüş ve ilerleme hızı kullanılmış olmasına rağmen dönme hızına çok az rastlanmaktadır. Bu yüzden önemli sapmalar görülmemektedir. Buna rağmen “CFD” yaklaşımı iş parçasındaki işlem parametrelerinin ve takım geometrisinin hız profili üzerindeki etkilerini hesaplamanın çok hızlı ve etkili olmasını sağlamaktadır [2].

Laboratuardaki mevcut kullanılabilir FEA programı dönen ve ötelenen sürtünme karıştırma kaynağı takımının çevresindeki iş parçası malzemesinin akış davranışının gösterilmesinde kullanılmıştır. Mevcut kullanılabilir “LSDYNA” FEA programı “ALE” ve “CFD” paketlerinin her ikisinde de akış alanı yakalanabilir. Akış alanı ve

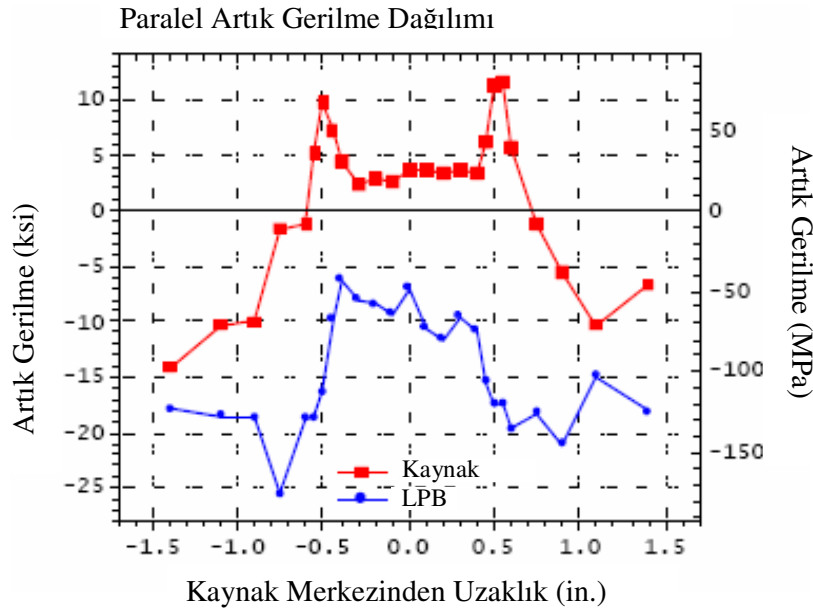
sıcaklık alanındaki bağlaşımın arasında sınırlama bağlamları olmasına rağmen sürtünmede genellenmiştir. Sıcaklığa bağlı gerginlik-gerilme oranlarını ve viskozite sonuçlarını da içine alan malzeme metodu kullanılmaktadır. Analiz programının yeni versiyonuna bu özellikler eklenebilir ve daha ileri işlem etkinlik modellerinin oluşturulmasına olanak sağlayabilir [2].



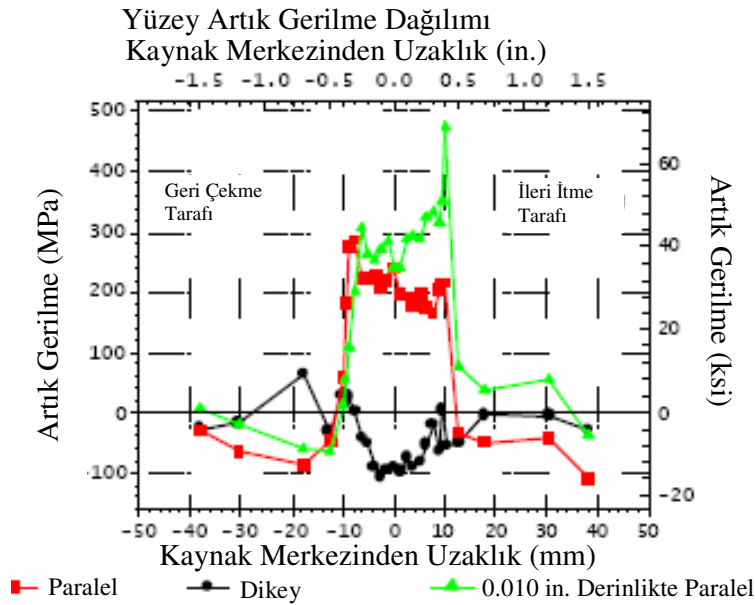
Şekil 2.11. Dönen ve ötelenen takım çevresindeki hız profilinin “LSDYNA” içindeki “CFD” yaklaşımı kullanılarak FSW işleminin hesapsal modelinin oluşturulması gösterilmektedir [2]

Sürtünme karıştırma kaynağı alaşımların ergime noktalarının altında bir sıcaklıkta yapılmasına rağmen, karıştırma işlemi sırasında karmaşık ısı ve plastik gerilme eğrileri görülmektedir. Kaynak bileşme noktasından uzaklaştıkça ve kaynak gerilme yüzeyinden derinlere inildikçe artık gerilme dağılımları farklılık göstermektedir. Alüminyum ve titanyum alaşımlarının her ikisinde de karıştırma bölgesinde kopma artık gerilmeleri gözlemlenmiştir. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13’deki grafiklerde Alüminyum 7050 ve Ti-6Al-4V malzemelerindeki artık gerilmeler fonksiyonel kaynak boyunca ve kaynak çizgisine paralel bir şekilde gösterilmektedir. Bu dar

kopma bölgeleri başka bir şekilde de ayrılabilir. Bunlar; yüksek nitelikli kaynakta artık gerilme çatlaklarına duyarlılık, uzun süreli yorulma bozuklukları veya bir tür aşınma bozuklukları kombinasyonlarıdır [4].



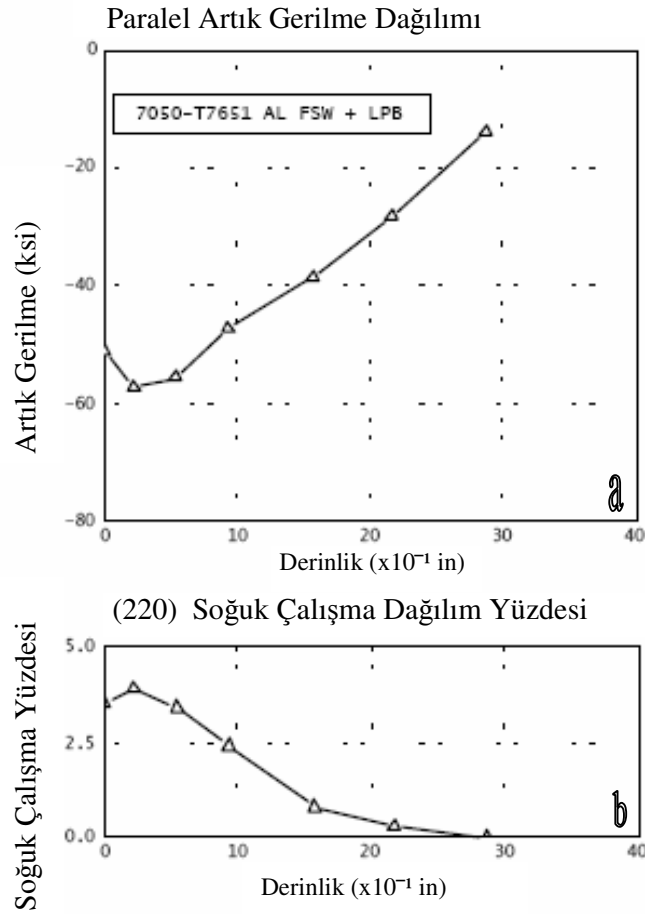
Şekil 2.12. Alüminyumun FSW karşısındaki artık gerilmeleri [4]



Şekil 2.13. Titanyumun FSW karşısındaki artık gerilmeleri [4]

Sürtünme karıştırma kaynağında yüzey pürüzlüğü çok bozuk olduğunda uzay uygulamalarında ek bir yüzey temizleme işlemi yapmak gerekir. Yüzey pürüzlülüğü sürtünme karıştırma takım tasarımı ve kaynak parametrelerinin bir fonksiyonudur [4].

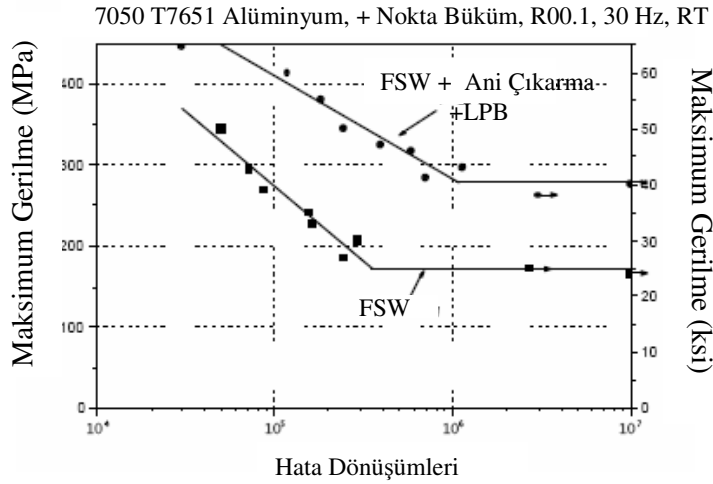
Basit bir taşlama işlemi ve düşük plastisiteli haddeleme işlemiyle çok iyi yüzey kalitesi elde edilebilir. Bu iki işlemden sonra bu yüzey orijinal plakaya göre basınç ve “SCC” ye büyük ölçüde dayanıklılık gösterir. Bundan dolayı uzay araçlarındaki ihtiyaçları karşılayabilir. Şekil 2.14’de 7050- T7651 Sürtünme karıştırma kaynağının derinlik ve basınç arasındaki ilişkisi gösterilmiştir [4].



Şekil 2.14. 7050 Al içindeki “LPB” artık gerilme profili a) Artık gerilme dağılımı b) Soğuk çalışma yüzdesi [4]

Kaynak bölgesi dışında, kaynatılmış parlatılmamış malzemede “LPB” basınç kontrolü yapılmıştır [4].

Sürtünme karıştırma kaynağının artık gerilme ve yüzey gibi içsel problemlerine “LPB” ve sürtünme karıştırma kaynağı kombinasyonlarıyla pratik çözümler bulunur. Metal yorulmalarına karşı “LPB” ile %60 oranında dayanım kazancı sağlanmıştır. Şekil 2.15’de 7050- T7651 malzemesine yapılan sürtünme karıştırma kaynağının dayanımının 25 ksi’ den 40 ksi’ ye çıktığı görülmektedir [4].



Şekil 2.15. 7050 malzemenin sürtünme karıştırma kaynağının “LPB” uygulamasına göre “HCF” ilerlemeleri

Sürtünme karıştırma kaynağı ve LPB kombinasyonlarını sağladığı kazançlar aşağıdaki gibidir:

- Kaynaklardaki kopma gerilmesi elimine edilir.
- Malzeme özellikleri soğuk çalışma şartlarında istenildiği gibi kontrol edilir.
- Üstün yüzey kalitesi elde edilir.
- Üretim ortamlarında işlemler kolaylıkla yapılabilir [4].

Alüminyum ve alaşımları kaynak edilmesi esnasında özel tedbirler alınması gereken malzemelerdir. Ergitme kaynak yöntemleri (ark, lazer ve elektron kaynağı) ile

alüminyum ve alaşımlarının (özellikle yaşlandırma sertleştirilmesi yapılmış olanların) kaynağında yüksek miktarda çatlak ve gözenek oluşumu gibi problemler mevcuttur. Alüminyum ve alaşımlarının ark kaynağında karşılaşılan diğer bir güçlük bu alaşımların kolay oksitlenmeleri ve ısı iletkenlik katsayılarının yüksek olması nedeniyle ısının kaynak bölgesine çok hızlı bir şekilde uygulanmasını zorunlu kılar [13]. Alüminyumun (Al) ergime sıcaklığı 660 °C kaynama sıcaklığı ise 2060 °C olmasına karşın eğer alüminyum oksitlenirse (Al_2O_3) ergime sıcaklığı 2050 °C ye yükseldiğinden dolayı oksitlenme istenmeyen bir durumdur.

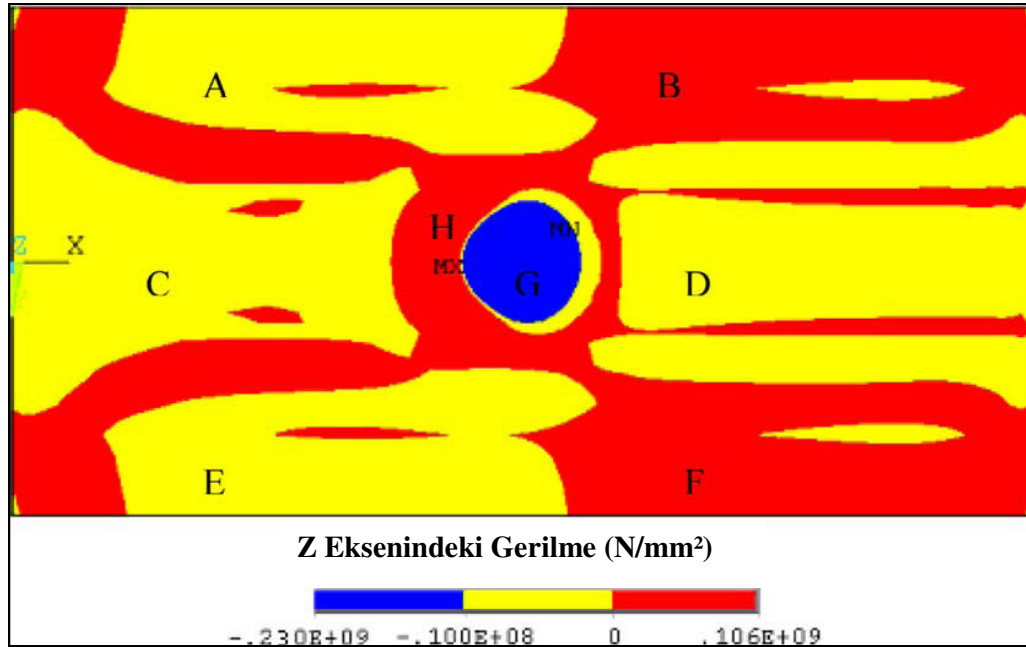
FSW yöntemi ile alüminyum ve alaşımlı levhaların alın ve bindirme kaynağında ergitme metotlarından ve klasik kaynak yöntemleriyle yapılan kaynaklardan daha iyi sonuçlar alındığı literatürde belirtilmiştir [13].

Cederqvist ve Reynolds, alüminyum malzemelerin, bindirme bağlantılarının sürtünme karıştırma kaynağını etkileyen faktörlerini incelemişlerdir. Sürtünme kaynağı katı hal birleştirme işlemi olup, bindirme kaynağında kullanılmak üzere sürtünme kaynağının geliştirilmesi tekniğinden faydalanmak ve yeni uygulamalar bulunmasına imkân sağlamak için çalışma yapmışlardır. Sürtünme karıştırma kaynağı ve bindirme kaynakları üzerinde kesişim morfolojisi ve mekaniklik özelliklerinin de dâhil edildiği bir araştırma yapmışlardır. İki malzeme Al 2024 T3 ve Al 7075 T6 olarak havacılık endüstrisinde sıklıkla kullanılan malzemeleri birleştirmişlerdir. Kaynak parametrelerine kaynak hızı, devir sayısı, kısmi öneme sahip takım ölçüleri dahil edilmiştir. Metalografik kesitlerin değerlendirilmesini ve kopma noktalarının incelemesini yapmışlardır. Yapılan çalışma ile tüm kaynaklarda kritik ara safha yüzlerinin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu ara yüzlerin giderilmesi için ikinci bir kaynak pasosu eklenerek giderildiği sonucuna varmışlardır. Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan bindirme kaynağının, mukavemet olarak diğer kaynakların (punta ve perçin kaynağı) yerini ileride alabileceği bu çalışma ile ortaya koyulmuştur [14].

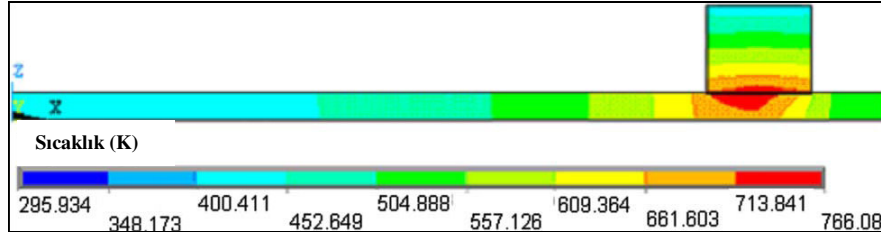
200x50x6,4 mm boyutlarındaki Al 6061 T6 alüminyum alaşımlı iki parça sürtünme karıştırma kaynağı için ayarlanmış dikey freze tezgâhı ile alın kaynağı yapılmıştır.

Takım CPM 1V takım çeliğinden, takım sapı Ø9,5, takım sırtı Ø12 ve takım ucu Ø2,6 olacak şekilde imal edilmiştir. Al 6061 T6 ve CPM 1V takım çeliğinin malzeme özelliği göz önünde bulundurularak sıcaklığa bağımlı olarak model geliştirilmiştir. Plakalar ısı çift kullanılarak dört noktadan sıcaklık ölçülecek şekilde hazırlanmıştır. Her plakanın bir yüzüne Ø1,5 mm olacak şekilde dört adet delik delinmiştir. Ø1 mm olan K tipi ısı çift kullanılmıştır. Isıl çiftler uç kısmı iş parçasına temas edecek şekilde deliklere yerleştirildikten sonra yapıştırılmıştır [15].

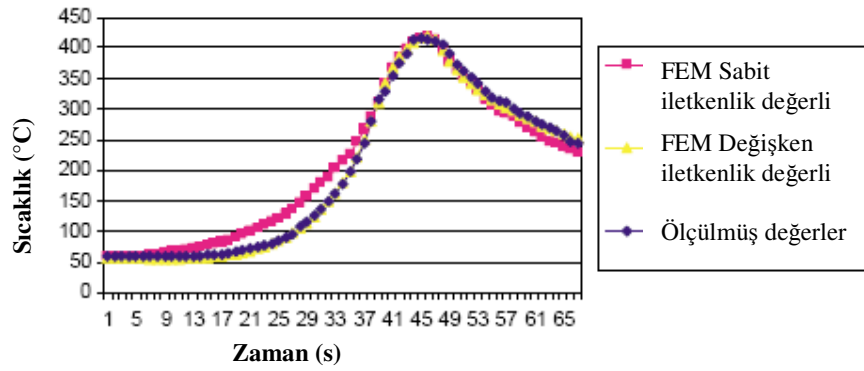
Temas noktasındaki iletkenlik değeri sabit olduğu varsayılarak Al 6061 ve mekanik takım yükü için bir sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Burada kullanılan değerler Şekil 2.16'daki iş parçasının arka ara yüzündeki gerilimi tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu uygulanabilir değişken temas noktası iletkenlik profili basınç dağılım çerçevesini tanımlar. Bu değerlerde ısı modelinde Şekil 2.17'deki iş parçası sıcaklık geçişini tahmin etmekte kullanılır. Şekil 2.18'de görüldüğü gibi sonlu elemanlar modeli ile hesaplanan sıcaklıklar ile deneysel olarak ölçülen sıcaklıkların ısı çift konumlarında çok yakın ve uyumlu oldukları görülmektedir [15].



Şekil 2.16. Takım iş parçası merkezindeyken iş parçası alt yüzeyindeki gerilme dağılımı [15]



Şekil 2.17. Birleştirilmiş takım ve iş parçası modelinin birleşme çizgisinden boyuna kesit alınmış haldeki hesaplanmış sıcaklık alan dağılımı ($V=133$ mm/dak, $\omega=344$ rpm) [15]



Şekil 2.18. Birleşme çizgisine 6 mm uzaklıkta yerleştirilmiş ısı çiftleri ile ölçülmüş sıcaklık-zaman grafiği ile modelleme sonucu elde edilen sıcaklık-zaman grafiklerinin karşılaştırılması ($V=133$ mm/dak, $\omega=344$ rpm) [15]

3. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK TEKNİKLERİ

Günümüzde, ileri teknolojinin uygulandığı gelişmiş makine elemanlarının kaynaklı birleştirmelerinde faz dönüşümleri ve plastik deformasyonlar istenmeyen durumlardır. Bu olumsuzlukları gidermek, ancak malzemelerin mekanik ve metalürjik özelliklerini etkilemeyecek kadar düşük sıcaklıklarda yapılan birleştirme işlemleri ile mümkündür. Örneğin; metal matrisli kompozitler ile seramiklerin metal bir malzeme ile metal olmayan bir malzemenin birleştirilmeleri birçok durumda gerekli olmaktadır. Ayrıca birçok otomobilin motor parçalarında seramiklerle metaller bir arada birleştirilmeleri dizayn ve konstrüksiyon açısından gereklilik arz etmektedir. Sözü edilen malzemeleri ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirmek zor, bazen de imkansızdır. Bu tekniklerin uygulanması, yüksek bilgi ve teknoloji gerektiren katı hal kaynak teknikleri ile mümkündür. Ergitmesiz kaynak yönteminde metalik malzemeler ergitilmeden, malzemelerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta malzeme katı haldeyken birleştirme sağlanmaktadır [1].

Katı hal kaynak teknikleri;

1. Difüzyon kaynağı
2. Ultrasonik kaynak
3. Sürtünme kaynağı
4. Sürtünme karıştırma kaynağı' dır [1].

Bu bölümde katı hal kaynak tekniklerinden sürtünme kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynak teknikleri hakkında bilgiler verilecektir.

3.1. Sürtünme Kaynak Tekniği

Sürtünme kaynak tekniği, elektrik enerjisini veya diğer kaynaklardan ısı enerjisi uygulamadan iş parçasını yüzeyleri arasındaki mekanik dönme hareketinin ısı enerjisine dönüşmesiyle kaynak için gerekli ısının elde edilerek yapıldığı bir katı hal kaynak tekniğidir. Sürtünme kaynağı, ara yüzey kaynak sıcaklığına ulaşana kadar sabit bir iş parçasıyla dönen bir iş parçasının sabit veya belirli olarak artan basınç altında yapılır ve sonunda dönme durdurularak kaynak tamamlanır. Sürtünme ısısı iş

parçasının ara yüzey sıcaklığını hızla arttırarak ergime derecesinin altında bir değere getirir ve plastik sıcaklık oranında ısınan bölgeye uygulanan basıncın etkisi altında birleştirme meydana gelir. Dolayısıyla sürtünme kaynağı bir katı hal kaynağıdır. Kaynak süresince parçalar basınç altında ve mekanik enerjinin etkisi altında hareket halindedir. Bu durum sürtünme fazı veya ısıtma fazı olarak adlandırılır. Isıtma fazı, malzeme yüzeylerinde plastik şekil değiştirme sıcaklığı oluşuncaya kadar devam eder. Çelikler için bağlantı bölgesinde meydana gelen sıcaklık 900-1300°C arasındadır. Kaynak işleminde ısıtma fazı sonrasında basınç artırılarak ısınmış ara yüzey malzemesi yığılır. Böylece kaynak bölgesi, termo-mekanik işleme tabi birleşme bölgesinde iyileşme gösterir. Bundan dolayı diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilemeyen metaller ve metal alaşımları kolaylıkla kaynatılabilir. Kaynatılan parçalarda kaynak bağının oluşabilmesi için temiz metal yüzeylerinin temas haline gelmesi gerekir. Sürtünme kaynağında bütün temassızlıklar sürtünme yolu ile ortadan kaldırıldığından bu temas çok iyi gerçekleşir. Kaynak esnasında parçaların yüzeylerinde ergime meydana gelmez. Çok az bir ergime olsa bile uygulanan yığma işlemi sonunda birleşme bölgesinden bu ergiyen malzeme uzaklaşır. Kaynak yüzeyinde ergimiş metale ait herhangi bir bulguya rastlanmaz [16-20].

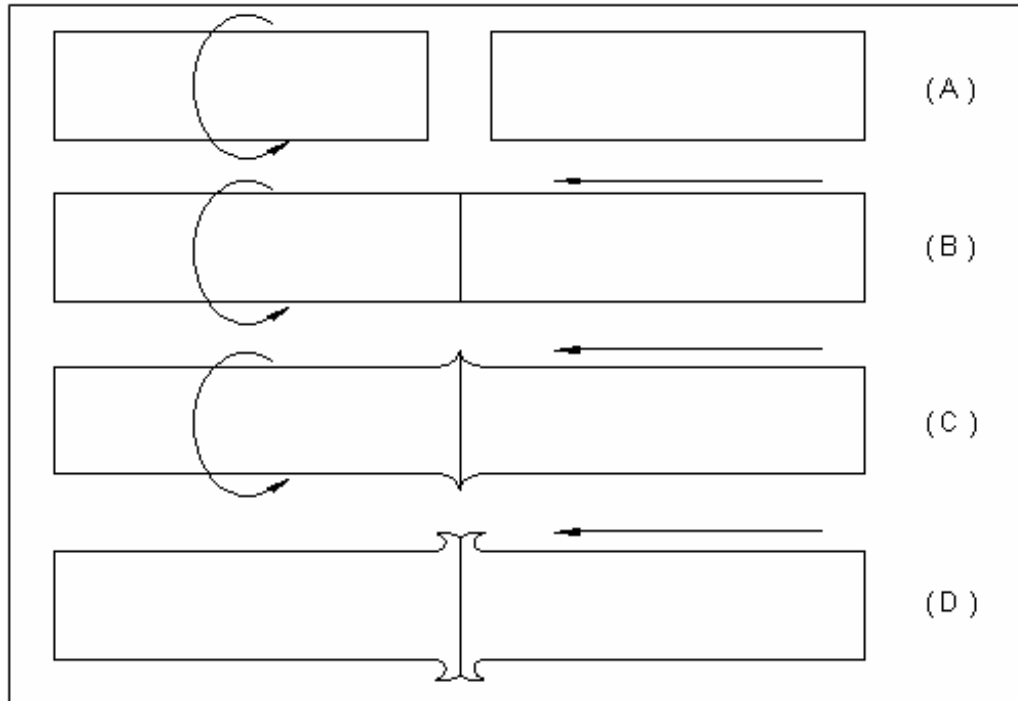
Sürtünme kaynağı, teknolojisi sürekli gelişim gösteren dünyamızın birçok ülkesinin endüstrisinde uygulama alanı bulmuş ticari ve ekonomik bir yöntemdir. Malzemelerin kaynak edilmesinde kullanılan enerji kaynaklarından birisi de sürtünme enerjisidir. Bevington sürtünme ısısından yararlanarak boruların kaynağını yapmıştır. 1924 yılında W.Richter İngiltere'de, H.Klopstock Sovyetler Birliğinde paten almıştır. 1941 yılında A.R. Nealonds ve H.Klopstock silindirik parçaların sürtünme kaynağı için birer patent almışlardır. Ayrıca II. Dünya savaşı sırasında Almanya ve Amerika'da plastik malzemelerin kaynağında sürtünme kaynağı kullanılmıştır [19-22].

Sürtünme kaynağının ticari amaç için seri üretim de kullanılması amacı ile bilimsel çalışmaları bir Rus makinist başlatmıştır. 1956 yılında A.J. Chdikov iki metal çubuğu sürtünme kaynağı ile uygun şartlarda birleştirerek bir patent almıştır.

Sovyetler Birliğinde daha yoğun çalışmalar Vill ve arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Bu yöntem ABD'ye 1960'da girmiştir. Holland ve Cheng adlı araştırmacılar sürtünme kaynağının termal ve parametre analizleri üzerinde çalışmışlardır [19-22].

İngiltere'de ilk sürtünme kaynağı 1961 yılında kaynak enstitüsü tarafından yapılmıştır. 1962 yılından itibaren pek çok fabrikada sürtünme kaynağı kullanılmaya başlanmıştır. Yine 1962 yılında ABD'de Caterpillar Tractor Co. Atalet kaynağı adı altında sürtünme kaynağını modifiye ederek kullanmıştır. Sürtünme kaynağı yöntemi bu tarihten itibaren daha hızlı bir gelişme göstererek hızla bütün dünyaya yayılmıştır. Günümüzde sürtünme kaynağı modern kaynak yöntemleri arasında yer almıştır. Elektron ışın kaynağından sonra pratikte en çok uygulama alanı bulmuş bir yöntemdir [19-22].

Kaynak yapılış yöntemi Şekil 3.1'de şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.1. Sürtünme kaynağının yapım aşaması [3]

Genelde parçaların her ikisi de sabittir. Dönme hızı belli bir değere geldiğinde iki parçanın teması, sürtünme işini yapacak araca yaklaştırılarak ön temas olayı meydana gelir. Bu temastan sonra parçaların ucundaki yabancı maddeler uzaklaşır. Ön temasın arkasından eksenel basınç uygulanarak parçaların ısınması sağlanır. Aracın dönme hareketi durdurulduğunda eksenel basınç bir miktar artırılarak dövme etkisi yapılır. Bu etki sonucunda kaynak yüzeyindeki çok az miktar erimiş metal dışarı doğru yığılarak çıkar. Sürtünme kaynağında dönme hareketi birinci harekettir [3].

İkinci hareket ise eksenel harekettir. Yapılan eksenel hareket ile kaynaklı yüzey birleştirmiş olur. Ortaya çıkan çapaklı bölüm, torna edilerek temizlenir. Böylece bindirme tekniği kullanılarak sürtünme kaynağı yapılmış olur [3].

3.1.1. Sürtünme kaynak yöntemleri

Sürtünme kaynağı üç farklı şekilde yapılabilir.

Sürekli tahrikli sürtünme kaynak yöntemi

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı doğrudan sürtünme kaynağı olarak da bilinmektedir. Gerekli olan enerji sürekli bir tahrik grubu tarafından sağlanır. Parçalardan biri motor ünitesine bağlanır ve sabit hızla döner, diğer parça eksenel bir basınçla temas ettirilir. Yeterli derecede sıcaklık oluşunca dönme frenleme etkisiyle mümkün olduğunca kısa sürede durdurulur. Kaynak kuvveti yığılma basıncıyla arttırılır ve numune soğumaya bırakılır. Bu yöntem genellikle Avrupa’ da kullanılmaktadır [16,17,23]

Volan tahrikli sürtünme kaynak yöntemi

Volan tahrikli sürtünme kaynağı, atalet kaynağı olarak da bilinmektedir. Parçalardan biri volana bağlanır, volan belirlenen hızda ivmelendirilir. Böylece dönme enerjisi bu volan üzerinde toplanmış olur ve sürtünme kaynağının kendi kendine frenlemesiyle

parçaya iletilir. Kaynak kuvveti eksenel olarak uygulandığında dönmesi serbest bırakılan parça diğer parça ile döner ve volan enerjisi parça ara yüzeyinde sürtünmeye harcanır. Volan hızı azalırken, kaynak bölgesi ısınır ve ısı yayılır. Volan tamamen durdurulduktan sonra basınç etki ettirilir. Bu yöntem özellikle A.B.D.' de uçak ve uzay sanayinde kullanılmaktadır [17,18].

Kombine sürtünme kaynak yöntemi

Kombine sürtünme kaynak yöntemi volan tahrikli sürtünme kaynağıyla, sürekli tahrikli sürtünme kaynağının ortaklaşa kullanıldığı bir yöntemdir. Büyük kapasiteli parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Volan tahrikli sürtünme kaynağının da sürekli tahrikli sürtünme kaynağına göre avantajları aşağıda verilmiştir. Bunlar ;

1. Daha dar bir ITAB (Isı tesir altında kalan bölge) oluşur,
2. Daha seri üretim yapılır,
3. Daha düşük güç gerekir,
4. Daha basit ekipman gerekir [17].

3.1.2. Sürtünme kaynağının avantajları

Sürtünme kaynağının belli sınırlamaları olduğu gibi, bilinen diğer kaynak işlemlerine göre daha fazla avantajlara sahiptir. Sürtünme kaynağının avantajları aşağıdaki gibidir:

1. Flux (ergimeyi kolaylaştıran malzeme) dolgu malzemesi ve koruyucu atmosfere gerek yoktur.
2. Elektrik gücü ve toplam enerji gereksinimi diğer kaynak işlemlerinin sadece küçük bir oranı kadardır.
3. İşlem diğer kaynak işlemlerine nazaran daha temizdir
4. Çok az atık vardır.
5. Ark, gaz çıkışı olmaz.

6. Isıdan etkilenmiş olan alan çok dardır ve gözenek ölçüsü ana malzemenin gözenek ölçüsünden daha küçüktür [17].

3.1.3. Sürtünme kaynağının dezavantajları

Sürtünme kaynağında görülen bazı sınırlamalarda aşağıdaki gibidir:

1. İş parçalarından birinin kaynak yüzeyi yuvarlak (silindirik) veya silindire yakın olmalı, tutulabilir ve döndürülebilir büyüklükte olmalıdır.
2. İş parçaları torka, ısınmaya ve birleşme esnasındaki aksinel yüke dayanıklı olmalıdır.
3. İş parçalarını tutan cihazlar ağır şok ve tork yüklerine dayanacak güçte olmalıdır.
4. Geleneksel sürtünme kaynağı, açısal birleşimler için pahalı değişikliklerin yapılması gerekir [24].

3.1.4. Sürtünme kaynağı yapılabilen malzemeler

Bir çok metalik malzeme ve alaşımlarının sürtünme kaynağı için, uygulamalar ve deneylerle elde edilmiş verileri mevcuttur. Sürtünme kaynağının özelliği, ergitme kaynağı yöntemlerinin uygulanamadığı malzeme ve malzeme alaşımlarında da başarıyla kullanılmasıdır. Diğer kaynak yöntemleri için kaynağa uygunluğunu belirleyen kriterler, sürtünme kaynağı için her zaman kullanılmaz. Bunun nedeni, birleştirme sıcaklığının düşük, kaynak süresinin kısa ve birleştirmenin kuvvet altında yapılmasıdır. Buna örnek olarak çeliğin alüminyum ve bakır ile toz metalürjisi ile üretilen parçaların ve seramiklerin alüminyum ile sert ve ağır metallerin diğer metallerle sürtünme kaynağı yöntemiyle yapılan birleştirmeleri gösterilebilir [23].

3.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Sürtünme karıştırma kaynağı, sürtünme kaynak yönteminden geliştirilmiş bir kaynak yöntemidir. Sürtünme kaynağı genellikle silindirik kesitli malzemelere uygulanan

katı hal kaynak yöntemidir. Sürtünme karıştırma kaynağı da genellikle prizmatik parçalara uygulanan katı hal kaynak yöntemidir.

Özellikle kaynak yapılması çoğu zaman zor olan alüminyum alaşımların birleştirilmesi, sürtünme karıştırma kaynağı performansının geliştirilmesi için kullanılabilmesine rağmen araştırmalar sanayinin ilgisi alüminyum alaşımlarını birleştirmek üzerine toplanmıştır. Bu kaynak yöntemi 1 mm'den az 35 mm'den daha kalın olan ve kaynaklanamaz olarak düşünülen alüminyum malzemelere uygulanmış ve çok iyi mekanik özellikler elde edildiği görülmüştür [25].

Bu metot ile yapılan birleştirmelerde, mükemmel bir birleştirme mukavemeti elde etmek mümkün olduğu gibi, oldukça düşük bir malzeme çarpılması söz konusudur [26,27].

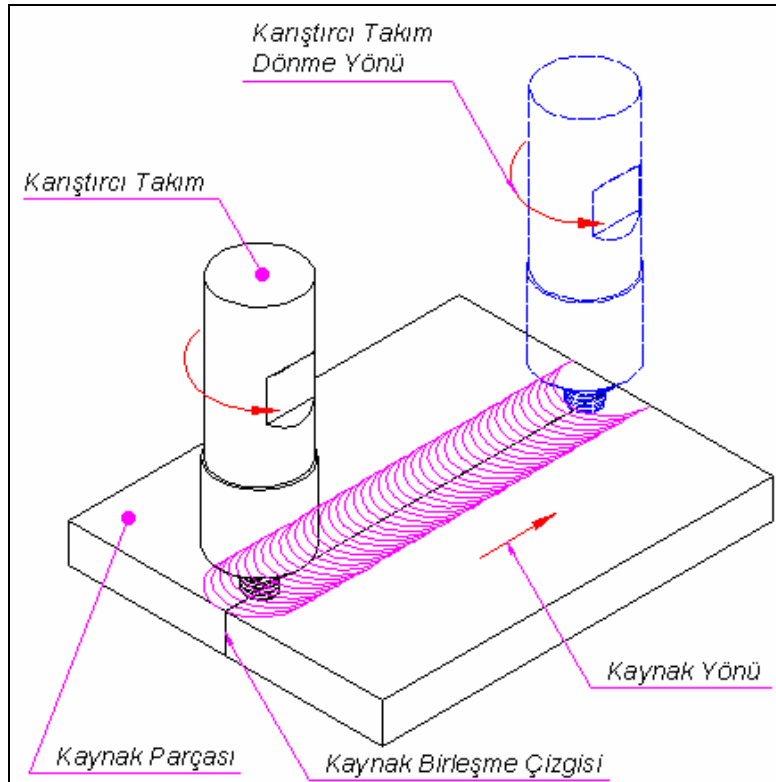
Bu kaynak yöntemi alın altına sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen kademeli bir karıştırıcı ucun daldırılarak kaynak yapılmak istenen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesinden ibarettir [1].

3.2.1. Sürtünme karıştırma kaynağının temel ilkesi

Bir sürtünme karıştırma kaynağını yapmak için birleştirilecek olan parçaların, kaynak esnasında yana, yukarıya ve ileriye doğru hareket etmelerini önlemek için, destek parçasının üzerine sıkıca bağlanması ve sabitlenmesi gerekir. Çünkü birleştirme esnasında iş parçaları yukarı doğru kalkmaya, yana doğru kaymaya ve ileriye doğru itilmeye çalışılacaktır. Bu sabitleme işlemi çeşitli hidrolik baskı pabuçları ile yapılabilir. Ucu özel olarak imal edilmiş silindirik kademeli bir karıştırıcı takımın dönmekte olan bir karıştırıcı ucu yavaşça birleşme hattı üzerine bastırılır. Dönen karıştırıcı takımın ucu kaynak yapılmak istenilen yüzeye temas ettiği zaman meydana gelen sürtünme, karıştırıcı takım ucun temas ettiği noktayı aniden ısıtır ve böylece malzemenin mekanik direncini azaltır. Uygulanan kuvvet altında karıştırıcı takım bu malzemeyi, karıştırıcı takım omuzu da izlenen yüzeye

temas edinceye kadar karıştırıcı takım onun hareket ettiği yönde zorlamakta ve yerinden oynatmaktadır. Bu işlemde dönen karıştırıcı takım ucunun meydana getirdiği sürtünme ısısı, karıştırıcı takım ucu etrafında ve karıştırıcı takım omuzu altında yumuşamış bir metal tabakası oluşturur. Kaynaklanacak parçaların veya karıştırıcının ileriye ve geriye hareket etmesi halinde, yumuşamış olan metal karıştırıcı takım ucunun ön yüzü tarafından kaldırılır ve karıştırıcı takım mekaniksel dönüş yönünde ve bastırma hareketi ile karıştırıcı takım ucunun arkasından dönerek sürüklenir [1].

Sonuç olarak karıştırıcı uç birleşme hattı içine girdikçe oluşan sürtünme birleşme yüzeylerini ısıtarak metali yumuşak hale çevirmekte, takiben birleşme hattını ezerek oksit filmini kırmakta, yumuşak metali karıştırarak birbirine birleştirmekte ve ileriye hareketi ile geride kalan birleşim soğuyarak katı hal kaynağı oluşturmaktadır. Tüm bunlar alaşımın ergime noktasının altında bir sıcaklıkta meydana gelir [5,7].



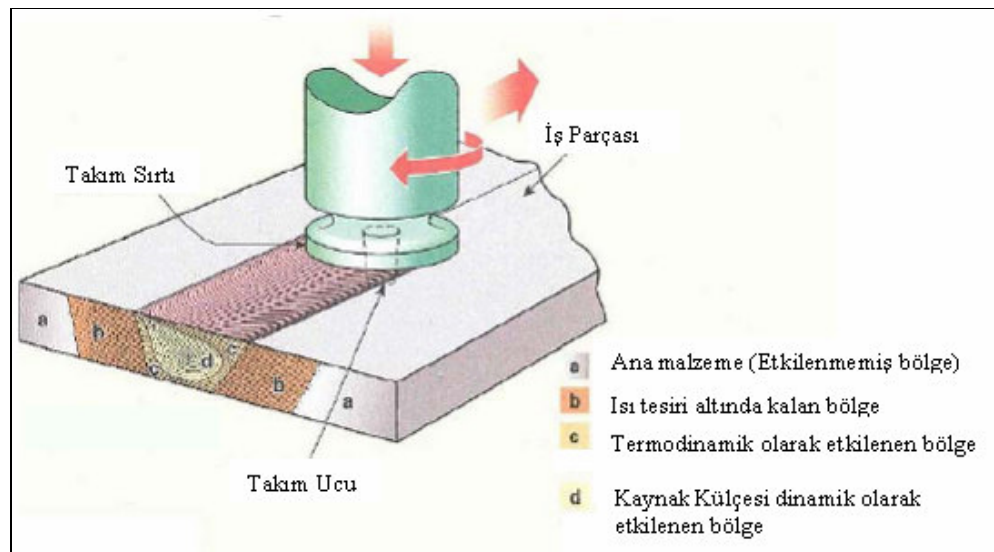
Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağının yapım aşaması

Sürtünme karıştırma kaynağı, uçak, tank ve uzay araçlarının bazı parçalarının yapılmasında kullanılmaktadır. Kaynak yapılışı Şekil 3.2’ de gösterilmektedir.

3.2.2. Sürtünme karıştırma kaynağının kaynak dikiş şekli ve metalürjik yapısı

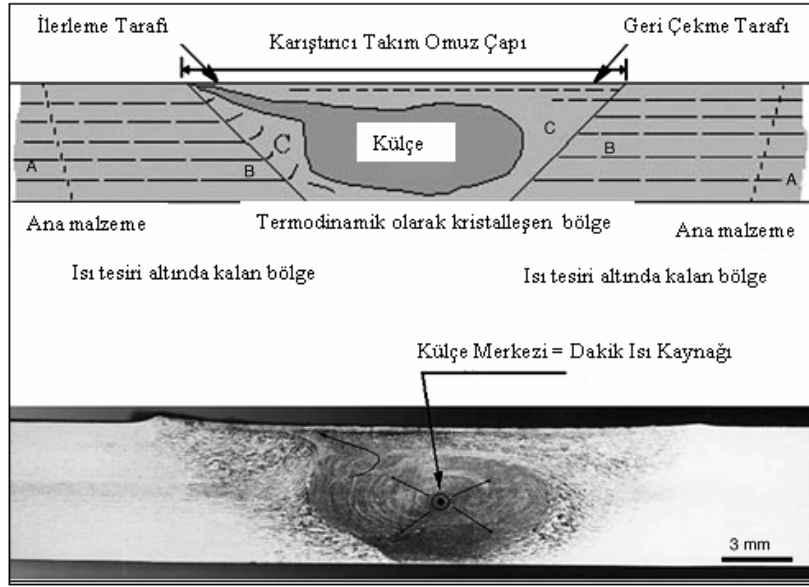
Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi bir katı hal yöntemi olduğundan kaynak dikişinde ergime meydana gelmez. Yüksek ısı olmadığından ısıdan etkilenen bölge de oldukça dardır. Ergitme kaynak yöntemi ile elde edilen kaynak dikişlerinden farklı bir kaynak dikişi ve metalürjik yapı elde edilir. Isıdan etkilenmeyen ana metalden kaynak dikişine doğru oluşan bölgeleri sıralarsak, kaynak bölgesinde oluşan içyapı Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de şematik olarak gösterilmiştir [1].

Kaynak bölgesi üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler DEB (dinamik olarak etkilenen bölge), TEB (termodinamik olarak etkilenen bölge) ve ITAB (ısı tesiri altında kalan bölge) nin şekli kaynak parametrelerine, birleştirilen alaşımların mekanik özelliğine ve kullanılan karıştırıcı takım uç şekline bağlı olarak değişmektedir [28].



Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi [29]

Sürtünme hareketi ile bütün oksit ve diğer tabakalar parçalanarak yüzeyden uzaklaştırılır ve sürtünen yüzeyler arasındaki sürekli temas kaynak sırasında oksit filmlerinin oluşmasını önler [3].



Şekil 3.4. Soğuk olmayan kaynak koşulları için sürtünme karıştırma kaynağının büyütülmüş şematik gösterimi [30]

Sürtünme karıştırma kaynağı sırasında kaynak süreksizliklerinin büyük bir kısmı ortadan kaldırılabilir. Bağlantı bölgesi, hızlı yerel ısıtma ve soğutma sonrası uygulanan yüksek basınç nedeni ile ince taneli bir yapıya sahiptir. Hızlı yerel ısıtma ve ayrıca bağlantıya bitişik olan göreceli olarak geniş ısıtılmamış bölgeler, yerel ısınmış bölgelerden ısıyı hızla çekmesi sonucunda çok dar bir ısının tesiri altındaki bölge oluşur[3].

Isıdan etkilenmeyen ana metal; Kaynak bölgesinden yeterince uzakta olup, karıştırma esnasında oluşan ısıdan etkilenmez. Bu bölgede plastik şekil değiştirme olmaz. Malzemenin mikro yapı özelliklerinin değişmediği ana metal bölgesidir [7].

ITAB; Kaynak metaline daha yakın, ısıdan etkilenmeyen ana metale komşu olan bölgedir. Bu bölgedeki malzeme karıştırma esnasında meydana gelen ısıdan etkilenir

ve malzemenin mikro yapı özellikleri değişir. Bu bölgede plastik şekil değiştirme olmaz. Karıştırma esnasında oluşan ısı değerinin yüksek olması nedeniyle, ergitme kaynak teknikleri ile karşılaştırıldığında ITAB daha dardır [7].

TEB; Hem ısının etkilediği hem de plastik şekil değiştirmenin olduğu ITAB' a komşu olan bölgedir. Bu bölgede karıştırmanın etkisiyle hem plastik deformasyon meydana gelmekte hem de oluşan ısının etkisiyle kısmi ince taneli bir yapı oluşmaktadır. Karıştırma tekniği ile birleştirilen alüminyum termodinamik etkilenen bölgesinde yeniden kristalleşme gözükmez [7].

DEB; Kaynak dikişinin merkezinde oluşan ve insan midesine benzer bir şekilde bulunan bölgedir. Aşırı plastik şekil değiştirmenin ve oluşan ısı ile mikro yapı özelliklerinin değiştiği bölgedir. Metal yığına benzediği için, kaynak külçesi adı verilmiştir. Bu bölge alüminyum birleştirmelerinde çok net bir şekilde belli olur. Diğer metallerde çok net değildir. Alüminyum alaşımlarında yeniden kristalleşen bölgedir. Genellikle yapısı soğanın iç yapısına benzer. Çok dar aralıklarla birbirini takip eden halkaların dizilişi şeklinde bir kesite sahiptir [7].

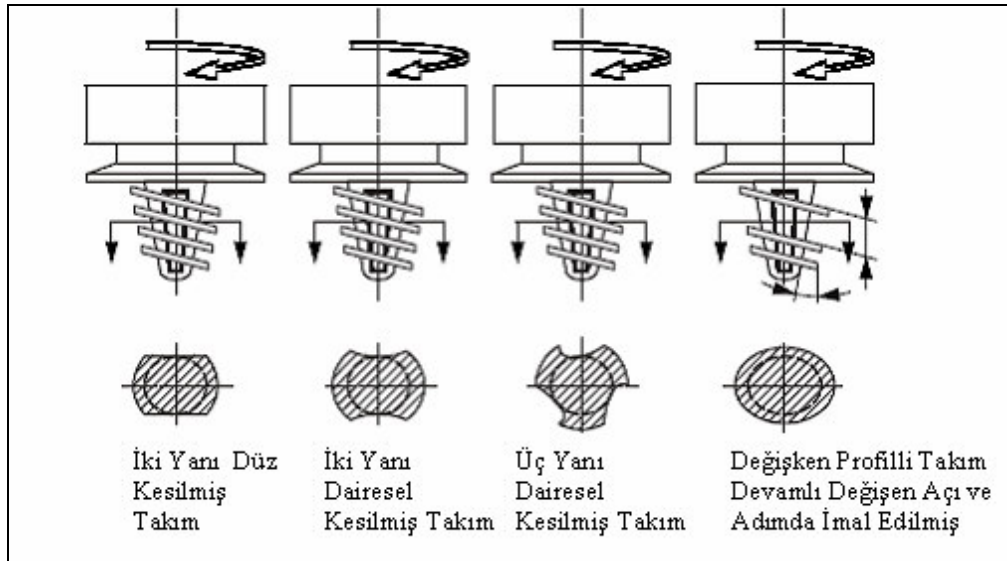
3.2.3. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takım uç şekilleri ve takım özellikleri

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde kullanılan karıştırıcı takımın iki bölgesi vardır: Birincisi, karıştırma işleminin yapıldığı helisel bir diş şekline sahip uç kısmı ikincisi ise, bu uç kısmının üstünde bulunan ve birleştirilecek parçalara temas ettirilen geniş yüzey çıkıntısıdır. Karıştırıcı takımın uç kısmı ve geniş yüzey çıkıntı kısmı gelişi güzel tasarlanamaz. Düzgün bir kaynak işlemi elde edebilecek tasarım ve görünüş kesitleri kullanılmalıdır [7].

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde birleştirme kalitesini etkileyen en önemli faktör, karıştırıcı takımın tasarım profili ve diş formudur. Bu faktörlere bağlı olarak birleştirme kalitesi değişmektedir. Bu nedenle en uygun ve ideal

sonuçlar verecek özelliklere sahip bir karıştırıcı takım ucunu seçmek oldukça önemlidir [7].

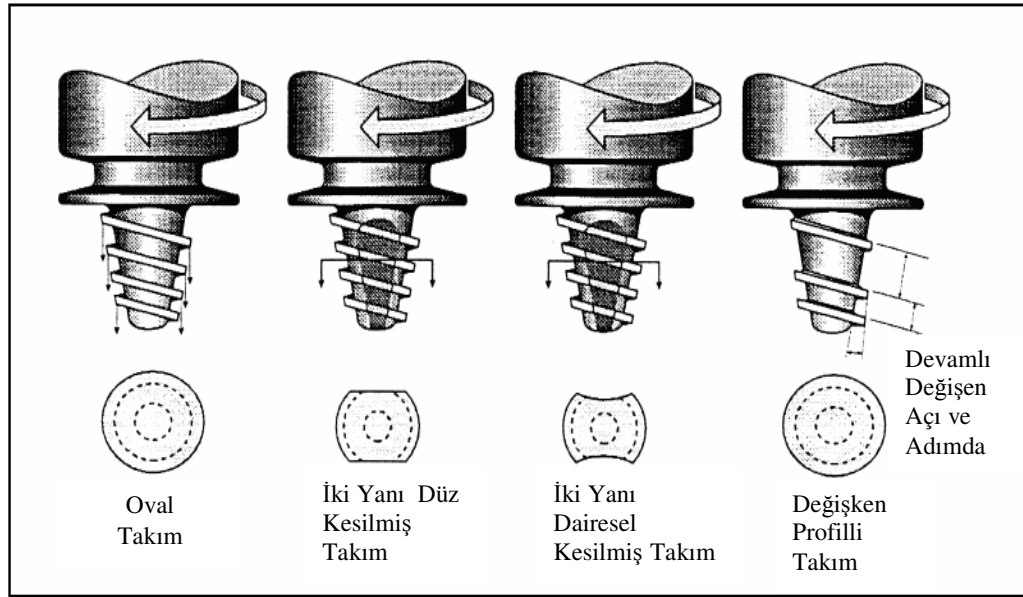
Karıştırıcı takımın profil tasarımı, kaynak bölgesindeki metal akış yolunu kolaylaştıracak bir tasarım şekli düşünülerek yapılmalıdır. Karıştırıcı takım helisel bir vida diş formuna sahip olup, takım profil kesiti değişik şekillerde tasarlanabilmektedir. Örneğin; oval, üç kenarlı, iki kenarlı ve dairesel helisel diş profiline sahip, karıştırıcı uçlar geliştirilmiştir (Şekil 3.5-Şekil 3.6). Helisel dişlerin arasındaki mesafe, diş kalınlığı ve diş açısı kaynak kalitesini etkilemektedir [7].



Şekil 3.5. Basit sürtünme karıştırma kaynağı takımları [31]

Helisel dişlerin aralarındaki mesafe, diş kalınlığı ve açısı kaynak kalitesini etkilemektedir. Karıştırıcı takımın helisel dişleri arasındaki mesafe, dişlerin kalınlığından daha büyük olması halinde karıştırma esnasında şekil değiştiren malzemenin helisel diş aralıklarından daha kolay aktığı tespit edilmiştir. Helisel dişlerin yüzeyel alanı, malzeme özelliklerine göre farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle en uygun malzeme akışını sağlayacak helisel diş formu daima tercih edilmelidir [7].

Karıştırıcı takımın üst kısmındaki geniş yüzey çıkıntısının iç (takım alın) görünüş şekli, iş parçası ile en iyi temas sağlayacak ve karıştırıcı takım ucu ile parçayı en iyi şekilde sıkıştırabilecek bir şekilde seçilmelidir. Bu geniş yüzey çıkıntısı iş parçası ile öyle temas etmeli ki, karıştırma sonucu hamurumsu hale gelen ve dışarıya doğru çıkmak isteyen metalin kaçışını önleyebilsin. Metal kaçışını önlemek amacıyla, çıkıntısının iş parçası ile temas edecek yüzeylerine (takım alınına), spiral veya aynı merkezli dairesel oyuklar açılmıştır. Aynı merkezli dairesel oyuklar sayesinde, karıştırıcı takım iş parçası üzerinde daha rahat hareket eder. Bu oyuklar, kaynak metali üzerinde sürekli birbirini takip eden yarım ay şekilleri meydana getirirler [7].



Şekil 3.6. Bazı tipik sürtünme karıştırma kaynağı takımları [32]

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde, malzemelerin karıştırılarak birleştirilmelerinin sağlanması için bir karıştırıcı takım kullanılır. Bu takım işlem esnasında ergimemeli ve aşınmamalıdır. Özel bir diş formuna sahip bu karıştırıcı takım, birleştirme esnasında deforme olmamalı ve diş formu bozulmamalıdır. Dolayısıyla karıştırıcı takım, yüksek sıcaklıklarda iyi dinamik ve statik özelliklere

sahip aşınmaya dayanıklı, en az 62 HRC sertliğinde çelik malzemelerden yapılmalıdır [7, 13, 33].

3.2.4. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilen malzemeler

Birçok metalik malzeme ve bileşimlerinin sürtünme karıştırma kaynağı için, uygulamalar ve deneylerle elde edilmiş verileri mevcuttur. Sürtünme karıştırma kaynağının özelliği, ergitme kaynağı yöntemlerinin uygulanamadığı malzeme ve malzeme bileşimlerinde de başarıyla kullanılmasıdır. Diğer kaynak yöntemleri için kaynağa uygunluğunu belirleyen ölçütler, sürtünme karıştırma kaynağı için her zaman kullanılmaz. Bunun nedeni, birleştirme sıcaklığının düşük, kaynak süresinin kısa ve birleştirmenin bir kuvvet altında yapılmasıdır. Buna örnek olarak çeliğin alüminyum ve bakır ile toz metalürjisi ile üretilen parçaların ve seramiklerin alüminyum ile sert ve ağır metallerin diğer metallerle sürtünme karıştırma kaynağı tekniğiyle yapılan birleştirmeleri gösterilebilir [34].

Döküm-döküm alüminyum alaşımlarında, döküm-dövme alüminyum alaşımlarında, sıvı hal kaynak yöntemleri ile kaynağı güç olan 0,8 mm kalınlığındaki çinko sacların kaynağında, düşük karbonlu yumuşak çeliklerde, orta karbonlu çeliklerde, metal matrisli kompozitlerde, plastiklerde, farklı iki malzemenin kaynaklarında, bakır alaşımlarında, kurşun, titanyum ve çinko alaşımlarında bu yöntem başarı ile uygulanmaktadır. Ayrıca zırh kaliteli alüminyum sacların sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği üzerine mekanik testler yapılmıştır [6].

Dayanıklılığı yüksek ve üstün balistik performansı olduğu bilinen zırh kaliteli alüminyum alaşımlar halen deniz kuvvetlerinin gelişmiş amfibrik taarruz araçlarında kullanılmaktadır. Geleneksel ark kaynağı GMAK (gaz metal ark kaynağı) ve GTAK (gaz tungsten ark kaynağı) ile yapılan belirli 2519 kaynak tipleri maalesef gerekli balistik eleme testlerinden geçememişlerdir. Testten geçememek, birçok kaynak birleştirme tasarımının araç yapısında kullanılmasını engellemektedir. Balistik eleme

sırasında 2519' un kusuru diğer alüminyum zırhları ile kıyaslandığında nispeten düşük genleşebilme özelliğine atfedilmiştir [34].

Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilecek gereçlerin ikisinin de eş prizmatik kesitli olması gerekir. Aynı özellikte veya farklı özellikte olan malzemeler sürtünme karıştırma kaynağı ile birbirine kaynak edilebilir. Fakat aynı özellikteki malzemelerin seçilmesi, kaynağın daha kaliteli olmasını sağlar. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birbirine kaynak edilebilen malzemeler şunlardır:

- Bakır, alüminyum ve alaşımları,
- Düşük karbonlu çelikler, alaşımlı çeliklerle, paslanmaz çeliklerle, alüminyum ve alaşımlarıyla,
- Pirinc, alüminyum ve alaşımları,
- Bronz, alüminyum ve alaşımları,
- Bakır, çelikle,
- Pirinc, çelikle,
- Titanyum ve titanyum alaşımları, çelikle,
- Titanyum ve titanyum alaşımları, alüminyum ve alaşımlarıyla,
- Paslanmaz çelik, Zirkonyum gibi metallerle kaynak yapılabilir [21].

Belirtilen bu metal ve alaşımların özellikleri birbirinden farklı olmasına rağmen, sürtünme karıştırma kaynağı ile kolaylıkla birleştirme yapılabilmektedir.

Sürtünme karıştırma kaynağının 2519 T87 zırhlı alüminyum alaşımı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılıp kullanılmayacağı hususunu tespit etmek üzere GDYS (Genel dinamik yer sistemleri) ile EKE (Edison kaynakçılık enstitüsü) tarafından ortak bir program yürütülmüştür [35].

Sürtünme karıştırma kaynağı takım geometrisini ve kaynak parametrelerini başlangıçta bildirmek üzere bir termal model kullanımını kapsıyordu ve istenilen sonuçları almak için ihtiyaç duyulan kaynak parametrelerini daha sonra netleştirmek

için istatiksels olarak tasarlanan bir deneyi geliştirmek üzere bu modelin verileri kullanılmıştır. Bu program sonucu yapılan iş, ısının tesiri altındaki bölgeye benzer, ancak önemli derecede yüksek genleşmeye sahip sürtünme karıştırma kaynağı yapmak olmuştur. Gelişim işlem parametrelerini kullanarak uzunluğuna yapılan kaynak sacları, balistik kaynak darbe testinden istenilen hususlardan başarı ile geçmiştir [35].

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynak zellikleri

Alüminyum ve alüminyum alaşımları kaynak edilmesi zor olan malzemelerdir. Bu malzemeler bazı istisnalar hariç (7075 alaşımı gibi) ticari olarak ark kaynağı ile birleştirilmektedirler. Fakat ergitmeli kaynak yöntemleri (ark, lazer ve elektron kaynağı) ve difüzyon kaynağı gibi bilinen kaynak yöntemleri ile kaynaklarında çeşitli sorunlar bulunmaktadır [1].

Sıvı hal kaynak yöntemleri ile alüminyum alaşımlarının (zellikle yaşlandırma ve sertleştirme yapılmış olanların) kaynağında yüksek miktarda çatlak ve gözenek oluşumu gibi problemler mevcuttur. Alüminyum alaşımlarının kaynağı esnasında çatlak oluşumunun nedeni, bu alaşımların katılaşma sıcaklık aralıklarının geniş olması ve ısıl genleşme katsayılarının yüksek olmasıdır. Ark kaynağında yüksek ısı girdisi, bu malzemelerin ısıl genleşmelerinin yüksek olması ve katılaşma sıcaklık aralıklarının geniş olması sonucu özellikle çatlamaya daha duyarlı yaşlandırma sertleştirmesi yapılmış alüminyum alaşımlarında kaynak dikişinde çatlak oluşumuna neden olur. Ark kaynağındaki yüksek ısı girdisi ayrıca ITAB’ da tane sınırlarında düşük ergime dereceli fazların oluşumuna ve bu bölgede de çatlamaya yol açabilir. Gözenek oluşumunun nedeni ile alüminyum sıvı halde hidrojen çözünürlüğünün katı haldekinden çok daha yüksek olmasıdır [1].

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ark kaynağında karşılaşılan diğer bir zorluk bu alaşımların ısı iletkenlik katsayılarının yüksek olması nedeniyle ısının kaynak bölgesine çok hızlı bir şekilde uygulanması zorunluluğudur. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının özellikle yaşlandırma sertleştirmesine tabi tutulmuş türlerin

ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilmelerinde karşılaşılan bir başka sorun kaynak dikişinde sertleştirici çökeltilerin çözünmesi ve tane sınırı segregasyon sonucu ITAB’ da aşırı yaşlanmadan dolayı mukavemetin düşmesidir. Bu durum kaynak yapılan ana malzeme ile kaynak bölgesinde mekanik uyumsuzluğa neden olmakta ve kaynak bölgesinde mukavemet düşüşü olarak bilinmektedir [1].

3.2.5. Sürtünme karıştırma kaynağında etkin olan kaynak parametreleri

Sürtünme karıştırma kaynağı kontrolü gereken oldukça çok sayıda parametre içerir. Bu yöntemle ilgili değişkenler devir sayısı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, ilerleme süresi, yığma geciktirmesi süresi, yığma basıncı (dövme) ve yığma süresidir. Yapılan çalışmalarda yöntem üzerinde en etkili olan ve optimizasyonu gerektiren parametrelerin devir sayısı, sürtünme karıştırma süresi, ilerleme ve kullanılan takım olduğunu göstermiştir. Bu değerlerin dışında kaynatılacak malzeme şartlarına bağlı parametreler de söz konusudur [3].

Konu ile ilgili kaynak eserler incelendiğinde kaynak parametreleri ile ilgili şu genel sonuçlar çıkarılabilir [36].

Dönme hızı termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölgenin genişliğine de etkilidir. Çelikler için çevresel hız 1,2-1,8 m/s arasında önerilmektedir. 1,2 m/s altındaki hızlar çok yüksek momentler dolayısıyla uniform olmayan yığmalar meydana getirir. Bununla birlikte farklı metal bağlantıları için düşük hızlar, gevrek bir intermetalik bileşiğin formlaşmasını minimize edebilir. Yüksek hızların kullanılması durumunda ise sürtünme karıştırma süresi ve basıncı çok iyi kontrol edilmelidir [36].

Sürtünme basıncı ve yığma basıncı, numune geometrisine ve yapıldığı malzemeye bağlıdır. Değişim dar bir aralıkta değildir. Basınç değişkeni kaynak bölgesindeki sıcaklık veya eksenel kısalma ile kontrol edilebilir. Sürtünme basıncı temas eden yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek, atmosfer ile ilişkisini kesebilecek ve ara

yüzeylerde dengeli bir ısınmayı sağlayabilecek değerde olmalıdır. Yığma basıncı ise malzemelerin sıcak akma sınır değerine bağlıdır. Aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar yüksek, yetersiz kaynamaya neden olacak kadar da düşük olmamalıdır. Farklı malzemelerin kaynağında sıcak akma sınırı düşük olan malzeme esas alınarak yığma basıncı tespit edilir. Genel olarak yumuşak çeliklerin sürtünme basıncı 30-65 MPa, yığma basıncı 75-140 MPa iken orta ve yüksek karbonlu çeliklerin kaynağında sürtünme basıncı 70-210 MPa, yığma basıncı ise 100-420 MPa arasındadır [36].

Sürtünme ve yığma süreleri malzemeye bağlıdır. Sürtünme süresi malzeme yüzeylerindeki pislik ve oksitleri temizleyebilecek gerekli plastisite için uniform bir kaynak bölgesi sıcaklığını sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Uygun bir kaynak bağlantısı için ısıtma süresi iyi tespit edilmelidir. Yetersiz ısıtma süresi kaynakta uygun plastisite değeri yakalayamadığı için birleşme yetersiz olacaktır. Aşırı ısıtma zamanı ise yığma basıncı sırasında fazla yığılmadan dolayı malzeme kaybına neden olacaktır [37].

Malzemenin özelliklerine göre karıştırıcı takımın tasarım şekli seçilir. Kaynak yapılacak parçaların kalınlıklarına göre ve kaynak derinliğine göre ucun uzunluğu belirlenir. Eğer malzeme kaynak derinliği parça kalınlığı ile aynı olarsa karıştırıcı takımın boyu parça kalınlığından 0,2 mm daha kısa olacak şekilde imal edilir. Örneğin malzeme kalınlığı 5 mm olan parçayı kaynatmak için takım boyu 4,8 mm olabilir.

3.2.6. Sürtünme karıştırma kaynağının kullanım alanları

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi alüminyum ve alaşımlarının kullanıldığı uçak, gemi, inşaat, kara ve demiryolu taşımacılığında kullanılan araç ve gereçlerin birleştirilmesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Ayrıca mutfak araç gereçleri, beyaz eşya imalatı, gaz depoları ve metal mobilya imalatında da kullanılmaya başlamıştır [6,38].

Demiryolu ve taşımacılık endüstrisi

Alüminyum ve alaşımları kullanılarak imal edilen yüksek hız trenlerindeki birleştirmeler, tren vagonları, tramvay ve yer altı metro vagonları, demiryolu tankerleri, konteynır gövdeleri sürtünmeli karıştırma tekniği ile birleştirilerek imal edilmeye başlanmıştır [6,38].

Gemi endüstrisi

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinin en yaygın olarak kullanıldığı endüstri alanı, gemi endüstrisidir. Hafif ve korozyona dayanıklı olan alüminyum ve alaşımları kullanılarak imal edilen feribot, hız tekneleri ve yelkenlilerin artması sonucu, sürtünme karıştırma kaynağı tekniği ön plana çıkmıştır. Gemi endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen parçalar şunlardır:

- Gemi üzerinde inşa edilen helikopter iniş platformu,
- Kıydan uzak deniz içi platformların yapımı,
- Yelkenli gemilerde kullanılan gemi direği,
- Balıkçı teknelerinde kullanılan soğutucu veya dondurucu kabin,
- Feribotun alüminyum güvertesi,
- Deniz suyuna dayanıklı ve bal peteği panellerinin,
- Gemi güvertesi, kenarı, döşemesi ve kabin bölmelerinde kullanılan panellerin birleştirilmesi. Örneğin; gemi kabin bölmelerinde kullanılan paneller için, 5 adet 250 mm genişliğindeki levhalar birleştirilip, 1250x5000 mm boyutunda panel imal edilmektedir [6,38].

Havacılık endüstrisi

Son yıllarda uçak ve uzay sanayinde kullanılan bazı parçaların sürtünme karıştırma kaynağı tekniği ile birleştirilmesi hız kazanmıştır. Uçak kanadı imalatında kanadı oluşturan ana kiriş, kaburga ve kolonlar ile kaplama sacının birleştirilmesinde

sürtünme kaynak tekniğinin uygulanabilirliği araştırılmakta ve çeşitli deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Uzay mekiklerinde kullanılan alüminyum ve alaşımlarından imal edilen yakıt tankları, bu teknikle birleştirilmiş ve Delta II adındaki uzay mekiğinde başarıyla kullanılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilen uçak ve uzay sanayinde kullanılan parçalar şunlardır:

- Uzay mekiği yakıt tankı,
- Kanatlar, uçak gövdesi ve uçağın kuyruk kısmı,
- Uçakta kullanılan yakıt depoları,
- Askeri ve bilimsel amaçlı roket imalatı [6,38].

Otomobil endüstrisi

Yakıt tasarrufu ve yüksek hız elde etmek amacıyla otomobil imalatında alüminyum ve alaşımları kullanılmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesi için sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılan parçalar şunlardır:

- Motor şasi ve yatakları,
- Alüminyum alaşımlı jant imalatı. Jantın göbek kısmı dökme alüminyum alaşımı olup, dövme alüminyum alaşımı olan dış kısmı ile sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirilmişlerdir,
- Yakıt depoları,
- Kavran,
- Hava alanlarında kullanılan yolcu ve yük taşıma araçları,
- Motosiklet ve bisiklet gövdeleri,
- Alüminyum gövdeli otomobillerin tamiri,
- Taşınabilir vinç,
- Otomobil gövde parçalarının imalatı [6,38].

İnşaat endüstrisi

İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum veya bakırdan dış cephe panellerinin imalatında, alüminyum merdiven, asansör kabini, alüminyum boru, pencere kasası imalatında, enerji santrallerinde, kimya sanayinde kullanılan alüminyum reaktör imalatında, ısı eşanjörleri ve klima imalatında da sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılmaktadır [6,38].

Elektrik sanayi

Elektrik motor koruyucusu, elektrik bağlama çubuğu ve bazı elektrik bağlantılarında sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılmaktadır [6,38].

3.2.7. Sürtünme karıştırma kaynağının avantajları

Sürtünme karıştırma kaynağının dezavantajları olduğu gibi, bilinen diğer kaynak işlemlerine göre daha fazla avantajlara sahiptir. Sürtünme karıştırma kaynağının avantajları aşağıdaki gibidir:

1. Farklı özelliklerdeki malzemelerin birbirleri ile birleştirilmesine uygundur. Ergitme kaynağı ile birleştirilemeyen malzemeler ve kompozitler bu yöntem ile rahatlıkla birleştirilirler.
2. Uygun kaynak parametreleri ve karıştırıcı uç kullanıldığı takdirde güvenilir ve sağlam birleştirme elde etmek mümkündür. Ergitme tekniği ile birleştirilen malzemelerin mukavemet değerleri ile karşılaştırıldığında sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen parçaların yorulma, çekme ve eğme mukavemetlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
3. Birleştirme işlemi malzemenin ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki katı faz aşamasında gerçekleştirildiğinden, ergitme kaynağı ile birleştirilmesi zor olan 2000 ve 7000 serili alüminyum alaşımlarının birleştirilmesine uygun bir yöntemdir.

4. Kaliteli bir karıştırıcı ucun kullanılması ile 100 metre uzunluğuna kadar levhaların hatasız birleştirilmesi ile panel haline getirilmeleri mümkün olmaktadır.
5. Alüminyum alaşımlarının yüzeyinde bulunan ince oksit tabakasını temizlemeden birleştirme işlemi yapılabilir.
6. Katı hal birleştirme yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile alüminyum ve alaşımlarını birleştirmede, sıvılaşma ve katılaşma çatlakları oluşmaz.
7. Alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesinde plastik deformasyon sayesinde, ana metale göre kaynak metalinde daha ince taneli bir yapı ve yeniden kristalleşme meydana gelir.
8. Kaynak metali içerisinde buharlaşma olmadığı için alaşım elementi kaybı olmaz. Dolayısıyla malzemenin alaşım içeriği aynı kalır.
9. Kaynak dikişi sonunda eğer otomatik karıştırma aparatı kullanılırsa anahtar deliği hatası oluşmamaktadır.
10. İnsan sağlığına zararlı kaynak dumanı ve radyasyonun olumsuzlukları ile karşılaştırılmaz.
11. Eğritme kaynağında görülen ergiyik metal sıçrama problemi ve ark oluşumu yoktur.
12. Kaynak dikişi uzun olsa bile, oldukça az malzeme çarpılması meydana gelir.
13. Otomatik karıştırma aparatı sayesinde değişik kalınlıklardaki malzemelerin tek bir karıştırma aparatı kullanılarak birleştirilmesi mümkündür.
14. Kaynak metalinde gözenek oluşumu problemi ile karşılaşılmaz.
15. Alüminyum alaşımların üzerinde bulunan ince oksitlenmeler temizlenmeden kaynak işlemine geçilebilir.
16. Tüm kaynak pozisyonlarına uygundur.
17. Enerji tasarrufu sağlar. Elektrik gücü ve toplam enerji gereksinimi diğer kaynak işlemlerinin sadece küçük bir oranı kadardır.
18. Ergiyen ilave metal kullanmaya gerek yoktur.
19. Koruyucu maske ve gaz kullanımına gerek yoktur.
20. Ergimeyi kolaylaştıran malzeme (Flux dolgu malzemesi) ve koruyucu atmosfere gerek yoktur.
21. El kabiliyeti iyi olan kalifiye elemana gerek duyulmaz.

22. Kaynak dikiş kenarlarında oluşabilecek çapakları temizlemek haricinde, taşlama ve fırçalamaya gerek yoktur [6,38,39].

3.2.8. Sürtünme karıştırma kaynağının dezavantajları

Sürtünme karıştırma kaynağının dezavantajları aşağıdaki gibidir:

1. Kaynak hızı ergitme kaynak yöntemlerine göre daha yavaştır. Örneğin; piyasada kullanılan makinelerle 5 mm kalınlığındaki 6000 serisi alüminyum alaşımı için maksimum 75 mm/dakika lık bir hızla çalışabilmektedir.
2. Birleştirilecek parçalar oldukça düzgün sabitlenmelidir. Sabitleme işi için hidrolik baskı pabuçları veya mengeneler kullanmak gerekir. Bu işlem maliyetini artırır.
3. Kaynak dikişi sonunda oluşan ve özellikle boru kaynaklarında problem olan anahtar deliği oluşur [6,38].

4. MALZEME SEÇİMİ VE KAYNAĞIN YAPILIŞI

4.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yapılmasında İşlem Sırası

Sürtünme karıştırma kaynağının yapılmasında aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir.

1. Sürtünme karıştırma kaynağı yapımına uygun malzeme seçimi,
2. Sürtünme karıştırma kaynağı yapımında kullanılacak malzemenin tedarik edilmesi ve kaynak yapımında kullanılacak boyutlara getirilmesi,
3. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak parçaların, kaynak esnasında kolayca sabitlenmesini sağlayacak kalıp tasarlanması ve imal edilmesi,
4. Sürtünme karıştırma kaynağının yapılmasında kullanılacak olan karıştırıcı takımlar tasarlanması ve imal edilmesi,
5. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılması esnasında oluşan ısıyı ölçmek için gerekli olan ısı çiftler (termokulplar) temin edilmesi ve kalıp üzerine yerleştirilerek ısı ölçmede kullanılacak deney düzeneği kurulması,
6. Sürtünme karıştırma kaynak işleminin gerçekleştirilmesi.

4.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yapılmasında Kullanılan Malzemenin Seçilmesi

Sürtünme karıştırma kaynağı yapımına uygun malzeme seçimi için öncelikli olarak çeşitli Alüminyum ve alaşımlı Alüminyum malzemeler temin edilmiş hangi malzemenin daha uygun olduğunu tespit etmek için farklı malzeme tipleri ile sürtünme karıştırma kaynağı yapılarak çeşitli denemeler yapılmıştır. Piyasada bulunan malzemeler denenerek deneyde kullanılacak olan malzeme tipine karar verilmiştir. Deneyde kullanılacak malzemenin belirlenmesinde alışılmış kaynak yöntemleriyle kaynak yapılması zor olan malzemeler üzerinde durulmuştur.

Al 2024 T4, Al 5083 T6 ve Al 7075 T6 olmak üzere üç çeşit Alüminyum malzemenin temininden sonra kaynak yapımı için geçici bir kalıp imal edilerek bu malzemeler kalıp üzerine sabitlenmiştir. Daha sonra HSS (yüksek hız çeliği) den

imal edilmiş olan karıştırıcı takım ile bu üç farklı malzeme sürtünme karıştırma kaynağı yapılmıştır. Bu üç tip malzemenin seçilmesinin sebebi ise literatürde bu üç malzeme tipinin çok kullanılmış olması ve piyasada bulunabilmesidir. Özellikle Al 7075 T6 piyasada istenilen ölçülerde kolayca bulunamamaktadır.

Al 2024 T4, Al 5083 T6 ve Al 7075 T6 malzemelerden oluşan parçalara kaynaklar yapılmıştır. Bu üç malzemeye yapılmış olan kaynaklar karşılaştırılarak en iyi sonucun Al 7075 T6 malzemesiyle yapılmış olan kaynakta olduğu görülmüştür (Resim 4.1-Resim 4.3).



Resim 4.1. Al 7075 T6 Malzemelerin kaynak yapılmış hali önden bakış

Al 2024 T4 ve Al 5083 T6 malzemesiyle yapılmış olan kaynakların daha kötü olmasının sebebi ise bu malzemelerin Al 7075 T6 malzemesine göre çok yumuşak olmalarından, mekanik özelliklerinin çok düşük olmasından ve uygun kaynak parametrelerinin kullanılmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden Al 2024 T4 ve Al 5083 T6 malzemeleri ile yapılan kaynaklarda mekanik özelliklerinin düşük

olmasından dolayı ve uygun kaynak parametrelerinin bilinmemesinden dolayı ergimeler oluşmuştur ve buda sürtünme karıştırma kaynağında istenmeyen bir özellik olduğundan dolayı bu malzemeler tercih edilmemiştir.



Resim 4.2. Al 2024 T4 Malzemelerin kaynak yapılmış hali
a) Önden bakış b) Arkadan bakış

Sürtünme karıştırma kaynağı için elverişli malzemelerin mekanik özelliklerin ve birleşme özelliklerinin iyi olması gerekmektedir. Al 7075 T6 malzemesi mekanik özelliklerinin özellikle çekme dayanımının çok iyi (bazı su verilmiş çelik özelliklerine yakın bir değerde) olmasından dolayı tank, uzay ve uçak sanayisinde bu malzeme kullanılmaktadır.

Yukarıda açıklanmış olan sebeplerden dolayı Al 7075 T6 malzemesinin sürtünme karıştırma kaynağı yapımına uygun olduğuna karar verilmiştir ve tercih edilmiştir. Literatürde daha bir çok alüminyum malzemelerle sürtünme karıştırma kaynağı

yapıldığı gözlenmiş fakat, az çalışılan malzeme üzerinde çalışılmaya karar verilmiştir.



Resim 4.3. Al 5083 T6 Malzemelerin kaynak yapılmış hali

a) Önden bakış b) Arkadan bakış

Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan malzemelerden piyasada ve A.B.D normlarında Al 2024 T4 olarak adlandırılan malzeme. TSE ve DIN normlarında ise AlCuMg2 olarak adlandırılmaktadır. Al 2024 T4 malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de, mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.3’de verilmiştir [40].

Çizelge 4.1. Al 2024 T4 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%) [40]

Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Si	Fe	Ti+Zr	Al
3,80 4,90	0,30 0,90	1,20 1,80	0,10	0,25	0,50	0,50	0,20	Kalan

Çizelge 4.2. Al 2024 T4 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri [40]

Al 2024 T4	Kalınlıklar mm	(Rm) Kopma Mukavemeti N/mm ²	(Rp) Akma Mukavemeti N/mm ²	Süneklik %	Sertlik HB
	4,0 - 25,0	430	280	10	-
	25,1 - 40,0	430	310	12	-
	50,1 – 150,0	410	310	8	-

T4 malzemenin ısıtıl işlem görmüş olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.2'deki kopma mukavemetindeki değişimler büyüklük faktöründen kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.3. Al 7075 T6 Alüminyum alaşımının fiziksel özellikleri [40]

<i>Al 2024 T4</i>	<i>Elastisite modülü N/mm²</i>	<i>Yoğunluk kg/dm³</i>	<i>Özgül Isı J/g.K</i>	<i>Isıl İletkenlik W/m.K</i>	<i>Lineer Isıl Genleşme m/m.K</i>
	70.10 ³	2,77	0,92	113	24.10 ⁻⁶

Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan malzemelerden piyasada ve A.B.D normlarında Al 5083 T6 olarak adlandırılan malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 4.4'de, mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.5-Çizelge 4.6'da verilmiştir [40].

Çizelge 4.4. Al 5083 T6 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%) [40]

<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Cr</i>	<i>Zn</i>	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>
0,10	0,40 1,00	4,00 4,90	0,05 0,25	0,25	0,40	0,40	0,15	Kalan

Çizelge 4.5. Al 5083 T6 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri [40]

<i>Al 5083 T6</i>	<i>Kalınlıklar mm</i>	<i>(Rm) Kopma Mukavemeti N/mm²</i>	<i>(Rp) Akma Mukavemeti N/mm²</i>	<i>Süneklik %</i>	<i>Sertlik HB</i>
	12,0 - 40,0	310	210	20	-

Çizelge 4.6. Al 5083 T6 Alüminyum alaşımının fiziksel özellikleri [40]

<i>Al 5083 T6</i>	<i>Elastisite modülü N/mm²</i>	<i>Yoğunluk kg/dm³</i>	<i>Özgül Isı J/g.K</i>	<i>Isıl İletkenlik W/m.K</i>	<i>Lineer Isıl Genleşme m/m.K</i>
	71.10 ³	2,66	0,97	117	24.10 ⁻⁶

Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılacak olan malzeme piyasada ve A.B.D normlarında Al 7075 T6 olarak adlandırılmaktadır. TSE ve DIN normlarında ise AlZnMgCu1,5 olarak adlandırılmaktadır. Al 7075 T6 malzemesinin kimyasal

bileşimi Çizelge 4.7’de, mekanik özellikleri Çizelge 4.8’de ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.9’da verilmiştir [41].

Çizelge 4.7. Al 7075 T6 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%) [41]

<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Cr</i>	<i>Zn</i>	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Ti+Zr</i>	<i>Al</i>
1,20 2,00	0,30	2,10 2,90	0,18 0,28	5,10 6,10	0,40	0,50	0,25	Kalan

Çizelge 4.8. Al 7075 T6 Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri [41]

<i>Al 7075 T6</i>	<i>Kalınlıklar mm</i>	<i>(Rm) Kopma Mukavemeti N/mm²</i>	<i>(Rp) Akma Mukavemeti N/mm²</i>	<i>Süneklik %</i>	<i>Sertlik HB</i>
	4,0 - 25,0	530	450	5	140
	25,1 - 50,0	530	450	3	140
	50,1 – 150,0	480	410	2	130

Al 7075 T6 Alüminyum alaşımı piyasada ısıtıl işlem görmüş şekilde bulunmaktadır [41]. T6 malzemenin ısıtıl işlem görmüş olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.8’deki kopma mukavemetindeki değişimler büyüklük faktöründen kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.9. Al 7075 T6 Alüminyum alaşımının fiziksel özellikleri [41]

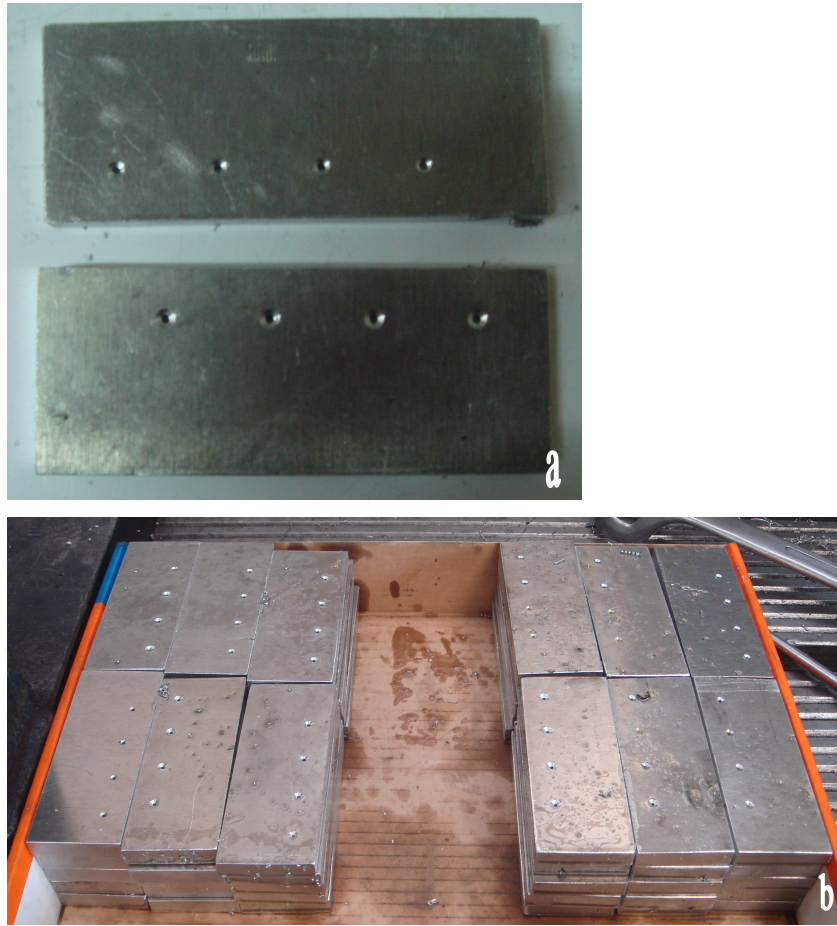
<i>Al 7075 T6</i>	<i>Elastisite modülü N/mm²</i>	<i>Yoğunluk kg/dm³</i>	<i>Özgül Isı J/g.K</i>	<i>Isıl İletkenlik W/m.K</i>	<i>Lineer Isıl Genleşme m/m.K</i>
	72.10 ³	2,80	0,93	130	23,6.10 ⁻⁶

4.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapımında Kullanılan Malzemenin Tedarik Edilmesi ve Kaynak Yapımına Uygun Hale Getirilmesi

Al 7075 T6 malzemesi piyasada lama halinde bulunamadığından dolayı 1000x500x10 mm boyunda levha olarak sipariş üzerine getirtilerek tedarik edilmiştir. Ayrıca bu malzeme Türkiye’de imal edilmemektedir. Piyasada bu malzeme bloklar halinde bulunmaktadır. Fakat Alüminyum malzemenin talaşlı işlemi pahalı ve işçiliği

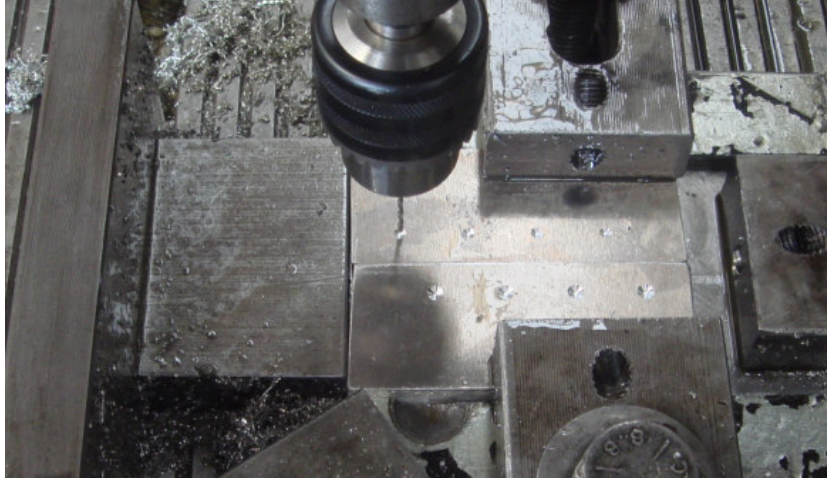
de güçtür. Bu ise işleme maliyetini artırmaktadır. Amaç; ucuza daha sağlam bir kaynaklı birleştirme gerçekleştirmektir.

1000x500x10 boyutlarında tedarik edilmiş olan bu malzeme planyada kesilerek 1000x40x10 boyutlarında 11 adet parça elde edilmiştir. 1000x40x10 boyundaki malzemeler şerit testerede kesilerek 100x40x10 boyularına getirilerek 110 adet deneyde kullanılabilecek parça elde edilmiştir (Resim 4.4).



Resim 4.4. Al 7075 T6 Malzemelerin kaynak yapımına hazır hali
a) Sağ ve sol parçalar b) Parçaların hepsi

Daha sonra bu malzemelere EK-1’de detay resmi gösterilmiş olan sıcaklık ölçme işlemi için gerekli olan 8 mm ve 5 mm derinliğinde olan delikler Ø1,6 matkap ile delinerek kaynak yapımına hazır hale getirilmiştir (Resim 4.5).

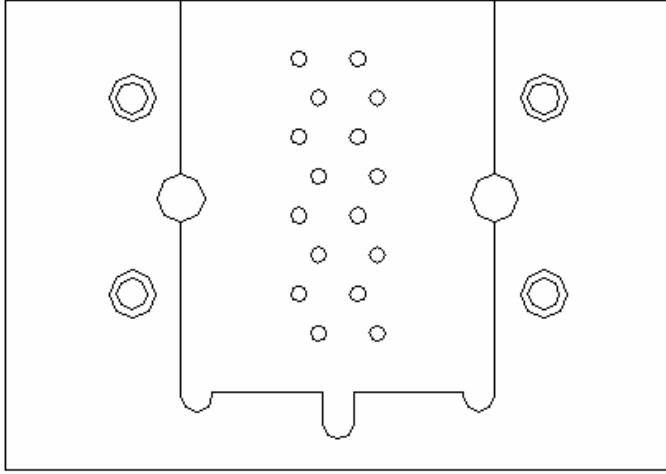


Resim 4.5. Al 7075 T6 Malzemeler üzerine delik delinmesi

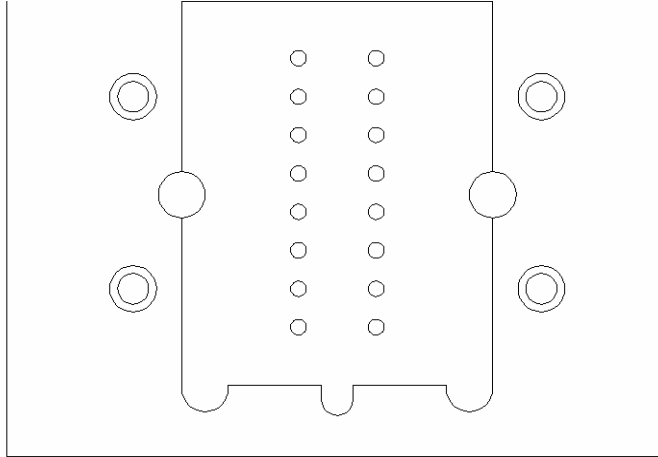
4.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapımında Kullanılan Kalıbın Tasarlanması ve İmal edilmesi

Sürtünme karıştırma kaynağının düzgün bir şekilde yapılabilmesi için parçaların X, Y, Z eksenlerinde hareket etmeyecek biçimde sabitlenmesi gerekmektedir. Ayrıca parçaların rahat bir şekilde kalıba oturması için kalıba bağlanacak parçaların boy, uzunluk ve enleri dikkate alınarak bu boyutlardaki parçaların rahat bir şekilde takılıp sökülmesine izin verecek şekilde olması gerekmektedir. Bu şartlar göz önünde bulundurularak aynı zamanda sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak parçaların, kaynak esnasında kolayca sabitlenmesini ve kolayca sökülmesini sağlayacak, aynı zamanda ısıl çiftlerin sabitlenmesini sağlayacak şekilde kalıp tasarlanmıştır.

Kalıba ısıl çiftlerin bağlanabilmesi için 16 adet Ø3,3 delik delinip M4 kılavuz çekilmiştir. İlk anda sıcaklık ölçmek için kullanılacak delikler Şekil 4.1’de görüldüğü üzere zig zag çizecek şekilde EK-2’deki imalat resmine uygun olarak imal edilmiştir. Bu deliklerin zig zag çizecek şekilde tasarlanmasının sebebi çok farklı bölgelerden sıcaklık ölçümü yapılmak istenmesidir. Fakat karıştırıcı uçların çaplarının büyütülmesinden dolayı ısıl çiftlerin zarar görmemesi için eski delikler kapatılarak (körlenerek) Şekil 4.2’de görüldüğü gibi yeni delikler delinmiştir ve EK-3’te imalat resmin verilmiştir.

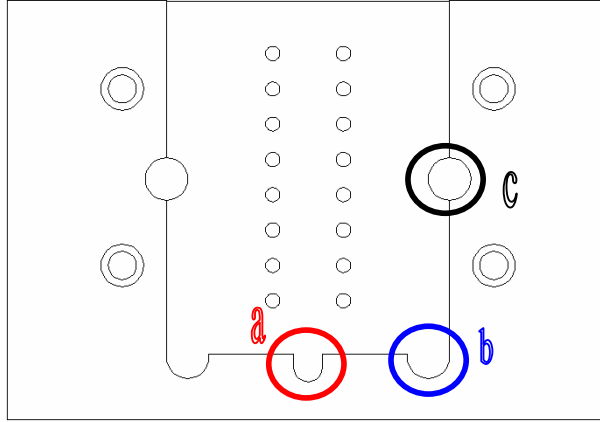


Şekil 4.1. Zig zag şeklinde tasarlanmış ısı çiftlerinin yerleştirileceği delikler



Şekil 4.2. Düz şekilde tasarlanmış ısı çiftlerinin yerleştirileceği delikler

Karıştırıcı takımın, sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak parçadan kaynak bitiminde dışarı çıkması için kanal açılmıştır (Şekil 4.3.a). Sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak malzemenin kalıba düzgün bir şekilde oturtturulabilmesi için kalıbın iç köşeleri dik işlenemeyeceği için freze çakısı ile freze çakısının yarıçapından biraz daha fazla olacak şekilde kanallar açılmıştır (Şekil 4.3.b). Ayrıca kaynak yapılan parçalar kalıp içinde sıkıştığı için bu parçaları çıkarmak için kalıp kanallarının yanına parçaların oturma yüzeylerinden daha derin kanallar açılması gerektiğinden freze çakısı ile bu kanallar açılmıştır (Şekil 4.3.c).



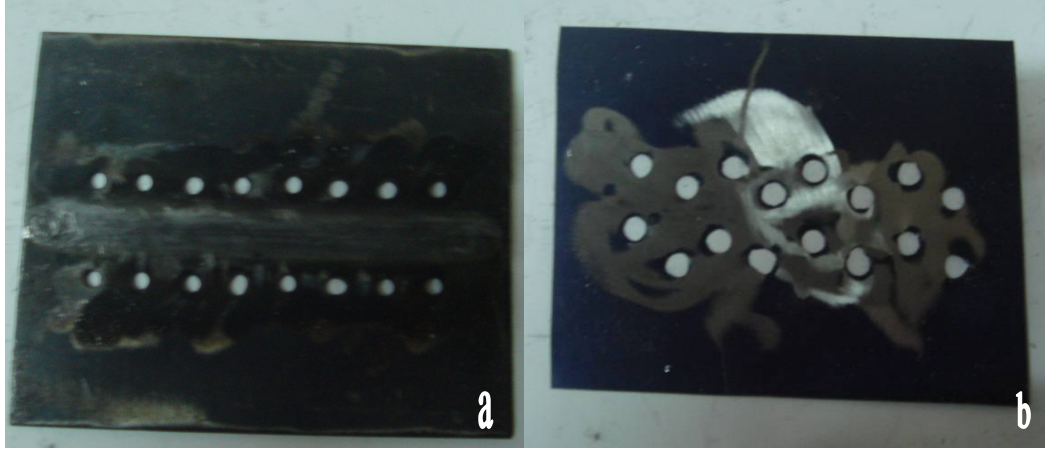
Şekil 4.3. Kalıp üzerindeki kanallar a) Takım çıkma kanalı b) Köşe boşaltma kanalları c) Parça çıkartma kanalları

Kaynatılacak parçaların, sürtünme karıştırma kaynağı esnasında yukarı doğru hareket etmesini önlemek için kaynak kalıbının üst kısmına bağlama pabuçları tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır (Resim 4.6).



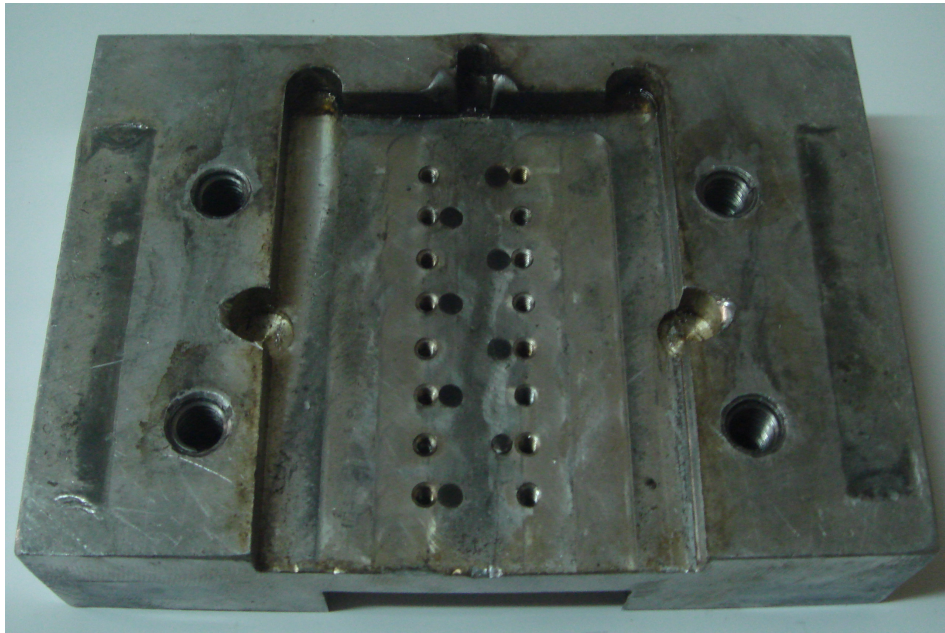
Resim 4.6. Sürtünme karıştırma kaynağı bağlama kalıbı pabucu

Kalıbın üzerine bağlama pabuçların sabitlenebilmesi için delikler tasarlanmıştır. Kalıp Al 5083 malzemeden yapıldığından dolayı parçaların kalba oturduğu yüzeyin kaynak esnasında zarar görememesi için Resim 4.7’de gösterildiği gibi çelik sacdan yapılmış koruyucu plaka kullanılmıştır.

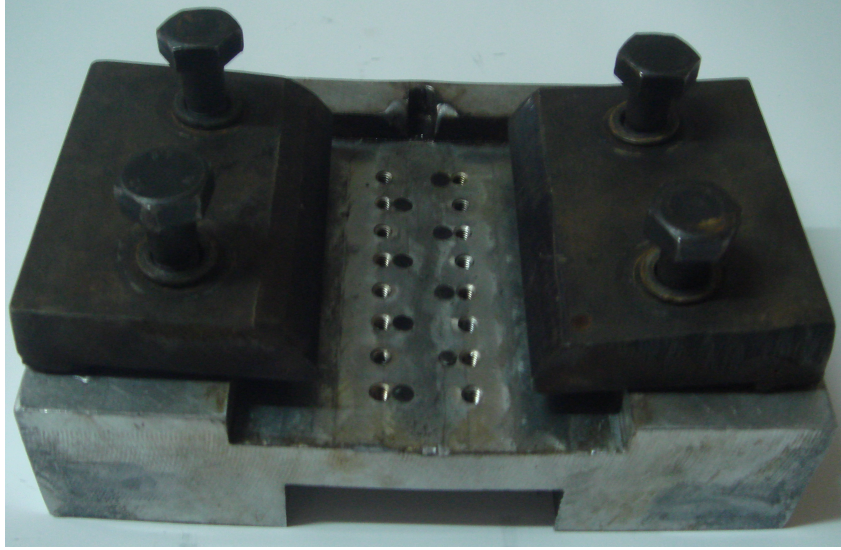


Resim 4.7. Sürtünme karıştırma kaynağı kalıp koruyucu plaka
a) Kalınlık 1,50 mm b) Kalınlık 0,30 mm

Kalıba kaynak yapılacak parçaların bağlanması esnasında M10 cıvataların sık sık sökülüp takılması esnasında vida dişlerinin bozulmaması için vida ataçları kullanılmıştır. Kalıbın kolay ve gayet düzgün olarak makine tablasına sabitlenebilmesi için kalıbın bütün kenarları işlenerek imal edilmiştir (Resim 4.8-Resim 4.9).



Resim 4.8. Sürtünme karıştırma kaynağı bağlama kalıbı

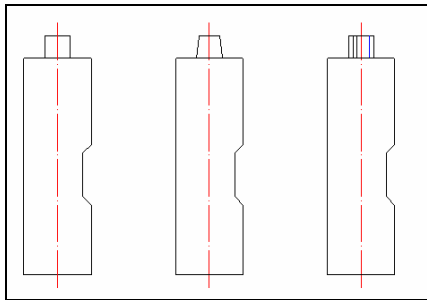


Resim 4.9. Sürtünme karıştırma kaynağı bağlama kalıbı ve pabuçlar

Kaynak kalıbının tezgâha sabitlenmesi, gayet düzgün ve sağlam olmalıdır. Sürtünme karıştırma kaynağı sırasında kalıbının hareket etmemesi gerekir. Aksi taktirde, sürtünme karıştırma kaynağı istenilen şekilde yapılamaz.

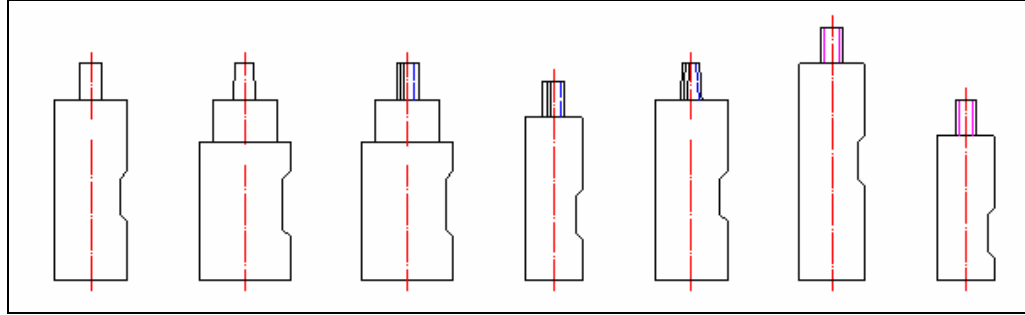
4.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapımında Kullanılan Karıştırıcı Takımların Tasarlanması ve İmal Edilmesi

Karıştırıcı takımlar, başlangıçta takım çapı 6 mm uç boyuda 4,8 mm olarak Şekil 4.4’de görüldüğü gibi tasarlanmış ve HSS çeliğinden EK-4’deki imalat resimlerine uygun olarak imal edilmiştir.



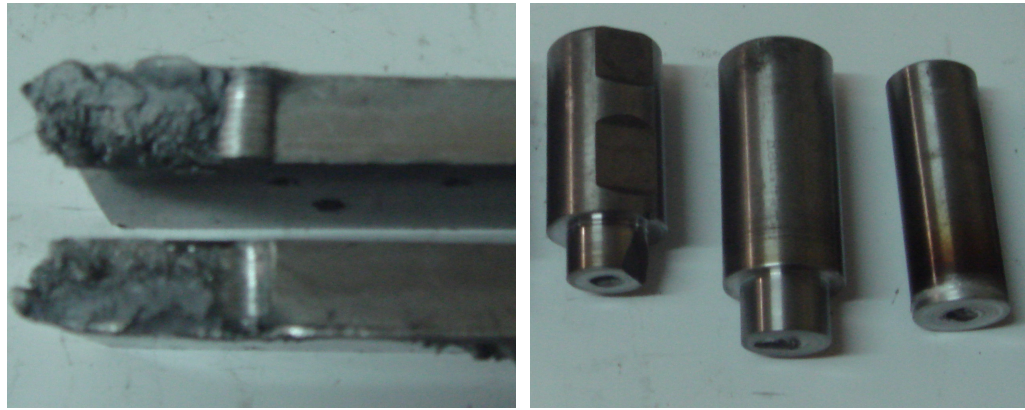
Şekil 4.4. Uç boyu 4,8 mm olan HSS çeliğinden imal edilen takımlar

Kaynak yapılacak parçaların kalınlığı 10 mm olduğu için takımlar $\varnothing 6$ ve 9,8 mm boyunda Şekil 4.5’de görüldüğü gibi tasarlanmış ve HSS, 115 CrV3 “Cıva Çeliği” ve 90 MnV8 “Yağ Çeliği” malzemelerden imal edilmiştir. EK-5’de imalat resimlerinde takımların uç profilleri ve boyutları gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Uç boyu 9,8 mm olan HSS çeliğinden imal edilen takımlar

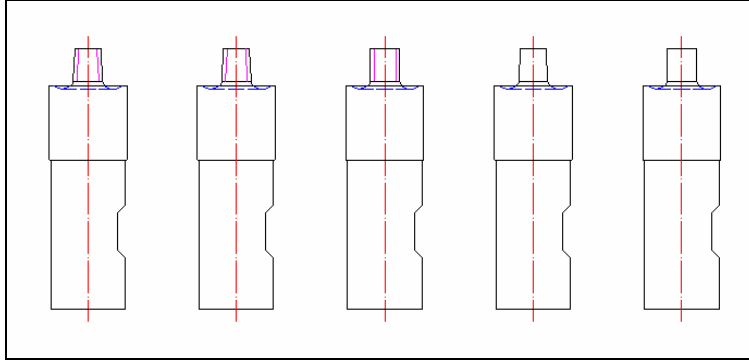
İlk kaynak yapımında HSS malzemedan yapılan takımlar kırılmıştır (Resim 4.10). Bunun sebebi takım ucu ile alınının birleşme noktasına kavis yapılmaması, takım uç çaplarının düşük olması ve takım malzemelerinin çok sert olmasıdır.



Resim 4.10. Sürtünme karıştırma kaynağının yapılışı sırasında kırılan takımlar
a) Parça içinde kalan takım ucu b) Uç boyu 9,8 mm olan HSS takımlar

HSS çeliği takımların kırılmasından sonra takımların çapları ve uç profilleri değiştirilerek Şekil 4.6’daki gibi yeni takımlar tasarlanmış Ç 512200 ve Ç 4140

malzemelerden yeni takımlar imal edilmiştir. EK-6 ve EK-7’de imalat resimlerinde takımların uç profilleri ve boyutları gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Uç boyu 9,8 mm olan Ç 512200 ve Ç 4140 çeliğinden imal edilen takımlar

Bu takımların denenmesinde ise takımın alın kısmında helisel kanallar açılmış olup bu kanallardan dolayı kaynak yüzeyleri düzgün çıkmadığından takımların alın kısımları düzeltilip denemeler yapılmıştır. Bu takımların denenmesinde eski takımlara göre daha iyi sonuçlar alınmış olup bunun daha iyi şekle dönüştürülmesi için takımlardan bir tanesinin alın kısmına aynı merkezli bir kanal açılmıştır bu takımın denenmesi sonucunda daha da iyi sonuçlar elde edildiğinden diğer takımlarda bu şekilde imal edilmiştir. Yurt dışında sadece karıştırıcı uç için ayrı bir sektör bulunmaktadır. Bu sektör yalnızca karıştırıcı uç imal etmekte ve bunları tün dünyaya pazarlamaktadır.

4.5.1. HSS çeliğinden imal edilmiş takımların imalat aşaması

Takımlar piyasada HSS (yüksek hız çeliği) olarak bilinen freze çakılarının kırılmış olanlarından özel sert maden uçlarla işlenerek imal edilmiştir. Bu takımlar ilk başlangıçta Ø6 mm 4,8 mm boyunda imal edilip denemeler yapılmış ve güzel sonuçlar alınmıştır (Resim 4.11). Daha sonra malzemenin tam olarak kaynatılabilmesi için Ø6 mm olacak şekilde 9,8 mm boyunda takımlar imal edilmiştir (Resim 4.12). İlk denemelerde bu takımlar kırıldığından dolayı daha büyük çaplı ve farklı profillerde takımlar tasarlanmıştır.



Resim 4.11. HSS çeliğinden imal edilmiş uç boyu 4,8 mm olan takımlar



Resim 4.12. HSS çeliğinden imal edilmiş uç boyu 9,8 mm olan takımlar

4.5.2. 115 CrV3 çeliğinin özellikleri

Piyasada “civa çeliği” olarak adlandırılan malzemenin DIN normuna göre adlandırılışı “115 CrV3” olup malzeme numarası 2210’dur. Bu malzeme 15 mm çapa kadar yağda 15 mm den sonra suda (780-810 °C) sertleştirilmesi uygundur. Zımba, iticiler ve klavuz pimlerinin imalatında kullanılmakta olan bu malzemenin özellikleri Çizelge 4.10-Çizelge 4.12’de gösterilmektedir [42].

Çizelge 4.10. 115 CrV3 çeliğinin kimyasal bileşimi (%) [42]

<i>Kimyasal Analizi (SAE/AISI)</i>							
C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Fe
1,15	0,25	0,30	0,035	0,035	,65	0,10	Kalan

Çizelge 4.11. 115 CrV3 çeliğinin ısıtılma özellikleri (°C) [42]

<i>Isıl İşlem Analizi (SAE/AISI)</i>			
S. Şekil Verme	Yumuşatma	Sertleştirme	Meneviş
1050-850	710-750	810 – 840 Yağ	100-400

Çizelge 4.12. 115 CrV3 çeliğinin sertlik özellikleri [42]

<i>Sertlik Değerleri</i>	
Yumuşak tavllanmış halde	220 HB
Sertleştirilmiş halde	64 HRC
Menevişlenmiş halde	51-64 HRC
Kullanılma sertliği	58-62 HRC

Resim 4.13’de 115CrV3 çeliğinden yapılmış olan takım, imalat aşamasında ısıtılma işlemi (su verme işlemine) tabi tutulmuş ve uygulanan ısıtılma işlem sonrası malzeme 60-62 HRC sertlik değerine ulaşmıştır. Karıştırıcı takımın makineye yani takım tutuculara (veldon) bağlanabilmesi için takım tutucuya geçecek kısmı Ø14 çapında imalat resminde belirtilen toleranslara uygun olarak imal edilmiştir. Ayrıca takımın ileri geri hareketini önlemek için takımın takım tutucuya geçtiği kısma bir yuva açılıp bu yuva vasıtasıyla takım tutucuya sabitlenmesi sağlanarak kaynak işlemi için hazır hale getirilmiştir. Bu takım iki tarafına da vida açılmış, bir tarafı 4,8 mm boyunda diğer tarafı 9,8 mm boyunda olacak şekilde imal edilmiştir.



Resim 4.13. 115 CrV3 çeliğinden imal edilmiş uç boyu 4,8-9,8 mm olan takım

4.5.3. 90 MnV8 çeliğinin özellikleri

Piyasada “yağ çeliği” olarak adlandırılan malzemenin DIN normuna göre adlandırılışı “90 MnV8” olup malzeme numarası 2842’dir. Kesme, basma, delme, vida çekme takımlarının, broşların, plastik-kağıt işleme takımlarının, ölçü

takımlarının ve plastik kalıplarının imalatında kullanılmakta olan bu malzemenin özellikleri Çizelge 4.13-Çizelge 4.16’da gösterilmektedir [42].

Çizelge 4.13. 90 MnV8 çeliğinin kimyasal bileşimi (%) [42]

<i>Kimyasal Analizi (SAE/AISI)</i>							
C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Fe
0,90	0,25	2,00	0,035	0,035	0,35	0,10	Kalan

Çizelge 4.14. 90 MnV8 çeliğinin ısıtıl işlem özellikleri (°C) [42]

<i>Isıl İşlem Analizi (SAE/AISI)</i>			
S. Şekil Verme	Yumuşatma	Sertleştirme	Meneviş
1050-850	680-720	790 – 820 Yağ	180-300

Çizelge 4.15. 90 MnV8 çeliğinin sertlik özellikleri [42]

<i>Sertlik Değerleri</i>	
Yumuşak tavllanmış halde	175 - 200 HB
Sertleştirilmiş halde	64 HRC
Menevişlenmiş halde	56-62 HRC

Çizelge 4.16. 90 MnV8 çeliğinin ebada göre sertleşme kabiliyeti [42]

Çap (mm)	<i>Sertleşme Kabiliyeti (HRC)</i>	
	Yüzey	Merkez
25	64	63
50	63	58
75	62	50
100	62	36

Resim 4.14’de 90 MnV8 çeliğinden yapılmış olan takım, imalat aşamasında ısıtıl işleme (su verme işlemine) tabi tutulmuş ve uygulanan ısıtıl işlem sonrası malzeme 60-62 HRC sertlik değerine ulaşmıştır. Bu malzeme Mangan oranının fazla olmasından dolayı mekanik özellikleri iyi bir malzemedir. Çünkü Mangan mekanik özellikleri iyileştirici ve sertlik kazandırıcı bir elementtir. Sıcaklık (°C) ile beraber bu etkiyi gösterir. Manganın iyi yöndeki etkisi sıcaklık oranının artmasıyla birlikte artar. Karıştırıcı takımın makineye yani takım tutuculara (veldon) bağlanabilmesi için takım tutucuya geçecek kısmı Ø16 çapında imalat resminde belirtilen toleranslara

uygun olarak imal edilmiştir. Ayrıca takımın ileri geri hareketini önlemek için takımın takım tutucuya geçtiği kısma bir yuva açılıp bu yuva vasıtasıyla takım tutucuya sabitlenmesi sağlanarak kaynak işlemi için hazır hale getirilmiştir.



Resim 4.14. 90 MnV8 çeliğinden imal edilmiş 9,8 mm boyundaki takım

4.5.4. Ç 512200 çeliğinin özellikleri

Piyasada “yağ çeliği” olarak adlandırılan malzemenin DIN normuna göre adlandırılışı “X210Cr12” ve MKE normuna göre adlandırılışı “Ç 512200” olup malzeme numarası 2080’dir. Kesme, basma, delme, (4 mm kalınlığa kadar) soğuk işleme takımlarının, tel çekme haddelerinin, tuğla kalıplarının ve broşların imalatında kullanılmakta olan bu malzemenin özellikleri Çizelge 4.17-Çizelge 4.20’de gösterilmektedir [42].

Çizelge 4.17. Ç 512200 çeliğinin kimyasal bileşimi (%) [42]

<i>Kimyasal Analizi (SAE/AISI)</i>						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
2,00	0,25	0,30	0,035	0,035	12,00	Kalan

Çizelge 4.18. Ç 512200 çeliğinin ısıtma işlem özellikleri (°C) [42]

<i>Isıl İşlem Analizi (SAE/AISI)</i>			
S. Şekil Verme	Yumuşatma	Sertleştirme	Meneviş
1050-850	800-840	930-960 Yağda 950-980 Hava	100-400

Çizelge 4.19. Ç 512200 çeliğinin sertlik özellikleri [42]

<i>Sertlik Değerleri</i>	
Yumuşak tavllanmış halde	220 - 250 HB
Sertleştirilmiş halde	63-64 HRC
Menevişlenmiş halde	58-63 HRC

Çizelge 4.20. Ç 512200 çeliğinin ebada göre sertleşme kabiliyeti [42]

Çap (mm)	<i>Sertleşme Kabiliyeti (HRC)</i>	
	Yüzey	Merkez
25	64	64
50	64	63
75	63	62
100	63	60

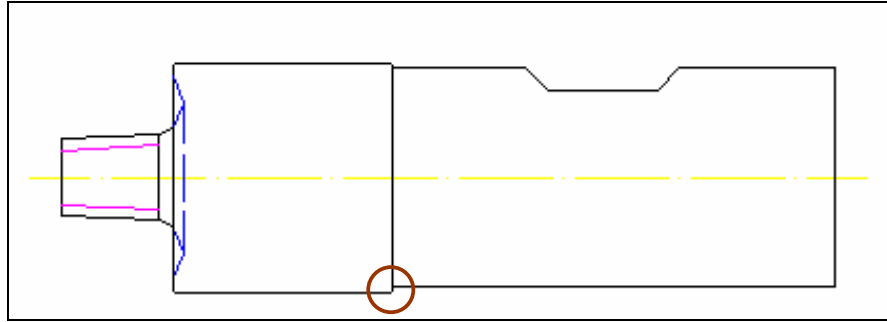
Resim 4.15’de Ç 512200 çeliğinden yapılmış olan takım, imalat aşamasında ısıtılma işlemine (su verme işlemine) tabi tutulmuş ve uygulanan ısıtılma işlem sonrası malzeme 60-62 HRC sertlik değerine ulaşmıştır. Isıtılma işlemi AKDAĞ Isıtılma İşlem San. Tic. LTD. ŞTİ. tarafından yağda yapılmıştır.



Resim 4.15. Ç 512200 çeliğinden imal edilmiş helisel takımlar

Bu malzeme Krom oranının fazla olmasından dolayı aşınmaya karşı dayanıklı bir malzemedir. Karıştırıcı takımın makineye yani takım tutuculara (veldon) bağlanabilmesi için takım tutucuya geçecek kısmı Ø18 çapında imalat resminde belirtilen toleranslara uygun olarak imal edilmiştir. Ayrıca takımın ileri geri

hareketini önlemek için takımın takım tutucuya geçeceği kısmına bir yuva açılıp bu yuva vasıtasıyla takım tutucuya sabitlenmek istenmiştir, fakat denemeler sonucu takımın bu yarık vasıtasıyla yeterince iyi sabitlenemediği görülmüştür. Bundan dolayı takımın geri kaçmasını önlemek için takıma bir kademe daha yapılmıştır. Bu kademe Ø19 çapında olup takım tutucuya dayanarak takımın içeri kaçmasını önlemiştir (Şekil 4.7). Ayrıca takımın kaynak yüzeyine temas eden kısmı yani alnına helisel kanallar açılarak kaynak işlemi için hazır hale getirilmiştir. Ama bu helisel takımlarla istenilen yüzey kalitesi elde edilmediği için takımların alın kısımlarına kanal açılarak kullanılmışlardır.



Şekil 4.7. Takımın geri kaçmasını önleyen kademe

4.5.5. Ç 4140 çeliğinin özellikleri

Piyasada “ıslâh çeliği” olarak adlandırılan malzemenin DIN 17200 normuna göre adlandırılışı “42CrMo4” ve MKE normuna göre adlandırılışı “Ç 4140” olup malzeme numarası 7225’dir. Yüksek dayanımlı makine parçalarının krank millerinin, şaftların, biyel kollarının, dişlilerin ve cıvataların imalatında kullanılmakta olan bu malzemenin özellikleri Çizelge 4.21-Çizelge 4.24’de gösterilmektedir [42].

Çizelge 4.21. Ç 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi (%) [42]

Kimyasal Analizi (SAE/AISI)							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Fe
0,42	0,25	0,70	0,035	0,035	1,05	0,20	Kalan

Çizelge 4.22. Ç 4140 çeliğinin ısıtılma özellikleri (°C) [42]

<i>Isıl İşlem Analizi (SAE/AISI)</i>			
S. Şekil Verme	Yumuşatma	Sertleştirme	Meneviş
1050-850	680-720	820-850 Suda, Yağda	530-570

Çizelge 4.23. Ç 4140 çeliğinin sertlik özellikleri [42]

<i>Sertlik Değerleri</i>	
Yumuşak tavllanmış halde	Max 220 HB
Normalize edilmiş halde	80-100 HB
İslah edilmiş halde	100-120 HB
Endüksiyon ile yüzey sertliği	54-60 HRC

Çizelge 4.24. Ç 4140 çeliğinin ebada göre sertleşme kabiliyeti [42]

<i>Sertleşme Kabiliyeti (HRC)</i>			
Çap (mm)	Yüzey	½ Çap	Merkez
13	57	56	55
25	55	55	50
50	49	43	38
100	36	35	34

Resim 4.16'da Ç 4140 çeliğinden yapılmış olan takım, imalat aşamasında ısıtılma (su verme işlemine) tabi tutulmuş ve uygulanan ısıtılma sonrası malzeme 60-62 HRC sertlik değerine ulaşmıştır. Isıtılma işlemi AKDAĞ Isıtılma İşlem San. Tic. LTD. ŞTİ. tarafından yağda yapılmıştır.

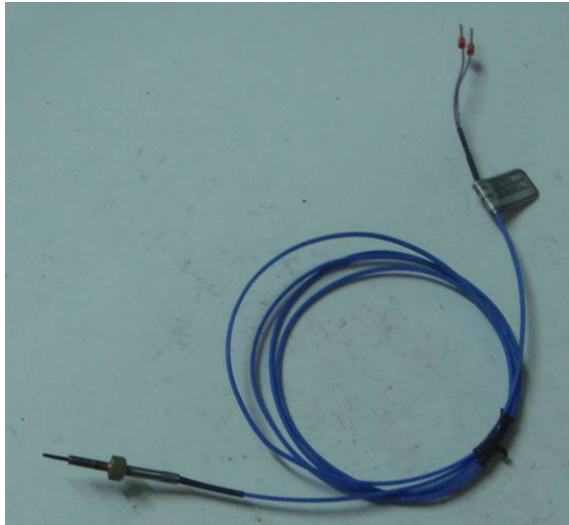


Resim 4.16. Ç 4140 çeliğinden imal edilmiş kanallı takım

Karıştırıcı takımın makineye yani takım tutuculara (veldon) bağlanabilmesi için takım tutucuya geçecek kısmı Ø20 çapında imalat resminde belirtilen toleranslara uygun olarak imal edilmiştir. Takımın geri kaçmasını önlemek için takıma bir kademe daha yapılmıştır. Bu kademe Ø21 çapında olup takım tutucuya dayanarak takımın içeri kaçmasını önemiştir. Ayrıca takımın kaynak yüzeyine temas eden kısmı yani alnına kanal açılarak kaynak işlemi için hazır hale getirilmiştir.

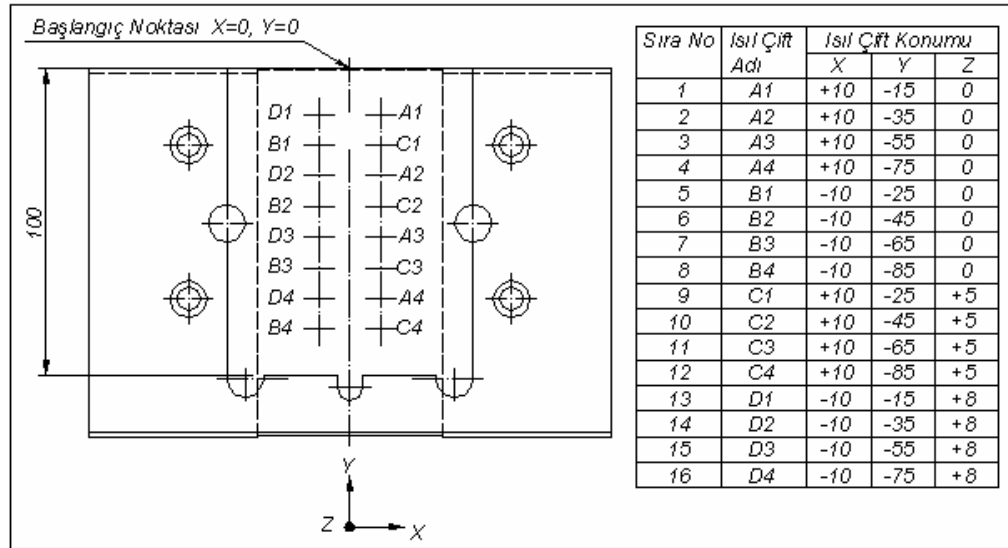
4.6. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Esnasında Oluşan Sıcaklığı Ölçmek İçin Kullanılan Deney Düzeneginin Kurulması

Deneylerin yapılması sürecinde deney düzeneğinde J tipi ısı çifti (termokulp) kullanılmıştır (Resim 4.17). Isıl çift demir-konstantan esaslıdır. Isıl çift iki farklı metal alaşımının uçlarının kaynaklanması ile elde edilen bir sıcaklık ölçüm elemanıdır. Kaynatılan nokta SICAK NOKTA, açık kalan iki uç SOĞUK NOKTA olarak adlandırılır. Isıl çift sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından oluşur. Sıcaklık farkına orantılı olarak soğuk nokta uçlarında mV değerlerinde gerilim üretir. Sıcak nokta ile soğuk nokta sıcaklık dağılımına göre üretilen gerilim sıcak ile soğuk arasındaki sıcaklık farkı ile orantılıdır. Kullanılan sıcaklık ölçer çalışma aralığı -200-800 °C arasındadır.



Resim 4.17. J tipi ısı çifti

Isıl çiftlerden elde edilen verilerin gerilime çevrilmesi amacıyla ADAM-3016 kullanılmıştır. ADAM-3016 0-10 mV aralığında analog çıkış vermektedir. Elde edilen analog veriler veri toplama kartı aracılığı ile sayısal ortamda kaydedilmiştir. Deney düzeneğinde PCL-812 PG veri toplama kartı kullanılmıştır. Deney düzeneğinde 16 kanaldan veri alınmıştır (Şekil 4.8). Verilerin elektronik ortamdan alınarak sayısal ortama dönüştürülmesi ve saklanması sürecinde QB4.5 programlama dilinde yazılan program kullanılmıştır. Bu süreçte MMX-200 işlemcili ve 128 Mb RAM'e sahip olan bir bilgisayar DOS ortamında kullanılmıştır. Deney düzeneğinin iş akış şeması EK-8'de gösterilmektedir.

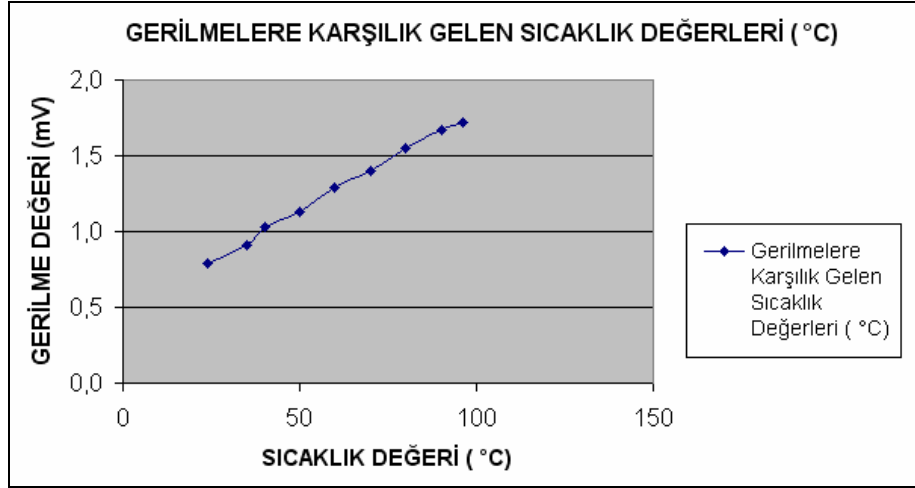


Şekil 4.8. Isıl çift yerleşim planı

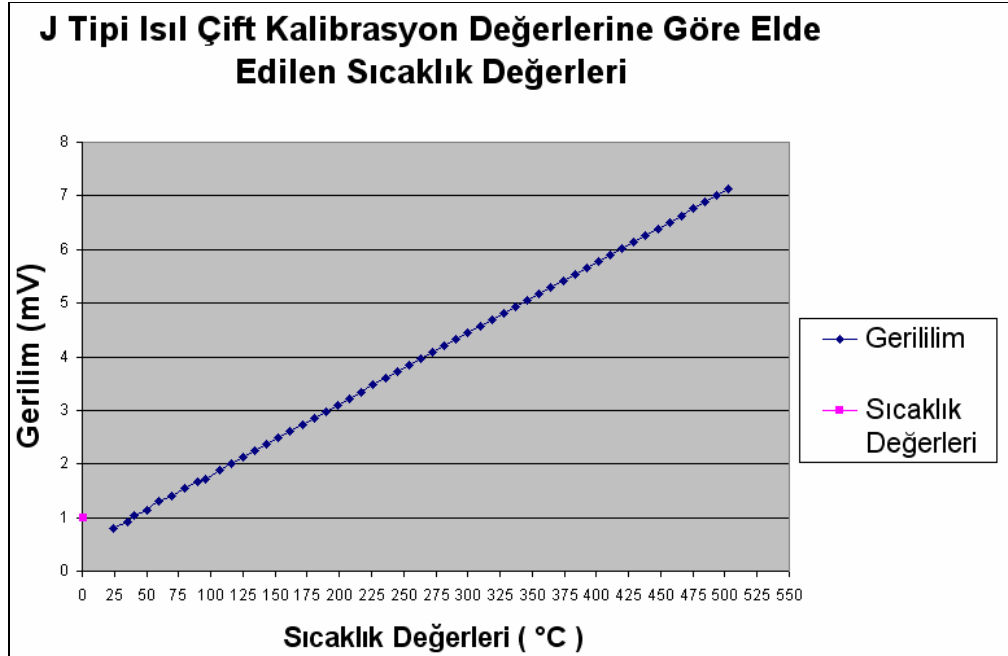
4.7. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Esnasında Oluşan Sıcaklıkların Ölçülmesinde Kullanılan Isıl Çiftlerin Kalibrasyonu

Deney sırasında oluşan sıcaklıkları ölçmek için kullanılan ısı çiftlerinin kalibrasyonu için deney düzeneği kurulmuş yalnızca 1 ADAMS'a 1 ısı çifti bağlanmış ve yazılan program çalıştırılmıştır. Isıl çiftin gerilim değeri ölçülmüştür. Aynı sıcaklık değerini okuma bilmesi için birde TES Electric-Electronic Corp' un TP-D05 (-150 ~+150 ° C) arası sıcaklık ölçen probu kullanılmıştır.

Ankara’da su 96 °C de kaynamaktadır. Aynı anda 10 °C lık aralıklarla prob dan okunan sıcaklık değeri ile ısıl çift vasıtasıyla okunan gerilim değerleri eşleştirilmiştir. Gerilime karşılık gelen sıcaklık değeri °C olarak elde edilmiştir (Şekil 4.9 - Şekil 4.10). Deneylerin yapım aşamasında J tipi ısıl çift kullanılmıştır.



Şekil 4.9. Isıl çift kalibrasyon grafiği



Şekil 4.10. J tipi ısıl çift kalibrasyon değerlerine göre sıcaklık değerleri

4.8. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapımında Kullanılan Makine Özellikleri

Sürtünme karıştırma kaynak işleminin yapılmasında 1988 model, PREIFER marka F 105 CNC masa tipi yatay işleme tezgâhı (borverg) kullanılmıştır (Resim 4.18). Yatay işleme tezgâhın özellikleri Çizelge 4.25’de verilmiştir.



Resim 4.18. Sürtünme karıştırma kaynağının yapıldığı tezgâhın görünüşleri
a) Önden görünüş b) Yandan görünüş

Çizelge 4.25. Yatay işleme tezgâhının özellikleri [43]

<i>Tabla özellikleri</i>	Tabla Ölçüleri(mm)	1000 x 1200
	T Kanal Sayısı ve Genişliği (mm)	7 x 22
	Tablaya Bağlanabilecek Maksimum Parça Ağırlığı (kg)	4000
<i>Tezgâh hareketleri</i>	Boyuna Hareket (X eksen) (mm)	1200
	Yatay Hareket (Y eksen) (mm)	1200
	Geri Çıkma Hareketi (Z eksen) (mm)	1500
	İş Mili Çıkma Hareketi (W eksen) (mm)	500
	Döner Tabla (B eksen)	360°
<i>İş mili özellikleri</i>	İş Mili Koniği Takım Tipi Standardı	ISO 50 İç ISO 60 Dış
	İş Mili Devir Sayısı Aralığı (dev/dak)	10 - 2000
<i>İlerleme hızı özellikleri</i>	Kesme Hızı (mm/dak)	1 - 6000
	Hızlı İlerleme (mm/dak)	6000
<i>Tezgâh gücü</i>	Voltaj (V - Hz)	380 - 50
	Ana Motor Gücü (kW)	30
<i>Genel boyutlar</i>	Tezgâhın Kapladığı Alan (mm)	6700x3200x3400
	Tezgâhın Ağırlığı (kg)	12.000

Tezgâhın standart donanımı CNC HEIDENHAIN TNC 155 kontrol ünitesi, elektronik el çarkı, hidrolik takım tutucu, hidrolik tabla frenleri, hızlı iş mili durdurma, soğutma sıvısı, takım içi soğutma sıvısı verme, aydınlatma, kullanma ve bakım kılavuzu ve hassasiyet kontrol protokolünden oluşmaktadır. Bunlara ilaveten özel donanım olarak pens tutucu ve pens takımı, 100 adet ISO 50 takım tutucu (mandiren, veldon, tarama tutucu, klavuz çekme aparatı, punta), 1 adet ISO 50 mikroskoplu takım merkezleme aparatı ve 1 adet tezgâh sıfırlama takımı (prob) bulunur [43].

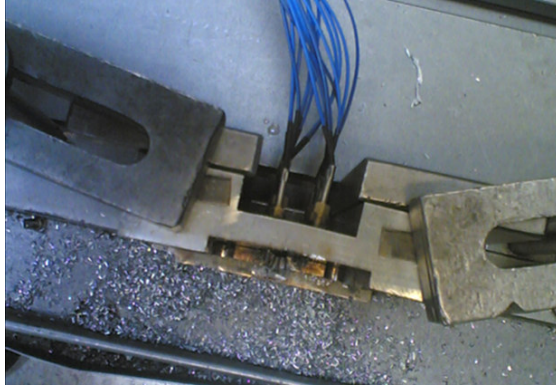
4.9. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Yapılışı

Sürtünme karıştırma kaynağının yapılmasındaki işlem sırası şöyledir:

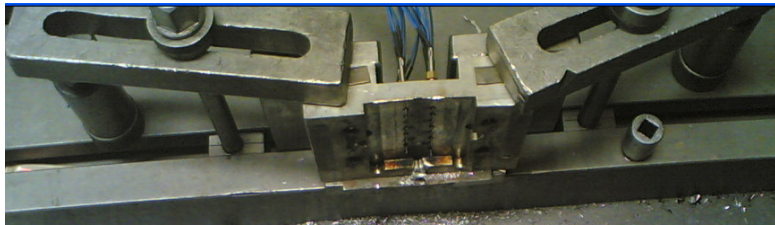
1. Kaynak yapılacak parçaların hazırlanması,
2. Kaynak kalıbının hazırlanması ve makineye bağlanması,
3. Kalıba göre X ve Y eksenlerinde sıfırlamanın yapılması,
4. Karıştırıcı takımların hazırlanması ve makineye bağlanması,
5. Karıştırıcı takıma göre makinenin Z sıfırının ayarlanması,
6. Makinenin CNC programının yapılması,
7. Matkapla ön delik delme işleminin yapılması,
8. Sürtünme karıştırma kaynak işleminin başlatılması ve yapılması,
9. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında parçalar üzerinde oluşan çapakların alınması.

Sürtünme karıştırma kaynağının düzgün bir şekilde yapılabilmesi için kalıp, yatay işleme tezgâhına düzgün bir şekilde bağlanmıştır. Bu bağlama işlemi yapılırken kalıp üzerine monte edilmiş olan ısıl çiftlere zarar veremeyecek şekilde dayamalar tezgâh tablası üzerindeki T kanallara yerleştirilmiştir. Daha sonra kalıp bu dayamalara dayanmış ve bağlama pabuçları kullanılarak düzgün bir şekilde bağlama yapmaya dikkat edilmiştir (Resim 4.19 - Resim 4.20). Kalıbın iki farklı şekilde bağlanabilmesi için kalıp açılı olarak işlenmiştir. 2° Açılı bağlama yapılırken, hiçbir ek parça kullanılmadan kalıbın açılı kenarı

makine tablasına oturtulup dayamalara dayandıktan sonra pabuçlar vasıtasıyla sıkılarak bağlama işlemi tamamlanmıştır. Düz bağlama işlemi yapılırken, kalıbın açılı kısmının açısını düzeltecek şekilde ayarlanmış bir ek parça kullanılarak kalıp makine tablasına oturtulur, dayamalara dayanır ve pabuçlar vasıtasıyla sıkılmak suretiyle bağlama işlemi tamamlanmıştır.



Resim 4.19. Kalıbın makine tablasına bağlanışı üstten görünüş

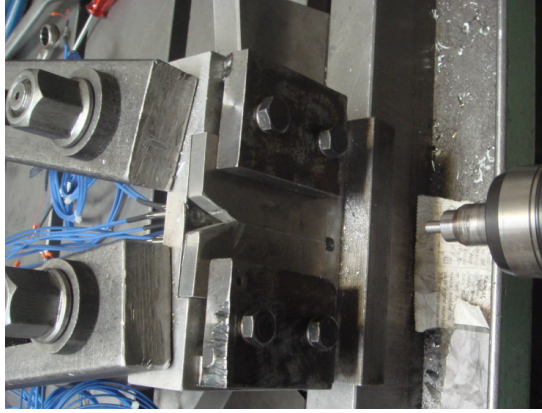


Resim 4.20. Kalıbın makine tablasına bağlanışı açılı görünüş

Kalıp bağlama işlemi tamamlandıktan sonra tezgâhın X ve Y eksenlerinde sıfırları kalıba göre ayarlanmıştır. X ekseninde sıfırlama yapılırken kalıp içindeki kanalın ortası sıfır kabul edilmiştir. Y ekseninde sıfır alınırken ise kalıp içindeki kanalın alt noktası sıfır kabul edilmiştir. Bu sıfırlar tezgâh sıfırlama takımı (prob) yardımıyla bulunmuştur.

Sıfırlama işlemi tamamlandıktan sonra sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak olan parçalar, kalıba sağ ve sol olma yönlerine göre dikkat edilerek yerleştirilip kalıp üzerine monte edilebilen pabuçlar yardımı sabitlenmiştir (Resim 4.21). Sol olan

parçalardaki delikler 8 mm, sağ parçadaki delikler ise 5 mm derinliğinde olup ısıl çiftler kalıp üzerine yerleştirilirken bu boyutlar göz önünde bulundurulmuştur (Resim 4.22).



Resim 4.21. Kaynak yapılacak parçaların kalıp üzerine bağlanmış hali

Parçaların kalıp üzerine sabitlenmesinden sonra kullanılacak olan takım, takım tutucu üzerine yerleştirilmiştir. Takım tutucu makineye bağlandıktan sonra makinenin elektronik el çarkı yardımıyla Z ekseninde yavaş yavaş ilerleyerek takım parçaların üzerine hafif dokundurulduktan sonra makine kontrol panelinden Z eksenine +10 ölçüsü girilerek Z eksenini de sıfırlanmıştır.



Resim 4.22. Isıl çiftlerin kalıp üzerine yerleştirilmiş hali

Kaynak işlemine başlanmadan önce yatay işleme tezgâhı için CNC programı uygun devir sayısı ve ilerleme hızı göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Ayrıca kalıp 2°

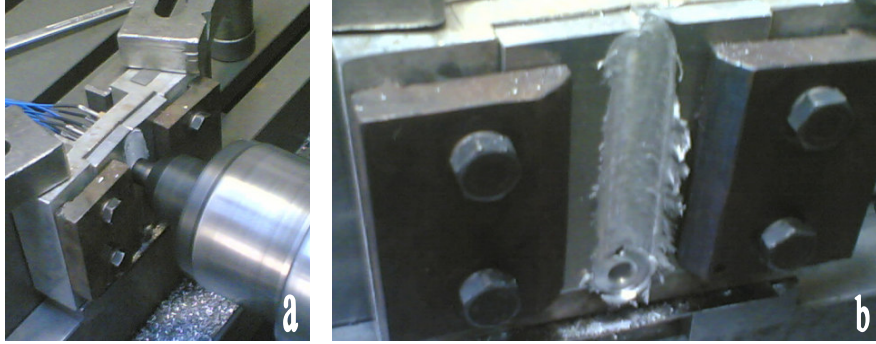
açılı ve düz olmak üzere iki farklı şekilde bağlandığından dolayı programlama iki farklı şekilde yapılmıştır. EK-9'da programda görüldüğü üzere CNC yatay işleme tezgâhın çalışma devri sayısı 800 dev/dak, ilerleme hızı ise 20 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Bu devir sayısı ve ilerleme hızlarının kullanılmasının sebebi, daha önce yapılmış olan denemelerde bu değerlere yakın değerlerin kullanılmış olması ve bu şekilde yapılan kaynaklardan verim alınmış olmasıdır. Her takım için üç farklı devir sayısı ve üç farklı ilerleme hızı değeri kullanılmıştır. Bu değerler her denemede program içinde değiştirilerek yeni program yazılmasına gerek kalmamıştır. Kaynakta kullanılan parametreler EK-10'da tablo olarak verilmiştir.

Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında giriş ve çıkışlarda karıştırıcı takımın parçalarda boşluklar oluşturmuştur bundan dolayı kaynak işlemi parçaların içinde bir yerde başlatılıp aynı şekilde parçaların içinde bir yerde sonlandırılmıştır. Böylece parçanın iki ucunda oluşan boşluklar en aza indirilmiştir.

Kaynak işlemi yapılmadan önce ön delik delme işlemi yapılmıştır. Ön delik delme işleminde kullanılan matkap çapı takım uç çapından küçük olması gerekmektedir. Bunun sebebi ise takım parça içine dalarken kaynak için gerekli ön sıcaklık değerine daha kısa sürede ulaşmak ve kaynakta oluşacak boşluğu en aza indirmektir. Ön delikler, karıştırıcı takımın kaynak yapılacak parçaların içine rahat bir şekilde girebilmesi için delinmiştir. Bu delikler kalıba zarar vermemek için 0,300 mm kadar az delinmiştir.

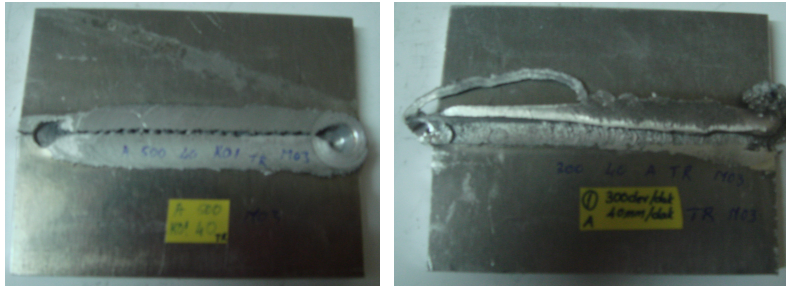
Bütün bu ayarlar yapıldıktan sonra CNC yatay işleme tezgâhı herhangi bir yanlış programlama olup olmadığını kontrol etmek amaçlı olarak program satır satır çalıştırılmıştır. 800 dev/dak devir sayısı ile çalışan makine parça yüzeyine yaklaşırken yavaşlatılmıştır. İlk girişlerde program yavaş ayarlanmıştır bunun sebebi ise düzgün bir kaynak yapabilmek için yeterli ön sıcaklık değerinin elde edilmek istenmesidir. Parçaların ısınmasından sonra normal ilerleme hızında tezgâh otomatik olarak ilerleyerek kaynak işlemini tamamladıktan sonra durdurulmuştur (Resim 4.23). Kaynak işleminin başlatılmasıyla aynı anda bilgisayar programında çalıştırılmıştır ve kaynak işlemi süresince oluşan sıcaklık değerleri bilgisayara kayıt

edilmiştir. Bu sıcaklık değerlerinin kayıt edilmesinin amacı ise sürtünme karıştırma kaynağının yapılabilmesi için gerekli sıcaklık değerinin ne olduğunu saptamaktır.



Resim 4.23. Sürtünme karıştırma kaynağının gösterilişi
a) Kaynak yapılış anı b) Kaynağının bitmiş hali

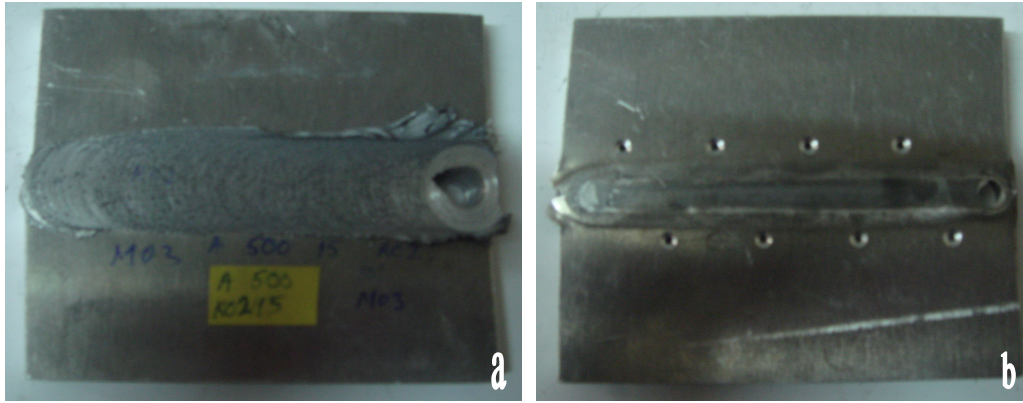
Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında, kullanılan takımların bazılarının uç kısmına sol diş vida açılmış olduğundan takım saat ibresi yönünde (M03) çalıştırıldığında takım etrafına sarılmış olan alüminyum malzemeyi içeri doğru bastırmasından dolayı kaynağın üst kısmında boşlular oluşmuştur ve yüzey kalitesi düzgün çıkmamıştır (Resim 4.24). Bu kaynak yüzeyindeki çatlaklıkları gidermek için takım saat ibresinin tersi yönde (M04) çalıştırılarak kaynak yapıldığında takım etrafına sarılan malzemeyi yukarı doğru çekmiştir ve takımın alın kısmı bu dışarı doğru çekilen malzemeyi yüzeye doğru sıvayarak düzgün bir yüzey çıkmasını sağlamıştır. Resim 4.25 ve Resim 4.26’da görüldüğü gibi kullanılan takımın alın kısmındaki kanalların yüzey kalitesine etkisi çok büyüktür.



Resim 4.24. Sürtünme karıştırma kaynağının saat ibresi yönünde dönen ucu vidalı takım ile yapılmış şekli

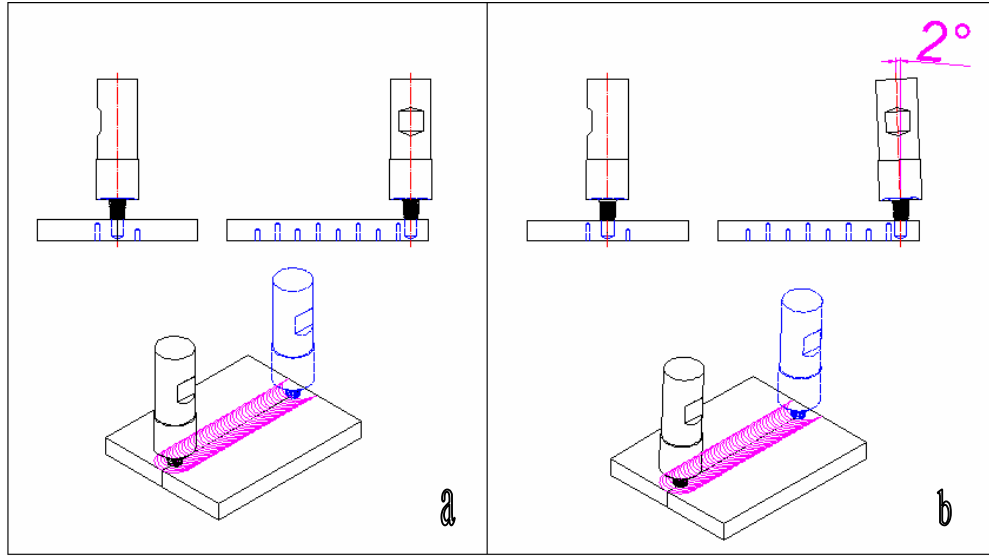


Resim 4.25. Sürtünme karıştırma kaynağının saat ibresinin tersi yönünde dönen ucu vidalı ve alını düz kanallı takım ile yapılmış şekli önden görünüşü



Resim 4.26. Sürtünme karıştırma kaynağının saat ibresinin tersi yönünde dönen ucu vidalı ve alını helisel kanallı takım ile yapılmasından elde edilmiş numune a) Önden görünüşü b) Arkadan görünüşü

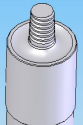
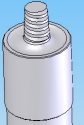
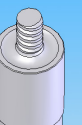
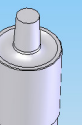
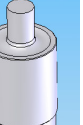
Ayrıca sürtünme karıştırma kaynağı esnasında kalıp konumunun kaynak yüzey kalitesine etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmada ise kalıp iki farklı şekilde bağlanmıştır. Kalıp ilk olarak takım eksenine ile 2° açı yapacak şekilde bağlanmış ve denemeler yapılmıştır. Daha sonra kalıp takım eksenine dik olacak şekilde bağlanmış ve takımın alını kısmının parçaların yüzeyine tam olarak temas etmesi sağlanmıştır. Bu şekilde yapılan denemeler sonucunda kalıbın takım eksenine dik olacak şekilde bağlandığı konumda kaynak yüzey kalitesinin daha düzgün olduğu görülmüştür. Kalıbın bağlanışına göre parçalar ile karıştırıcı takım ekseninin yapmış olduğu açılar Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında kalıbın bağlama konumları
a) Takım eksenin parçalara dik olma hali b) Takım eksenin parçalara 2° açılı olma hali

Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında beş farklı takım kullanılmıştır. Bu takımlar A, B, C, D ve E tipi olarak adlandırılmıştır. Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27’de takımların uç ve alın özellikleri verilmiştir. Her takım hem Ç 512200 hem de Ç 4140 malzemeden imal edilmiştir. Bu beş farklı takımın her biri ile dokuz deney yapılmıştır. Bu dokuz farklı deneyin her birinde farklı ilerleme hızı ve devir sayısı kullanılmıştır. Her takım için dokuz farklı deney yapıldığından toplamda kırk beş farklı deney yapılmıştır. İlk takım ile deneme aşamasında üç tane fazladan deney yapılmıştır ve bu deneyler esnasında da sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Aynı zamanda takımın alın kısmındaki kanallardan kaynaklanan yüzey pürüzlüğü optimum edilmeye çalışılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı işlemi esnasında kullanılan parametreler tablosu EK-10’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.26. Takım tiplerinin gösterilişi

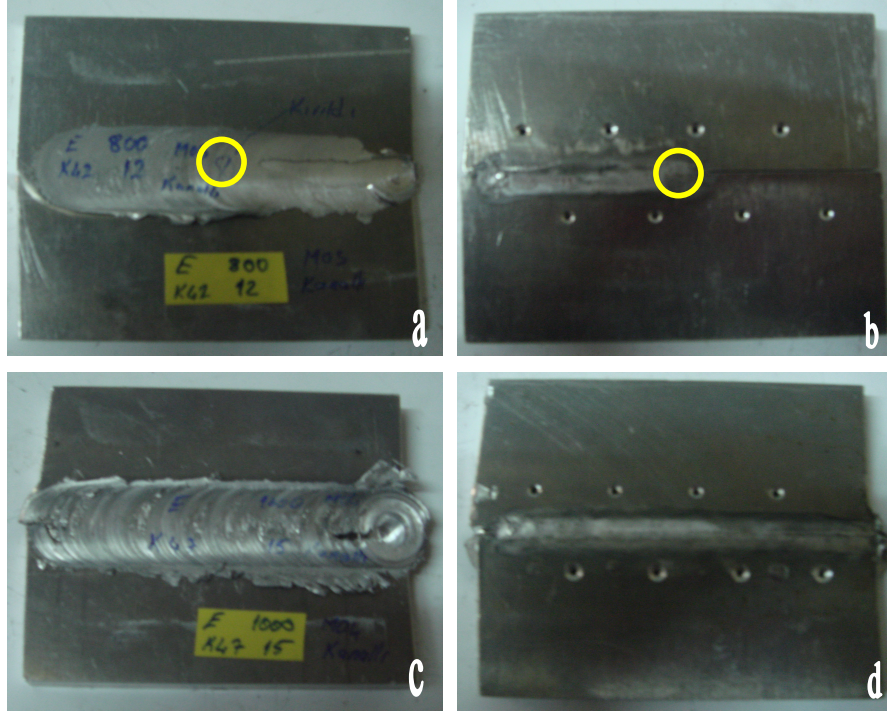
Takım Tipi	A	B	C	D	E
Takım Görünüşü					

Çizelge 4.27. Takım tiplerinin özellikleri

Takım Tipi	Takım Uç Özellikleri					Takım Alın Özellikleri		
	Düz	3° Açılı	1,25 Adım	2 Adım	Vidasız	Düz	Helisel Kanallı	Düz Kanallı
A	—	X	X	—	—	X	X	X
B	—	X	—	X	—	—	—	X
C	X	—	—	X	—	—	—	X
D	—	X	—	—	X	—	—	X
E	X	—	—	—	X	—	—	X

Bazı kaynak numunelerinde yavaş ilerleme hızları kullanılmış olup bu ilerleme hızlarında kaynak yapılırken bilgisayarda sıcaklığı kayıt eden programda ısı çiftlerin ölçebileceği sıcaklık değerlerinin dışında “Out Of Range” sıcaklıklar oluştuğunu gösteren hatalar vermiştir. Yüksek sıcaklıklar oluştuğu zaman sürtünme karıştırma kaynağı yapılan parçalarda ergime oluşacağından dolayı kaynak kalitesi düşmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağında ergimenin oluşması istenmeyen bir durumdur. Bunun sebebi ise kaynak esnasında ergime oluştuğunda parçaların ısıdan dolayı atomik yapılarının değişmesi yani malzemenin orjinal özelliğini kaybetmesidir. Kaynak esnasında ergime oluştuğu gözlemlendiğinde kaynağın sağlıklı bir şekilde yapılamadığı fark edilebilmektedir.

Sürtünme karıştırma kaynağı işlemi sırasında kullanılan takımlarda bazen kırılmalar oluşmuştur. Ç 512200 malzemeden yapılmış olan A tipi takım dokuzuncu kaynak sonunda takım yorulmasından dolayı kırılmıştır. Ç 512200 malzemeden yapılmış B tipi takım ise yedinci kaynak sonunda takım yorulmasından dolayı kırılmıştır. Bazı takımlarda ise parçalara ilk dalma esnasında kırılmalar meydana gelmiştir. Bu kırılmaların sebebi ise takımlarda ısı işlem esnasında çatlaklar oluşmasıdır. Ayrıca bazı takımlarda ise aşırı zorlamadan dolayı kaynak yapmaya başlarken kırılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında takım kırılmalarının oluşması Resim 4.27 ve Resim 4.28’de gösterilmektedir.



Resim 4.27. Kaynak yapılmış parçaların gösterilişi

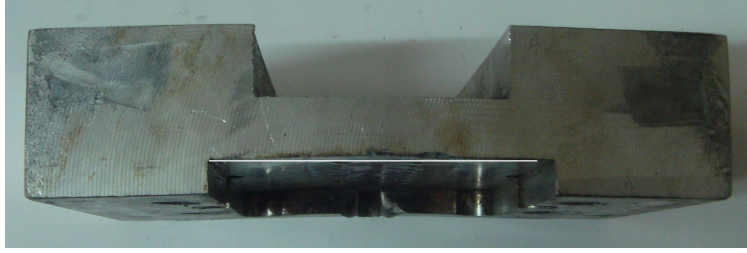
- a) Kaynak esnasında takımın parça içinde kırılmasının önden görünüşü
- b) Kaynak esnasında takımın parça içinde kırılmasının arkadan görünüşü
- c) Kaynak işleminin takım kırılmadan yapılmış halinin önden görünüşü
- d) Kaynak işleminin takım kırılmadan yapılmış halinin arkadan görünüşü



Resim 4.28. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmasında kullanılan takımlar

Sürtünme karıştırma kaynağında karıştırıcı takım ve parçaların ısınmasına zaman tanımadan kaynaktaki ilerleme hızında giriş yapıldığında takım kırılmalarının daha çabuk olduğu görülmüştür. Kaynak esnasında takım kırılmalarını önlemek için kaynak başlangıcında ilerleme hızı kaynak yapımına elverişli sıcaklık değerine ulaşılan kadar 5 mm/dak ile 7 mm/dak arasında ayarlanarak parçaların ısınması sağlanmıştır.

Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında takımın parçaların içine dalması esnasında ve kalıbın açılı bağlanmasından dolayı açığa uygun olarak Z eksenindeki dalmalardan dolayı kalıp deformasyona uğramıştır (Resim 4.29).



Resim 4.29. Kaynak esnasında takımın parça içine dalması esnasında kalıpta oluşan deformasyon

Kaynak yapılan parçaların tamamı Resim 4.30'da görülmektedir. Yapılan kaynakların kaynak dikişinin alt kısmında kaynak boyunca boşluk oluşmuştur (Resim 4.31). Bu boşluklar kalıbın deformasyona uğramış olması ve bu deformasyondan dolayı karıştırıcı ucun parça yüzeyine düzgün bir şekilde sıfırlanamamasıdır. İyi sıfırlama yapılamamasından dolayı parça yüzeyine dalma yapan takımın sıkışan malzemenin bir kısmını dışarı atmış olmasıdır. Bu dışarı atılan malzemeler kaynak kenarında çapaklar oluşturmuştur.



Resim 4.30. Sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynatılmış parçalar

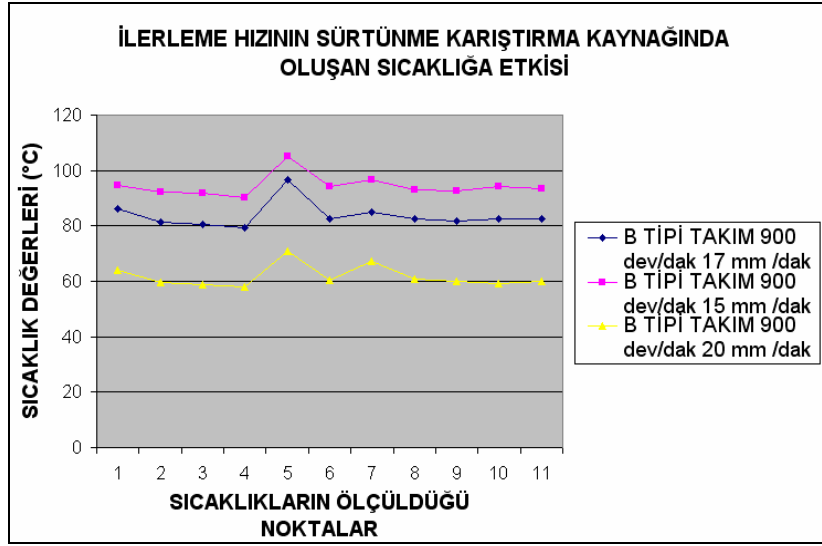


Resim 4.31. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan parçanın kesiti
 a) Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan parçanın kesilmiş hali
 b) Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan boşluğun gösterilişi
 c) Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan parçadaki boşluğun görünüşü

Kalıbın deformasyona uğramasının sebebi kalıbın alüminyum malzemeden yapılmış olmasıdır. Tezin ilk yapım aşamasında sıcaklık ölçme işlemi düşünülmediğinden dolayı kalıp kalın bir alüminyum malzemeden yapılmıştır ama daha sonra ısı çiftleri yerleştirmek için açılan kanal bu malzemeyi zayıflatmıştır ve ısı çiftlere zarar vermemek için malzeme arkadan desteklenememiştir. Kaynak esnasında aşırı zorlamadan dolayı kalıp deformasyona uğramıştır bu deformasyondan sonra bağlanan parçalarda kalıbın şeklini almıştır.

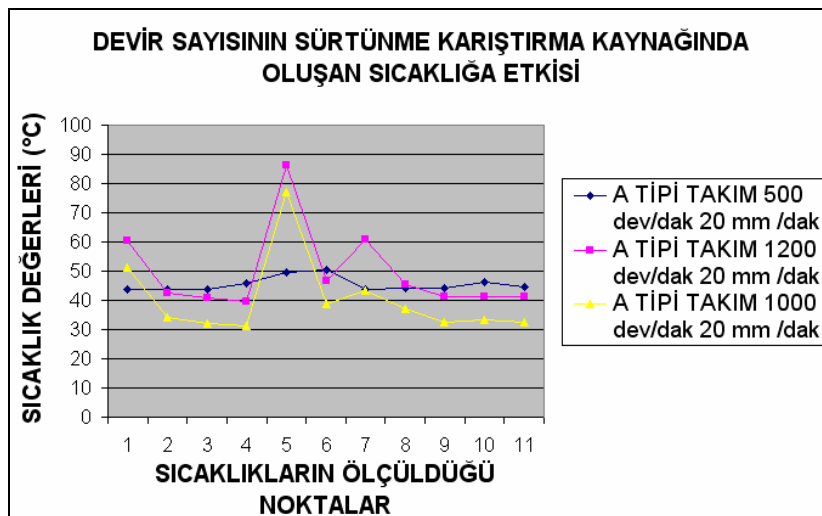
4.10. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Esnasında Ölçülen Sıcaklıklar

Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa ilerleme hızının Şekil 4.12’de görüldüğü gibi etkisi çok büyüktür. İlerleme hızı arttıkça kaynak esnasında oluşan sıcaklıkların düştüğü gözlenmektedir. B tipi karıştırıcı takımla devir sayısı sabit tutularak ilerleme hızı değiştirilerek yapılmış üç farklı kaynak esnasında ölçülen sıcaklık değerlerinden 45. saniyedeki sıcaklıklar değerleri kullanılarak aşağıdaki grafik oluşturulmuştur.



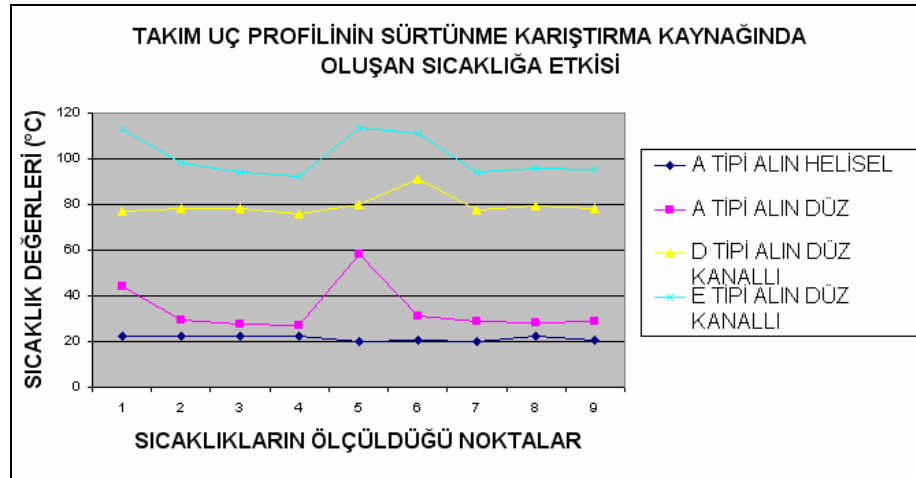
Şekil 4.12. İlerleme hızının sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa etkisi

Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa devir sayısının etkisi Şekil 4.13’de görülmektedir. Devir sayısı arttıkça kaynak esnasında oluşan sıcaklığın artışı gözlenmektedir. Düşük devir sayısında sıcaklıktaki dalgalanma oldukça azdır. A tipi karıştırıcı takımla ilerleme hızı sabit tutularak devir sayısı değiştirilerek yapılmış üç farklı kaynak esnasında ölçülen sıcaklık değerlerinden 45. saniyedeki sıcaklık değerlerine göre aşağıdaki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.13. Devir sayısının sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa etkisi

Sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa karıştırıcı takım uç profilinin etkisi Şekil 4.14’de görülmektedir. A tipi takım kullanılarak yapılan deneylerden ikisinde takımın alın kısmına açılan kanallar farklı olduğundan dolayı sıcaklıklar farklı çıkmıştır alın kısmına kanal açılan takım kullanıldığında sıcaklık değişmelerin çok az olduğu görülmektedir. Fakat alın kısmı düz olarak yapılan takımda sürtünme alanı fazla olduğundan dolayı sıcaklıktaki değişmeler çok fazla olmaktadır. Takımın uç kısmına vida açılmadığında ise sürtünme daha fazla olduğundan ve karıştırma esnasında takım aşırı zorlandığından dolayı sıcaklıkta artış gözlemlenmiştir.

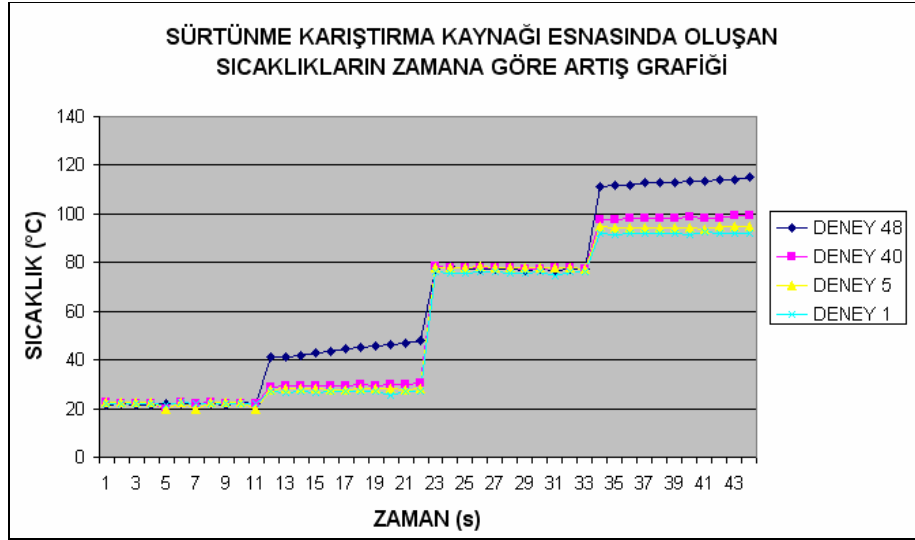


Şekil 4.14. Takım uç profilinin sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa etkisi

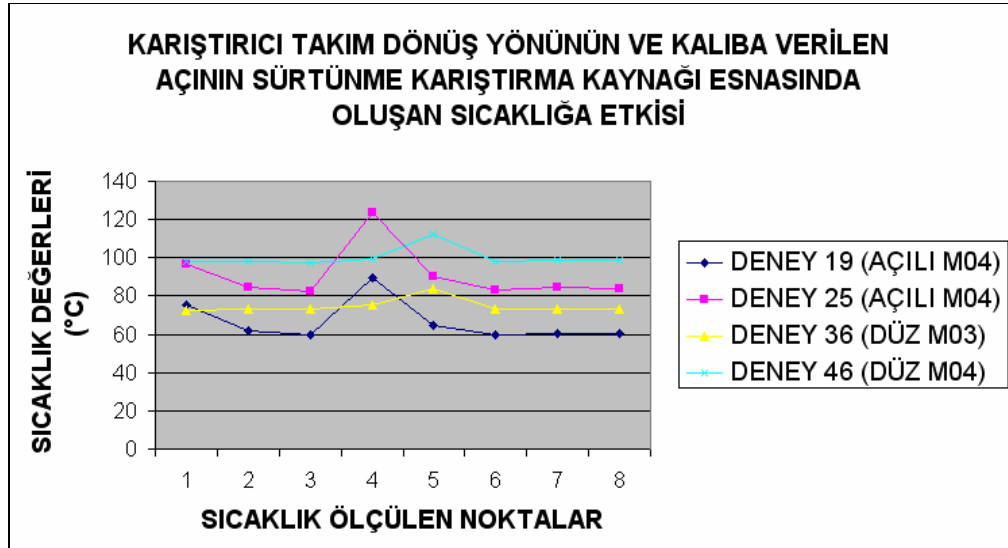
Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklığın farklı deneyler için zamanla paralel olarak arttığı Şekil 4.15’de görülmektedir. Bu grafik farklı deneylerin aynı ısıl çiftten ölçülen sıcaklık değerlerine göre oluşturulmuştur.

Karıştırıcı takım dönme yönünün ve kalıba verilen açının sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklığa etkisi Şekil 4.16’da görülmektedir. Bu grafik devir sayısı 900 dev/dak, ilerleme hızı 20 mm/dak olan, kalıba verilen açının ve takım dönüş yönünün farklı olduğu deneylerin 75. saniyesinde ölçülen sıcaklık değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Deney 19 ve deney 46’da kalıba verilen açının sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa etkisi gösterilmektedir.

Buradaki sıcaklık değişiminin sebebi kalıba verilen açıdan dolayı kaynak esnasında takım sırtının tamamının parçaların yüzeyine temas etmemesidir. Deney 36 ve deney 46'da takım dönüş yönün sürtünme karıştırma kaynağında oluşan sıcaklığa etkisi gösterilmektedir.

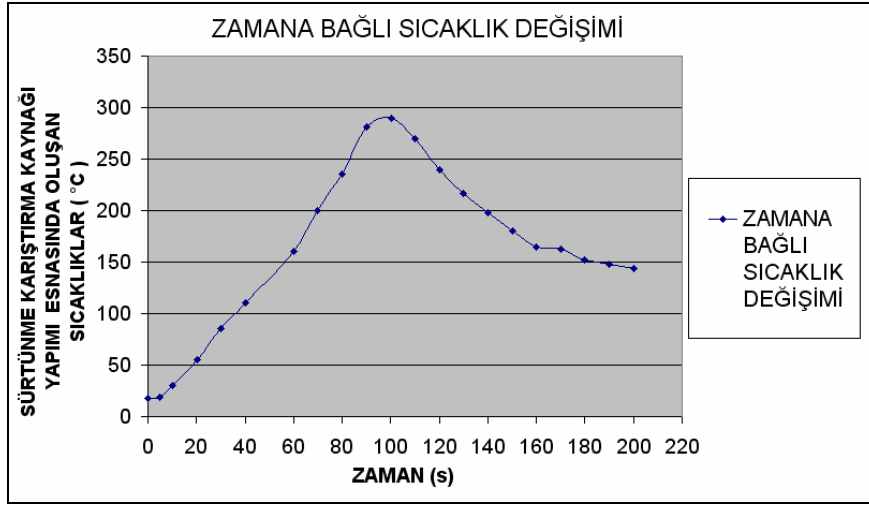


Şekil 4.15. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklıkların zamana göre artış grafiği

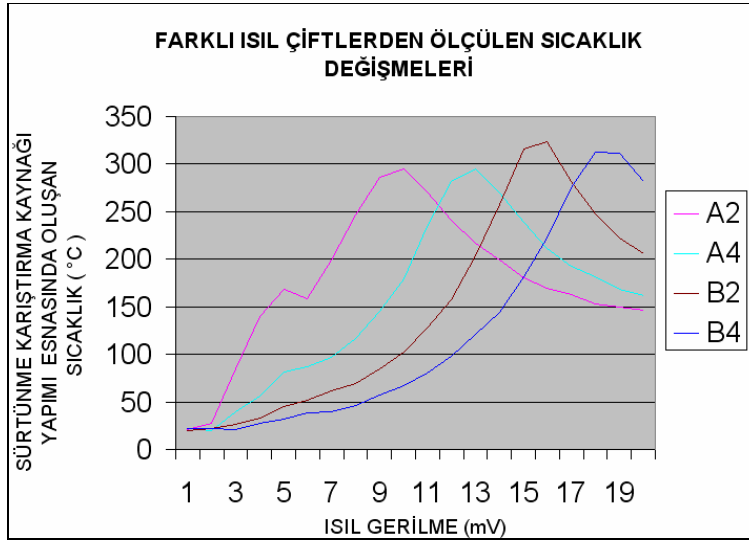


Şekil 4.16. Karıştırıcı takımın dönüş yönünün ve kalıba verilen açının sürtünme karıştırma kaynağı esnasındaki oluşan sıcaklığa etkisi

Sürtünme karıştırma kaynağı yapımı esnasında ölçülen sıcaklık değerlerinin zamana göre değişim grafiği Şekil 4.17’de görülmektedir. Bu grafikte tek bir ısıl çiftten ölçülen sıcaklık değerinin zamana göre değişimine bakılmıştır. Bu grafikte de görüldüğü gibi sıcaklık değeri bir müddet arttıktan sonra düşmeye başlamıştır. Bunun sebebi ise takımın ısıl çiftin bulunduğu yerden uzaklaşmasıdır.



Şekil 4.17. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklığın zamana bağlı olarak değişimi

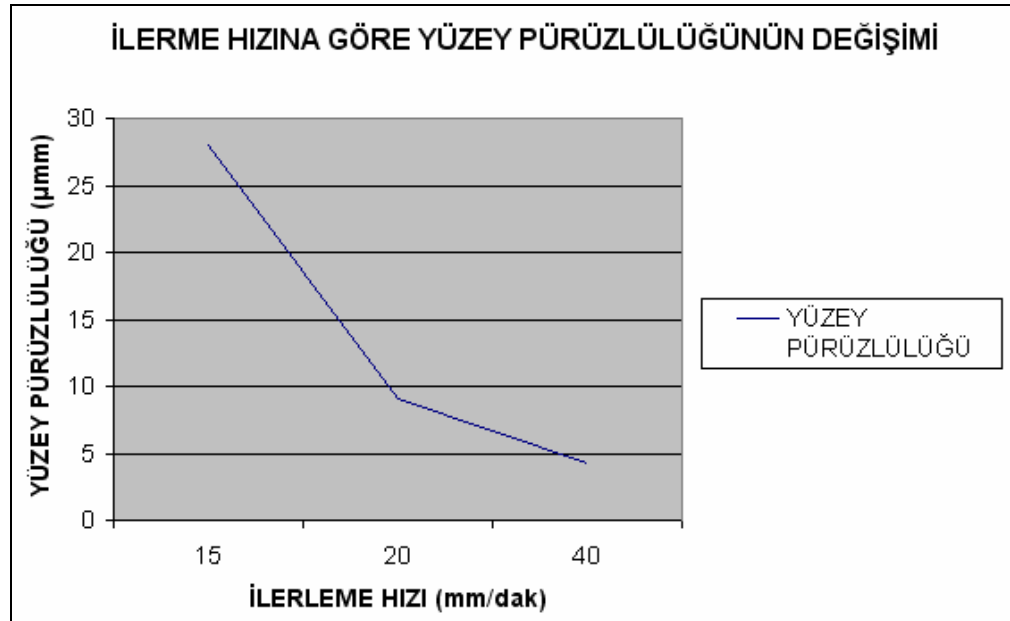


Şekil 4.18. Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklıkların farklı ısıl çiftlerdeki değişimi

Sürtünme karıştırma kaynak yapımı esnasında ölçülen ısıl gerilmelerin sıcaklığa dönüştürülmesi sonucunda farklı ısıl çiftlerden ölçülen sıcaklıkların değişimi Şekil 4.18’de görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklıklar farklı ısıl çiftlerde aynı şekilde değişmektedir.

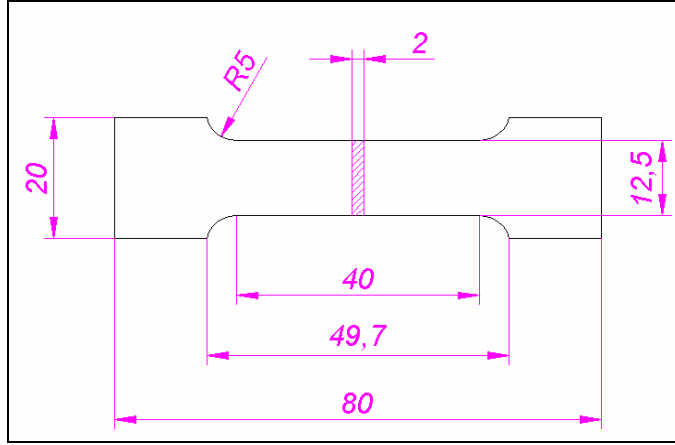
4.11. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılan Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü

Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan numunelerin her birinin yüzey pürüzlülük (R_a) değeri üç farklı bölgeden MarSurf PS1 marka yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülerek bu ölçümlerin ortalaması sonucu çıkan değerlere göre ilerleme ve devir sayısının yüzey pürüzlülüğünü ters yönde etkilediği Şekil 4.19’da görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değeri düşmektedir.



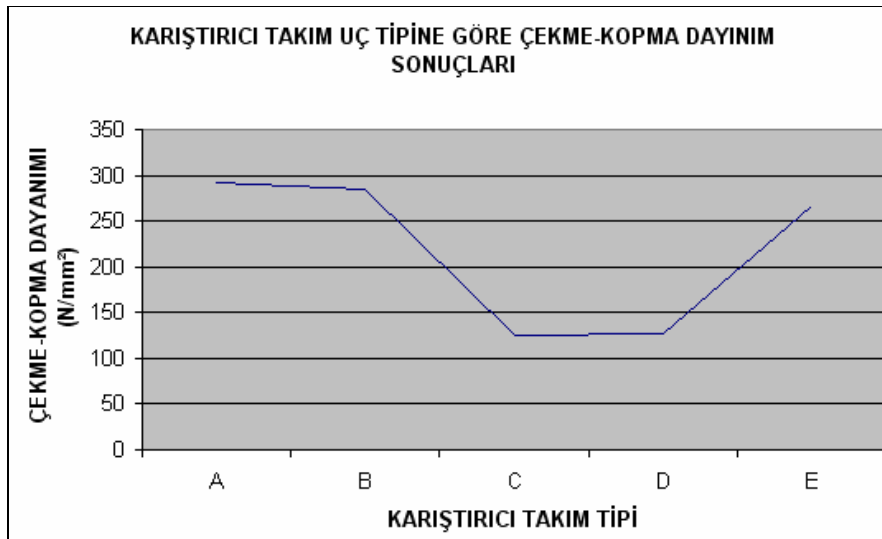
Şekil 4.19. İlerleme hızına göre yüzey pürüzlülüğünün değişimi

Yüzey pürüzlülüğünün değişken çıkmasının sebeplerinden birisi ise işlem yapılan tezgahın işleme konumudur. Tezgah yatay işleme tezgahı olduğundan dolayı kalıp sağlıklı bağlanamamış ve kaynak esnasında çok fazla titreşim oluşmuştur. Bundan dolayı yüzey pürüzlülük değeri değişken çıkmıştır.



Şekil 4.20. Çekme-Kopma deney numunesi boyutları

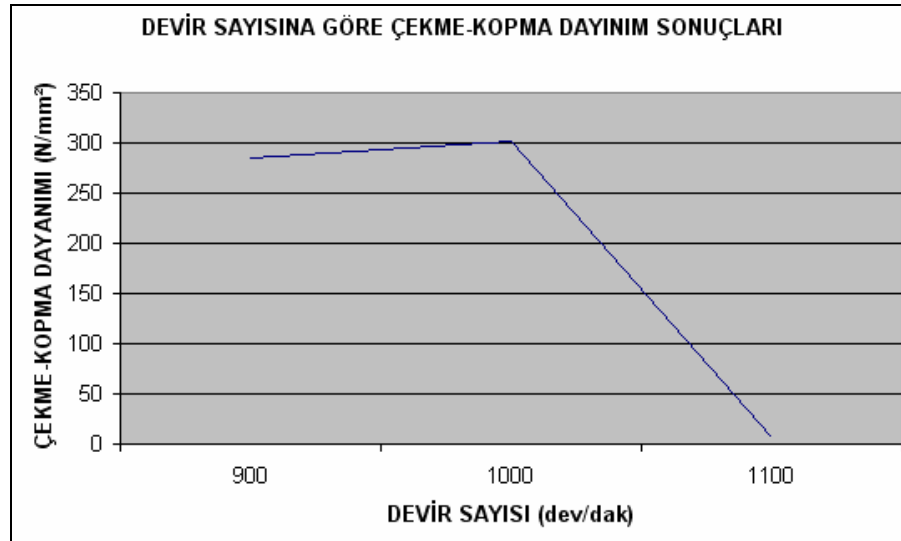
Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış parçaların, kaynak yapılamamış haldeki çekme-kopma dayanımı 530 N/mm^2 olmasına rağmen oluşan sıcaklıkların ısıtma işlem görmüş malzemelerin ısıtma işlem özelliklerini kaybetmesine neden olmasından dolayı kaynak yapılmamış malzemeye göre mekanik özelliklerinde zayıflamalar olduğu görülmüştür. Kaynak yapılan malzemelerde ise kaynak bölgesinden kopma meydana gelmemiştir. Aksine ana malzemeye yakın olan bölgelerden yani ITAB' da kopmalar olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. Karıştırıcı takım uç tipine göre çekme-kopma dayanım sonuçları

Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan karıştırıcı takım uç tipinin çekme dayanımına etkisi Şekil 4.21’de görülmektedir.

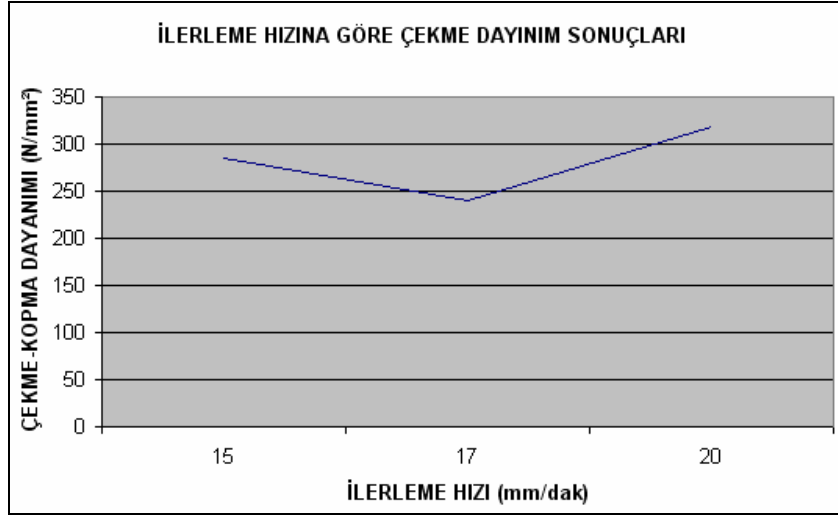
A tipi takımda vida adımı küçük olduğundan diğer büyük adımlı takımlara göre daha iyi bir birleştirme sağlamaktadır. Düz takım ile konik takıma göre daha dayanıklı bir kaynak elde edilmektedir. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan parçalardan B tipi takım ile ilerleme hızı sabit tutularak devir sayısı değiştirilerek yapılmış kaynaklardan alınan numunelere uygulanan çekme-kopma deneyleri sonucunda devir sayısı arttıkça ısı girişinin fazla olmasında dolayı kaynak yapılan malzemelerin mekanik özelliklerini kaybettikleri Şekil 4.22’de görülmektedir. Devir sayısı 1100 dev/dak olan kaynak numunesinin çok çabuk kopmasının sebebi kaynak bölgesinde oluşan çatlaklar ya da parçaların orijinal malzeme özelliklerini kaybetmiş olmasıdır.



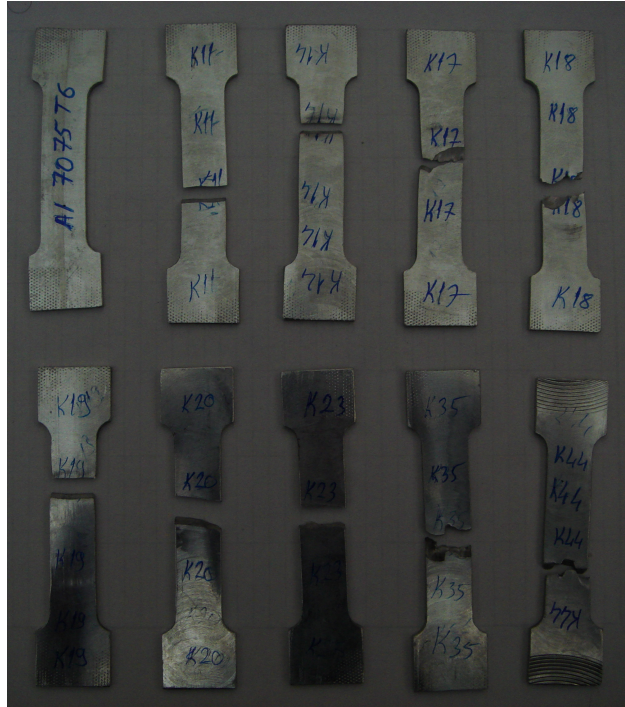
Şekil 4.22. B tipi takım devir sayısına göre çekme-kopma dayanım sonuçları

Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan parçalardan B tipi takım ile devir sayısı sabit tutularak ilerleme hızı değiştirilerek yapılmış kaynaklardan alınan numunelere uygulanan çekme-kopma deneyleri sonucunda ilerleme arttıkça çekme-kopma dayanımının arttığı Şekil 4.23’de görülmektedir. İlerleme hızı 17 mm/dak olduğunda çekme-kopma dayanımının düşmüş olmasının sebebi kaynak çatlaklarının oluşması ya da kaynak yapılan parçaların orijinal malzeme özelliklerini kaybetmiş olmasıdır.

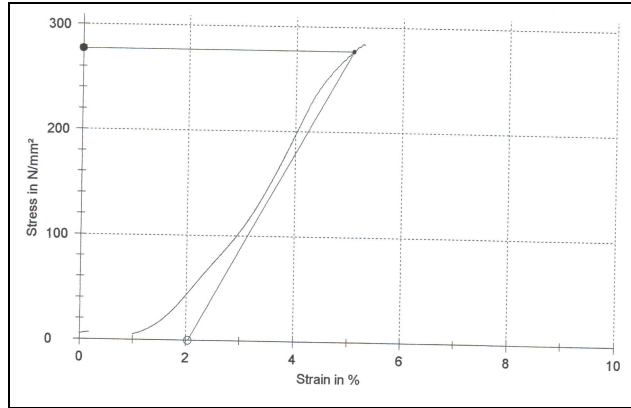
Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış parçalardan elde edilmiş çekme deney numunelerinin çekme deneyinden sonraki şekli Resim 4.33’ de gösterilmektedir.



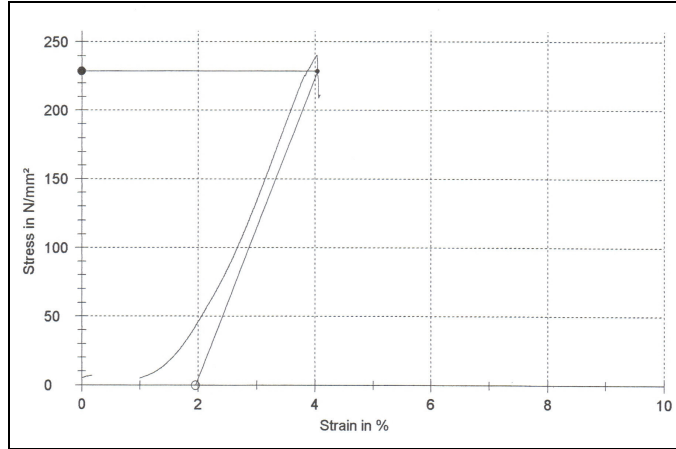
Şekil 4.23. B tipi takım ilerleme hızına göre çekme dayanım sonuçları



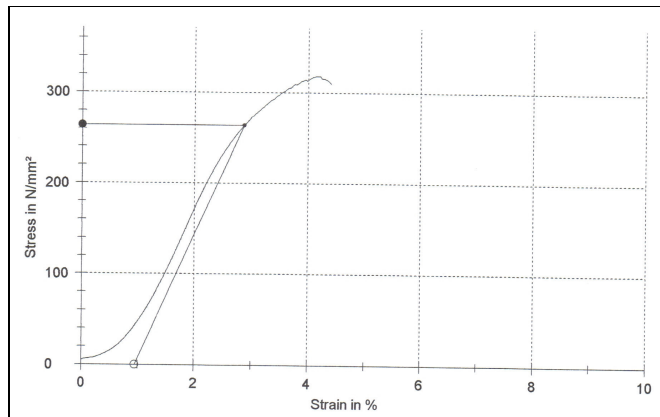
Resim 4.33. Çekme-Kopma deney numunelerinin çekme deneyinden sonraki görünüşü



Şekil 4.24. B tipi takım ve $S=900$ dev/dak, $V=15$ mm/dak için çekme deney grafiği



Şekil 4.25. B tipi takım ve $S=900$ dev/dak, $V=17$ mm/dak için çekme deney grafiği



Şekil 4.26. B tipi takım ve $S=900$ dev/dak, $V=20$ mm/dak için çekme deney grafiği

Şekil 4.24 - Şekil 4.26’de çekme-kopma deneyi sonucunda elde edilen grafiklerinden bir kaç tanesi gösterilmektedir. Bu grafiklerde B tipi takım için devir sayısı sabit tutulup ilerleme hızı değerleri değiştirilerek yapılmış olan deneyler göz önünde bulundurulmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürtünme karıştırma kaynağı, diğer kaynak yöntemleri ile kaynak yapılması zor olan malzemelerin bir biri ile veya farklı özelliklerdeki malzemelerle kaynatılması işleminde kolayca kullanılmasından dolayı geliştirilmiş ve çok kısa sürede farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Yapılan bu çalışmada alüminyum alaşımlı Al 7075 T6 malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesinin, farklı ilerleme hızı, devir sayısı, takım uç profili, takım alın profili ve kalıp bağlama şekilleri kullanılarak yapılması esnasında oluşan sıcaklık değerleri, kaynak yüzey kalitesi, kaynak dayanımı ve uç profiline göre kaynak hızları araştırılmıştır.

Yapılan bu deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Alüminyum alaşımlı Al 7075 T6 malzemeler sürtünme karıştırma kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.
- Alüminyum alaşımlı Al 7075 T6 malzeme için ilk (ısınma) ilerleme hızı 5 mm/dak ile 7 mm/dak arasında olmalıdır.
- Alüminyum alaşımlı Al 7075 T6 malzeme için ilerleme hızı takım uç profiline göre 12 mm/dak ile 30 mm/dak arasında olmalıdır. Bu değerler daha fazla deney yapılarak optimum edilebilir.
- Alüminyum alaşımlı Al 7075 T6 malzeme için devir sayısı 800 dev/dak ile 1000 dev/dak arasında olmalıdır.
- Sürtünme karıştırma kaynağının hızlı ve sağlam bir şekilde yapılabilmesi için takım uç profilinin vidalı olması gerekmektedir.
- Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takım uç profilinin vida adımının düşük olması takımın dayanımı attırmaktadır.
- Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında kullanılacak olan takımların Ç 512200 - Ç 4140 malzemeden veya 60-62 HRC sertlik derecesinde ısıtılma (su verme) tabii tutulabilecek malzemelerden veya çok daha sert metallerden özel imalatla elde edilmelidir.

- Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında çapakların az olması için takım parça üzerine çok iyi bir şekilde sıfırlanması gerekmektedir.
- Sürtünme karıştırma kaynağında düzgün bir yüzey kalitesi elde etmek için kullanılan takımın alın kısmına kanal açılması gerekmektedir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı yapılması esnasında düzgün yüzey kalitesi elde etmek için kalıbın düz bağlanması gerekmektedir. Ayrıca sert ve ısıl gerilmelere dayanıklı malzemelerden imal edilmiş olması gerekmektedir.
- Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan kalıp çelikten veya ısıya dayanıklı daha sert malzemelerden imal edilmelidir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı esnasında oluşan sıcaklığın kaynak yapılan malzemenin ergime sıcaklığından daha az olması gerekmektedir.
- Alüminyum alaşımlı Al 7075 T6 malzemeler kaynak yapılırken oluşan sıcaklığın 240 °C ile 300 °C arasında olması gerekmektedir.

Sonuç olarak; Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takım uç profilinin, takım alın profilinin, kalıp bağlama şeklinin, devir sayısının ve ilerleme hızının kaynak yüzey kalitesi, kaynak sağlamlığı ve oluşan sıcaklık değerleri açısından önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Sürtünme karıştırma kaynağı gelişmiş ülkelerde özellikle uzay ve gemi sanayisinde oldukça etkin kullanılmaktadır. Ülkemiz ekonomisi açısından talaşlı imalat olarak tam etkin biçimde kullanılmamaktadır. Bir diğer problem ise bu kaynak türünün malzemeye göre ve malzeme boyutlarına göre tam bir teknolojisinin oluşturulmamış olmasıdır. Bu alanda tüm patentleri elinde tutan kurum (TWI) malzeme ve boyutlara göre deneysel değerler önermektedir.

Yapılan çalışmanın daha ileri bir boyutu olarak, değişik malzeme ve farklı ölçülerdeki malzemelerin Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi için gerekli teknolojinin oluşturulması, malzeme mukavemetlerinin optimum edilmesi, yüzey pürüzlülük değerlerinin standart hale getirilmesi çalışmaları yapılabilir.

Talaşlı imalat ile bu işlemin hem pratik hem de ekonomik yapım yolları araştırılmalıdır. Ayrıca seri üretim yapılabilmesi ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi araştırılabilir. Ülke ekonomisine kazançları dikkate alınarak yaygınlaştırma faaliyetleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Ödemir, M., “Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Alüminyum Malzemelerin Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-35 (2003).
2. Aramayo, G., Radhakrishnan, B., David, S. A., Sarma, G. and Babu, S. S., “Modeling of Friction Stir Welding Process for Fusion Energy Applications”, **Oak Ridge National Laboratory**, 1-5 (2005).
3. ÖZKAN, S., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Parçalarda Haddeme (Burnishing) ile Yüzeylerin İşlenmesi, Haddemenin Yüzey Pürüzlüğü ve Sertleşmeye Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-50 (2006).
4. LPB Application Note “Friction Stir Weld Finishing”, **Surface Enhancement Technologies 5521 Fair Lane**, Cincinnati, 1-2 (2004).
5. Dawes, C.J., Thomas, W.M., “Friction Stir process welds aluminium alloys”, **Welding Journal**, 28 (1): 41-45 (1996).
6. Uzun, H., Yılmaz, R., Fındık, F., “Alüminyum Alaşımları için Süper Birleştirme Yöntemi: Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ve Uygulamaları”, **Metal Dünyası**, 118: 75-82 (2003).
7. Nicholas, E.D., Kallee, S.W., “Friction Stir Welding-A Decade On”, **II. World Asian Pasific International Congress**, Sydney, 45-50 (2000).
8. Çam, G., Ventzke, V., Santos, J.F., Koçak, M., Jennequin, g., Maurin, P.G., “Charactarisation of Electron Beam Welded Aluminium Alloys”, **Journal of Science and Technology of Welding And Joining**, 4(1): 317-323 (1999).
9. Diego, H.S., Guillermo, L., Santiago, U., Anibal, C., Luis A.V., “Numerical Modeling of Welded Joints by the "Friction StirWelding" Process ”, **Materials Research**, 7(4): 569-574 (2004).
10. Gould, J.E., Feng, Z., “Heat flow model for friction stir welding of aluminum alloys”, **Journal of Material Processing and Manufacturing Science**, 7(1): 185-199 (1998).
11. Rosenthal, D., Schemerber, “R. Thermal study of arc welding”, **Welding J.**, 17: 208 (1938).
12. Stewart, M.B., Adams, G.P., Nunes, A.C., Romine, P., “A combined experimental and analytical modeling approach to understanding friction stir-welding”, **Developments in Theoretical and Applied Mechaninics**, SECTAM XIX, 472 (1998).

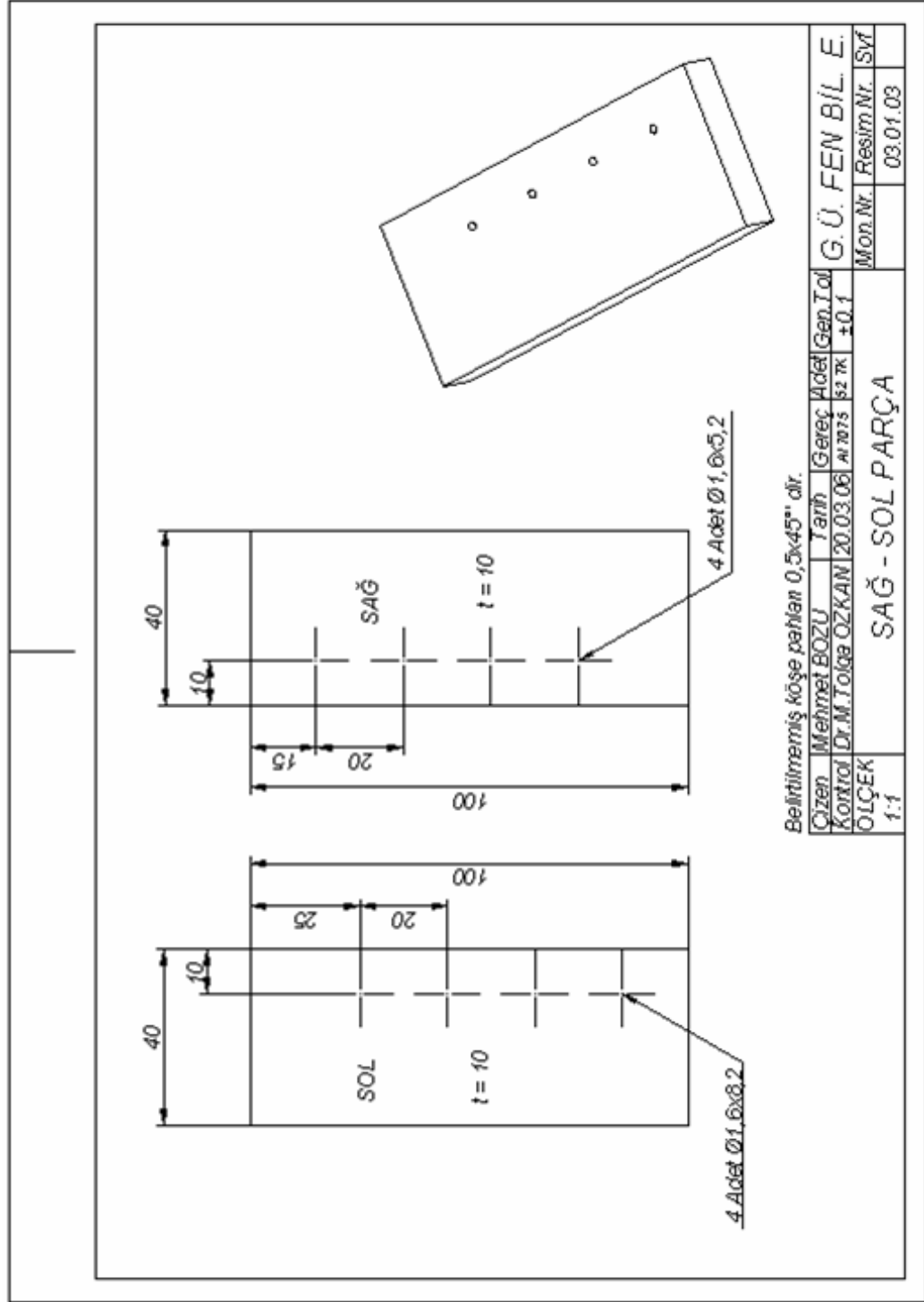
13. Çam, G., “Al-Alaşımları için geliştirilen yeni kaynak yöntemleri”, **III. Ulusal Kaynak Teknologileri Kongresi**, İstanbul, 227-267 (2001).
14. Cederqvist, L., Reynodls, A.P., “Factors affecting the properties of friction stir welded aluminum lap joints”, **Journal of Materials Processing Technology**, (2000).
15. Soundararajan, V., Zekovic, S., Kovacevic, R., “Thermo-mechanical model with adaptive boundary conditions for friction stir welding of Al 6061”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 45: 1577-1587 (2005).
16. Tülbentçi, K., Yılmaz, M., “Farklı Takım Çeliklerinin Katı Hal Kaynağı”, **II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı**, İstanbul, 303-314 (1989).
17. Yılmaz, M., “Farklı Takım Çeliklerinin Sürtünme Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 20-25 (1993).
18. Sulazec, A., “Termal Effects in Friction Welding”, **International Journal of Mechanical Science**, 32(3): 467-478 (1990).
19. Anık, S., “Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, **Ergör Matbaası** İstanbul, 196-207, 259-269 (1983).
20. Erdmann, H.C., “Metallografie und estigkeitscerhalten von Reibschweißverbindungen an unterschiedlichen Werkstoffen”, **Materials DVS**, Duesseldorf, 1-17 (1968).
21. Ertuğ, A., “Sürtünme Kaynağı”, **Mühendis ve Makine dergisi**, 21(241): 45-54 (1977).
22. Gürleyik, M.Y., **Mühendis ve Makine dergisi**, 16(180): 91-100 (1972).
23. Anık, S., Anık, E., Vural, M., “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, 1”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 223-228 (1993).
24. Dabak, S., “Sürtünme Kaynak Tezgahı İmalı SAE 8626-1040 Malzemelerin Kaynağı ile Mekanik ve Metalografik İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Balıkesir, 25-33 (1995).
25. Colligan, K., “Material Flow Behavior during Friction Stir Welding of Aluminium”, **Welding Journal**, 32(2): 229-237 (1999).
26. Jata, K.V., Semiatin, S.C., “Continuous Dynamic Recrystallization During Friction Stir Welding of High Strength Aluminium Alloys”, **Scripta Materialia**, 43(2): 743-749 (2000).

27. Contreray, F., Trillo, E.A., Murr, L.E., “Friction-Stir Welding of a Berilyum-Aluminium Powder Metallurgy Alloys”, *Journal of Materials Science*, 37(1): 89-99 (2002).
28. Dawes, C.J., Thomas, W.M., “Friction Stir Joining Of Aluminium Alloys”, *Bulletin 6, TWI*, 1-10 (1995).
29. Feng, Z., David, S.A., “Suppression Of Helium Bubble Growth In Friction Stir Welding Irradiated Materials”, *Oak Ridge National Laboratory*, 134-138 (2006).
30. Vilaç, P., Quintino, L., Santos, J.F., “iSTIR- Analytical thermal model for friction stir welding”, *Journal of Materials Processing Technology*, 169: 452-465 (2005).
31. Thomas, W.M., Andrews, R.E., “High Performance Tools For Friction Stir Welding”, *International Patent Application*, WO99/52699, (1999).
32. Tova, R., Gambaro, C., Volpone, M., “Friction Stir Welding: an innovative seam technology”, *Welding International*, 17(1): 36-42 (2003).
33. Prado, R.A., Murr, L.E., Shindo, D.J., Soto, K.F., “Tool Wear In The Friction Stir Welding Of Aluminium Alloy 6061+20%Al2O3:a Preliminary Study”, *Scripta Materialia*, 45(1): 75-80 (2001).
34. Elliott, S., Vallach, E.R.. “Joining Aluminum to Steel Part 1-Diffosion Bonding”, *Metal Construction*, 167-171 (1981).
35. Karaman, M., “Sürtünme Kaynağı ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi*, Sakarya, 4-16 (2001).
36. Gürleyik, M.Y., “Friction Stir Welding” *Mühendis ve Makine Dergisi*, 16: 241 (1997).
37. Kurt, A., Özdemir. M., Boz. M., “Alüminyum malzemelerinin sürtünme karıştırma kaynağında kaynak hızının birleşebilirliğe etkisi”, *IV. Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi*, Kocaeli, 89-99 (2003).
38. Johnsen, M.R., “Friction-Stir Welding Takes off at Boenning”, *Welding Journal.*, 28(4): 35-39 (1999).
39. Kreye, H., Reiners, G., “Mikrostruktur und Mechanische Eigenschaften von Aluminium-Kupfer Reibschweißverbindungen”, *Metallkunde*, 708-713 (1989).
40. “Aluminium Alloy Tables”, *Alcan S. A.*, Zürih,(1982).
41. “Alüminyum Malzeme Katalogu”, *Erol Metal San. ve Tic. Ltd. Şti.*, (2005).
42. “Çelik Malzeme Katalogu”, *Bilen Çelik San. ve Tic. Ltd. Şti.*, (2006).

43. “F 105 CNC Masa Tipi Yatay İşleme Tezgâhı Kimlik Kartı”, ***PREIFER***, (1988).

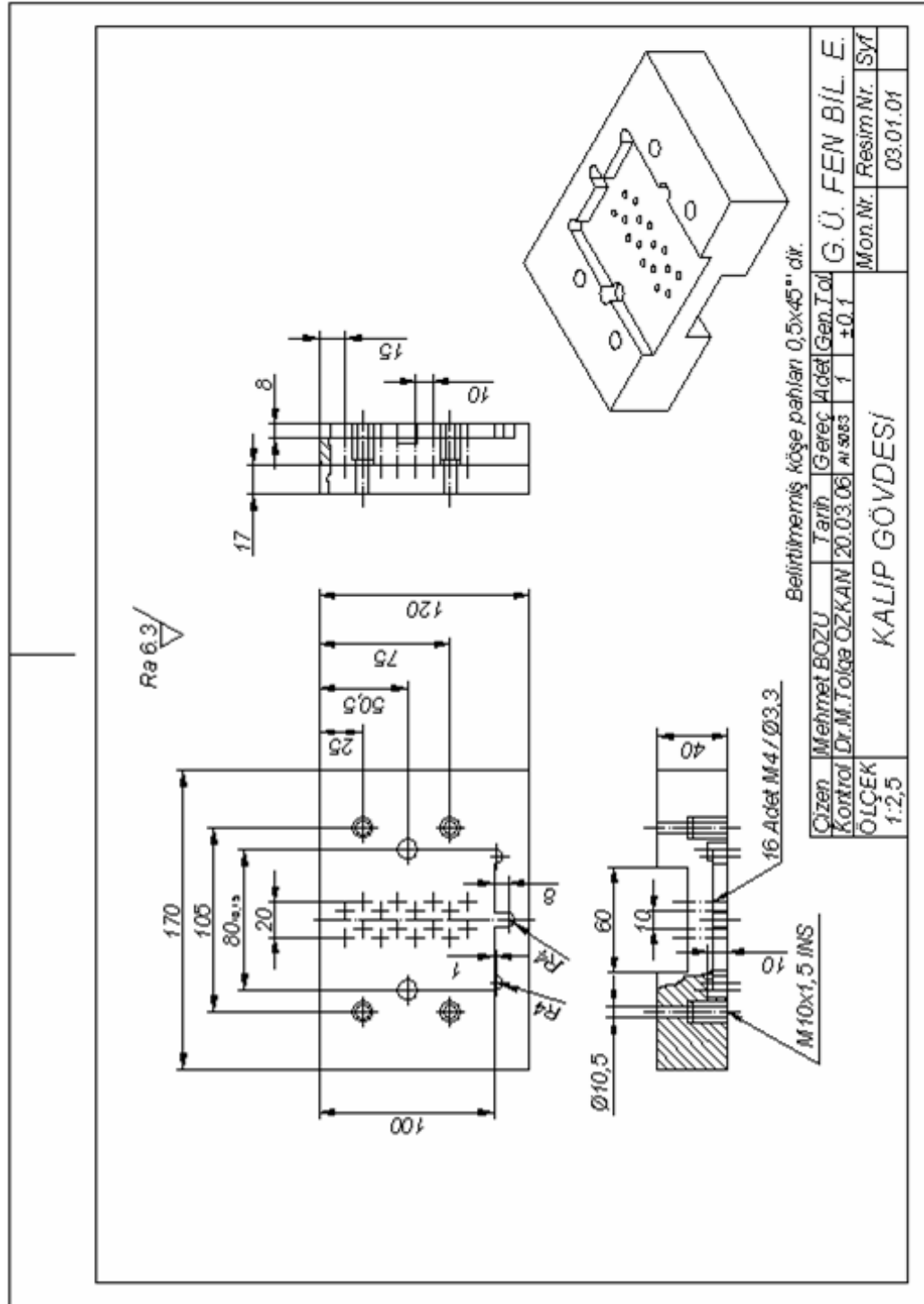
EKLER

EK-1 Al 7075 T6 Malzemelerin imalat resimleri



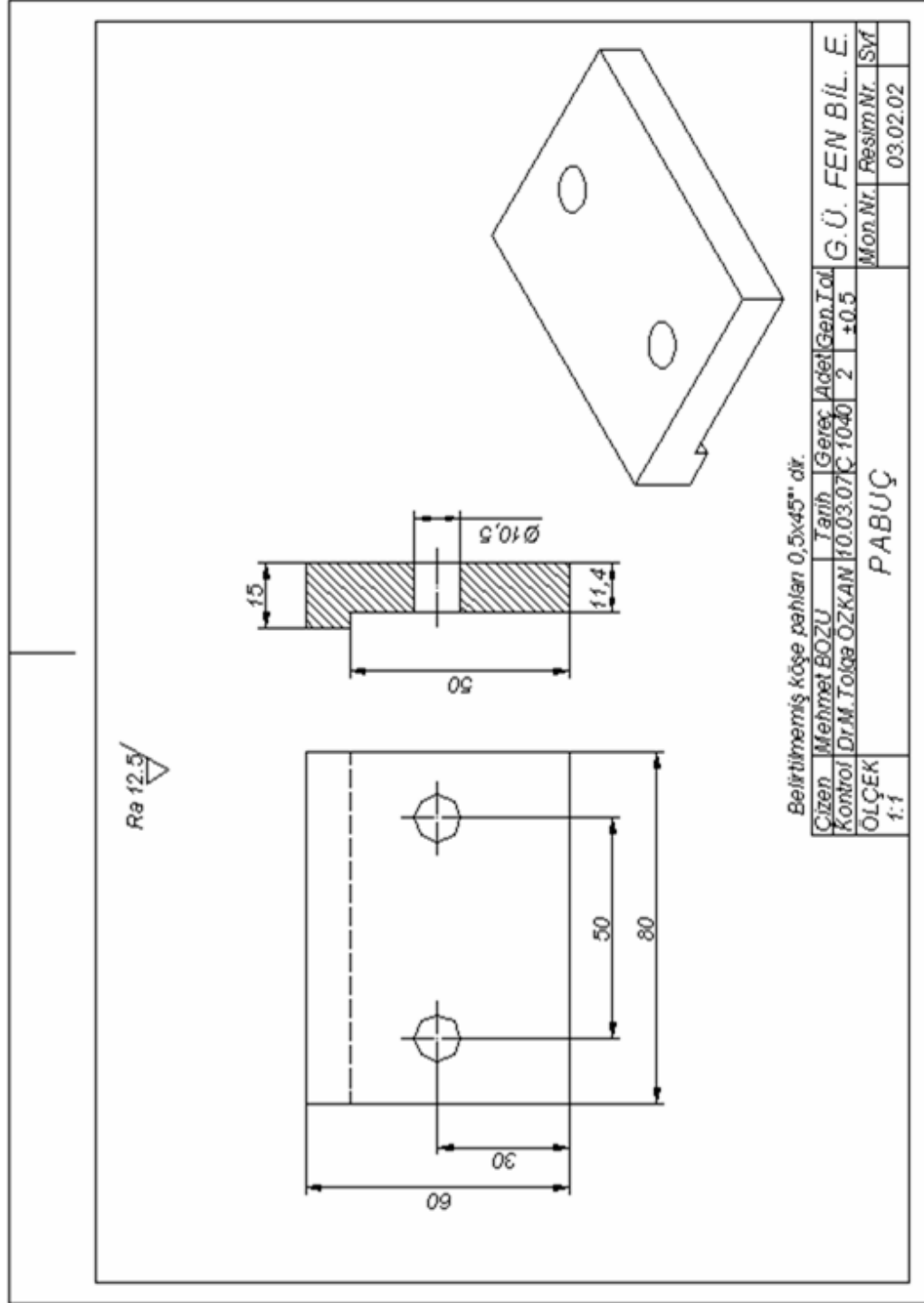
Şekil 1.1. Al 7075 T6 Malzemedan imal edilmiş paçalar

EK-2 Bağlama kalıbının ilk tasarlanan şeklinin imalat resimleri



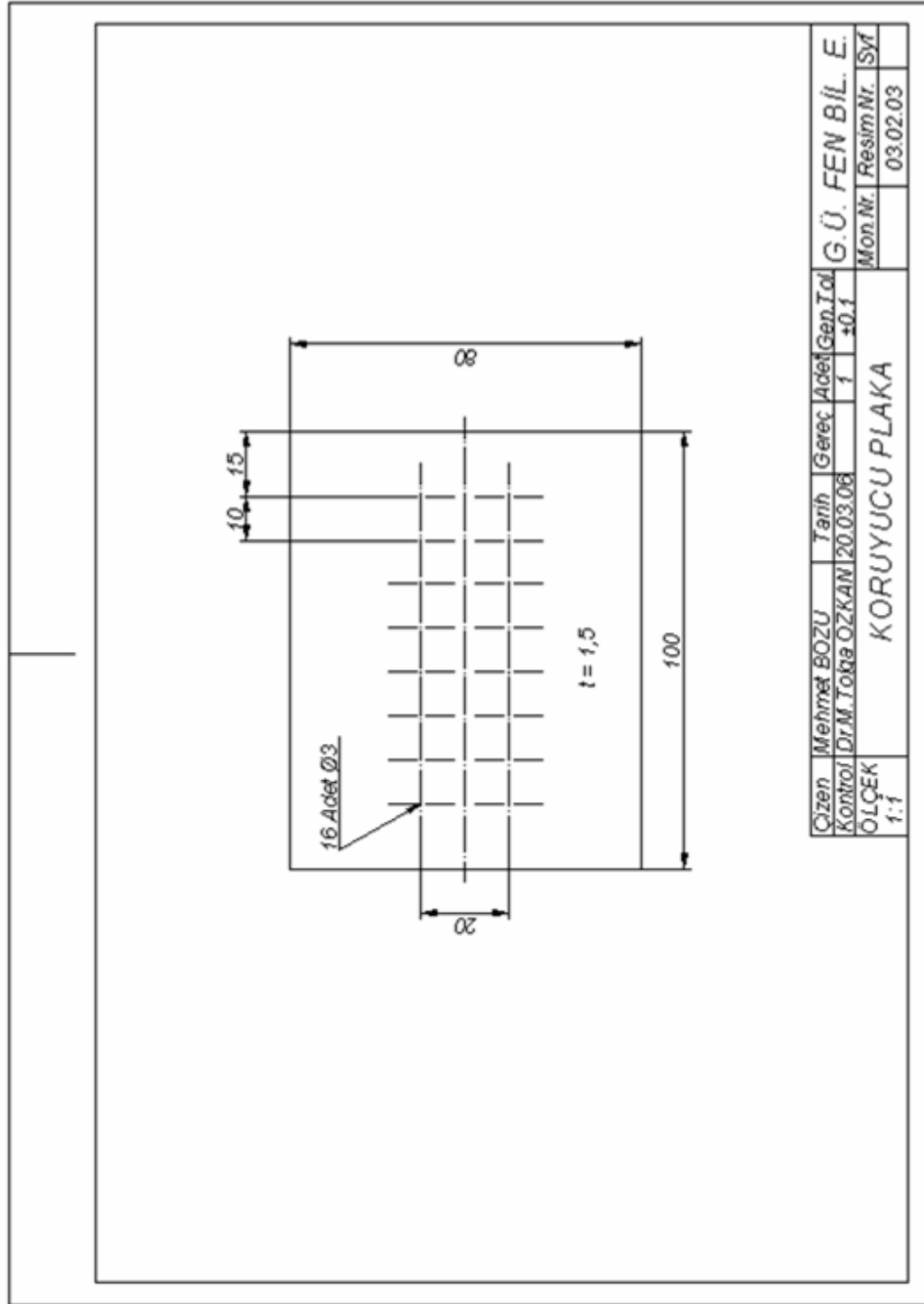
Şekil 2.1. Sürtünme karıştırma kaynağı bağlama kalıbı

EK-3 (Devam) Bağlama kalıbının imalat resimleri



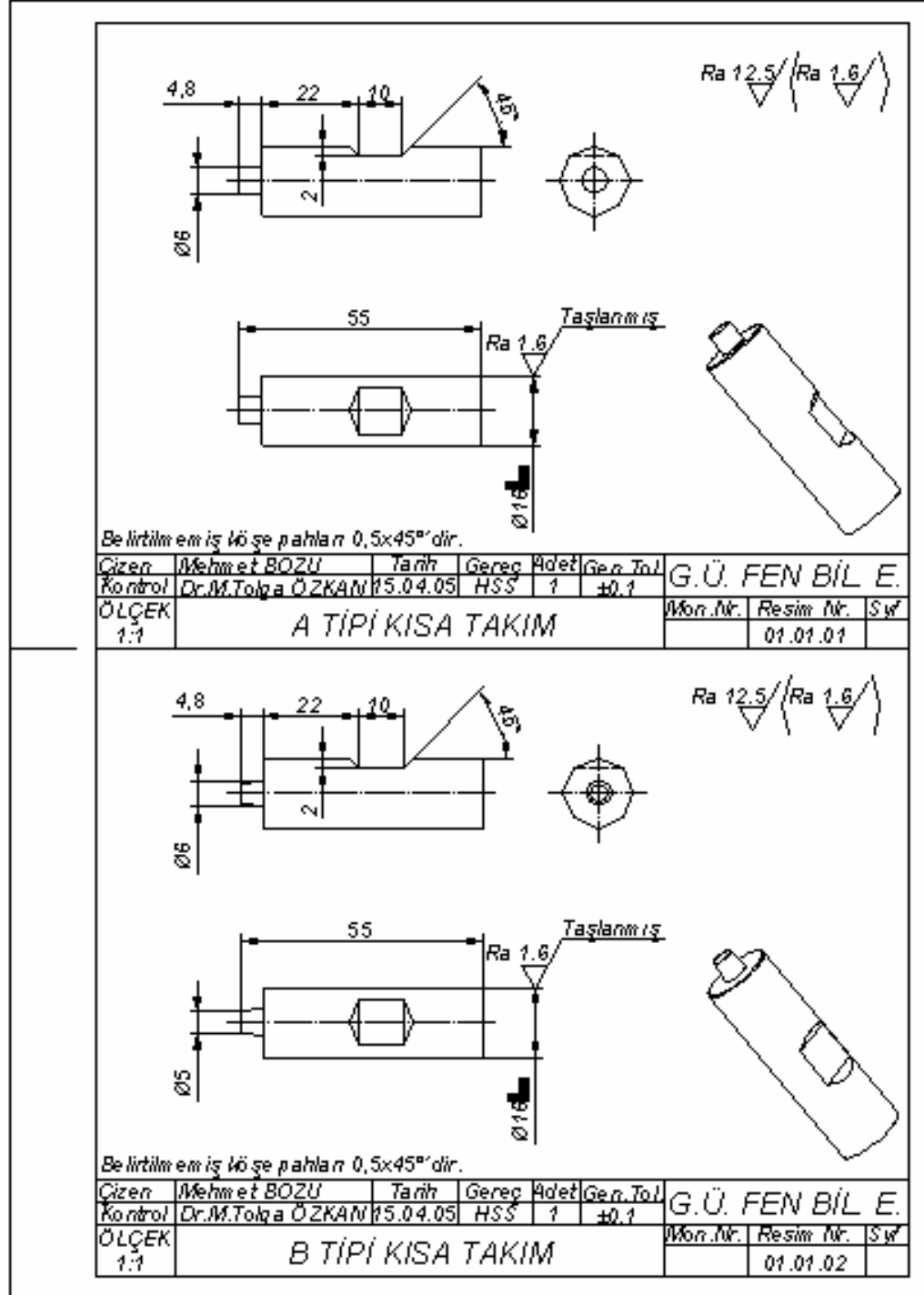
Şekil 3.2. Sürtünme karıştırma kaynağı bağlama pabucu

EK-3 (Devam) Bağlama kalıbının imalat resimleri



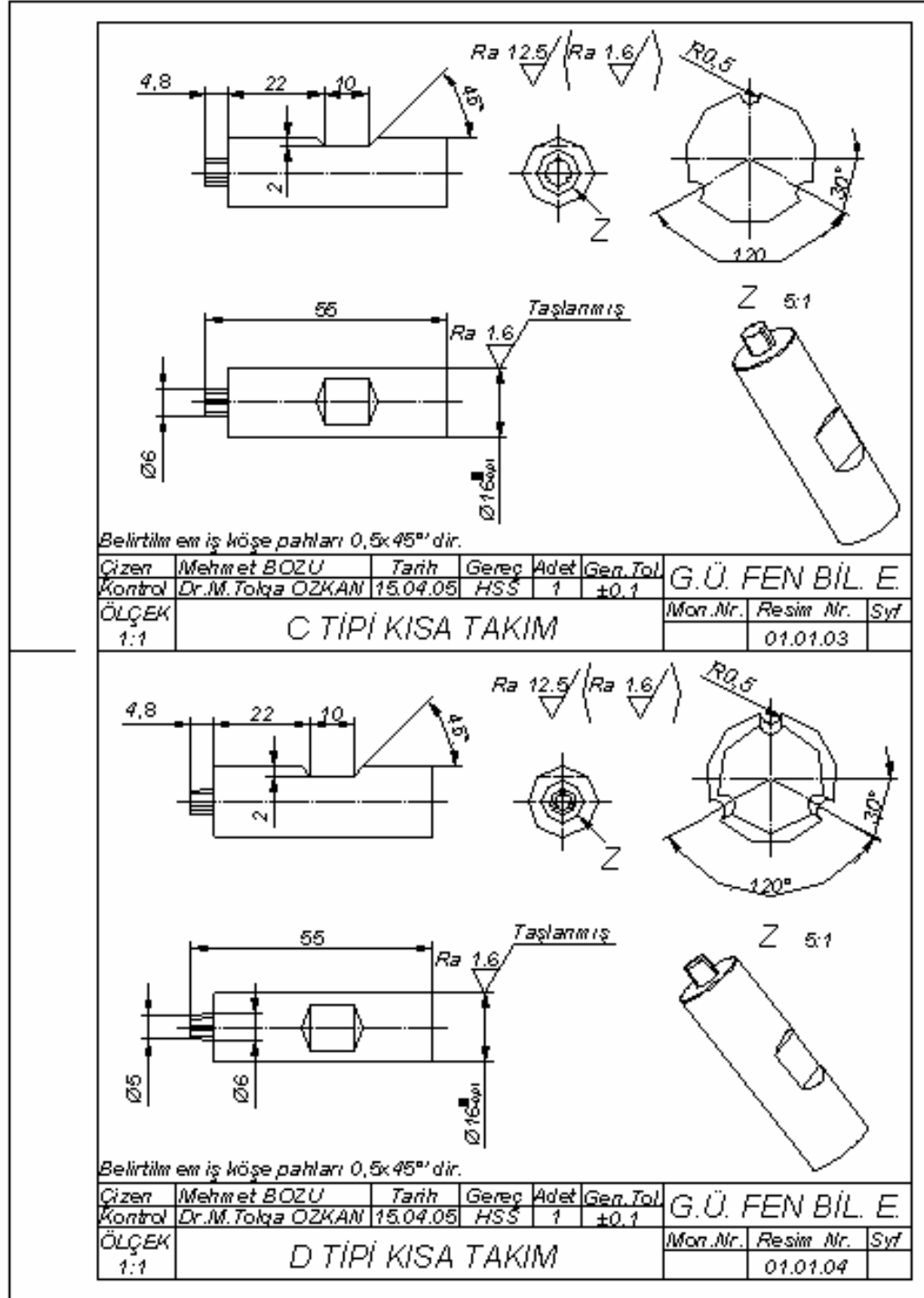
Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağı bağlama kalıbı koruyucu plaka

EK-4 Uç boyu 4,8 mm olan karıştırıcı takımların imalat resimleri



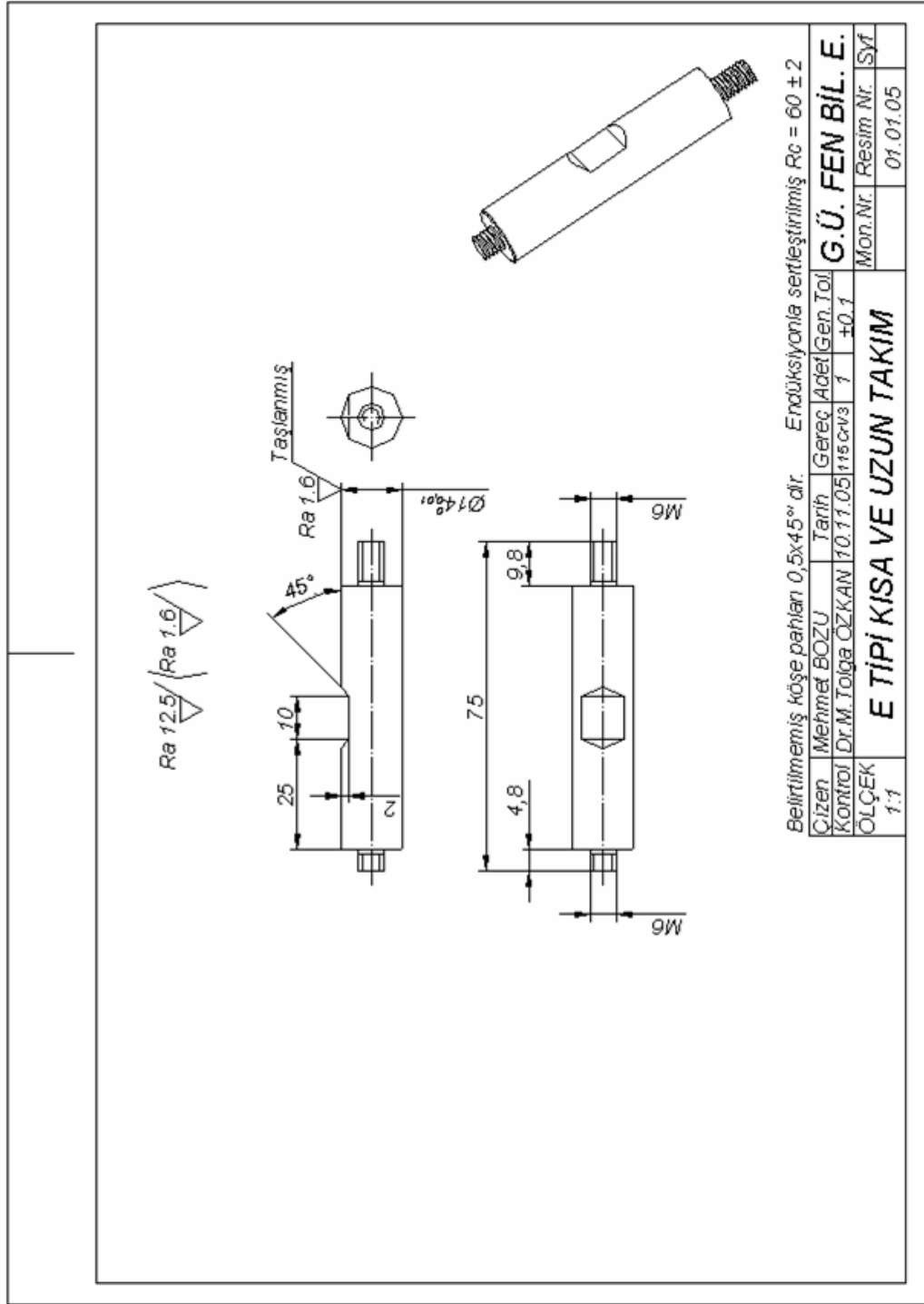
Şekil 4.1. HSS çeliğinden imal edilmiş A-B tipi kısa karıştırıcı takım

EK-4 (Devam) Uç boyu 4,8 mm olan karıştırıcı takımların imalat resimleri



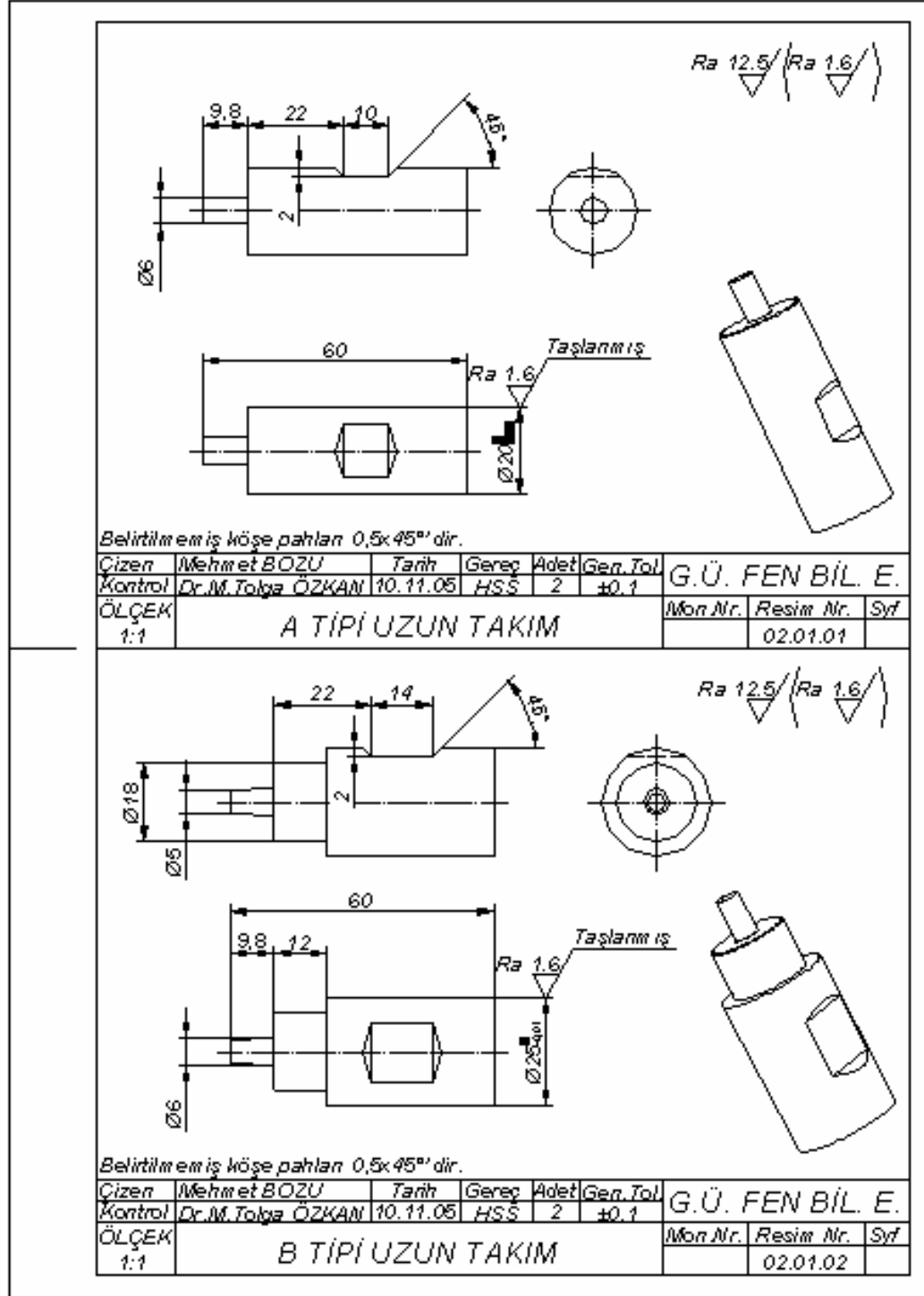
Şekil 4.2. HSS çeliğinden imal edilmiş C-D tipi kısa karıştırıcı takım

EK-4 (Devam) Uç boyu 4,8 mm olan karıştırıcı takımların imalat resimleri



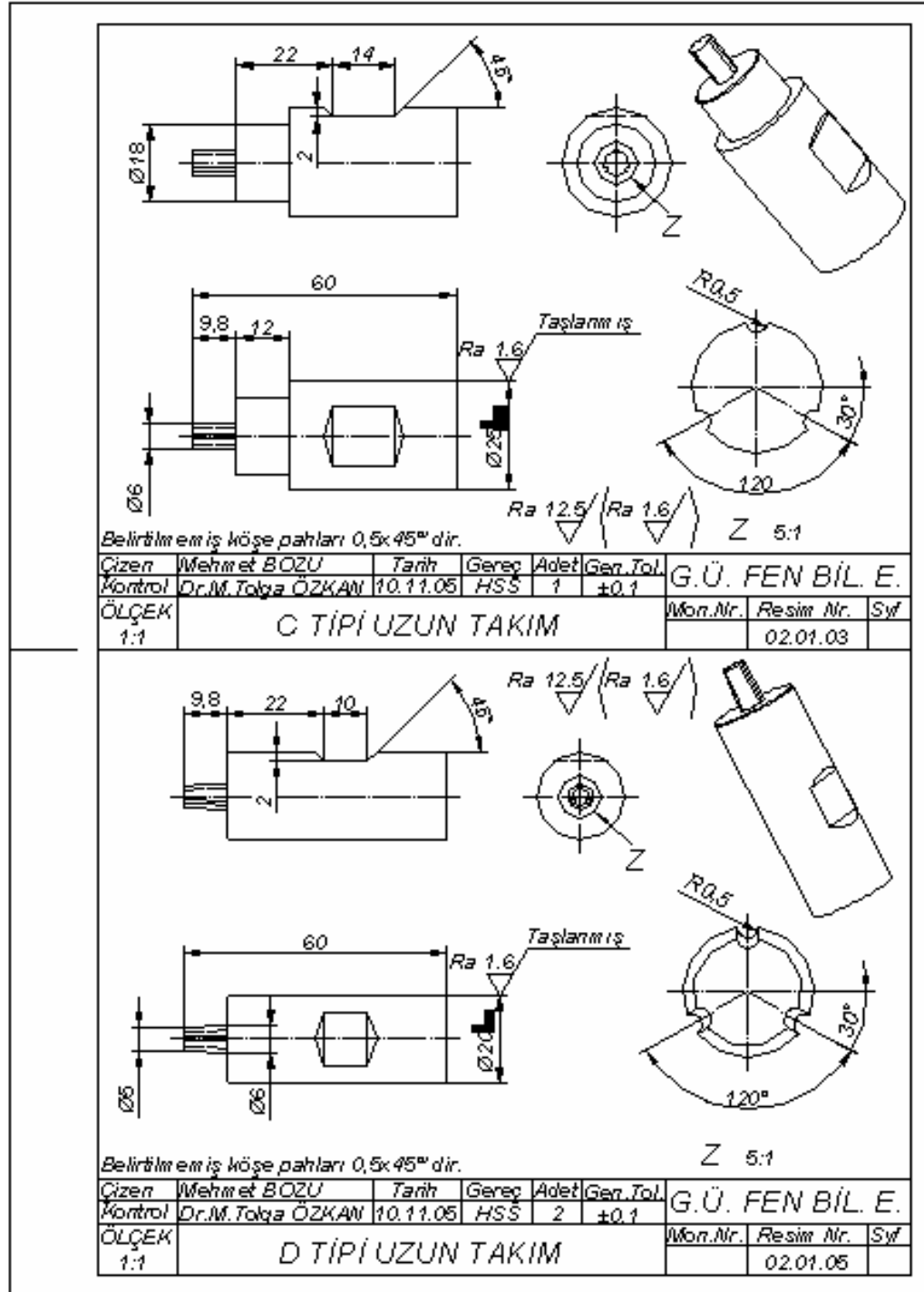
Şekil 4.3. Civa çeliğinden imal edilmiş E tipi kısa ve uzun karıştırıcı takım

EK-5 Uç boyu 9,8 mm olan karıştırıcı takımların imalat resimleri



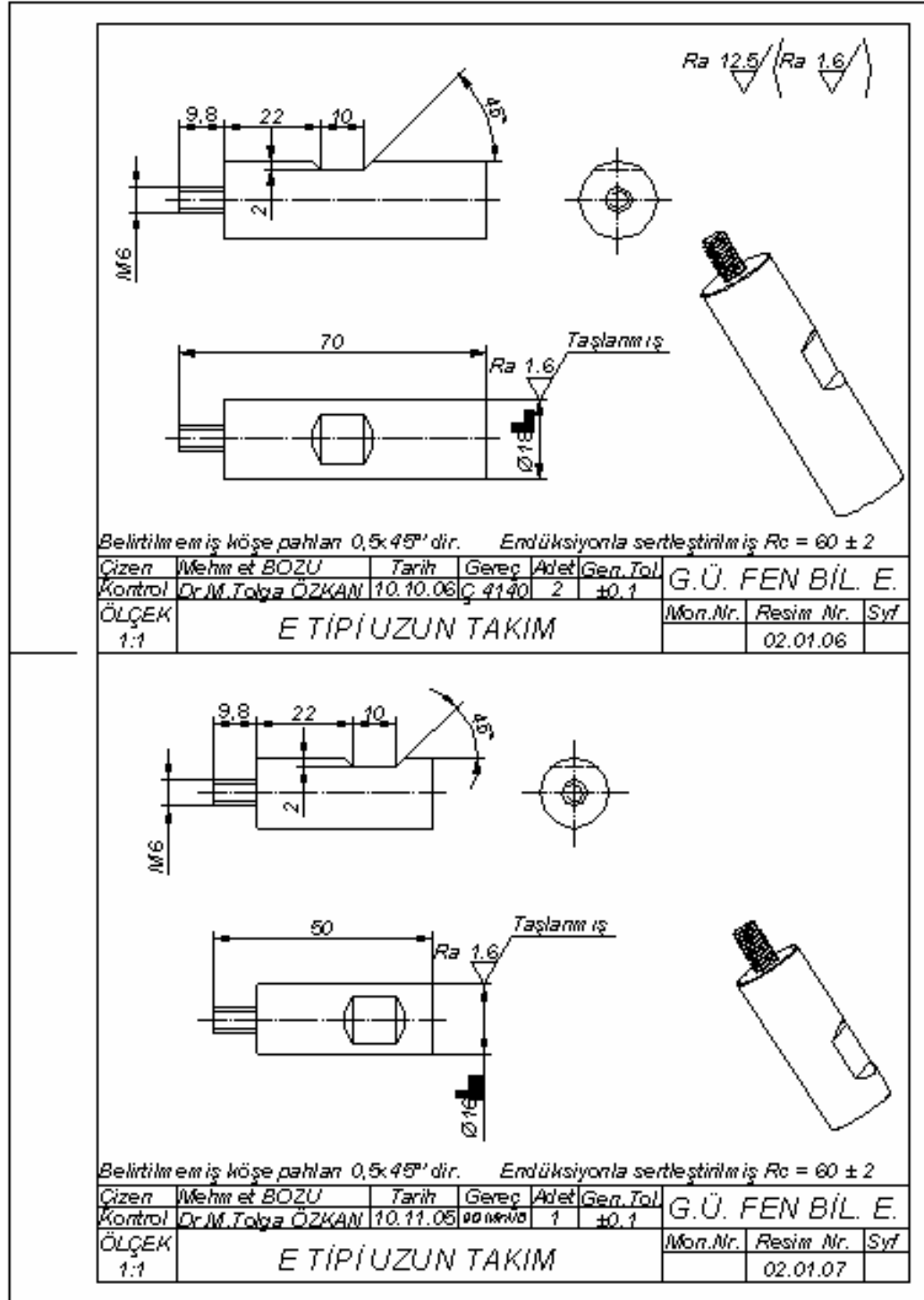
Şekil 5.1. HSS çeliğinden imal edilmiş A-B tipi uzun karıştırıcı takım

EK-5 (Devam) Uç boyu 9,8 mm olan karıştırıcı takımların imalat resimleri



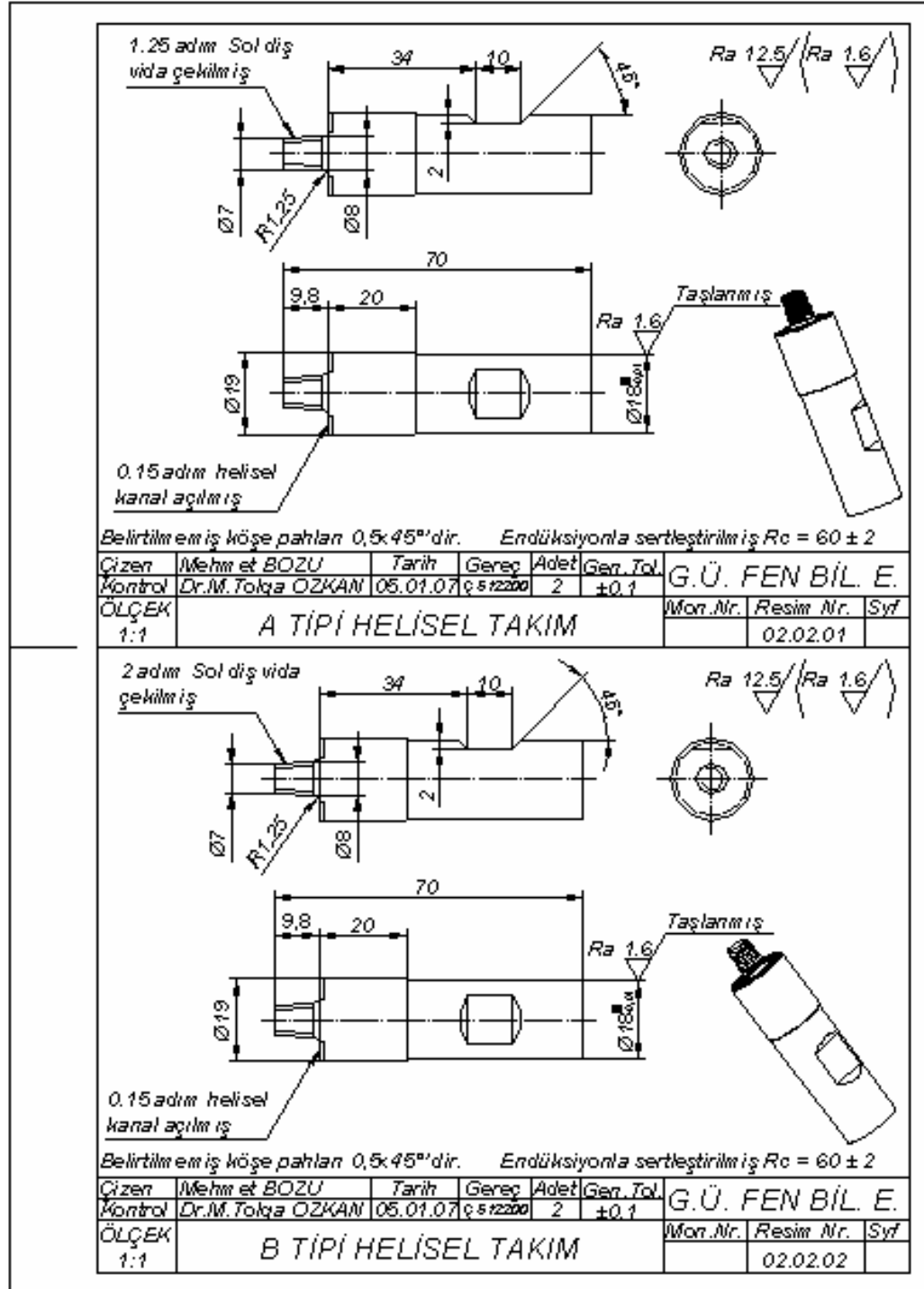
Şekil 5.2. HSS çeliğinden imal edilmiş C-D tipi uzun karıştırıcı takım

EK-5 (Devam) Uç boyu 9,8 mm olan karıştırıcı takımların imalat resimleri



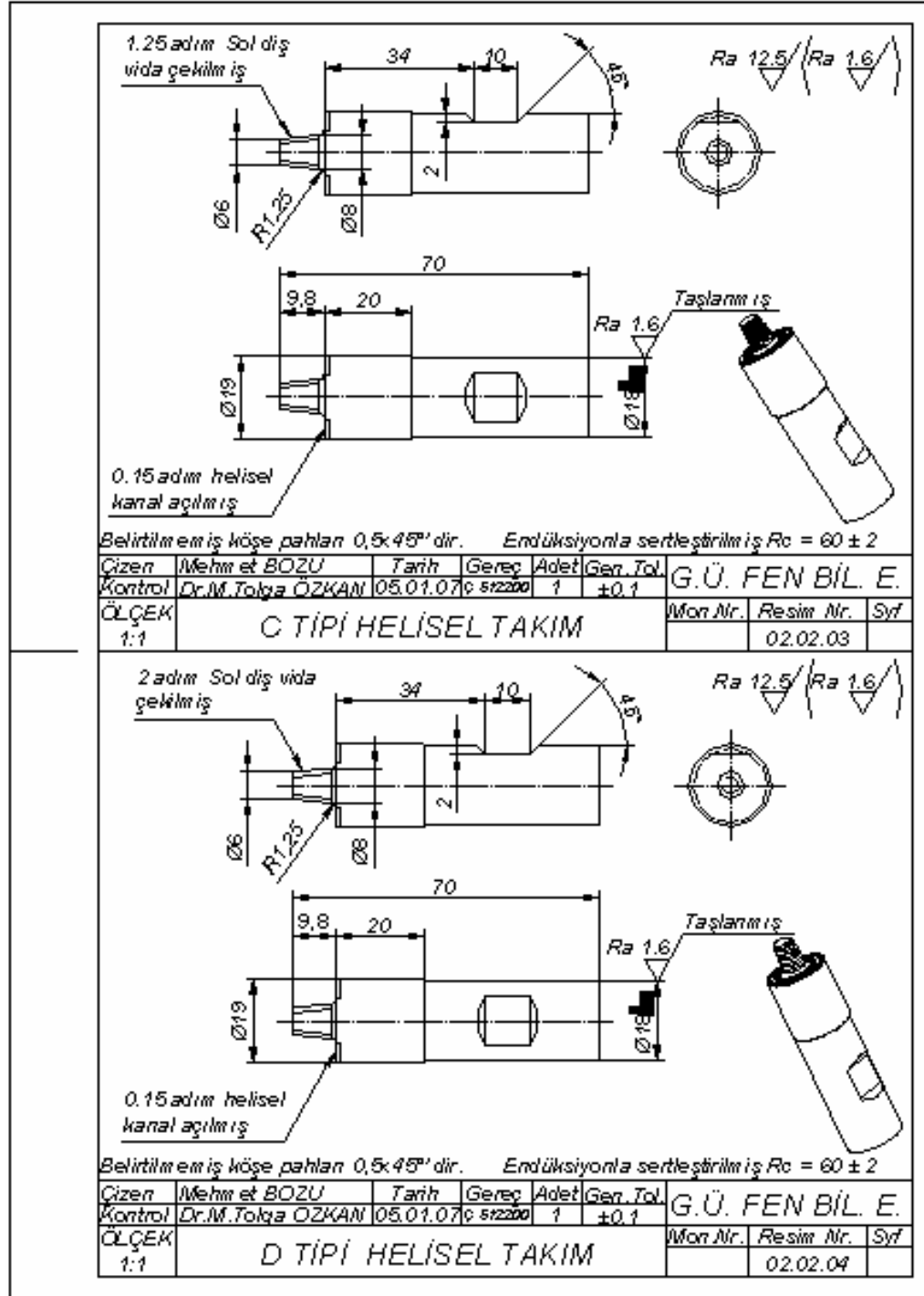
Şekil 5.3. HSS ve yağ çeliğinden imal edilmiş E tipi uzun karıştırıcı takım

EK-6 Uç boyu 9,8 mm olan helisel alın kanallı karıştırıcı takımların imalat resimleri



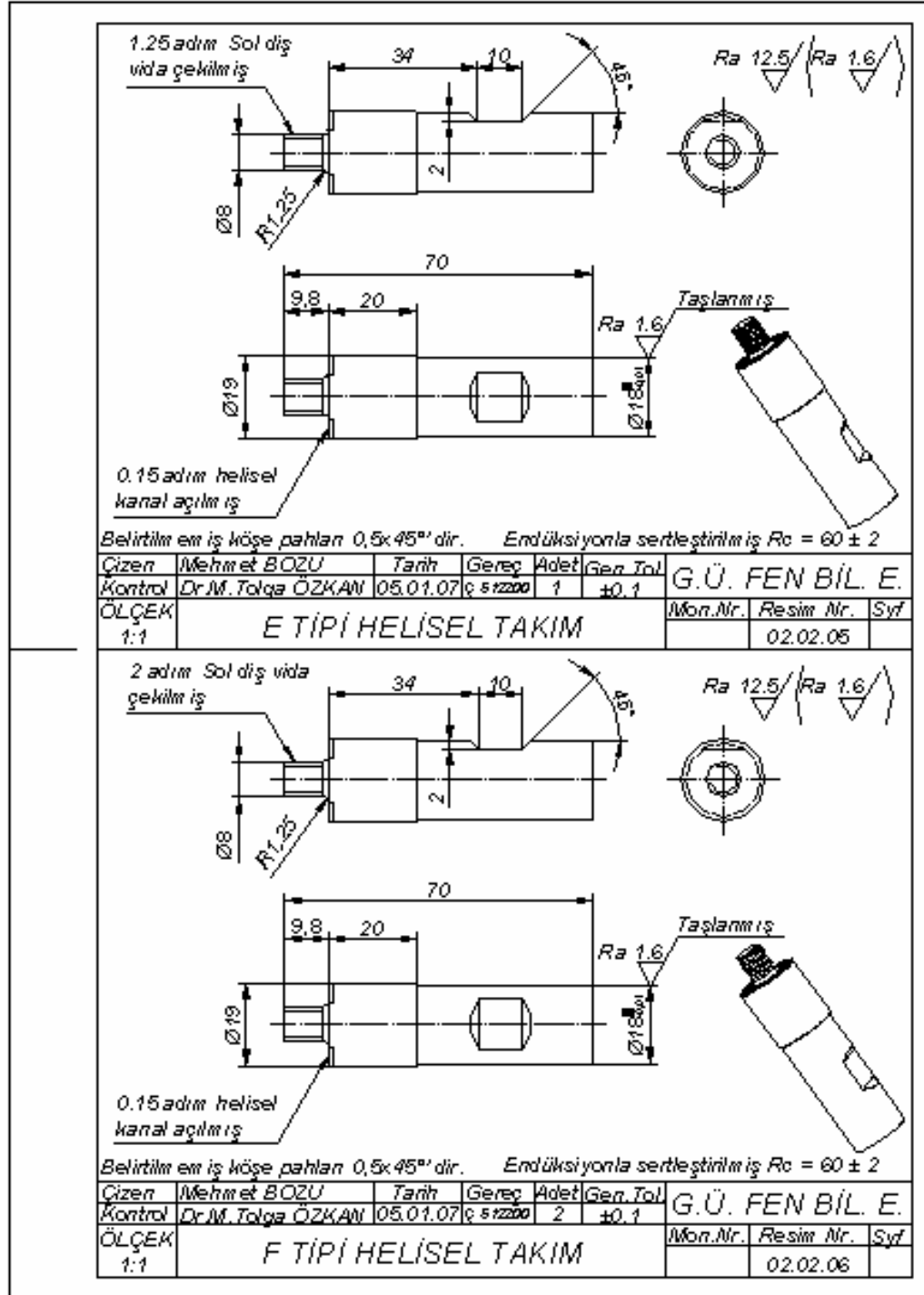
Şekil 6.1. Ç 512200 çelikten imal edilmiş A-B tipi helisel alınlı karıştırıcı takım

EK-6 (Devam) Uç boyu 9,8 mm olan helisel alın kanallı karıştırıcı takımların imalat resimleri



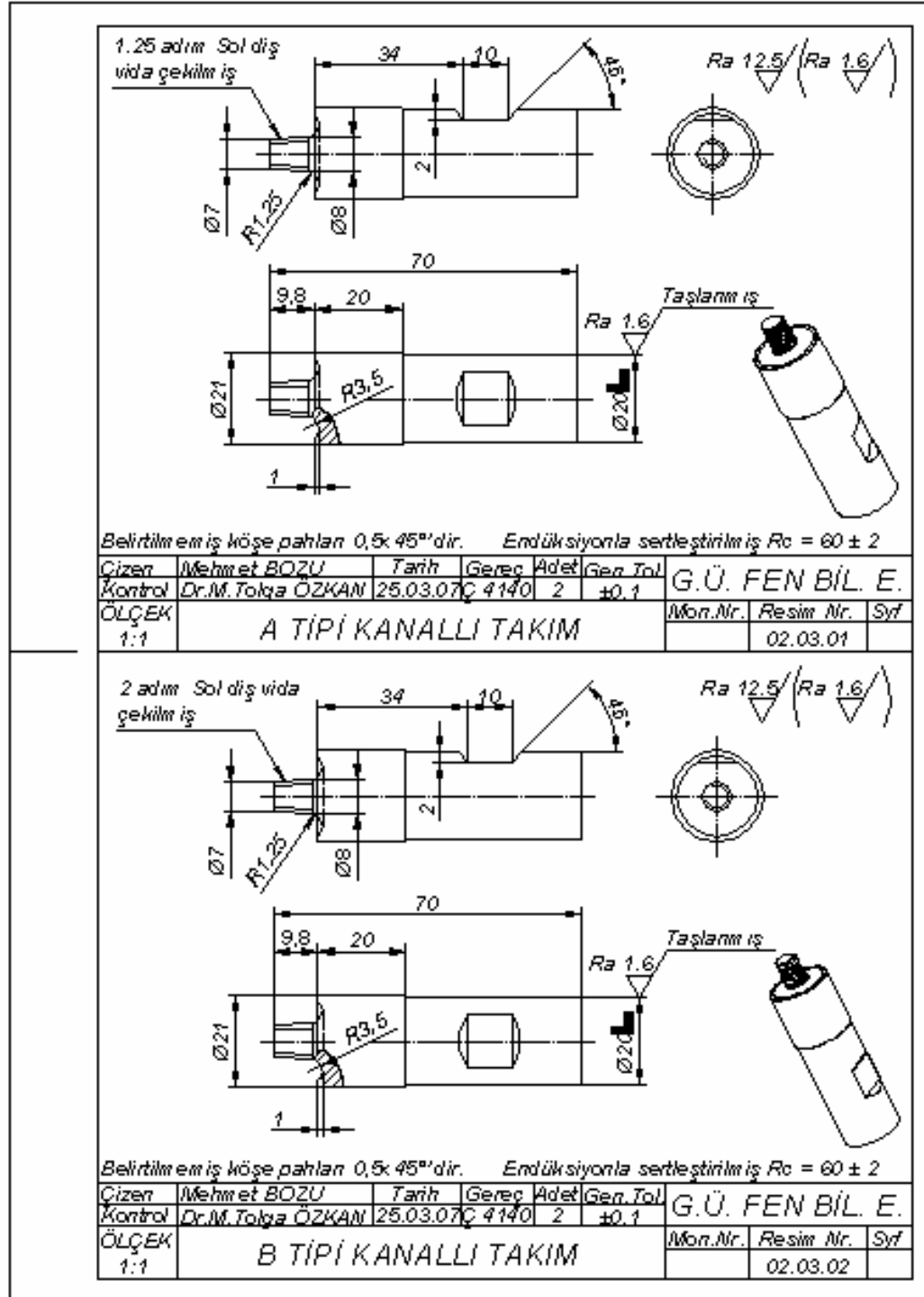
Şekil 6.2. Ç 512200 çelikten imal edilmiş C-D tipi helisel alınlı karıştırıcı takım

EK-6 (Devam) Uç boyu 9,8 mm olan helisel alın kanallı karıştırıcı takımların imalat resimleri



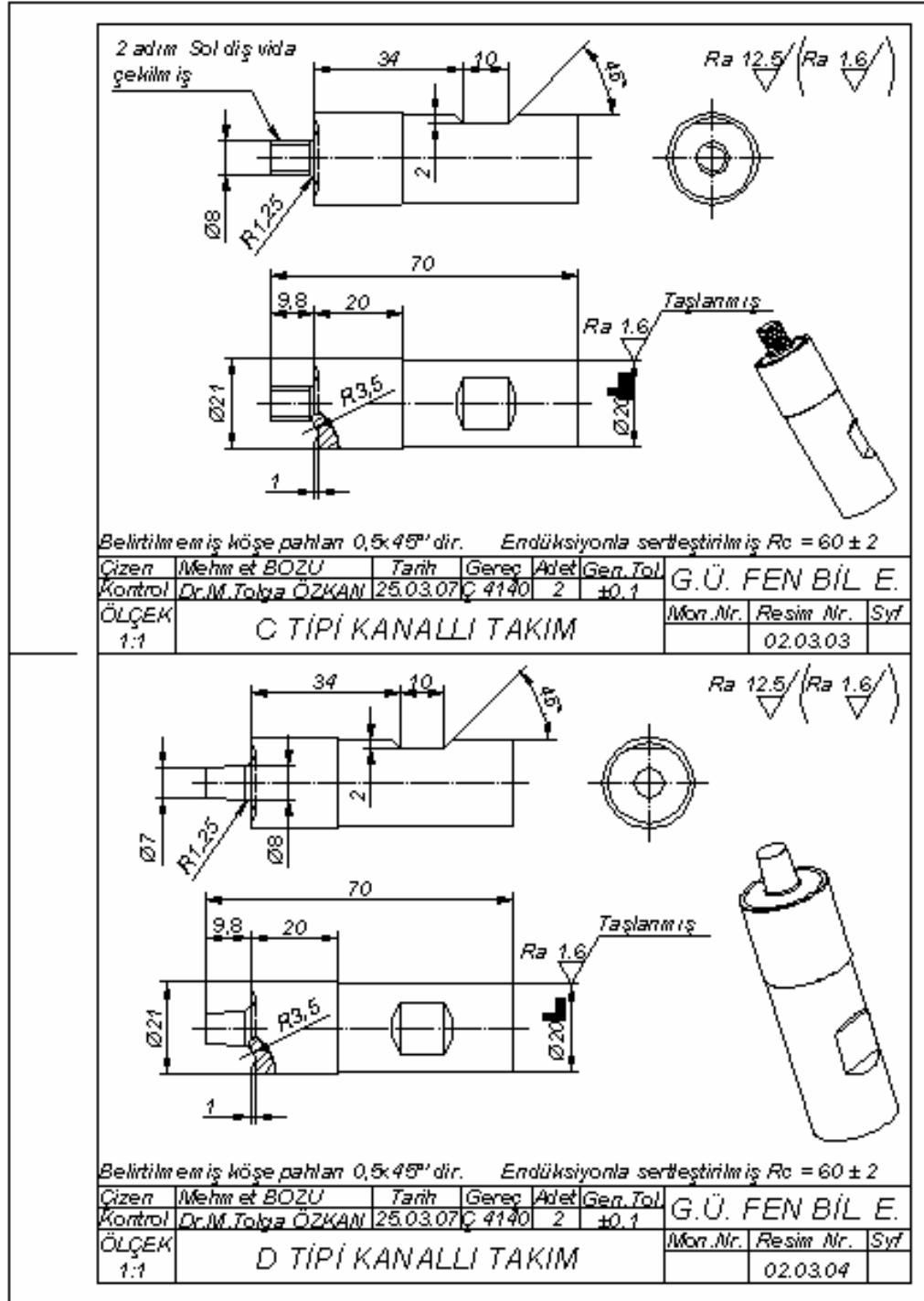
Şekil 6.3. Ç 512200 çelikten imal edilmiş E-F tipi helisel alınlı karıştırıcı takım

EK-7 Uç boyu 9,8 mm olan düz alın kanallı karıştırıcı takımların imalat resimleri



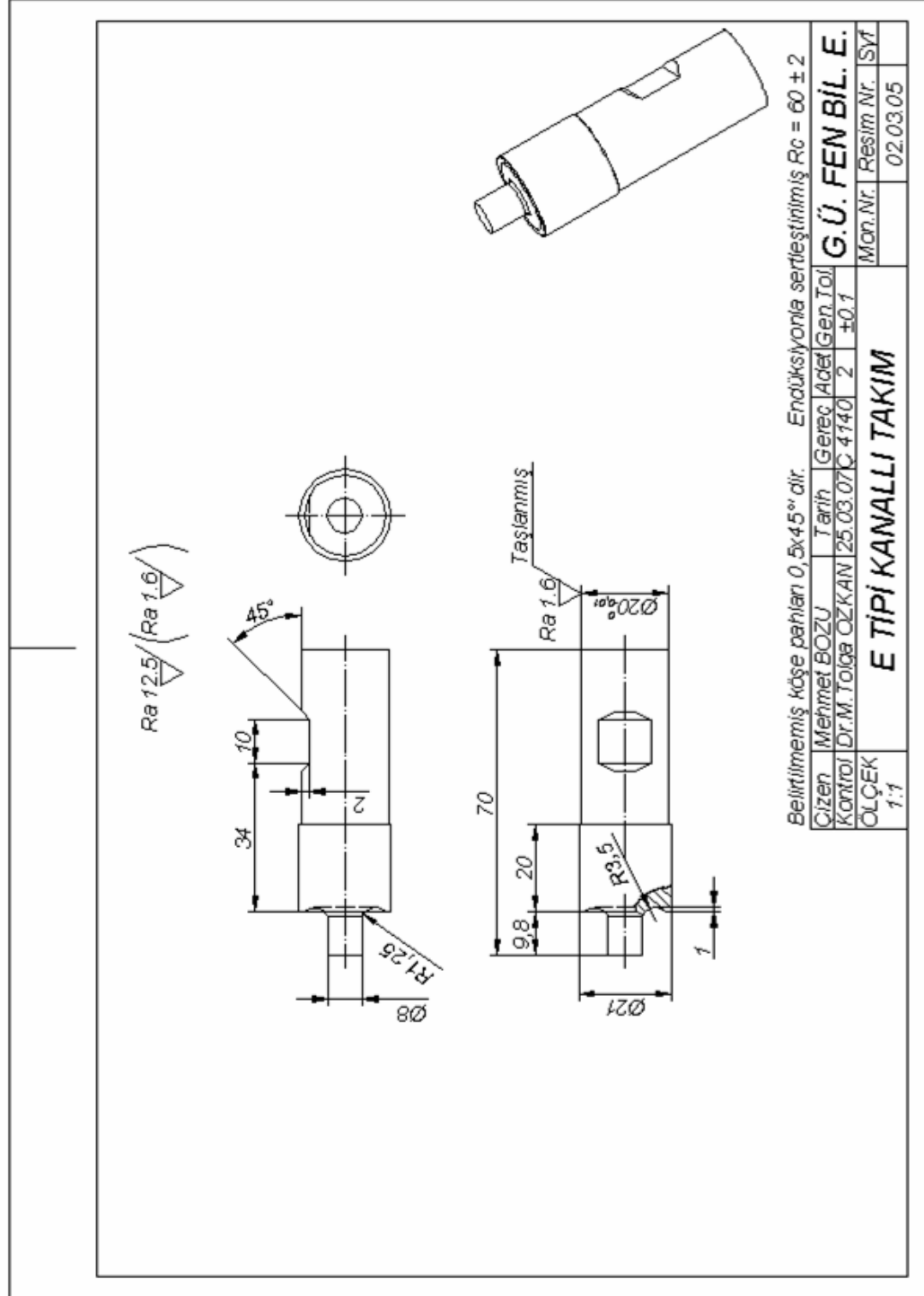
Şekil 7.1. Ç 4140 çelikten imal edilmiş A-B tipi düz alınlı karıştırıcı takım

EK-7 (Devam) Uç boyu 9,8 mm olan düz alın kanallı karıştırıcı takımların imalat resimleri



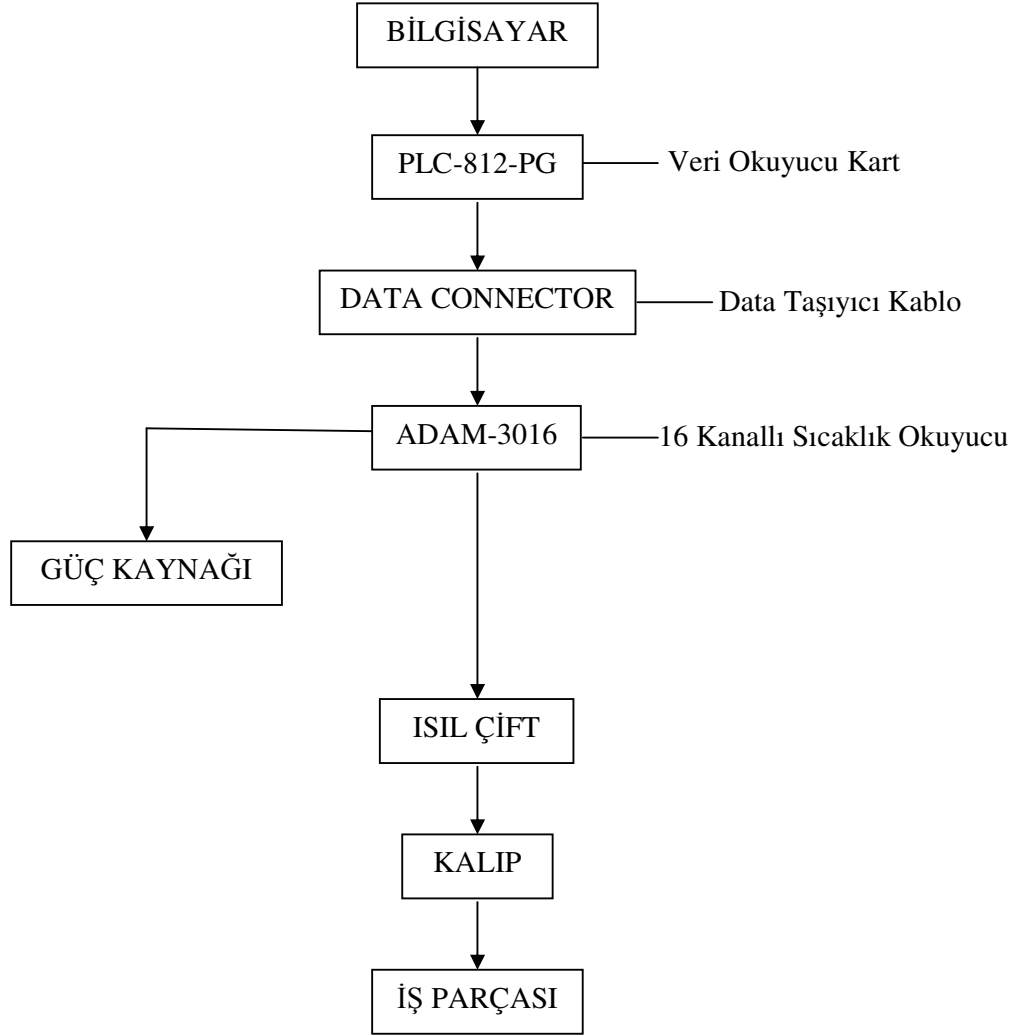
Şekil 7.2. Ç 4140 çelikten imal edilmiş C-D tipi düz alınlı karıştırıcı takım

EK-7 (Devam) Uç boyu 9,8 mm olan düz alın kanallı karıştırıcı takımların imalat resimleri



Şekil 7.3. Ç 4140 çelikten imal edilmiş E tipi düz alınlı karıştırıcı takım

EK-8 Deney düzeneği şematik gösterimi



Şekil 8.1. Deney düzeneği şematik gösterimi

EK-9 HEIDENHAIN TNC 155 kontrol ünitesine uygun CNC programı

0 BEGIN PGM 1 MM

1 BLK FORM 0.1 Z X-40,000 Y-100,000 Z-10,000

2 BLK FORM 0.2 X+40,000 Y+0,000 Z+0,000

3 TOOL DEF 1 L+191,250 R+3,500

4 TOOL CALL 1 Z S 1000,000

5 L Z+100,000 R0 F6000 M

6 L X+0,000 Y+91,000 R0 F6000 M

7 L Z+20,000 R0 F6000 M

8 L Z+5,000 R0 F1000 M13

9 L Z+0,300 R0 F80 M

10 L Z+100,000 R0 F600 M05

11 STOP M

12 TOOL DEF 2 L+0,000 R+4,000

13 TOOL CALL 2 Z S 800,000

14 L Z+200,000 R0 F6000 M

15 L X+0,000 Y+91,000 R0 F6000 M

16 L Z+20,000 R0 F6000 M

17 L Z+12,000 R0 F1000 M13

18 L Z+0,200 R0 F15 M

19 L Z+85,000 R0 F7 M

20 L Y+6,000 R0 F20 M

21 L Z+15,000 R0 F1000 M

22 L Z+200,000 R0 F6000 M05

23 END PGM 1 MM

EK-9 (Devam) HEIDENHAIN TNC 155 kontrol ünitesine uygun CNC programı

0 BEGIN PGM 2 MM

1 BLK FORM 0.1 Z X-40,000 Y-100,000 Z0,000

2 BLK FORM 0.2 X+40,000 Y+0,000 Z+10,000

3 TOOL DEF 1 L+191,250 R+3,500

4 TOOL CALL 1 Z S 1000,000

5 L Z+100,000 R0 F6000 M

6 L X+0,000 Y+91,000 R0 F6000 M

7 L Z+20,000 R0 F6000 M

8 L Z+5,000 R0 F1000 M13

9 L Z+0,300 R0 F80 M

10 L Z+100,000 R0 F600 M05

11 STOP M

12 TOOL DEF 2 L+0,000 R+4,000

13 TOOL CALL 2 Z S 800,000

14 L Z+200,000 R0 F6000 M

15 L X+0,000 Y+91,000 R0 F6000 M

16 L Z+20,000 R0 F6000 M

17 L Z+12,000 R0 F1000 M13

18 L Z+0,200 R0 F15 M

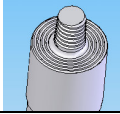
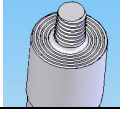
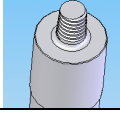
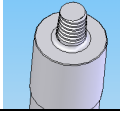
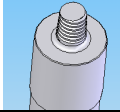
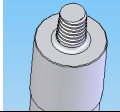
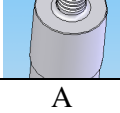
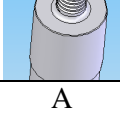
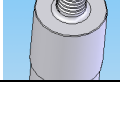
19 L Y+6,000 Z-2,766 R0 F20 M

20 L Z+15,000 R0 F1000 M

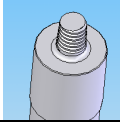
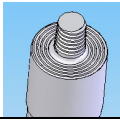
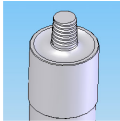
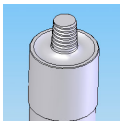
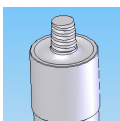
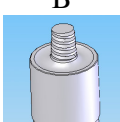
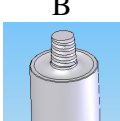
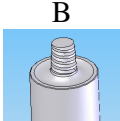
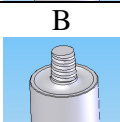
21 L Z+200,000 R0 F6000 M05

22 END PGM 2 MM

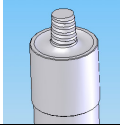
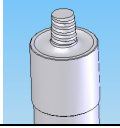
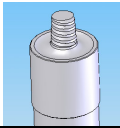
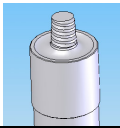
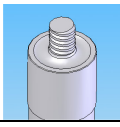
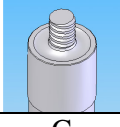
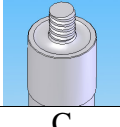
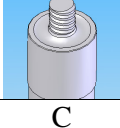
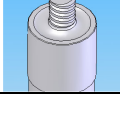
EK-10 Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan parametreler tablosu

<i>Deney No</i>	<i>Kayıt Adı</i>	<i>Takım Tipi</i>	<i>Devir Sayısı (dev/dak)</i>	<i>İlerleme Hızı (mm/dak)</i>	<i>Kalıp Pozisyonu</i>	<i>Takım Dönme Yönü</i>	<i>Açıklama</i>
1	K01	A 	500	40	2° Açılı	M03	
2	K02	A 	500	15	2° Açılı	M03	
3	K03	A 	500	20	2° Açılı	M03	
4	K04	A 	800	30	2° Açılı	M03	
5	K05	A 	1000	40	2° Açılı	M03	
6	K06	A 	1000	25	2° Açılı	M03	
7	K07	A 	1000	15	Düz	M04	
8	K08	A 	1000	20	2° Açılı	M04	
9	K09	A 	1200	20	2° Açılı	M04	

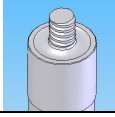
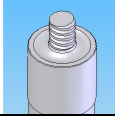
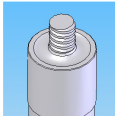
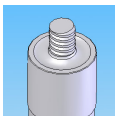
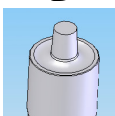
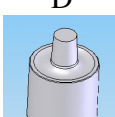
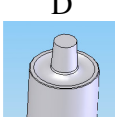
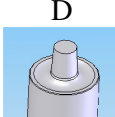
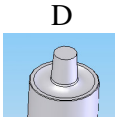
EK-10 (Devam) Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan parametreler tablosu

<i>Deney No</i>	<i>Kayıt Adı</i>	<i>Takım Tipi</i>	<i>Devir Sayısı (dev/dak)</i>	<i>İlerleme Hızı (mm/dak)</i>	<i>Kalıp Pozisyonu</i>	<i>Takım Dönme Yönü</i>	<i>Açıklama</i>
10	K10	A 	1200	25	2° Açılı	M04	
11	K11	A 	900	15	2° Açılı	M04	
12	K12	A 	800	15	2° Açılı	M04	Kırıldı 9. Kaynak
13	K13	A 	900	10	2° Açılı	M04	Out Of Range
14	K14	B 	1000	15	2° Açılı	M04	
15	K15	B 	1000	20	2° Açılı	M04	
16	K16	B 	1000	17	2° Açılı	M04	
17	K17	B 	900	15	2° Açılı	M04	
18	K18	B 	900	17	2° Açılı	M04	

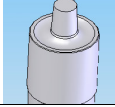
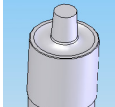
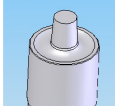
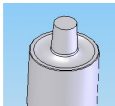
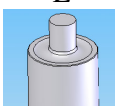
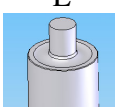
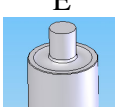
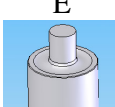
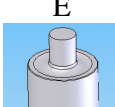
EK-10 (Devam) Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan parametreler tablosu

<i>Deney No</i>	<i>Kayıt Adı</i>	<i>Takım Tipi</i>	<i>Devir Sayısı (dev/dak)</i>	<i>İlerleme Hızı (mm/dak)</i>	<i>Kalıp Pozisyonu</i>	<i>Takım Dönme Yönü</i>	<i>Açıklama</i>
19	K19	B 	900	20	2° Açılı	M04	
20	K20	B 	1100	15	2° Açılı	M04	Kırıldı 7. Kaynak
21	K21	B 	1100	20	2° Açılı	M04	
22	K22	B 	1100	17	2° Açılı	M04	
23	K23	C 	900	15	2° Açılı	M04	
24	K24	C 	900	17	2° Açılı	M04	
25	K25	C 	900	20	2° Açılı	M04	
26	K26	C 	800	15	Düz	M04	2 Ad Kırıldı Girişte
27	K27	C 	800	17	Düz	M04	Kırıldı 1. Kaynak

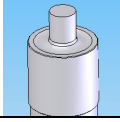
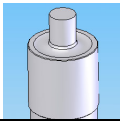
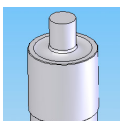
EK-10 (Devam) Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan parametreler tablosu

<i>Deney No</i>	<i>Kayıt Adı</i>	<i>Takım Tipi</i>	<i>Devir Sayısı (dev/dak)</i>	<i>İlerleme Hızı (mm/dak)</i>	<i>Kalıp Pozisyonu</i>	<i>Takım Dönme Yönü</i>	<i>Açıklama</i>
28	K28	C 	800	20	Düz	M04	
29	K29	C 	1000	17	Düz	M04	
30	K30	C 	1000	15	Düz	M04	
31	K31	C 	1000	20	Düz	M04	Kırıldı 4. Kaynak
32	K32	D 	800	15	Düz	M04	Kırıldı 1. Kaynak
33	K33	D 	800	12	Düz	M03	
34	K34	D 	800	17	Düz	M03	
35	K35	D 	900	15	Düz	M03	
36	K36	D 	900	20	Düz	M03	

EK-10 (Devam) Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan parametreler tablosu

<i>Deney No</i>	<i>Kayıt Adı</i>	<i>Takım Tipi</i>	<i>Devir Sayısı (dev/dak)</i>	<i>İlerleme Hızı (mm/dak)</i>	<i>Kalıp Pozisyonu</i>	<i>Takım Dönme Yönü</i>	<i>Açıklama</i>
37	K37	D 	900	25	Düz	M03	
38	K38	D 	1000	20	Düz	M03	
39	K39	D 	1000	25	Düz	M03	
40	K40	D 	1000	40	Düz	M03	
41	K41	E 	800	15	Düz	M03	Kırıldı 1. Kaynak
42	K42	E 	800	12	Düz	M03	Kırıldı 1. Kaynak
43	K43	E 	800	17	Düz	M03	
44	K44	E 	900	15	Düz	M03	
45	K45	E 	900	10	Düz	M04	Out Of Range

EK-10 (Devam) Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan parametreler tablosu

<i>Deney No</i>	<i>Kayıt Adı</i>	<i>Takım Tipi</i>	<i>Devir Sayısı (dev/dak)</i>	<i>İlerleme Hızı (mm/dak)</i>	<i>Kalıp Pozisyonu</i>	<i>Takım Dönme Yönü</i>	<i>Açıklama</i>
46	K46	E 	900	20	Düz	M04	
47	K47	E 	1000	15	Düz	M04	
48	K48	E 	1000	40	Düz	M04	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BOZU, Mehmet
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.01.1982 Karapınar
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 223 96 12
 e-mail : bozumehmet@yahoo.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitimi	2007
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Eğitimi	2004
Lise	Lüleburgaz Teknik Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2005	Gazi Üniversitesi Atatürk MYO	Öğretim Görevlisi
2004-	Şirinler Makina	Üretim Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Kitap okumak, sinemaya gitmek, doğa yürüyüşü, bilgisayar, internet.