



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİPROPİLEN LEVHALARIN CNC TEZGAHINDA
SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI İLE
BİRLEŞTİRİLMESİ**

GÜLTEKİN ÇAKIR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ŞENOL MERT**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİPROPİLEN LEVHALARIN CNC TEZGAHINDA SÜRTÜNME
KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Gültekin ÇAKIR tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Şenol MERT

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Şenol MERT

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Adem ÇİÇEK

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Doç. Dr. Turgay KIVAK

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 11/05/2018

BEYAN

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

11 Mayıs 2018

Gültekin ÇAKIR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Ü. Şenol MERT Bey'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi DÜBAP 2013.07.04.170 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

11 Mayıs 2018

Gültekin ÇAKIR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	XI
KISALTMALAR.....	XII
SİMGELER	XIV
ÖZET	XV
ABSTRACT	XVI
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	4
2.1. PLASTİKLER.....	4
2.1.1. Tarihsel Gelişim	4
2.1.2. Temel Bilgiler	5
2.1.3. Termal Özelliklerine Göre Plastikler.....	6
2.1.3.1. Termosetler.....	7
2.1.3.2. Termoplastikler.....	7
2.2. POLİPROPİLEN (PP)	8
2.3. PLASTİKLERİN BİRLEŞTİRİLMESİ.....	9
2.3.1. Kaynak Bağlantıları	10
2.3.1.1. Isıl Yöntemler.....	12
2.3.1.2. Mekanik Yöntemler (Sürtünme Esaslı).....	20
2.3.1.3. Elektromanyetik Yöntemler.....	26
2.3.2. Yapıştırma	30
2.3.3. Mekanik Bağlantılar.....	31
2.4. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI (SKK).....	31
2.5. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI (SKNK)	34
2.5.1. Genel Bilgi	34
2.5.2. SKNK Yönteminin Uygulanışı.....	35

2.5.3. SKNK Yönteminin Başarısını Etkileyen Parametreler.....	36
2.5.4. SKNK Takımı.....	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. KAYNAK İŞLEMİ İÇİN KULLANILAN MALZEME	39
3.2. KAYNAK İŞLEMİ İÇİN KULLANILAN SKNK TAKIMLARI.....	40
3.2.1. Takım Malzemesi.....	40
3.2.2. Takım Geometrisi	40
3.3. SKNK'NIN UYGULANIŞI.....	43
3.4. KAYNAK MUKAVEMETİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ	47
3.5. KAYNAK MUKAVEMETİNİ BELİRLEMEK AMACIYLA UYGULANAN TEST YÖNTEMİ.....	49
3.6. ÇEKME TESTİ SONUCUNDA ORTAYA ÇIKAN KOPMA TÜRLERİ...50	
4. BULGULAR	52
4.1. T1 TAKIMINA AİT PARAMETRELERİN MAX. ÇEKME KUVVETİNE ETKİSİ.....	52
4.1.1. Takım Devrinin Kaynak Dayanımına Etkisi.....	53
4.1.2. Dalma Derinliğinin Kaynak Dayanımına Etkisi.....	58
4.1.3. Karıştırma Süresinin Kaynak Dayanımına Etkisi.....	61
4.2. T4 TAKIMINA AİT PARAMETRELERİN ÇEKME KUVVETİNE ETKİSİ	65
4.2.1. Takım Devrinin Kaynak Dayanımına Etkisi.....	65
4.2.2. Dalma Derinliğinin Kaynak Dayanımına Etkisi	69
4.2.3. Karıştırma Süresinin Kaynak Dayanımına Etkisi.....	73
4.3. T2 TAKIMINA AİT PARAMETRELERİN ÇEKME KUVVETİNE ETKİSİ	77
4.3.1. Takım Devrinin Kaynak Dayanımına Etkisi.....	78
4.3.2. Dalma Derinliğinin Kaynak Dayanımına Etkisi.....	82
4.3.3. Karıştırma Süresinin Kaynak Dayanımına Etkisi.....	82
4.3.4. T2 İle Oluşturulan Yeni Kaynak Kesit Profili	85
4.4. T3 TAKIMINA AİT PARAMETRELERİN ÇEKME KUVVETİNE ETKİSİ	87
5. TARTIŞMA	89

5.1. TAKIM GEOMETRİSİNİN KAYNAK DAYANIMINA ETKİSİNİN TARTIŞILMASI.....	89
5.1.1. Takım Geometrisinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Literatür İncelemesi	89
5.1.2. Takım Geometrisinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Tartışılması.....	90
5.2. KAYNAK PARAMETRELERİNİN KAYNAK DAYANIMINA ETKİSİNİN TARTIŞILMASI.....	92
5.2.1. Kaynak Parametrelerinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Literatür İncelemesi	92
5.2.2. Takım Devrinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Tartışılması	93
5.2.3. Dalma Derinliğinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Tartışılması.....	94
5.2.4. Karıştırma Süresinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Tartışılması	96
6. SONUÇ	98
7. KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ	104

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Yumuşak termoplastiklerin kaynağı.....	13
Şekil 2.2. Sert termoplastiklerin kaynağı.....	13
Şekil 2.3. Ekstrüzyon kaynak makinesi ve yöntemin uygulması	15
Şekil 2.4. Sıcak eleman kaynağı	16
Şekil 2.5. Sıcak eleman kaynağının uygulanması.....	16
Şekil 2.6. Lazer kaynağı	19
Şekil 2.7. İş parçalarında ısı oluşturmak için yaygın olarak kullanılan sürtünme hareketleri.....	21
Şekil 2.8. Döndürme kaynağının uygulması	21
Şekil 2.9. Dönel sürtünme kaynağı yapılan parçaların kaynak bölgesinde meydana gelen metal fişkırması	22
Şekil 2.10. Titreşim kaynağı tertibatı	23
Şekil 2.11. Farklı şekillerde uygulanan titreşim kaynağı	24
Şekil 2.12. Ultrason kaynağı tertibatı	25
Şekil 2.13. Rezistans kaynağı	26
Şekil 2.14. İndüksiyon kaynağının uygulması	27
Şekil 2.15. Dielektrik kaynağının uygulması	28
Şekil 2.16. Mikro dalga kaynağının uygulması	29
Şekil 2.17. SKK yönteminin uygulması	32
Şekil 2.18. SKK yönteminin aşmaları	33
Şekil 2.19. SKNK yönteminin uygulması	35
Şekil 2.20. Örnek bir SKNK takımı	38
Şekil 3.1. T3 kodlu takımın V5 CAD programında tasarlanmış halinin ekran görüntüsü.....	42
Şekil 3.2. T2 kodlu takımın Catia V5 CAD programında tasarlanmış halinin ekran görüntüsü.....	43
Şekil 3.3. SKNK Bindirme Birleştirme kaynağı bağlama aparatı. (a) Aparatın boş hali, (b) Aparatın dolu hali.	44
Şekil 3.4. SKNK bağlantısı için bindirme şekli.....	45
Şekil 3.5. FİRST marka MCV300 modeli üç eksenli CNC dik işleme merkezi.	46
Şekil 3.6. Yükleme kapasitesi 5kN olan TIME GROUP INC. firmasının WDW-E 5kN serisi üniversal elektromekanik test cihazı.	49
Şekil 3.7. Pim esaslı kopma türüne ait kaynak bölgesinin üstten çekilmiş kopmuş fotoğrafı (a), kaynak kesiti (b) ve optik mikroskop fotoğrafları (c).	50
Şekil 3.8. Omuz esaslı kopma türüne ait kaynak bölgesinin üstten çekilmiş kopmuş fotoğrafı (a), kaynak kesiti (b) ve optik mikroskop fotoğrafları (c).	51
Şekil 3.9. Ara yüzey esaslı kopma türüne ait kaynak bölgesinin üstten çekilmiş kopmuş fotoğrafı (a), kaynak kesiti (b) ve optik mikroskop fotoğrafları (c).	51
Şekil 4.1. T1 takımı için kaynak takımının devir sayısının max. çekme dayanımı üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.	54

Şekil 4.2. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görünümüleri.	54
Şekil 4.3. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme-koparma testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünümüleri.	55
Şekil 4.4. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümüleri.	56
Şekil 4.5. T1 takımı ile birleştirilen en iyi dayanım değerine ait 090 numaralı numunenin omuz esaslı kopma bölgesinin üst parçasına olan optik görünümü.	56
Şekil 4.6. T1 takımı ile birleştirilen en iyi dayanım değerine ait 090 nolu numunenin omuz esaslı kopma bölgesinin alt parçasına ait olan optik görünümü.	57
Şekil 4.7. T1 takımı ile birleştirilen 07 nolu numuneye ait ara yüzey esaslı kopma bölgesinin optik görünümü.	57
Şekil 4.8. T1 takımı ile birleştirilen 37 nolu numuneye ait ara yüzey esaslı kopma bölgesinin optik görünümü.	57
Şekil 4.9. T1 takımı için dalma derinliğinin max. çekme dayanımı üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.	59
Şekil 4.10. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görünümüleri.	60
Şekil 4.11. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünümüleri.	60
Şekil 4.12. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümüleri.	61
Şekil 4.13. T1 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımı üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.	62
Şekil 4.14. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görünümüleri.	63
Şekil 4.15. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünümüleri.	64
Şekil 4.16. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümüleri.	64
Şekil 4.17. T4 takımı için kaynak takımının devir sayısının max. çekme kuvveti üzerine etkisinin grafik halinde gösterimi.	67
Şekil 4.18. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görünümüleri.	67
Şekil 4.19. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünümüleri.	68
Şekil 4.20. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin kesit görünümüleri.	69
Şekil 4.21. T4 takımı için dalma derinliğinin max. çekme kuvveti üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.	71
Şekil 4.22. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görünümüleri.	71
Şekil 4.23. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünümüleri.	72
Şekil 4.24. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümüleri.	73
Şekil 4.25. T4 takımı için karıştırma süresinin max. çekme kuvveti üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.	74
Şekil 4.26. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten	

görünümleri.	75
Şekil 4.27. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünümü.	76
Şekil 4.28. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümü.	76
Şekil 4.29. T2 takımının ekran görüntüsü.	77
Şekil 4.30. T2 takımı için kaynak takımının devir sayısının max. çekme kuvveti üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.	79
Şekil 4.31. T2 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünümü.	80
Şekil 4.32. T2 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümü.	81
Şekil 4.33. T2 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.	83
Şekil 4.34. T2 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünümü.	84
Şekil 4.35. T2 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümü.	85
Şekil 4.36. Kaynak kesiti yüzey düzeltme aparatı.	86
Şekil 4.37. Şişe Dibi Formu ile Fincan Tabağı Formunun görsel olarak karşılaştırılması (Fincan tabağı formu).	86
Şekil 4.38. T3 takımının karıştırıcı ucunda SKNK işleminden sonra biriken PP malzeme.	87
Şekil 4.39. Aynı SKNK parametrelerinde üretilmiş numunelere ait max. çekme kuvveti değerlerinin T1 ve T3 açısından kıyaslanması.	88
Şekil 5.1. SKNK takımlarında kullanılan geometriler ile elde edilen max. çekme kuvveti değerlerinin grafik olarak gösterimi.	91
Şekil 5.2. Yüksek takım devrinin max. çekme kuvvetine etkisinin grafik olarak gösterilmesi.	94
Şekil 5.3. Dalma derinliğinin kaynak dayanımına etkisinin grafik olarak gösterilmesi.	96
Şekil 5.4. Karıştırma süresinin kaynak dayanımına etkisinin grafik olarak gösterilmesi.	97

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Bölgelere göre Dünyada polipropilen üretimi (1000 ton)	8
Çizelge 2.2. Plastik malzemelerin bağlanma ve birleştirme yöntemleri	9
Çizelge 2.3. Termoplastik malzemelerin kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması	12
Çizelge 2.4. Bazı polimerler için sıcak eleman sıcaklıkları.....	17
Çizelge 3.1. Kullanılan SKNK takımlarının kodlanması.	40
Çizelge 3.2. Kullanılan takımların teknik resimleri ve fotoğrafları.....	41
Çizelge 3.3. Belirlenen parametre değerleri.	47
Çizelge 4.1. T1 takımı ile üretilen max. çekme kuvveti açısından en iyi değerlere sahip olan ilk 10 adet numuneye ait parametre ve max. çekme kuvveti değerleri.	52
Çizelge 4.2. T1 takımı için devir sayısının kaynak dayanımı üzerindeki etkisi.	53
Çizelge 4.3. T1 takımı için dalma derinliğinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.....	58
Çizelge 4.4. T1 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.....	62
Çizelge 4.5. T4 takımı için devir sayısının max. çekme kuvveti üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.....	66
Çizelge 4.6. T4 takımı için dalma derinliğinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin çizelge halinde gösterilmesi.	70
Çizelge 4.7. T4 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.....	74
Çizelge 4.8. T2 takımı ile elde edilen en iyi altı numuneye ait parametre ve max. çekme kuvveti değerleri.	78
Çizelge 4.9. T2 takımı için devir sayısının max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.....	79
Çizelge 4.10. T2 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.....	82
Çizelge 4.11. T1 ile üretilen numuneler ile T3 ile üretilen numunelerin karşılaştırılması.	88
Çizelge 5.1. SKNK işlemi ile üretilen numunelerin üretiminde kullanılan farklı geometrilere sahip takımlar ile elde edilen max. çekme kuvveti değerleri....	90
Çizelge 5.2. Yüksek takım devrinin max. çekme kuvvetine etkisi.....	93
Çizelge 5.3. Dalma derinliğinin kaynak dayanımına etkisi	95
Çizelge 5.4. Karıştırma süresinin kaynak dayanımına etkisi.....	96

KISALTMALAR

AHSS	Advanced High Strength Steels (İleri Yüksek Dayanımlı Çelikler)
°C	Santigrat Derece
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
DD	Dalma Derinliği
dev	Devir
DH	Dalma Hızı
dk	Dakika
DNK	Direnç Nokta Kaynağı
EDK	Elektrik Direnç Kaynağı
EN	European Norm (Avrupa Normu)
FSSW	Friction Stir Spot Welding (Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı)
FSW	Friction Stir Welding (Sürtünme Karıştırma Kaynağı)
HB	Brinell Hardness (Brinell Sertlik)
HRC	Rockwell Hardness (Rockwell Sertlik C Yöntemi)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standart Organizasyonu)
KHI	Kawasaki Heavy Industries (Kawasaki Ağır Endüstrisi)
kPa	Kilo Paskal
KS	Karıştırma Süresi
KW	Kilovat
M9	Metrik 9
MÇK	Maksimum Çekme Kuvveti
MHz	Megahertz
mm	Milimetre
MYO	Meslek Yüksekoklu
N	Newton
NK	Numune Kodu
nm	Nanometre
PA	Poliamid
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PS	Polistiren

PTFE	Politetrafloretillen
PVC	Polivinilklorür
RSW	Resistance Spot Welding (Direnç Nokta Kaynağı)
SBR	Stiren-Bütadiyen
SKK	Sürtünme Karıştırma Kaynağı
SKNK	Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı
sn	Saniye
T1	Takım 1
T2	Takım 2
T3	Takım 3
T4	Takım 4
TD	Takım Devri
TS	Türk Standardı
TWI	The Welding Institute (Kaynak Enstitüsü)



SİMGELER

Al	Alüminyum
C	Karbon
Cl	Clor
Cr	Krom
F	Flor
H	Hidrojen
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
NH ₂	Amin
Ni	Nikel
O	Oksijen
OH	Hidroksit
P	Fosfor
S	Kükürt
Si	Silisyum
Tc	Camsı Geçiş Sıcaklığı
Tg	Camsı Sıcaklık
Tm	Ergime Sıcaklığı

ÖZET

POLİPROPİLEN LEVHALARIN CNC TEZGAHINDA SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Gültekin ÇAKIR

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şenol MERT

Mayıs 2018, 103 sayfa

Bir katı hal kaynak yöntemi olan Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (SKNK), Direnç Nokta Kaynağına (DNK) alternatif olarak geliştirilmiştir. İlk defa 2001 yılında alüminyum sac malzemelere uygulanmıştır. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda SKNK yöntemi, metallere ve termoplastik polimer malzemelere uygulanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, kaynak dayanımını etkileyen birçok parametrenin olduğu saptanmıştır. Kaynak takımı geometrisi, takım devri, dalma derinliği ve karıştırma süresi, kaynak dayanımına en fazla etki eden parametrelerdir. Bu çalışmada, kaynak parametrelerinin kaynak dayanımına etkisini belirlemek ve optimum kaynak parametrelerini elde etmek amacı ile iyi kaynak edilebilirliğe sahip polipropilen (PP) numuneler, SKNK yöntemi ile birleştirilmiştir. Farklı omuz ve karıştırıcı uçlu, 4 faklı takım imal edilerek takım geometrisinin kaynak dayanımına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda yeni bir kaynak kesiti elde edilmiş ve bu kaynak kesitine yeni bir isim verilmiştir. Bindirme kaynağı için özel olarak tasarlanan bir bağlama aparatı yardımı ile bağlanan parçalar Computer Numerical Control (CNC) Dik İşleme Tezgahında ISO G M kod sistemi kullanılarak hazırlanmış bir programla kaynaklanmıştır. Kaynak dayanımına etki eden parametreler farklı değerler için denenmiş ve çok sayıda kaynaklı numune elde edilmiştir. Kaynaklanan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Sonuç olarak en uygun kaynak parametreleri tespit edilmiş ve bu parametrelerin kaynak dayanımına etkileri ortaya konulmuştur.

Anahtar Sözcükler: CNC dik işleme, Çekme testi, Kaynak takımı geometrisi, Polipropilen, Sürtünme karıştırma nokta kaynağı.

ABSTRACT

JOINING OF POLYPROPYLENE SHEETS WITH FRICTION STIR SPOT WELDING AT CNC MACHINE

Gültekin ÇAKIR

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Manufacturing Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Şenol MERT

May 2018, 103 pages

Friction Stir Spot Welding (FSSW) that is method solid state welding is developed as alternative to Resistance Spot Welding (RSW). The first time was applied at aluminium sheet materials in 2001. FSSW method in the studies carried out to date has been applied to metals and thermoplastic polymeric materials and positive results were obtained. As a result of studies was found to be several parameters that effecting the welding strength. Welding tool geometry, tool spindle speed, plunge depth and stir time are the most effecting parameters to welding strength. In the study, Polypropylene (PP) samples that having good weldability were joined by FSSW method in order to obtain the optimum welding parameters and to determine effect of welding parameters to the welding strength. Four different tool which were manufactured with the different shoulder and stirring pin shape were investigated to effect welding strength of tool geometry. In result of the studies, a new welding section has been obtained and this welding section has been given a new name. The parts binding to an apparatus of designed specifically for lap-welding have been welded in CNC machine with using a program prepared in ISO G M code system. The effecting parameters to the welding strength were tested for different values and a large number of the welded samples were obtained. The tensile test was applied to the welded samples. As a result, the optimal welding parameters were obtained and the effecting parameters to the welding strength were presented.

Keywords: CNC vertical machining center, Friction stir spot welding, Polypropylene, Tensile test, Welding tool geometry.

1. GİRİŞ

Günümüzde polimer malzemelerin kullanım alanları hızla artarken polimerlerden elde edilmiş olan parçaların kullanıldığı yere göre yeterli dayanımı sağlayacak şekilde birleştirilmesi, birleştirme yönteminin güvenilirliği ve maliyeti açısından büyük önem arz etmektedir. Polimer malzemeden imal edilen parçaların birleştirilmesinde birçok birleştirme yöntemi uygulanmaktadır. Bu birleştirme yöntemleri, bağlantıdan beklenen dayanım, yöntemin uygulamasındaki kolaylık, kullanılan birleştirme elemanı veya yardımcı ekipmanın teminindeki kolaylık ve birleştirme işlemi uygulanırken kullanılacak enerjinin ucuzluğu gibi parametrelere bağlı olarak seçilmektedir.

Polimer malzemelerden imal edilen ürünler tek bir parça olabildiği gibi birden fazla bileşen içeren ürünlerde çok sayıda mevcuttur. Polimerden imal edilen bileşenleri bir araya getirmek ve yeterli bağlantı mukavemetini oluşturabilmek için geliştirilmiş birçok birleştirme yöntemi vardır. Bu yöntemlerin başında sıcak eleman kaynağı, sıcak gaz ile kaynak, ekstrüzyon kaynağı, lazer kaynağı, ultrasonik kaynak, sürtünme kaynağı, elektromanyetik kaynak yöntemi, dielektrik kaynağı, mikrodalga kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağı ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı gibi yöntemler gelmektedir [1]-[4].

Yukarıda bahsettiğimiz yöntemler içerisinde ısı enerjisi kullanılan yöntemler ısının oluşması için elektrik enerjisinden yararlanırlar. Bu yöntemlerin bazılarında elektrik enerjisinin kullanılması büyük maliyetler doğurmakta ve firmaların rekabet gücünü önemli ölçüde zayıflatmaktadır. Öyle ki maliyetleri düşürmek için çeşitli yöntem ve daha az elektrik tüketimi olan makine ve teçhizat kullanımı gündeme gelmektedir. Rekabet yeteneğinin geliştirilmesinin hayatta kalmak olduğunun farkında olan özellikle dünya çapında üretim yapan ve ürünlerini dünyanın her bölgesine ulaştırmayı hedef edinen firmalar üretimlerinde enerji tasarrufu sağlayan yeni yöntemleri uygulayabilmeye başlamıştır.

Bu doğrultuda bir sökülemez kaynak yöntemi Elektrik Direnç Kaynağının (EDK) yerine plastıklere uygulanan kaynak yöntemlerinden olan Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK), ilk olarak 1970'li yıllarda denenmeye başlanıp 1991 yılında İngiltere, Cambridge'de, The Welding Institute (TWI) tarafından, W. Thomas'ın çalışmalarıyla patenti alınan ve

geliştirilmeye devam edilen klasik sürtünme kaynağının bir türevidir [1], [2], [5]. Günümüzde ise birçok firma EDK yerine SKK yöntemini kullanarak üretimlerini gerçekleştirmektedir. Daha sonra 1993 yılında ise, ilk defa Mazda Otomotiv Endüstrisi tarafından, DNK yönteminin yerine, SKK yönteminin bir türevi olan SKNK yöntemi, yeni bir nokta kaynağı birleştirme yöntemi olarak ortaya çıkarılmıştır [1], [3], [6].

SKNK yöntemi ilk başlarda Alüminyum gibi düşük ergime sıcaklığına sahip metallere uygulansa da günümüzde geliştirilen yeni takım malzemelerinin daha yüksek sıcaklıklara dayanabilmeleri ve yüksek aşınma direncine sahip olmaları nedeni ile sert metallere de rahatlıkla uygulanabilmektedir. Ayrıca bu yöntem sadece metallere uygulanmakla kalmamış, günümüzde termoplastiklere uygulanan bir birleştirme yöntemi olmuştur [1], [5], [6]. Bu yöntemin kullanılmasının en önemli nedeni, diğer klasik birleştirme yöntemlerine göre çok daha az elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmasıdır.

SKNK yöntemi uygulanırken sonuca etki eden birçok parametre vardır. Kaynak takımının profili, kaynak takımının devir sayısı, karıştırma süresi ve takımın malzemeye dalma derinliği, bunların en önemlileridir [1]-[4], [7]. Bu çalışmada yukarıda sayılan parametreler, farklı değerler için denenerek kaynaklı bağlantılar oluşturulmuştur. Her kaynak bağlantısı için iki adet 4 mm kalınlığındaki polipropilen levhanın SKNK yöntemi ile bindirme kaynak bağlantısı yapılmış ve kaynaklanan numuneler testlere tabi tutulmuştur. Oluşturulan kaynak bölgesinin dayanımını ölçmek için, numunelere çekme testi uygulanmıştır. Ulusal ve uluslararası bilim dünyasının hizmetine sunulmak üzere, sonuçlar yorumlanarak en uygun parametreler belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada, farklı plastik malzemelere de SKNK yöntemi denenmiş, fakat en iyi sonuçların polipropilen (PP) malzeme için elde edildiği görülmüştür. PP malzemenin kaynak edilebilirliğinin iyi olması ve kullanım alanının yaygınlığı, yapılan çalışmada PP malzemeye yönelmemizin temel amacıdır.

Bu çalışmada kullanılan ekipman, sonuçların doğruluğunu garanti etmek amacı ile gerekli teknolojik yeterliliğe sahiptir. Kaynak takımlarının imalatında Computer Numerical Control (CNC) dik işleme tezgahından faydalanılmıştır. Kaynak işlemi, CNC tezgahında ve CNC program hazırlanarak yapılmıştır. Yazılan program, dalma derinliği ve karıştırma süresi gibi parametreleri, operatör hatalarını minimize ederek, daha dar toleranslarda çalışabilme imkanını vermiştir.

Yapılan çalışmada kullanılmak üzere, farklı omuz ve uç geometrisine sahip 4 adet kaynak

takımı üretilmiştir. Tasarlanan takımlardan bir tanesinde, merkezden farklı uzaklıklarda 3 adet pim kullanılmıştır. Pimlerin bu şekilde yerleştirilmesinde, daha fazla malzemenin kaynak havuzuna dahil edilip kaynak havuzu hacminin artırılması amaçlanmıştır. Kaynak havuzu hacminin artması ile kaynak kesit alanında artma meydana geleceğinden, kaynak dayanımının kaynak kesit alanına bağlı olarak artacağı düşünülmüştür. İncelemeler sonucunda, bu kaynak takımı ile yapılan bağlantılarda, daha önce literatürde rastlanmamış yeni bir kaynak bölgesi kesit formu ile karşılaşılmıştır. Özellikle bu takım ile üretilen numunelerin kaynak bölgelerinin enine kesitleri incelendiğinde, kesitin “Fincan Tabakı Formu” şeklinde değil de şişe dibine benzemesi nedeniyle “Şişe Dibi Formu” olarak adlandırma yapılmıştır. Ayrıca elde edilen bu farklı kaynak kesiti formunun, yapılan testler sonucunda dayanıma beklenen kazanımı sağladığı görülmüştür.



2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1. PLASTİKLER

2.1.1. Tarihsel Gelişim

Çok eski tarihlerde kullanılan polimerik malzemelerin başında selüloz, nişasta, doğal kauçuk vb. gibi doğal polimerler gelir. Doğal polimerler, işlenme zorluğu ve bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerin yetersizliğinden dolayı, yerlerini yarı sentetik ve daha sonra sentetik polimerlere terk etmişlerdir. İlk polimer malzemesi 1868'de J. Hyatt tarafından keşfedilen selüloittir. Yarı sentetik bir polimer olan selüloit pamuk selülozundan elde edilmiştir. Ancak modern plastik endüstrisi, L. Baekeland tarafından bakalitin sanayi çapında üretilmesiyle 1909'da başlar. Fenol-formaldehit reçinesi olan bakalit telefon ahizeleri gibi plastik ürünlerin yapımında kullanılmıştır. Bunu 1917'de I. Dünya Savaşı esnasında Alman kimyacıları tarafından dimetil butadienden suni kauçuğun keşfi takip eder. Bütün bu buluşlar polimerlerin yapıları hakkında kesin bilgiler olmadan yapılmıştır. 1924'e kadar, polimer yapılarının "koloit agrega" halinde bulunan küçük moleküllerin oluştuğu sanılırdı. H. Staudinger yaptığı büyük çapta incelemelerin sonucu olarak, plastiklerin zincir şeklinde makro moleküllerden oluştuğunu ve bu moleküllerin birbiriyle kovalent bağlanan küçük ünitelerden meydana geldiğini göstermiştir. Polimer sanayisi hızla gelişmiş ve 1927'de selüloz asetat ve polivinilklorür, 1928'de polimetilmetakrilat 1929'da üre-formaldehit reçineleri elde edilmiştir. Bunları daha sonra 1932'de polietilen (R.O. Gibson ve J. Swallow), 1934'te naylon (W. Carothers), poliakrilonitril, stiren- akrilonitril ve polivinilasetat, 1937'de poliüretan (R.J. Plumkett), 1938'de Teflon ticari adıyla tanınan politetrafloretilen, 1941'de polietilentereftalat (Y.R. VVhinfield ve J.T. Dickinson), 1942'de polyester ve Orlon ticari adıyla tanınan poliakrilonitril fiber takip etmiştir [8].

İkinci dünya savaşına kadar düzensiz ve aralıklı olarak gelişen polimer malzemeleri ve bilimi, bu tarihten, bilhassa 1950'den sonra gerek çeşit gerekse bilim bakımından düzenli ve daha sonra üstel bir gelişme göstermiştir. Şöyle ki, günümüzde kimyasal bakımından birbirinden tamamen farklı olan 40 polimer ailesi, yüzlerce bileşik ve binlerce ürün bulunmaktadır. II. Dünya savaşından sonraki polimer elde edilmesine örnek olarak 1947'de

epoksi reçineleri, 1948'de akrilonitril butadien-stiren terpolimeri (ABS), 1954'te polikarbonat ve 1958'de poliasetal verilebilir. Son yıllarda poliamid, poliarilsülfon, poliarilamid, polifenilsülfid, polietereterketon, polifenil vb. gibi yüksek mekanik ve teknik özelliklere sahip plastikler sentez edilmiştir [8].

Plastiklerin gelişiminde önemli bir aşama, bu malzemelerin cam, grafit ve karbon elyafları ile karıştırılarak kuvvetlendirilmiş plastiklerin elde edilmesidir. Bu malzemelerin mekanik özellikleri, metallerin seviyesine ulaşmakta ve birçok uygulama alanında plastikler metallere rakip olmaktadır [8].

2.1.2. Temel Bilgiler

Malzemeler genel olarak dört ana grupta toplanabilir.

- Metalik malzemeler
- Organik malzemeler
- Seramik malzemeler
- Kompozit malzemeler

Organik ve seramik malzemeler metal dışı mühendislik malzemeleridirler. Kompozit malzemeler ise metalik veya metal dışı malzeme olabilmektedirler. Organik malzemeler, polimer olarak bilinen plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Bunlar karbonun (C) metal olmayan elementlerle (H, O, Cl, N) meydana getirdiği büyük moleküllu organik bileşiklerdir. Kompozit malzemeler en az iki malzemenin bileşiminden oluşan malzemelerdir ve metal-metal, metal-seramik, metal-organik esaslı olabilmektedir [8].

Polimerlerin tanımı birçok kaynakta benzer ifade edilmektedir. Buna göre; çok sayıda küçük molekülün yan yana gelerek büyük moleküller oluşturmaya polimerizasyon denir. Polimerizasyon sonucu oluşan büyük moleküllere polimer, polimer moleküllerini oluşturmak üzere birbirleri ile kimyasal bağlarla bağlanan küçük moleküllere monomer denir [1], [9]. Polimerler büyük moleküllerden oluşan maddelerdir. Monomer birimlerinden başlayarak polimer moleküllerinin elde edilmesine yol açan reaksiyonlara ise polimerizasyon reaksiyonları denir [1], [9]. Polimerler, monomer olarak bilinen küçük moleküllu bileşiklerden elde edilirler. Diğer faktörlerle birlikte polimer molekülünün oluşması için temel koşul, monomer molekülünün gereken fonksiyonelliğe sahip olmasıdır. Fonksiyonellik bir maddenin molekülünde -OH, -OOH, -NH₂ vb. aktif

fonksiyonel gurupların, doymamış bağların ve de açılabilir halkaların olması ile ilgili bir kavramdır. Bir başka deyişle fonksiyonellik, molekülde tepkime başlatma merkezlerinin sayısını karakterize eder [9]. Polimerler, molekül ağırlığı yüksek olan kompleks organik molekül zincirleridir. Polimerler doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılabilir. Yapay polimerler genellikle, çok sayıda tekrarlanan "monomer" veya kısaca "mer" denilen basit ünitelerden oluşur. Bunların adlandırılmasında çok sayıda anlamına gelen "poli" sözcüğü ile "mer" sözcüğü birleştirilir [1], [8], [9]. Örneğin polipropilen (PP) bir polimerdir. Bir PP zincir molekülü içinde, birbirine kuvvetli kovalent bağlarla bağlı binlerce küçük molekül bireyleri bulunur. Birbirine kuvvetle bağlı bu küçük molekül zincirinde binlerce kez tekrarlanan mer birimleri PP polimerini oluşturur. Mer sayısı arttıkça, polimerin öncelikle fiziksel özellikleri değişir. Örneğin mer sayısı düşük iken sıvı halinde bulunabilen polimer, bu sayı arttıkça giderek yoğunluk ve viskozitesi iyice artacak, belki bal kıvamında bir sıvı ve çok yüksek mer sayıları için ise bir katı polimer oluşturabilecektir [1].

Kimyasal bakımdan plastikler, karbon atomlarının hidrojen (H), azot (N), oksijen (O), flor (F), silisyum (Si), kükürt (S), klor (Cl) vb. atomlarla kovalent bağlarla bağlandığı uzun zincirlerdir. Zinciri oluşturan kovalent bağlara birincil bağlar da denmektedir. Zincirleri oluşturan kovalent bağlarla birlikte, bu zincirleri kendi aralarında bir arada tutan diğer bir bağ daha bulunmaktadır. İkincil bağlar (Van der Waals bağları) olarak isimlendirilen bu bağlar, kimyasal olarak reaksiyona girmeyen polimer molekülleri arasında veya bir molekülün çeşitli bölümleri arasında oluşan bağlardır. Polimer zincirleri belirli bir hareketliliğe sahiptir ve aralarında nispeten zayıf olan kütle-kütle etkileşmesi (Van der Waals bağları) yanında, eğer zincirde bir polar grup (Polivinilklorür (PVC)'deki klor gibi) varsa daha kuvvetli etkileşmeler (dipol, hidrojen bağı ve iyonik etkileşmeler gibi) mevcuttur ve birbirlerinden bağımsız olarak hareket edemezler. Özellikle çok uzun ve bükümlü olduklarında, polimer zincirlerinin birbirlerine dolaşmış konumda oldukları saptanmıştır ve polimer zincir molekülleri, adeta iplikleri birbirine dolanmış bir yün yumağı görünümündedir [1], [3], [10].

2.1.3. Termal Özelliklerine Göre Plastikler

Plastikler termal özelliklerine göre Termosetler ve Termoplastikler olarak iki grupta incelenirler [3], [8].

2.1.3.1. *Termosetler*

Termoset plastikler büyük çapraz bağı üç boyutlu moleküllerden meydana gelmişlerdir. Termoplastiklerde merler iki bağı olmalarına karşılık, termosetlerde üç veya dört bağıdır. Makro moleküller arasında kuvvetli bağlar oluşturarak 3 boyutlu ağ yapısına sahip olan bu plastikler çoğunlukla polikondenzasyon ürünleridir. Polikondansasyon; moleküllerin su, amonyak gibi basit yan ürünler vererek birbirleriyle bağlanmasıdır [1], [3], [8]. Isıl işlemlerle sadece bir defa istenilen şekli alabilen ve kimyasal bozunmaya uğramaları sebebiyle tekrar şekillendirilemeyen plastik malzemelerdir. Çözünme özellikleri yoktur. Termoset plastik malzemeler termoplastik malzemelere göre daha sert ve ısıl dayanımları daha yüksektir. Kimyasal etkilere karşı daha az duyarlıdır [11].

Termoset plastik malzemelerin polimerizasyonu iki kademede meydana gelmektedir. İlk kademede, lineer makro moleküler zincirlerin çoğunluğu oluşturulduktan sonra polimerizasyon reaksiyonu durdurulur. Bu durumda lineer zincirlerde reaksiyona girmeyen kısımlar mevcuttur. Özellikle kalıpta meydana getirilen polimerizasyonun ikinci kademesinde, sıcaklığın ve basıncın etkisi altında reaksiyona girmeyen kısımlar sıvı hale getirilerek molekül zincirleri arasında çapraz bağların oluşumunu sağlayan reaksiyonlar meydana getirilir. Bu şekilde, termoplastik malzemelerin aksine, molekül zincirleri arasında kuvvetli ve ısıya karşı tersinir olmayan kovalent bağlar oluşturulur. Molekül zincirleri arasında oluşturulan çapraz bağlar ancak çok yüksek sıcaklıklarda kopabilirler ve bu malzemenin yıpranmasına sebep olan zincirlerin kopması (malzemenin giderek kömürleşmesi) anlamına gelmektedir [1], [3], [11].

2.1.3.2. *Termoplastikler*

Termoplastik malzemeler, 100 yıldan fazla bir zaman öncesinden itibaren geliştirilmektedir. Ancak ciddi çalışmalar, 1930'lu yılların başlangıcında Almanya'da diğer malzemelerin yerini alabilecek malzemelerin araştırılmasından sonra başlamıştır [1].

Termoplastikler, ısı etkisiyle yumuşayan ve kalıcı şekil değişimine girmeyen plastiklerdir. Bu plastikler ısıtıldıklarında akarlar, soğutulduklarında ise içinde buldukları kabın şeklini alırlar. Molekülleri doğrusaldır, çapraz bağlanamazlar. Yani, termoplastik malzemeyi meydana getiren merlerin birbirleriyle birleşmesi sonunda oluşan zincirler arasında herhangi bir bağlantı yoktur. Doğrusal (çizgisel) makro moleküller arasında kuvvetli bağlar yoktur. Çoğunlukla polimerizasyon ürünleridirler [1]-[3], [11].

2.2. POLİPROPİLEN (PP)

Polipropilen, yüksek saflıktaki propilen gazının basınç altında katalizörler yardımıyla polimerleşmesi sonucu elde edilir. Polipropilen polar olması nedeniyle yüksek dielektrik katsayısına ve ısı özelliğe sahiptir. Polipropilen, derişik sülfürik asit, nitrik asit, potasyum bikromat, kroşen ve karbon tetra klorür hariç tüm kimyasallara karşı dayanıklıdır. Organik bileşiklerin polipropileni etkileme oranları oldukça düşüktür. Absorbe olayı sıcaklıkla doğru orantılı ve çözücünün polaritesi ile ters orantılı olarak değişir. Çizelge 2.1’de bölgelere göre Dünya polipropilen üretimi verilmiştir [12], [13].

Çizelge 2.1. Bölgelere göre Dünyada polipropilen üretimi (1000 ton) [10].

Bölgeler	1994	2000	Yıllık ort. değişme
Kuzey Amerika	4765	6700	5.8
Güney Amerika	670	1050	7.8
Batı Avrupa	4500	5650	3.9
Doğu Avrupa	575	720	3.8
Afrika/Ortadoğu	200	330	8.7
Asya/Okyanusya	4650	6700	6.3
Dünya toplam	12650	21150	5.5

PP’nin özelliklerini şöyle sıralayabiliriz: Yarı şeffaf beyaz katı bir maddedir. 121 °C’ye kadar kullanılabilir. Soğuk organik çözücülerde çözünmez ve sıcak çözücülerde yumuşar. Birçok bükülmeden sonra bile sertliğini korur. Antioksidan katılmadığı zaman ısı ve ışığın etkisi ile bozulur. Kolay bir şekilde renklendirilemez. İyi bir elektriksel dirence sahiptir. Düşük su absorpsiyonu ve geçirgenliği vardır. -8,4 °C’nin altında kırılmandır. Mantarlara ve bakterilere karşı dayanıklıdır. 60 °C’ye kadar kuvvetli asitlere ve bazlara dayanıklıdır. Klor, nitrik asit ve diğer kuvvetli oksitleyiciler tarafından etkilenmektedir. Yakılabilir fakat yavaş yanar. Zehirsizdir. Uygun şekilde modifiye edildiğinde iyi bir ısı dayanımına sahiptir. Paketleme filmi, otomobil parçası, çeşitli el aletleri, ev eşyası, tel ve kablo kaplamasında, gıda maddesi ambalajlarında, kaplama ve laminasyon malzemesi olarak, baskı plakalarında, halı ve yer döşemesi yapımında, fiber olarak, halat ve çuval lifi üretiminde, akü kılıfı imalatında, meşrubat şişesi kasalarında, laboratuvar donanımı yapımında, oyuncak yapımında, radyatör ızgaralarında, hassas cihaz kutularında, sentetik çim yapımında, plastik boru üretiminde, özel giysi üretiminde, balık ağlarında, sentetik

kağıt üretiminde, mühendislik plastiği uygulamalarında ve atılabilir filtre imalatında kullanılmaktadır [12], [13].

Polipropilen, termoplastiklere uygulanan bütün metotlarla işlenebilir. Enjeksiyonla kalıplama tekniğinde, çok küçük ayrıntıları olan küçük kalıplar kullanılarak yüzeyi oldukça düzgün, boyut kararlılığı iyi olan parçalar imal edilebilir. Polipropilenden üretilen menteşeler milyon kez bükülebilir. Bunlar kalıplama, soğuk çalışma veya ekstrüzyon yöntemi ile üretilebilir. Polipropilen ısı ile şekillendirilebilir, enjeksiyon veya ekstrüzyon kalıplama teknikleri ile köpürtülebilir [12], [13].

2.3. PLASTİKLERİN BİRLEŞTİRİLMESİ

Fabrikasyon üretim veya tamir işlemleri gibi birçok uygulamalarda polimerik malzemelerin kendi aralarında veya diğer malzemelerle birleştirilmesi gereklilik göstermektedir. Bu malzemelerin birleştirilmesi için uygulama şartlarına bağlı olarak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Genel olarak plastik malzemelerin birleştirilme yöntemleri, mekanik bağlantı yöntemleri, yapıştırma yöntemleri ve kaynak yöntemleri olmak üzere Çizelge 2.2’de görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır [14]-[16]. Yapıştırıcılar ve mekanik birleştirmeler oldukça yararlı birleştirme teknikleridir, ama kaynaştırma (fusion) birleştirmesi veya kaynak, birleştirme sürelerinin genelde kısa olması, yüksek hacimli üretim kapasiteleri nedeniyle özellikle uygundur. Ayrıca kaynaklı parçalar, kolayca geri dönüşür veya yakılır ve atık problemlerini hafifletir. Bu durum, özellikle karmaşık yüzey aktivasyon teknikleri gerektiren polietilen ve polipropilen gibi, düşük yüzey enerjili polimerlerin birleştirilmesinde önemli bir faktördür [15], [17]. Plastiklerin çentiğe karşı hassasiyetleri, perçin veya cıvata ile birleştirilmelerini zorlaştırır. Bu nedenle birleştirme yöntemi olarak yapıştırma ve kaynak ön plana çıkmıştır [1], [18].

Çizelge 2.2. Plastik malzemelerin bağlanma ve birleştirme yöntemleri [14]-[16].

Mekanik Bağlantılar		Yapıştırma	Kaynak
Sökülebilir	Sökülemez		
<ul style="list-style-type: none">• Cıvatalar• Somunlar• Klipsler• Yaylı Kelepçeler	<ul style="list-style-type: none">• Perçinler• Metalik ve Sıcak Saplamalar• Geçmeler• Dikiş	<ul style="list-style-type: none">• Tek Bileşenli• Çift Bileşenli	<ul style="list-style-type: none">• Isıl Yöntemler• Mekanik Yöntemler• Elektromanyetik Yöntemler

2.3.1. Kaynak Bağlantıları

Kaynak, ana malzemedan ayırt edilemeyen bir bağlantı sağlamak amacıyla, benzer yapı (yapı bileşenleri benzerlik gösteren) termoplastik iki parçanın ısı ve basınç etkisiyle gerçekleştirilen sökülemez bir şekilde birleştirilme işlemidir. Kaynak işlemlerinde birleştirilecek malzemelerin birleşim bölgelerinde oluşturulan sıcaklık sebebiyle tekrarlı bir yumuşamanın gerekliliği ve yumuşama sıcaklıklarının üzerinde (camsı geçiş sıcaklığı: T_c) bozulmadıkları, yanmadıkları ve özelliklerini kaybetmedikleri için uygulanabilirliği yalnızca termoplastik malzemelerde söz konusu olup, birleştirilecek malzeme veya parçaların yüzeyleri erime sıcaklığı altında ısıtılarak cisimlerin yüzeylerinin yumuşaması sağlanır. Bu yüzeylerin birbirlerine bastırılması ve son olarak da soğutulması ile kaynak işlemi gerçekleştirilir. Termoplastiklerin birleştirilmesinde en güçlü ve en temiz yöntem kaynak edilerek birleştirilme yöntemidir. Bazı durumlarda kaynak sağlamlığı ana malzemenin sağlamlığına oldukça yakın değerlere ulaşabilmektedir. İyi bir kaynak elde edebilmek için sıcaklık, basınç ve zaman gibi kaynak üzerinde etkili olan parametrelerin iyi bir optimizasyonu sağlanmalıdır [1], [3].

Termoplastik malzemelerin kaynak ile birleştirilme işlemlerinin esasları genel olarak şu şekilde açıklanabilir. Birleştirilecek yüzeyler herhangi bir yöntemle (ısı yöntemleri, mekanik ve elektromanyetik yöntemler) ısıtılıp camsı geçiş sıcaklık derecesinin üzerine çıkılıp yumuşamaları sağlanır. Bu yumuşamış bölgelerde bulunan makro moleküler zincirlerin ısı tesiri ile hareketlilik (Mikro-Brown) kazanmaları sonucu zincirlerin arasındaki ikincil bağlarda (Van der Waals) zayıflama görülür. Özellikle amorf yapıya sahip olan sınır yüzeylerdeki serbest ısı hareketliliğine sahip makro moleküler zincirler, birleştirilecek yüzeylerin temas ettirilmesi ile karşılıklı olarak birbirleri içerisinde akarlar ve dolaşarak yumak haline gelirler. Kaynak bölgesinde sıcaklığın biraz daha yükseltilmesi, basıncın artırılması, karıştırma süresinin uzatılması ve titreşim hareketlerinin uygulanması ile makro moleküler zincirlerin birbirleri içerisindeki akış hızları artırılır. Bu şekilde birleşim ara yüzeyindeki makro moleküler zincirlerin daha fazla karışmaları sağlanabilmektedir. Dış görünüm itibarıyla istenilen biçimdeki birleştirmenin tasarıma uygun olarak sağlanmasının ardından kaynak bölgesi basınç altında ve hareketsiz bir şekilde soğutulur. Birleşim ara yüzeyinde yumak haline gelmiş makro moleküler zincirler, sıcaklığın azalması ile ısı hareketliliklerini kaybetmeye başlarlar. Aralarındaki mesafenin azalması ile iyice düğümlenirler. Zincirlerin birbirlerine yakınlaşmalarına bağlı olarak, sıcaklığın camsı geçiş sıcaklık derecesinin

altına düşmesi ile makro moleküler zincirlerin arasında tekrar kurulan ikincil bağlar (Van der Waals), kaynak bölgesini katı hale getirir. Bu şekilde termoplastik malzemenin kaynak ile birleştirilme işlemi istenilen sağlamlıkta tamamlanmış olur [1], [3].

Kaynak işlemlerine genel olarak etki eden faktörler, kaynak bölgesinin sıcaklığı, tatbik edilen ısı miktarı, ısıtma süresi ve uygulanan basınç olarak sıralanabilir. Bu faktörler malzeme cinsine ve kaynak işleminden istenen dayanım özelliklerine göre farklı değerler alırlar. Kaynak işlemi için gerekli ısı miktarı, plastik malzemenin bileşimi, kalınlığı, ısıtılan alan, ısıtma süresi ve uygulanan basınç gibi bazı faktörlere bağlıdır. Herhangi bir termoplastik malzemenin kaynaklı birleştirme işleminde etkili olan faktörlerin (sıcaklık, zaman, basınç vb.) belirlenen sayısal değerlerinin altında çalışıldığı zaman kaynak bölgesinde süreksizlikler, üstünde çalışıldığı zaman ise polimerik zincirlerin parçalanması sonucu malzemenin bozulması ya da kaynak bölgesinde aşırı taşkınlıklar görülebilir. Bu tür kaynak hataları ile karşılaşmamak için mümkün olan optimum değerlerde çalışılması gerekir. Malzemenin yapısında bulunabilecek artık monomerler ile bazı plastikleştiriciler, kaynak işlemi sırasında sıcaklık etkisiyle buharlaşabilmektedir. Bunun önlenmesi zor olup, kaynak bölgesinde gaz kabarcıkları meydana getirerek birleşimin görünümünü bozmakla birlikte sağlamlığını azaltmaktadır. Ayrıca plastik malzemelerin kaynak uygulamaları sırasında termal bozulmalara (renk değişimleri, polimerik zincirlerin parçalanması, çözünmeler ve özellikle yanıcılığa) dikkat edilmelidir [1], [3].

Termoplastik malzemelerin özellikleri gereği ısıyı iyi iletmezler ancak ısıdan kolay etkilenirler. Isıyı iyi iletmemeleri sebebiyle geniş bölgelerde ısıl deformasyonlara uğramazlar. Ancak, özellikle kalın malzemelerin kaynak işlemlerinde derin bir nüfuziyetin elde edilmesi oldukça zordur. Bu durumda kaynak ısısının, kaynağı yapılacak termoplastik malzemenin dışında değil, doğrudan doğruya malzemenin içinde oluşturulması yoluna gidilir. Metallerde olduğu gibi plastiklerde, yeterli bölgesel ısıtmalar uygulanarak birleşim bölgesinin yumuşatılmasıyla kaynak edilir. Termoplastik malzemelerin kaynağı için birçok farklı kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Bu çeşitli kaynak yöntemleri arasındaki en büyük fark, ısının uygulanış şeklidir. Bu düşünceyle, termoplastik malzemelerin kaynak yöntemleri, ısı transfer yöntemleri (ısıl yöntemler) ve ısının direkt malzemede oluşturulduğu yöntemler (mekanik yöntemler ve elektromanyetik yöntemler) olmak üzere iki sınıfta toplanabilir. Çizelge 2.3'te termoplastik malzemelerin kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması görülmektedir [1], [3].

Çizelge 2.3. Termoplastik malzemelerin kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması [1], [3].

Isı Transfer Yöntemleri	Isının Direkt Malzemedede Oluşturulduğu Yöntemler	
Isıl Yöntemler	Mekanik Yöntemler (Sürtünme Esaslı)	Elektromanyetik Yöntemler
<ul style="list-style-type: none"> • Sıcak Gaz (Hava) Kaynağı • Ekstrüzyon Kaynağı • Sıcak Eleman Kaynağı • Kızılötesi Isıtma Kaynağı • Lazer Kaynağı 	<ul style="list-style-type: none"> • Sürtünme Kaynağı • Titreşim Kaynağı • Ultrasonik Kaynak • SKK • SKNK 	<ul style="list-style-type: none"> • Rezistans Kaynağı • İndüksiyon Kaynağı • Dielektrik Kaynağı • Mikrodalga Kaynağı

2.3.1.1. Isıl Yöntemler

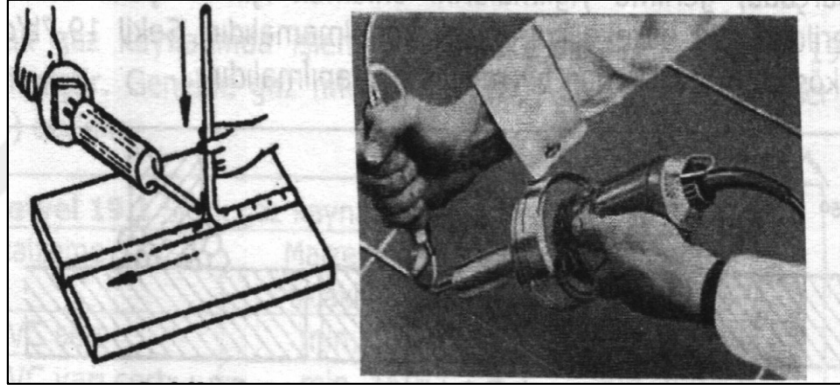
Isının, açıktan malzeme dışından uygulandığı yöntemler sınıfında olup bu yöntemlere ısı (termal) yöntemler denir [3].

Sıcak gaz kaynağı metaller için uygulanan oksii-asetilen kaynağına benzerdir. Tek fark oksii-asetilen ile yakılan alev burada sıcak gaz akımı ile yer değiştirmektedir [2]. İlave malzeme (elektrot) ile gerçekleştirilir [8]. Kaynak çubuğu (sert) veya bant/ip (yumuşak) halindeki ilave malzeme, yeterli sıcaklık ve basınçta oluğa bastırılır ve doğru kaynak hızı ve tabanca pozisyonu uygulanarak sıcak gaz akımı etkisiyle yumuşar. İlave malzeme üzerine uygulanan kuvvet sayesinde birleşme sağlanır. Bir veya birkaç pasolu kaynak yapılabilir. Geniş bağlantılarda boşlukları tamamen doldurmak için metallerdeki gibi birkaç pasolu kaynak yapılabilir [2]. Bu kaynak çeşidinde, ısı kaynağı olarak ısıtılmış bir gaz kullanılır. Sıcak gaz olarak sıcak hava veya malzemenin oksitlenmesini önlemek için azot tercih edilir [8]. Bunun haricinde kaynak tabancasından geçerken bir elektrik bobini tarafından ısıtılan nitrojen, hidrojen, oksijen ve karbon dioksit gazları da kullanılabilir [2]. Gaz sıcaklığı ise plastiğin cinsine göre 200°C-350°C arasında olur [3]. İşlem özellikle büyük parçalar için çok elverişlidir. Gaz kuru ve temiz olmalıdır. Ek malzeme kaynakla birleştirilecek ana parça malzemeleri ile aynı olması gerekir [8].

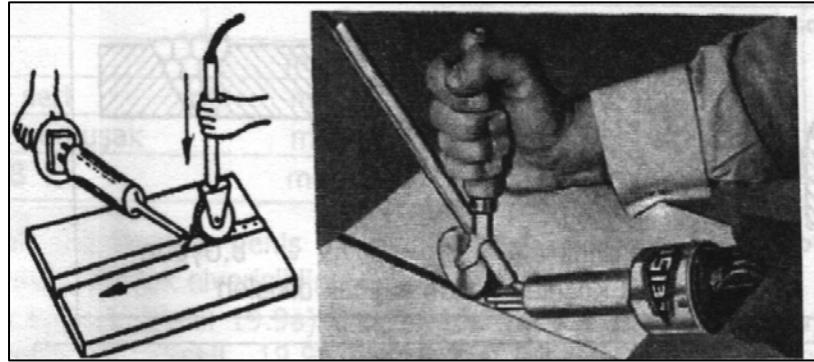
Kaynak çubuğunun basınç altında kaynak boşluğunu tam olarak dolduracak şekilde bölgeye akması istenir. Bu durumda kaynak hızı, ısıtıcı gazın ve dolayısıyla kaynak yüzeylerinin sıcaklık derecesi, kaynak ağzının geometrisi ve hacmi, uygulanan basınç, kaynak çubuğu kesiti ve kalınlığı gibi birçok faktör kaynak bölgesi üzerinde etkili

olabilmektedir. Bu faktörlerin uygun değerlerde tutulabilmesi, özellikle bu kaynak yöntemi için uygulayıcının dikkat ve becerisine bağlıdır. Bununla birlikte, diğer yöntemlerdeki gibi belirli birleşim konumları ile sınırlı olmayıp çeşitli konstrüksiyon ve onarım işlemlerinde serbest hareket alanları içerisinde sıcak gaz kaynak uygulamaları yapılabilmektedir. İşlem özellikle büyük ölçekli fabrikasyon ve tamir işlemleri için uygundur [3].

Kaynak sırasında ek malzeme kaynak yeri üzerine bastırılır. Yumuşak termoplastiklerde basma işlemi Şekil 2.1’de düz bir yüzey, sert termoplastiklerde ise Şekil 2.2’de gösterildiği gibi bir bastırma rulosu ile gerçekleştirilir [8]. Kuru yağsız sıkıştırılmış hava veya nitrojen, 40-140 kPa’da normal kullanımı sağlar ve kaynak sıcaklığı 220 °C’nin üstündedir. Üfleç nozulundaki gazın sıcaklığı kaynak bölgesi ve üfleç arasında ısı kaybı hesaba katılarak bundan 100 °C daha fazla olabilir. Kaynak bölgesi ve nozulun ucu arasındaki mesafe genellikle 25 mm ile 40 mm arasında değişkenlik gösterir [2].



Şekil 2.1. Yumuşak termoplastiklerin kaynağı [8].



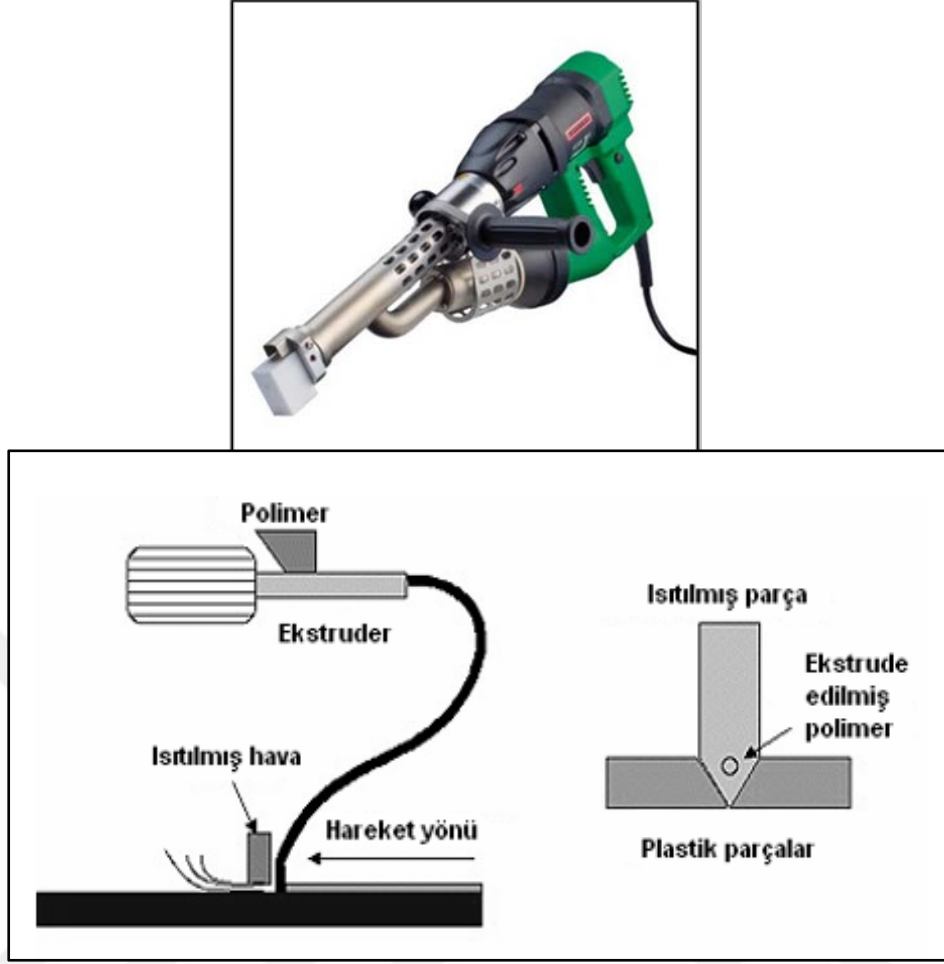
Şekil 2.2. Sert termoplastiklerin kaynağı [8].

Ayrıca, diğer termoplastik malzemelerin kaynak yöntemlerine göre bu kaynak

yönteminde, birleştirilecek parçaların sadece belirli geometrik şekillere sahip olma zorunluluğunun dışına çıkılarak, hemen her çeşit şekil ve büyüklüğe sahip olan parçaların konstrüksiyon ve onarım işlemlerinde serbest hareket alanları içerisinde kaynak uygulamalarının yapılabilmesi ayrı bir avantaj teşkil etmektedir. Termoplastik malzemelerden imal edilmiş kimyasal dayanıma sahip tankların, otomobil parçalarının (özellikle tamponların), havalandırma ve boru sistemlerinin yapım ve onarım işlemlerinde uygulanmaktadır. Plastik boruların kaynak işlemlerinin kimya fabrikalarında ve petrol rafinerilerindeki uygulamaları çok yaygındır. Özellikle yer döşemeleri ve kaplamalarda görülen uzun kaynak dikişlerinin üretiminde otomatik cihazlar kullanılmaktadır [3].

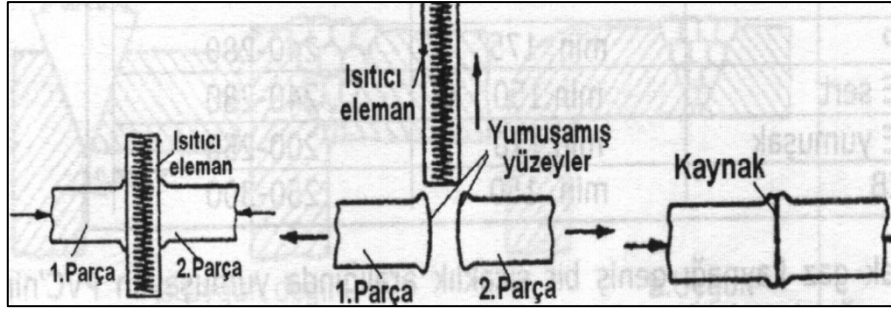
Ekstrüzyon kaynağında da ısıtma yöntemi sıcak gaz kaynağınıninkine benzerdir. Bunun haricinde bu yöntemde ısıtma işlemi için ısıtılmış takımlar veya kızılötesi ısıtıcılar kullanılabilir [2]. Büyük hacimli kaynak bölgelerinin oluşturulması ve seri üretimlerde kullanılmaktadır. Sıcak gaz kaynağı yönteminde olduğu gibi ısıtıcı gaz kullanılarak kaynak bölgesinde ön ısıtma işlemi uygulanır [3]. Fark tamamen ilave malzemenin eritilmiş halde kaynak bağlantısına enjekte edilmesidir. İlave malzeme bir ekstrüder içinde sıcak gaz ile ısıtılarak, hareket ederken birleşme ağzına sevk edilir ve basınç bir kaynak baskısı veya diğer bir vasıta ile sağlanır. Bu yöntem genellikle uzun birleştirmelerde kullanılır [2].

Ekstrüzyon kaynağı, geniş kaynak bölgelerinin tek pasoda elde edilmesinde şimdiye kadar kullanılan tek yöntem olmuştur. 30 mm'den küçük kaynak bölgeleri için gerekli olan kaynak basıncı kuvveti, ekstrüderin dolgu malzemesine uyguladığı itme kuvveti ile sağlanmaktadır. Kaynak genişliğinin 30 mm'den büyük olması durumunda kaynak üzerine operatör tarafından kuvvet uygulanması gerekmektedir. Bu durum ise operatörün çok çabuk yorulmasına sebep olmaktadır. Aynı sebepten dolayı, kaynak dolgu malzemesinin kaynak köküne kadar kolaylıkla uygulanabilmesi amacı ile X veya V kaynak ağzlarının açılı 30° 'den küçük olmamalıdır. Ekstrüzyon kaynak tekniği özellikle küçük ölçekli kaynak işlemleri için fazla ekonomik değildir. Ancak bu tekniğin kullanımı ile kaynak bölgesinde daha yüksek sağlamlık değerlerinin elde edilmesi sebebiyle bu yöntem tercih edilmektedir. Sıcak gaz kaynağı yöntemine göre kaynak bölgesinin sağlamlığı daha üstündür. Isıl deformasyonlar oldukça düşük seviyededir [3]. Ekstrüzyon kaynak makinesi ve yöntemin uygulanışı Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Ekstrüzyon kaynak makinesi ve yöntemin uygulanışı [8].

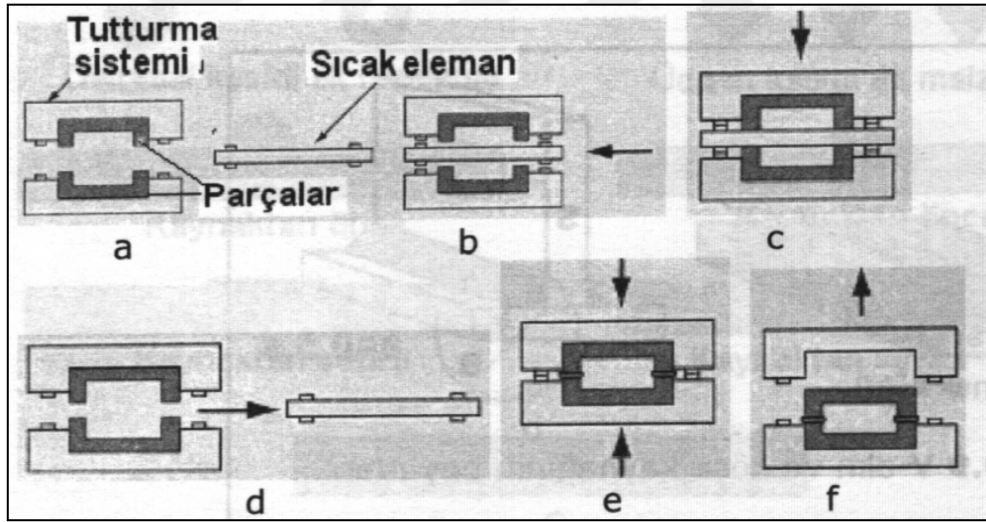
Ek maddesiz bir kaynak yöntemi olan sıcak eleman kaynağı ısı transferi olayına dayanmaktadır [8]. Kaynak işlemi küçük parçalar için 10-20 saniye, büyük parçalar için ise 30 dakika içerisinde tamamlanmaktadır [3]. Sıcak eleman kaynağı 1930'ların başlarında yarı mamul parçaların kaynağında kullanılmaya başlanılmıştır. Bu yöntem genellikle; sert ve yumuşak PVC, PE (Polietilen), PP, PA (Poliasetilen) malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır [2]. Bu yöntemin ilkesi şu şekilde açıklanabilir. Şekil 2.4'de görüleceği üzere şu şekilde açıklanabilir; Birleştirilecek yüzeyler bastırılarak bir ısıtıcı eleman ile ısıtılır ve yumuşamış hale getirilir (a), ısıtıcı eleman yüzeylerden çabuk olarak uzaklaştırılır (b), parçalar bastırılır, yüzeyler birbiri ile birleşir ve bu şekilde kaynak yeri soğuyuncaya (katılaşıncaya) kadar tutulur (c);



a) Isıtma b) Uzaklaştırma c) Basma ve Soğutma

Şekil 2.2. Sıcak eleman kaynağı [8].

Şekil 2.5’de pratikte uygulanan bir sıcak eleman kaynağı gösterilmiştir. Burada: parçalar birbirine göre iyi konumlanması için, bir tutturma sistemine tutturulur ve sıcak eleman ısıtılır (a). Sıcak eleman parçalar arasında getirilir ve yüzeyler ısıtılır (c). Isıtma bittikten sonra sıcak eleman hızlı bir biçimde çekilir (d) parçalar bastırılır (e) ve kaynak dikişi oluştuğundan ve soğuduktan sonra tutturma sistemi açılır [8].



Şekil 2.3. Sıcak eleman kaynağının uygulanması [8].

Sıcak eleman kaynağın önemli bir özelliği çeşitli polimerlerin örneğin amorf ve kısmikristalin veya ergime noktaları çok farklı olan termoplastiklerin kaynak ile bağlanmasıdır. Oldukça düşük olan kaynak sırasında uygulanan basınç $0,1-0,5 \text{ N/mm}^2$ arasındadır. Çok yüksek basınçlar kullanıldığı durumda yüzeylerde erimiş polimer tamamen dışarıya doğru akar ve bunun neticesi olarak çok zayıf bir bağlantı oluşturulur. Parça boyutu hakkında bir sınırlama yoktur [8].

Sıcak eleman genellikle elektrik akımı ile ısıtılır. İşlem için sıcak elemanın sıcaklığı

büyük ölçüde termoplastığın çeşidine bağlıdır. Buna göre amorf plastikler camısı sıcaklığın (T_g) üstünde 100°C - 160°C ; kısmikristalin polimerler, ergime sıcaklığın (T_m) üstünde 40°C - 100°C sıcaklık isterler. Bununla beraber bazı durumlarda sıcak eleman 450°C sıcaklığa kadar ısıtılabilir. Isıtma süresi parçanın kalınlığına ve malzeme cinsine göre 10 ila 120 saniye arasında değişir. Bazı polimerler için önerilen sıcak elmanın sıcaklıkları Çizelge 2.4’de verilmiştir [8].

Çizelge 2.4. Bazı polimerler için sıcak eleman sıcaklıkları [8].

Polimer	Sıcak Eleman Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
PA6	240-300
PBT	240-350
PET	270-350
TPE	250-300
TPE	275-325
PC	250-400
PC * ABS	220-400
PC + PET	250-400

Sıcak eleman kaynağının bazı avantajları bulunmaktadır. Teoride, herhangi bir termoplastik malzeme birleştirilebilir. Bunun nedeni parçaların temas noktaları, oldukça yüksek sıcaklık değerlerine ulaşabilir. Termal hassasiyete sahip malzemeler modern sıcaklık kontrol sistemleri ile iş parçasının sıcaklığının tehlikeli sınırın üzerine çıkmasını engeller. Yöntem hem otomatik hem de portatif sistemlerde iyi şekilde uygulanabilir. Birbiriyle benzerlik göstermeyen malzemeler aynı anda herhangi birini kötü yönde etkilemeden kolayca birleştirilebilir [2].

Sıcak eleman kaynağının bazı sınırlamaları mevcuttur. Özellikle parça boyutları arttıkça tekrar süreleri de uzar. Örnek olarak, büyük bir çubuğun tek bir kez kaynağı 30 dakikaya ihtiyaç duyar [2]. Ayrıca yumuşamış haldeki plastik malzemenin ısıtıcı plakaya yapışmasının önlenmesi amacıyla krom plakalar kullanılır. Bu sebeple ısıtıcı plaka ve birleşim yüzeylerinin kaynak işlemi öncesinde temiz olmasına dikkat edilmelidir. Bazı uygulamalarda ise ısıtıcı plakalar politetrafloretillen (PTFE, teflon) ile kaplanarak kullanılır. Kaynak bölgesinin daha fazla yumuşatılarak sağlamlığının artırılacağı düşünülse de bölgede oluşacak çarpılma, taşma gibi deformasyonların önlenmesi amacıyla aşırı ısıtmalardan kaçınılmalıdır [3].

Uygulama alanları; plastik batarya muhafazaları, yakıt tankları ve yakıt doldurma

borularının birleştirilmesinde, gaz ve su borularının birleştirilmesinde, lağım ve atık su tahliye borularının kaynatılması, profiller (plastik pencereler), levhalar, borular, havalandırma kanalları, stop lambaları, tamponlar, çamaşır makinesi balanslayıcısı, filtreler, vakum temizleme makineleri, plastik palet ve her türlü asimetrik ürünlerde sızdırmaz kaynaklı birleşmeler sağlar [2]. Günümüzde, bu kaynak yöntemi yaygın olarak sıhhi tesisat işlerinde boruların birleştirilmesi (manşon kaynağı) ve seri ambalajlama işlemlerinde oldukça sık kullanılmaktadır [2], [3].

Kızılötesi radyasyonu sıcak levha kaynağına temassız bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Kızılötesi radyasyonu genelde yaklaşık 1 mikronluk dalga boyuyla radyasyon üreten yüksek yoğunluklu, kuvars ısı lambalarıyla temin edilir. Bir polimer bu radyasyona maruz bırakıldığında erime meydana gelir, işlemin bir türünde erime meydana geldikten sonra lambalar alınır ve bölgeler aynen sıcak levha kaynağında olduğu gibi birbirine bastırılır [2].

Kızılötesi, özellikle ısı kaynağına temas edemeyen yüksek erime sıcaklığına sahip polimerler için umut vericidir. Liflenme ve/veya ek yeri hasarına neden olunması gibi bir şey söz konusu değildir. Yakın zamanda yapılan bir tespit göstermektedir ki cam takviyeli bir polimere yapılan kızılötesi kaynağı olağanüstü derecede yüksek kaynak kuvvetiyle sonuçlanmaktadır ve diğer kaynak işlemlerinin hiçbirisiyle bu kadar yüksek başarı sağlanamamıştır [2].

Kızılötesi kaynağının diğer bir potansiyel avantajı ise süratidir. Kızılötesi radyasyonu bir polimerin içine nüfuz edebilir ve çabukça bir alanı eritebilir. Sıcak levha kaynağı, polimer yüzeyinin ısıtılmasını ve gereken erimiş alanın oluşturulması için iletkenliğe güvenmeyi gerektirir. Bununla birlikte nüfuz etme derinliği birçok faktöre bağlıdır ve polimer formülündeki küçük değişikliklerle, büyük farklılıklar gösterir. Tutarlı kızılötesi kaynağı grup grup polimer benzerliğine karşı çok titiz uygulamalarla gereksinimleri karşılamaya uygundur [2].

Lazer kaynağı hem film hem de kalıplanmış termoplastiklerin kaynağına uygundur. Yöntem birleştirme bölgesinde plastiği eritmek amacıyla lazer ışını kullanır. Lazer, birleştirilecek malzemeye odaklanmış şiddetli radyasyon ışını (genellikle elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölgesinden) üretir. Bu molekül üzerinde yankı frekansı oluşmasına yol açar ve bunun sonucunda çevresindeki malzeme ısınır [3].

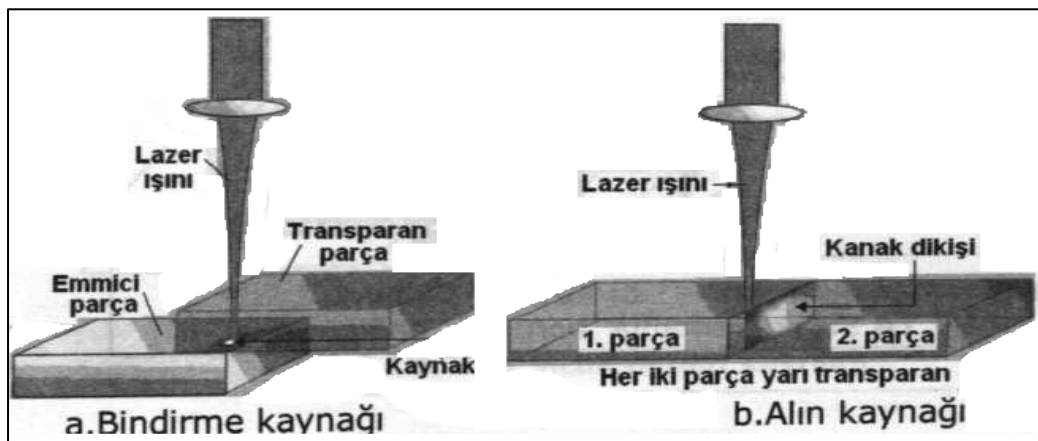
Lazer kaynağı bindirme (parçaları üste yerleştirme) ve alın (yan yana yerleştirme) olmak

üzere iki çeşittir [2].

Şekil 2.4 a'da bindirme lazer kaynağı gösterilmiştir. Bu çeşit kaynakta parçaların biri lazer ışınlarını geçirmek için transparan, diğeri bu ışınları emme özelliğinin sahip olması gerekir, Termoplastiklerin çoğu transparandır; dolayısıyla bu koşul kendiliğinden yerine getirilir. Ancak emme özelliğine sahip olması için, ışınları emen parçaya emme özelliğine sahip bir katkı malzemesi ilave edilir. Bu hususta en çok kullanılan malzeme karbondur [8].

Buna göre dalga uzunluğu 800-1100 nm (nanometre) arasında bulunan ve infraruj ışınlarına yakın olan lazer ışınları, üsteki parçadan geçerler ve alttaki parçanın yüzey tabakası tarafından emilirler. Işınları emen üst tabaka ısınır ve bu ısıyı üsteki parçanın yüzeyine de iletir. Bu şekilde her iki parçanın yüzey tabakaları erir ve soğutulup katılaştıktan sonra kuvvetli bir bağlantı meydana gelir. Burada üst parça görünür transparandır. Alt parça siyaha yakın bir renkte opak (ışın geçirmez) bir görüntüye sahiptir [8].

Şekil 2.6 b'deki alın lazer kaynağı polimerler için pek uygun değildir. Bunun nedeni polimerlerin ısı iletimi düşük olduğu için yalnızca temas yüzeylerin bazı kısımları erir ve katılaştıktan sonra kuvvetli bir bağlantı meydana gelmez. Bu çeşit kaynakta her iki parça yarı transparan yapılıdır [8].



Şekil 2.4. Lazer kaynağı [8].

Lazer kaynağı avantaj olarak titreşimsiz ve minimum kaynak çıkıntısı meydana getiren yüksek hacimli üretim işlemlerinde kullanılır. Özellikle çok ince ve neredeyse fark edilemez bir kaynak geçiş bölgesine sahip olması pigmentler ve renklendiriciler içeren ya da saydam olması istenen parçaların kaynağında önemli bir avantaj getirmektedir [2].

Lazer sisteminin yararları; kontrol edilebilir ışın kuvveti, parçaların çarpılma veya hasar riskini düşürmesi, doğru bağlantıların olmasına izin veren lazer ışınının kusursuz odaklanması ile temiz ve hijyenik olan temassız bir birleştirme işlemidir. Lazer kaynağı tek bir ışınlamayla veya sürekli olarak ışınlamayla uygulanabilir, ancak bağlantı yapılacak malzeme mengeneyle tutturulmalıdır. Kaynak hızı polimerin soğurma özelliğine bağlıdır. Plastik lazer kaynaklarında bindirme tipi kaynaklar iyi netice verirken alın kaynak tiplerinden iyi sonuç elde edilememiştir. Çünkü plastiklerin ısı iletimleri düşüktür. Yanal ısı yayılması yeterli olmaz [3].

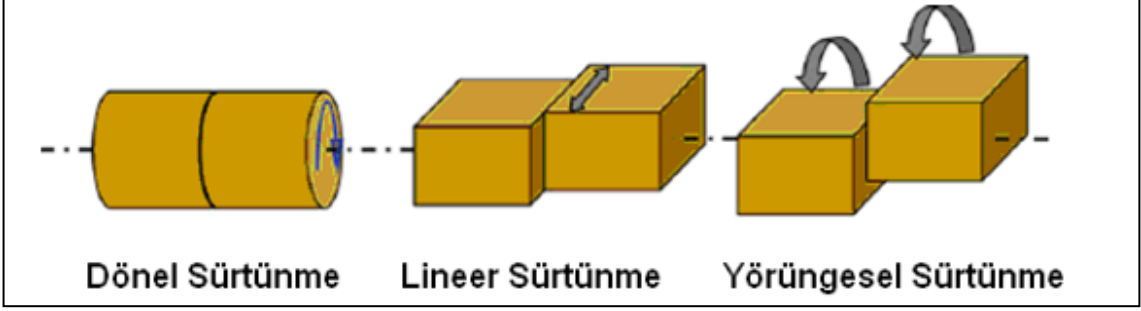
Yakın zamanda, İngiltere'deki kaynak enstitüsündeki (TWI) plastik kaynak gurubunun bildirdiği habere göre karbondioksit ve Nd-YAG lazerleri kullanarak yapılan yüksek hızlı polietilen filmlerinin kaynağında, 500 metre/dakika hıza ulaşılmıştır. Ancak daha yüksek hızların da mümkün olduğu düşünülmektedir. Kaynak mukavemeti esas malzemenin mukavemetine yakın çıkmıştır [2].

2.3.1.2. *Mekanik Yöntemler (Sürtünme Esaslı)*

Sürtünme kaynağı adı üstünde, izafi harekette bulunan iki parçanın temas yüzeylerinde meydana gelen sürtünmenin ısıya dönüşmesine dayanır. Bu ısının etkisi altında yüzeyler yumuşar ve parça bastırılır. Hareket durduktan sonra kaynak yeri soğur, katılaşır parçalar arası birleşme meydana gelir. İşlem çok çabuk (30 ila 40 saniye) gerçekleşir., ancak birleşme sonucu dikiş yerinde parçaların dışında basının etkisi altında çepeçevre bir çapak kalır. Sürtünme kaynağı oldukça sert olan PVC gibi plastiklerde kullanılır [8].

Sürtünme kaynak yöntemi birçok endüstri alanında ekonomik olarak uygulanan bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem, iki iş parçasının katı fazda birleştirilmesini sağlayan bir kaynak yöntemidir. Birleştirme için gerekli olan ısı birleştirilecek parçaların basınç altında sürtünmeleri sonucunda elde edilir. Kaynak bölgesinin ısınması için dışarıdan ısı veya elektrik akımı kullanılmaz. İş parçalarında ısı oluşturmak için yaygın olarak kullanılan sürtünme hareketi üç tanedir. Döndürme, lineer ve yörüngesel sürtünme [3].

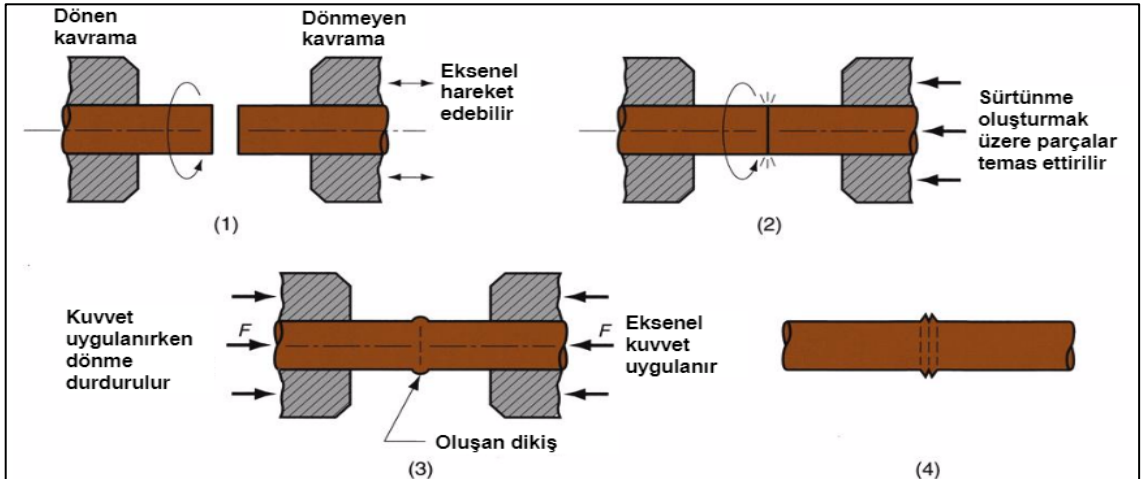
Bu sürtünme hareketleri Şekil 2.7’de şematik olarak gösterilmiştir [3].



Şekil 2.5. İş parçalarında ısı oluşturmak için yaygın olarak kullanılan sürtünme hareketleri [3].

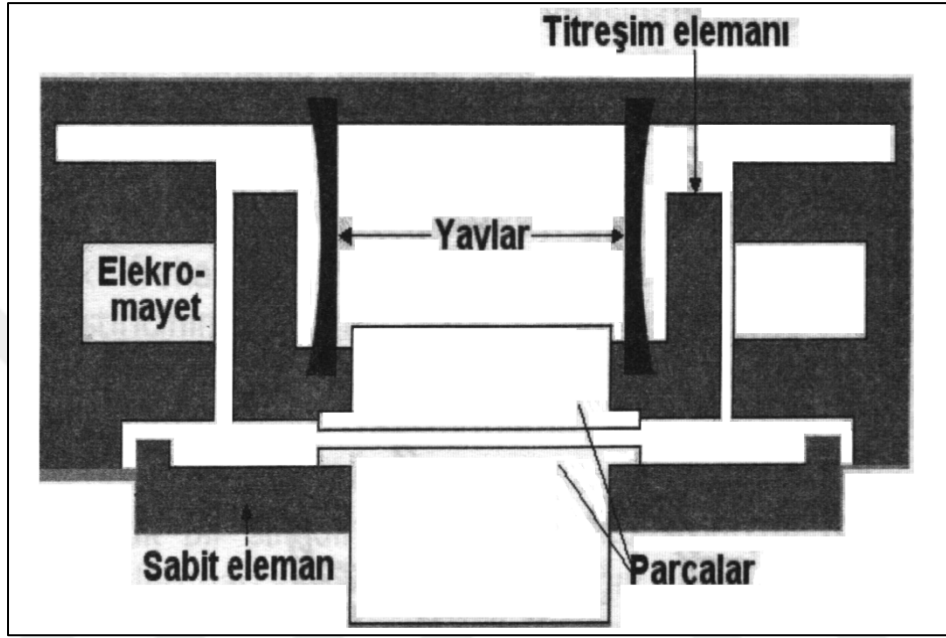
Termoplastiklerin sürtünme kaynağı (aynı zamanda döndürme kaynağı olarak ta anılır) metaller ile aynı prensip üzerine kuruludur. Bu işlemde parçalardan biri, diğeri onun üzerinde açısız hız ile dönerken birbiri üzerine basınç uygulanarak sıkıştırıldıklarında, sürtünmeden dolayı meydana gelen ısı polimerin erimesine neden olur ve soğuma sırasında kaynaklı bağlantı oluşur. Başlıca kaynak parametreleri devir hızı, sürtünme basıncı, ivmesel basıncı, kaynak süresi ve ısıdan etkilenen bölgenin uzunluğunu kapsar. Plastiklerde bu yöntem ile elde edilen bağlantının kuvveti, malzemenin normal dayanımının %90’ı kadar olabilir. Kaynak süresi 1 ile 5 saniye arasındadır [3].

Burada örnek olarak döndürme kaynağını inceleyeceğiz. Şekil 2.8’de görüldüğü üzere, döndürme sürtünme kaynağının uygulaması şu şekildedir; (1) dönen parça, temas yok; (2) sürtünme ısı üretmek üzere parçalar temas haline getirilir; (3) dönme durdurulur ve aksel basınç uygulanır ve (4) kaynak oluşturulur.



Şekil 2.6. Döndürme kaynağının uygulaması [3].

Kaynak sırasında parçaların toplam uzunluğunun 0,2-0,4 mm si kaybolur. Bu husus sürtünme kaynağın tasarımında dikkate alınması gerekir. Ayrıca kaynak sırasında parçaların birbirine göre çok iyi merkezlenmesi gerekir [8]. Birleşme elde edilirken kaynak bölgesinde bir miktar metal fışkırmasının meydana geldiği Şekil 2.9'da görülmektedir [2].

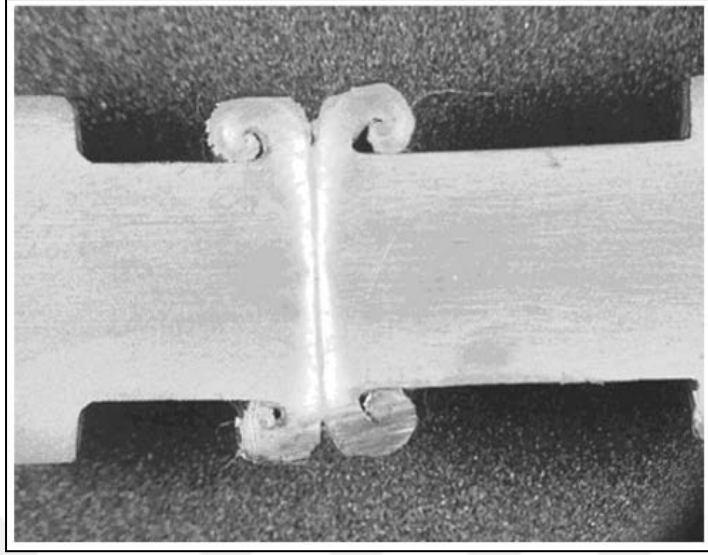


Şekil 2.7. Dönel sürtünme kaynağı yapılıyan parçaların kaynak bölgesinde meydana gelen metal fışkırması [3].

Sürtünme kaynağının avantajları olarak yüksek kaynak kalitesi kaynak yatkınlığı ve işlem içerisinde tekrarlanabilir olmasıdır. Bu işlemin dezavantajı ise, uygulamanın en basit haliyle sadece parçalardan en az birinin dairesel şekilde olduğu durumlardaki işlemlere ve açısız hizalamaya ihtiyaç duymadığı durumlara uygun olmasıdır. Döndürme kaynağının ilk uygulamalarından biri su dolu pusulaların kapatılmasıdır. Bu, suya daldırılmış gövde üzerinde kapağın döndürülmesi ile yapılmıştır. Diğer uygulamalar şamandıraların ve aesterol şişelerinin üretimini içerir. Sürtünme kaynağı plastik parçalara silindirik parça ve pim eklemede kullanılır ve termal plastiklerin çoğuna uygulanan hızlı ve etkili bir bağlantı tekniğidir [3].

Titreşim kaynağı ultrason kaynağın bir çeşidi olup burada titreşimler mekanik niteliktedir. Şekil 2.8'da gösterildiği gibi kaynak tertibatı sabit bir tutturma elemanı ve elektromanyetik alanın etkisi altında titreşen bir titreşim elemanından meydana gelir. Titreşim eylemi yaylarla askı şeklinde tertibatın üst kısmına tutturulmuştur. Parçaların

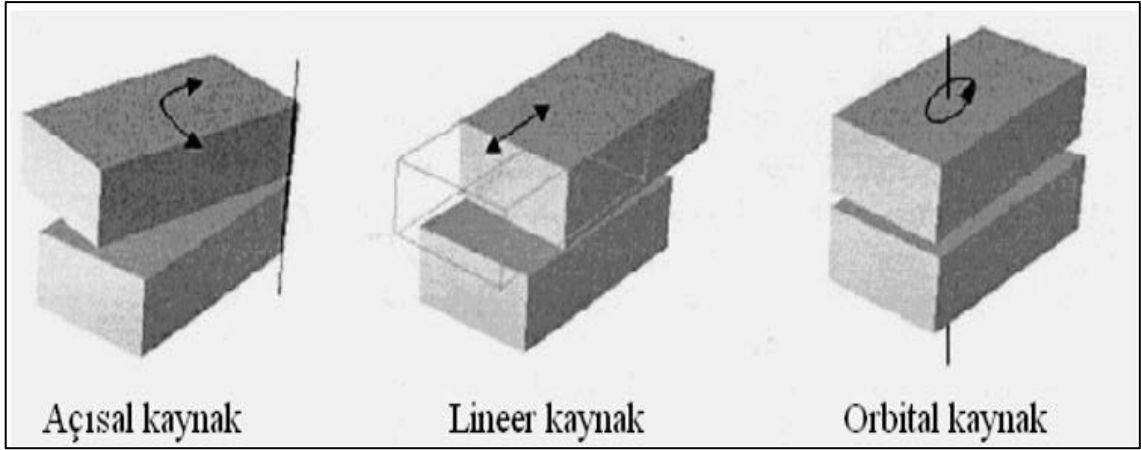
biri sabit elemana, diğeri ise titreşim elemanına tutturulur [8].



Şekil 2.8. Titreşim kaynağı tertibatı [8].

Buna göre titreşim sırasında temas yüzeyleri titreşim biçiminde temasa geçerler ve titreşim dalgalarının etkisi ile özellikle iç sürtünmeden dolayı temas yüzeylerini eriten bir ısı meydana gelir. Titreşimler durdurulduğunda, erime sonucu oluşan kaynak soğur ve katılaşır. Parçaların birbirine karşı titreşimi belirli frekans, genlik ve basınçla gerçekleşir [8].

Bu işlem sürtünme (döndürme) kaynağıyla çok benzerdir. Farkı hareketin rotasyonel değil doğrusal olmasıdır. Uygulama hızlıdır; uygulanan titreşimler 80 – 300 Hz frekanslar arasında ve genlikleri 1-5 mm arasındadır. 5 mm genlikte frekansın 100Hz değerinde uygulanması durumunda toplam bağıl hareket saniyede yaklaşık olarak 2 metreye eşit olabilmektedir. Titreşim kaynağı uygulamada sadece doğrusal değil bunun haricinde açısız ve orbital (kendi eksenini etrafında dönerek) şekilde de kullanılabilir. Bu yöntemin en büyük avantajı büyük ve karmaşık doğrusal bağlantıları yüksek üretim oranlarında kaynak edebilmesidir [3]. Şekil 2.9’de farklı şekillerde uygulanan titreşim kaynak tipleri görülmektedir.



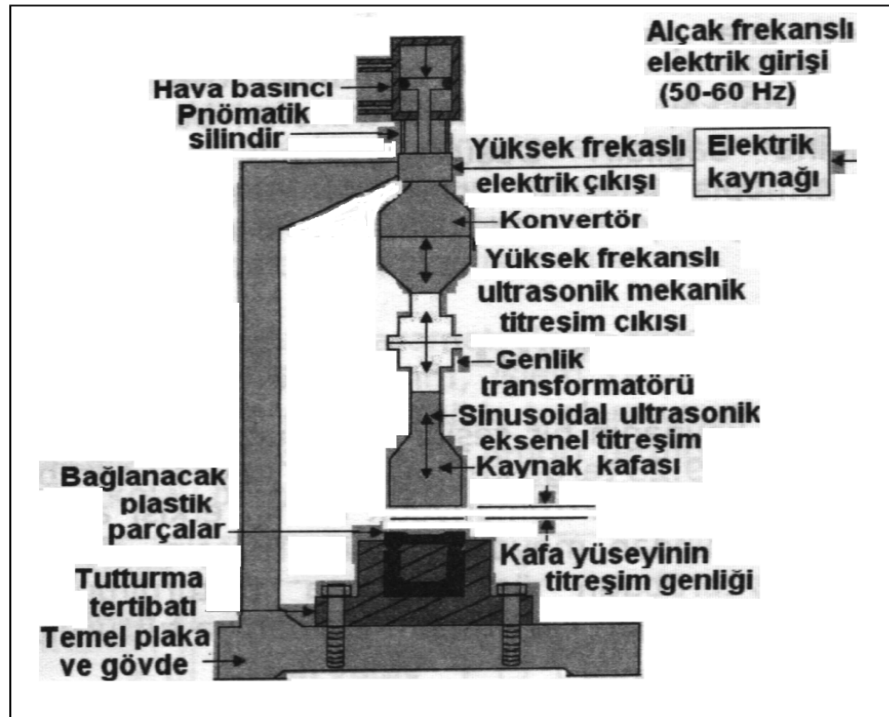
Şekil 2.9. Farklı şekillerde uygulanan titreşim kaynağı [3].

Titreşim kaynağı ucuz ve işlem zamanı kısa olan bir kaynak yöntemidir. En büyük avantajı büyük ve karmaşık doğrusal bağlantıları yüksek üretim oranlarında kaynak edebilmesidir. Diğer avantajları arasında birkaç parçayı aynı andan kaynak edebilir. Ayrıca sürtünme ve ultrason kaynağında olduğu gibi burada da erimiş temas yüzeyleri hava ile temasta bulunmazlar; bu da yıpranmaya hassas olan plastiklerin yıpranmasını önler. Bununla beraber burada da erimiş yüzeylerde sıkıştırma sonucu, bir miktar malzeme dışarıya taşar ve kaynak yerinde çapak oluşturur. Burada yalnız paralel yüzeyler kaynak edilebilir. Üç boyutlu parçalar bu çeşit kaynak için elverişli değildir. Titreşim kaynağı kalıp enjeksiyonu veya ekstrüzyonla üretilen, şişirilerek kalıplanmış, ısı ile şekillendirilmiş veya damgalanmış gibi hemen hemen bütün termoplastik malzemelere uygulanabilir. Titreşim kaynağının başlıca uygulamaları otomobil ev aletleri endüstrisinde bulunmaktadır [8], [2].

Ultrason kaynağı küçük ve orta büyüklükte parçalar için hızlı, ucuz ve işlem zamanı çok kısa olan bir kaynak yöntemidir. Yöntem esasen sürtünme kaynağının bir çeşididir. Ultrasonik kaynak yöntemi, kaynak edilecek yüzeylerin ultrasonik frekansla moleküller arası titreşimli mekanik hareketlerle açığa çıkan sıcaklıkla yumuşatılması ve basınç altında kaynatılması işlemidir. Ultrasonik kaynak yöntemi 1970 yılların başından beri kullanılmaktadır. Bu yöntem amorf, yarı-kristalin ve kristalin plastiklere uygulanabilmesi, kaynak süresinin kısa ve düşük maliyet ile temiz kaynak yapılabilmesi nedeniyle geniş uygulama alanına sahiptir. Proses küçük genlikli ve yüksek frekanslı ultrason titreşim enerjisi kullanmaktadır. Burada parçaların biri sabit tutturulur ve diğer parçaya temas yüzeyine dik olan sinüzoidal şeklinde değişen ultrason titreşimi verilir. Parçalar arası sürtünme ve içi sürtünmenin bir sonucu olarak bir ısı meydana gelir. Bu ısı

temas yüzeylerini eritir ve titreşim durdurulduğunda kaynak yeri soğur, katılaşır ve bağlantı meydana gelir. Sürtünme kaynağında olduğu gibi burada da erimiş yüzeyler hava ile temasta bulunmazlar ve dolayısıyla oksidasyon yıpranmasına hassas polimerlerde bu olay oluşmaz. Bununla beraber parçalar titreşime tabi tutulduklarından bazı uygulamalar için elverişsiz duruma gelirler [2], [3], [8].

Şekil 2.10'de bir ultrason kaynak tertibatı gösterilmiştir. Burada alçak frekanslı (59-60 Hz) şebeke elektrik akımı bir elek değiştiricinin yardımı ile yüksek frekansa dönüşür, bu da bir konvertörün yardımıyla yüksek frekanslı mekanik titreşimlere çevrilir. Daha sonra genlik transformatöründen geçerek sinüzoidal ultrason eksenel titreşimlere dönüşür ve kaynak kafasını titreşime tabi tutar. Pnömatik bir silindirin yardımıyla kafa parçaları bastırır ve bunun titreşimleri parçalara iletilir. Kaynağın gerçekleşmesi, esasen yüksek frekanslı titreşimlerin etkisi ile yüzeylerin pislik, rutubet, oksit gibi yabancı tabakalardan temizlenmesi ve bunun neticesinde iki yüzey arasında moleküler kohezyonun sağlanmasına bağlanır [2], [3], [8].



Şekil 2.10. Ultrason kaynağı tertibatı [8].

Bu yöntemin en büyük avantajı malzeme özelliğine ve birleşim bölgesi büyüklüğüne bağlı olarak 0,2-5 saniye içerisinde (PVC için 0,1-1 saniye) tamamlanabilmesidir [3].

Bu yöntem ile kalıp gövdeleri, folyo, şerit ve ip şeklinde plastikler kaynatılır. Plastik

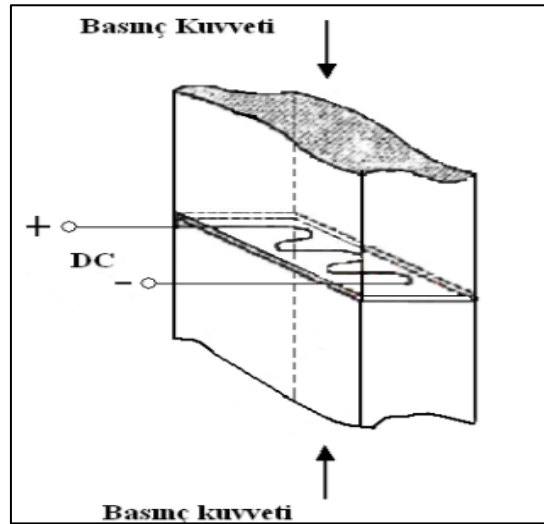
kaplanmış karton veya kumaşların, ultrasonik yöntemle kaynak yapılmaları mümkündür. Burada taşıyıcı malzemenin ultrasonik enerjisi ile kaplamalar birbiriyle kaynak edilir. Ultrasonik kaynak belki de en çok kullanılan termoplastik kaynak işlemidir. Yöntem çok hızlıdır (birkaç saniye) ve genellikle diğerlerine nazaran parlak ışıklar çıkarmayan kaynaklar elde edilir. Bu yöntemin uygulanabildiği malzemeler; tercihen PS (Polistiren) ve PE, Sert-PVC ve Poliakrilit malzemeler için de kullanılır [2].

Sürtünme karıştırma kaynağı 2.4 SKK başlığı adı altında açıklanmıştır.

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi 2.5 SKNK başlığı adı altında açıklanmıştır.

2.3.1.3. Elektromanyetik Yöntemler

Rezistans kaynağı, implant veya elektro-füzyon kaynak yöntemi olarak da bilinen bu kaynak yönteminde, Şekil 2.11'de görüldüğü gibi birleştirilecek plastik malzemelerin temas ara yüzeyleri arasına yerleştirilen metalik tellerden elektrik akımı geçirilerek bölgenin ısıtılması sağlanır. Kaynak bölgesinin yumuşayarak birleşmesi sırasında ısıtıcı teller birleşim bölgesi içerisinde kalmaktadır. Bu durum, kaynak işleminin sağlamlığını etkilemekte ve üretim maliyetini arttırabilmektedir. Kullanılan telin kaynak bölgesinde zamanla korozyona uğrayarak kaynak sağlamlığını düşürmesinin önlenmesi amacıyla Cr-Ni teller kullanılmaktadır [3].

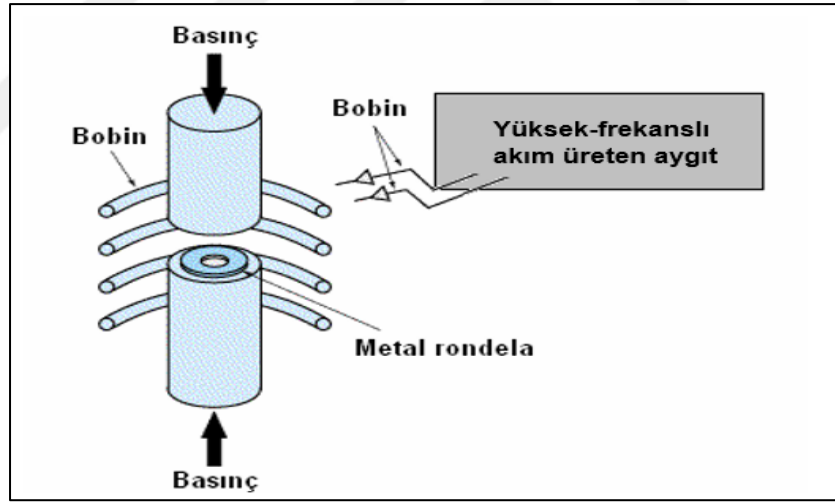


Şekil 2.11. Rezistans kaynağı [3].

Yöntem, oldukça basit olup büyük ve karmaşık şekillere sahip parçaların birleşim bölgeleri için uygundur. Kaynak işlemi kısa zaman içerisinde tamamlanabilmektedir. Büyük parçalar bile 30 saniyeden daha az sürede kaynaklanabilmektedir [3].

İmplant kaynağı otomotiv uygulamalarındaki kamyon tamponları ve panelleri gibi karmaşık ek yerlerinde, plastik borulardaki ek yerlerinde, konteynerlerde uygulanmaktadır. İmplant ısıtma işlemleri saniyelerle dakikalar arasında uygulamaya bağlı olarak orta derecede hızlıdır ve işlemler birçok termoplastik tabanlı malzemeyi birleştirmede kullanılabilir [2].

İndüksiyon kaynağı yönteminde birleşim, yüzeylerinin arasında bulunan bir metalin, yüksek frekanslı elektrik akımı (1-5 kW) kullanılarak oluşturulan bir manyetik alanın (200-500 kHz arasında) etkisi ile ısıtılarak kaynak bölgesi yumuşatılır. Yeterli sıcaklık derecesine ulaşılmasının ardından ısıtıcı metalik parça, Şekil 2.12’de görüldüğü gibi yumuşatılmış kaynak bölgesinin içerisinde kalacak şekilde birleşim malzemeleri birbirlerine bastırılır. Yaklaşık olarak 0,7 MPa basınç altında birleştirme işlemleri gerçekleştirilir. Çoğu plastik malzeme için kaynak işlemi birkaç saniye içerisinde (3-30 saniye) tamamlanmaktadır [3]. Şekil 2.12’te bir indüksiyon kaynağının uygulanışı görülmektedir.



Şekil 2.12. İndüksiyon kaynağının uygulanışı [8].

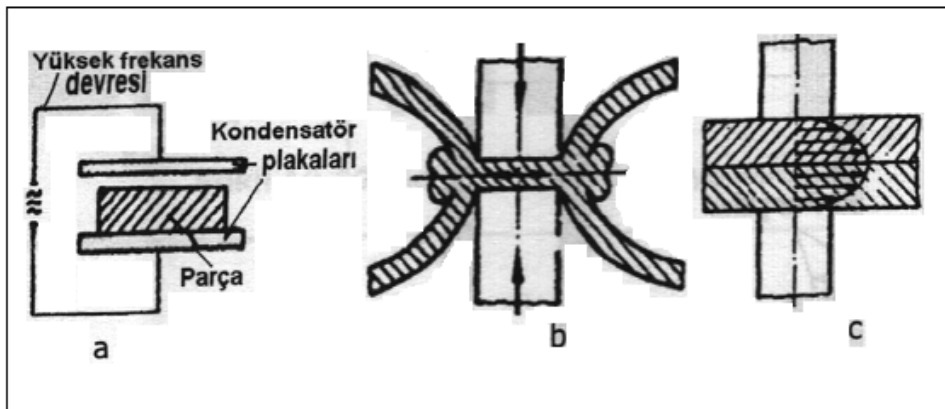
Proses yüksek frekans üreten bir jeneratör, su ile soğutan bir bobin ve parçaları istenilen konumda tutan bir tutturma tertibatından meydana gelir. Bağlanacak parçalar manyetik alanı geçirebilen polimer olmalıdır. Bobinde jeneratör tarafından meydana getirilen yüksek frekans akımı, bağlama alanında değişken bir manyetik alan oluşturur. Bu alan bağlama malzemesinde, histerezis kayıplarında dolayı ısıya dönüşür ve bağlama malzemesini eritir. Aynı zamanda parçalara bir baskı uygulanır ve kaynak bağlantısı meydana gelir. Manyetik alan kesildiğinde kaynak bağlantısı katılır [8].

Cihazın gereksinimleri 3–30 MHz arasında (genellikle 2,5 – 3,5 MHz arası kullanılır) frekans ile 2–20 kW arası çıkış veren yüksek-frekans güç kaynağıdır. Bobin olarak, genellikle su soğutmalı bakır bobinler, iş parçasında manyetik etki alanı oluştururlar [2].

Bu kaynak yöntemi ile özellikle karmaşık şekillere sahip plastik malzemelerin birleştirilmeleri mümkün olabilmektedir ve düşük elastisite modülüne sahip plastik malzemelerin kaynak işlemleri iyi sonuçlar vermektedir. Ancak metalik parçaların ara yüzeyde kalması kaynak sağlamlığını etkimekte ve kaynak maliyetini artırmaktadır. Polietilen ve akriliklerde %50 sağlamlık değerine ulaşılmaktadır [3].

Dielektrik kaynağı, radyo frekans kaynağı da adını taşıyan bu çeşit kaynakta, parçaların temas yüzeyleri, yüksek frekans (20-60 MHz) oluşturan elektromanyetik enerjisi kullanılır. Yüzeyler eridikten sonra bastırılır ve soğutulup katılaştıktan sonra bağlanan parçaların mukavemetine eşit bir bağlantı elde edilir. Bu çeşit kaynak özellikle tıp alanında ve tüketim mallarının çok iyi paketlenmesinde kullanılan polimer filmlerinin bağlanmasında kullanılır [8].

Kaynağın meydana getirme ilkesi Şekil 2.13 a'da gösterilmiştir. Burada birleştirilecek parçalar yüksek frekans devresine bağlı ve kondansatör fonksiyonunu yapan ve elektrot denilen iki plaka arasına yerleştirilir. Plakalar yerine çubuk veya parçaların şekline uygun başka elemanlar da olabilir. Elektrotlar aynı zamanda ısıtılır ve soğuma sırasında parçaları bastırırlar. Şekil 2.13 b'de yüksek frekanslı kaynağın uygulaması ve Şekil 2.13 c'de parçalar arası sıcaklığın dağılımı gösterilmiştir [8].



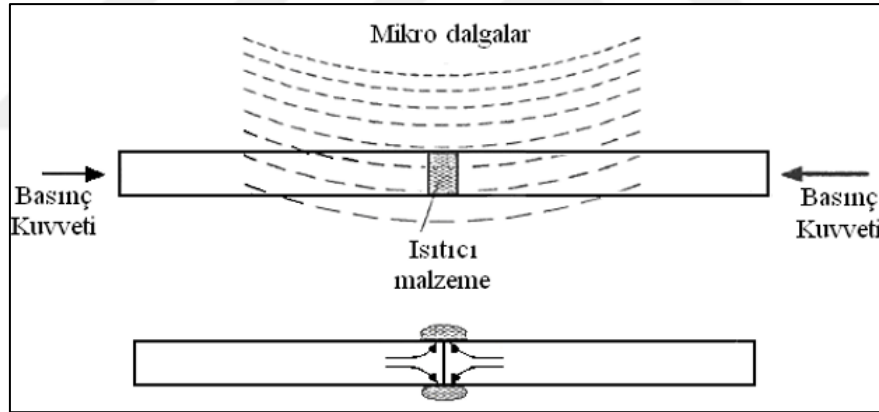
Şekil 2.13. Dielektrik kaynağının uygulaması [8].

Elektrotların arasında meydana gelen yüksek frekanslı elektromanyetik alan içinde bulunan polimer parçaların yalıtkan özelliğinden dolayı elektrik kayıplar meydana gelir. Aynı zamanda parçaların içinde, dipol moment özelliğine sahip moleküller titreyme

başlar ve bu titreşim ısıya dönüşerek polimerde erime meydana getirir. Parçalar elektrotlarla bastırılır, elektromanyetik alan kesilir ve kayak soğur ve sonra katılaştır [8].

PVC atık ürünlerinin yakılması hakkındaki sorun polyester veya çok katlı filmlerin kaynağında artan öneme ulaşmıştır. Isıtma verimliliği malzemeye bağlıdır. Polietilen ve polipropilen gibi poliofinler, aslında alana duysız olan çok zayıf dipollere sahiptirler. Medikal alanda kullanılan sıvı torbaları dielektrik kaynağının başlıca uygulamasıdır. Torbalar ve torba içinde giriş bölgesi bir adımda yapılabilir. Kaynak süresi malzemeye, film kalınlığına ve kaynaklanan alana bağlı olarak değişir. Mikroişlemci kullanımı ve kaynak çevrimi sırasındaki kontrolün gelişimi hem kalitenin hem de hızın artmasını sağlamıştır [2].

Mikrodalga kaynağı, birleştirilecek plastik malzemeler arasında elektromanyetik enerji absorbe edebilme özelliğine sahip bir malzeme olan yüksek yoğunluklu polietilen yerleştirilir ve basınç altında yaklaşık 70 MHz-100 GHz frekansta mikrodalgalar kullanılarak Şekil 2.14'da görülen birleştirme işlemi gerçekleştirilir [3].



Şekil 2.14. Mikro dalga kaynağının uygulanışı [3].

Yüksek frekanslarda uygulanan elektromanyetik dalgalar, birleşim yüzeyleri arasında bulunan malzeme tarafından absorbe edilerek ısı enerjisine dönüşür. Isınarak eriyen ara malzeme, uygulanan basıncında etkisi ile birleşim yüzeyleri arasından sızarak ayrılır. Bölgede oluşturduğu sıcaklık artışı ile yumuşayan birleşim malzemelerinin kaynak yüzeyleri, basınç kuvvetinin etkisi ile birbirleri ile temas ederler. Bölgenin soğutulması ile işlem tamamlanır [3].

2.3.2. Yapıştırma

Herhangi bir türdeki iki benzer veya farklı malzemenin sökülemez bir şekilde birleştirilmesi bu yöntemle kolaylıkla sağlanabilmektedir. Yapıştırıcıların eşsiz avantajlarından bir diğeri de hem termoset hem de termoplastik polimer malzemeleri birleştirmeye uygun olup, özellikle kaynak kabiliyetleri olmayan termoset plastik malzemelerin birleştirilmelerinde kullanılabilirlerdir. Geçmişte üretilen, yüksek dayanıma sahip plastik esaslı kompozit malzemelerin sadece termoset malzemelerden yapılmış olması sebebiyle bu birleştirme yöntemi oldukça önem taşımaktaydı. Zamanımızda ise termoplastik malzemelerin mekanik özelliklerindeki artışa bağlı olarak birçok alanda termoset plastik malzemelerin yerine geçmesi sonucunda, daha çok kaynak yöntemleri ile birleştirme teknikleri tercih edilmektedir. Fakat yapıştırma yöntemleri, birleştirilecek malzemelerin değişen çalışma sıcaklıkları altında bulunmaları sırasında ısıl genleşme katsayıları arasındaki farka bağlı olarak, birleşim bölgesinde görülen termal gerilmelerin minimum seviyede tutulması amacıyla tercih edilmektedir. Ayrıca titreşimli çalışan kısımlardaki birleşim bölgelerinde, yapıştırma bağlantısının sönümlenme özelliklerine sahip olması sebebiyle esnek yapıdaki yapıştırma bağlantı yöntemlerinin kullanılması yararlı olabilmektedir [1], [14], [16].

Birleşim yüzeylerine etki eden çekim kuvvetlerinin büyüklüğü, ara mesafenin artması ile azalmaktadır. Bu nedenle uygun bir yapıştırma işlemi için iki katı malzemenin kuru ve temiz haldeki yüzeyleri, en geniş alanda ve mümkün olan en yakın mesafede birleştirilmelidir. Yapıştırıcı malzemenin zaman içerisinde katılaşması ile birleşimin mukavemeti artarak işlem tamamlanır. Yapıştırma işlemi, yapıştırıcı madde ile birleştirilecek malzemenin yüzeyleri arasındaki ara fazda oluşan fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda gerçekleşir. Yapıştırma işlemi için hafif bir basıncın uygulanması yeterlidir. Yapıştırıcının birleşim bölgesinden uzaklaşmaması için aşırı basınç uygulanmasından kaçınılmalıdır [1], [2], [14], [16].

İyi bir yapıştırma işleminin gerçekleştirilebilmesi için önemli olan diğer bir husus da ön hazırlık işlemleridir. Parçalar arasında uygun teması sağlamak için parçaların temizlenerek hazırlanması gerekir. Birleşim yüzeylerine mikroskobik ölçekte bakıldığı zaman bölgede toz, kir veya yağ gibi istenmeyen maddelerin bulunduğu görülecektir. Yapıştırma işleminin mukavemetine direkt olarak etki eden bu istenmeyen maddelerin bölgeden uzaklaştırılması önem taşımaktadır. En iyi performans için, yapıştırılacak yüzeyler yağdan arındırılmalı ve temizlenmelidir. Temizleyici (çözücü) yüzeye buhar

banyosu şeklinde uygulanabildiği gibi, pratikte daha çok fırça veya bez tampon kullanılarak ya da direkt numunenin daldırılması şeklinde de uygulanabilmektedir [1], [2], [14], [16].

2.3.3. Mekanik Bağlantılar

Mekanik bağlantılar sökülebilir ve sökülemez bağlantılar olarak ikiye ayrılır. Sökülebilir bağlantılar ise; cıvata ve somun bağlantıları, klips bağlantıları ve yaylı birleştirmeler olarak kendi içinde ayrılırlar. Sökülemez bağlantılar ise; yine kendi içinde perçin bağlantıları, metlik ve sıcak saplamalar, geçmeler ve dikişler olarak ayrılırlar. Montaj işlemlerinde bağlantıların hızlı yapılması, geniş uygulama alanlarının bulunması, işçiliğinin temiz ve basit oluşu ile ileri teknoloji gerektirmemesi mekanik bağlama tekniklerinin tercih sebeplerinden bazılarıdır [1], [2], [14], [16].

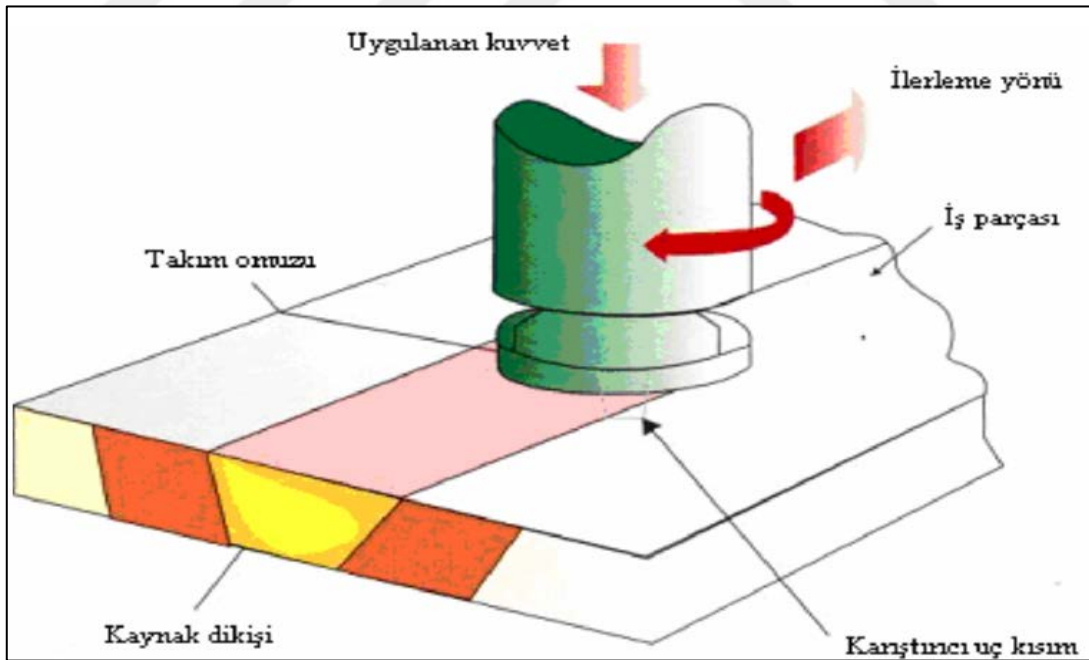
Plastik malzemelerin çentik etkisine karşı fazla hassasiyet göstermeleri, bu tür mekanik bağlantıların, yapıştırma ve kaynak yöntemleri ile birleştirilmelerine göre taşıyabilecekleri yükleri sınırlı hale getirmiştir. Bu sebeple mekanik bağlantı tasarımlarının dikkatli olarak yapılması gerekmektedir. Mekanik bağlantıların hatasız bir şekilde uygulanmış olmasına rağmen bağlayıcı elemanlar ile bağlanan plastik malzemeler arasındaki ısıl genişleme katsayıları arasında farkların bulunması, ortam sıcaklığının değişmesi sırasında ciddi problemlerin çıkmasına sebep olmaktadır. Sıcaklık değişimlerine bağlı olarak bağlantı bölgelerinde görülen gevşemeler veya aşırı büzülme buna örnek olarak verilebilir. Ayrıca, temas bölgesindeki plastik malzemenin gevrekliğine bağlı olarak, bağlantı elemanlarının plastik malzemelerden daha sert olması sebebiyle temas bölgelerinde çatlama ve kırılmalar görülebilmektedir. Mekanik bağlama yöntemleri, az sayıdaki uygulamalar için ekonomik olmakla birlikte seri üretimler için oldukça pahalı bir yöntemdir [1], [2], [14], [16].

2.4. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI (SKK)

Plastiklere uygulanan kaynak yöntemlerinden biri olan SKK, ilk olarak 1970'li yıllarda denenmeye başlanıp alüminyum alaşımlarının birleştirilmesi için yeni bir yöntem olarak 1991 yılında İngiltere, Cambridge'de, İngiliz Kaynak Enstitüsü (TWI: The Welding Institute) tarafından geliştirilen, W. Thomas'ın çalışmalarıyla patenti alınan ve halen üzerinde oldukça fazla araştırma yapılarak geliştirilmeye devam edilen, klasik sürtünme kaynağının türevi olan bir katı faz kaynak yöntemidir [1], [2], [5]. Yöntem sıklıkla metal

malzemelerin üzerinde çalışılmakla birlikte termoplastik esaslı plastik malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde de çalışılmaya başlanmış ve gelişim süreci hala devam etmektedir. Bu kaynak yöntemi günümüze kadar alüminyum, bakır, magnezyum, çinko ve titanyum alaşımlarına ilaveten çelik ve 1 mm'den 50 mm'ye kadar değişen kalınlıktaki termoplastiklerin bağlantısı için uzay, demiryolu, otomotiv ve deniz endüstrisi gibi birçok endüstri kolunda kullanılmıştır [1], [15], [17], [18].

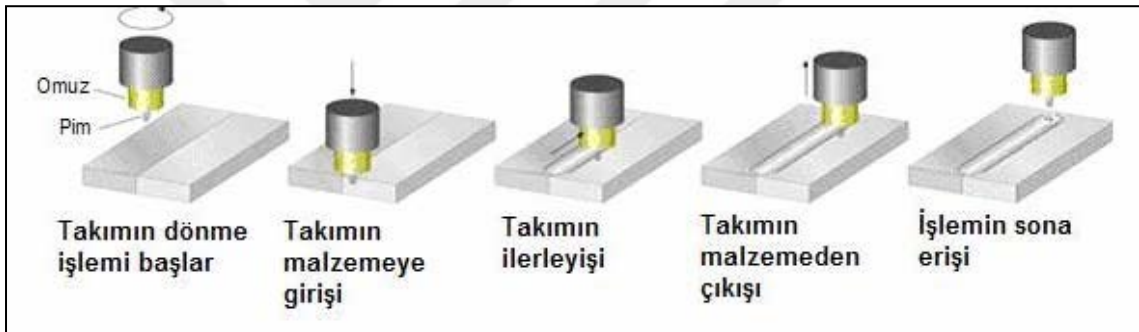
Diğer kaynak yöntemlerinde, birleşme yüzeylerinde erime sağlanıncaya kadar ısıtma, basınç uygulayarak bağ oluşturma ve basınç altında malzemede katılma sağlanıncaya kadar tutma olarak üç ayrı basamakta gerçekleşen kaynak basamakları bu yöntemde tek bir basamakta gerçekleşmektedir. Yöntemin şematik gösterilişi Şekil 2.15'de görülmektedir. Yöntemde, öncelikle dönen silindirik omuzlu bir kaynak takımı alın altına getirilmiş levhalar arasına ilerletilmektedir [1], [3], [5], [15]. Kaynak takımı (omuz kısmı ve kaynak ucu) ile malzeme arasındaki sürtünme nedeniyle ortaya çıkan ısı, kaynaklanan malzemenin erime sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta yumuşamasına neden olur. Kaynak takımının ilerletilmesi ile de kaynak takımının arka tarafında bir nevi ekstrüzyona maruz kalan malzeme kaynak çizgisi boyunca bağ oluşturur [1], [3], [5], [15].



Şekil 2.15. SKK yönteminin uygulanışı [1], [3], [5].

SKNK yöntemi, sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yönteminden türetilmiş ve SKK ile benzer avantajlara sahip bir katı faz kaynak yöntemidir. Kısa işlem zamanı ile etkili bir bindirme bağlantısı elde etmeye imkân verir. Günümüzde sadece otomotiv ve genel

taşımacılık sektöründe değil aynı zamanda diğer endüstri kollarında da oldukça dikkat çekmektedir. Ticari amaçlı otomotiv üretiminde başarı ile kullanılmaktadır. Bu yöntem, SKK yöntemi temeline doğrudan dayanır [1], [17]. Birleştirme mekanizmaları her iki yöntemde de aynıdır. Ancak aralarında uygulama farklılıkları vardır. SKK yönteminde takım, parçaların boyu doğrultusunda (uçtan uca) hareket eder. SKNK yönteminde ise takım, bindirme pozisyonundaki parçaların kalınlığı doğrultusunda (arka arkaya duran parçaların içine düşey yönde) hareket eder. SKNK yönteminin uygulamadaki en belirgin farkı, kaynak takımının ileri doğru öteleme hareketi yapmayıp, düşey doğrultudaki hareketi dışında herhangi bir doğrultuda hareketinin olmamasıdır. SKNK yöntemi SKK'nın karşıdan karşıya ilerleme kısmı çıkarılmış şeklidir ve DNK yöntemini taklit eder. Böylece DNK, perçinleme ve diğer tek nokta birleştirme yöntemleri yerine kullanılabilir. Tüm bu yöntemlerin uygulanması sonucu ortaya çıkabilecek olan dezavantajların üstesinden SKNK ile gelinebilir [1], [19], [20].



Şekil 2.16. SKK yönteminin aşmaları [1].

Yöntemde kaynak edilen parçalar ergimezler bu yüzden yöntem katı hal kaynağı olarak adlandırılır. Kaynak yöntemi Şekil 2.15 ve Şekil 2.16'deki gibi alın altına sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen omuzlu bir pim daldırılarak kaynak yapılmak istenen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesinden ibarettir. Kaynak edilecek parçalar öncelikle sabit bir yüzey üzerine yerleştirilir. Yöntemin uygulama aşaması iki farklı şekilde olabilir. Parçaların hareketi söz konusu olabileceği gibi, takımın dönme ve ilerleme hareketi de mümkün olmaktadır. Karıştırıcı uç (pim), daha geniş çaplı bir metal gövdeye bağlı, daha küçük çaplı bir sonda olarak şekillenmiştir. Pim birleşme bölgesi içine daldırıldığında geniş çaplı olan ve omuz diye tarif edilecek metal kısım birleştirilecek yüzeylere önce temas yapar. Pimin dalma derinliği kaynak nüfuziyeti olarak da söylenebilir. Omzun malzemeye teması kaynak bölgesine ilave bir ısı sağlar ve bu işlem sonucunda kaynak gerçekleştirilir [2], [4].

2.5. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA NOKTA KAYNAĞI (SKNK)

2.5.1. Genel Bilgi

SKNK yöntemi 1993'te Mazda tarafından icat edilmiş, tamamen yeni ve ergime olmaksızın bindirme bağlantısı gerçekleştirilen bir katı faz kaynak yöntemidir [1], [3], [6], [17], [19]. İlk olarak Mazda firması tarafından, önce Mazda RX-7 model spor arabaların sonrasında ise Mazda RX-8 model spor arabaların üretiminde kullanılmıştır. Yekpare alüminyum arka kapı için kaynak işlemi SKNK ile yapılmaktadır. Diğer bazı otomobil şirketleri de örneğin Ford, bazı modelleri için Al gövde kısımlarının kaynağını SKNK ile yaptıklarını duyurmuşlardır [1].

Malzemelerin birleştirme teknolojilerindeki bir yenilik olarak karşımıza çıkan SKNK, önemli bir buluştur. SKNK yöntemi etkili nokta bağlantıları geliştirmek için umut verici ve geleceği parlak bir bağlantı tekniği olarak tanımlanmaktadır. Devrim niteliğindeki bir birleştirme yöntemi olarak tanıtılan SKNK yöntemi, dünyada hafif alaşımlar için yeni fırsatlara yol açan yenilikçi ve özgün bir yöntemdir. Yöntem ayrıca, alüminyum, magnezyum ve diğer hafif metallerin bindirme bağlantıları için, Kawasaki Ağır Endüstrisi (KHI) tarafından geliştirilmiştir. Kaynak sırasında malzemede ergime olmayışı, çarpılmaları minimuma çeker ve daha iyi özellikte bağlantılar sağlar. Yöntemin basit ve çevre dostu olması, uygulanması sırasında duman ve ışın oluşmaması, koruyucu gaz, toz, tel veya elektroda gereksinim duyulmaması, yatırım maliyetinin düşük ve önemli derecede enerji tasarrufu sağlaması, ayrıca otomasyona da yatkınlığından dolayı Amerikan otomotiv endüstrisi için büyük bir ilgi konusu olmuştur. Bu teknoloji Ford tarafından da denenmiştir ve teknolojiyi daha da geliştirmek amacıyla Ford yoğun çalışmalar yapmaktadır [1].

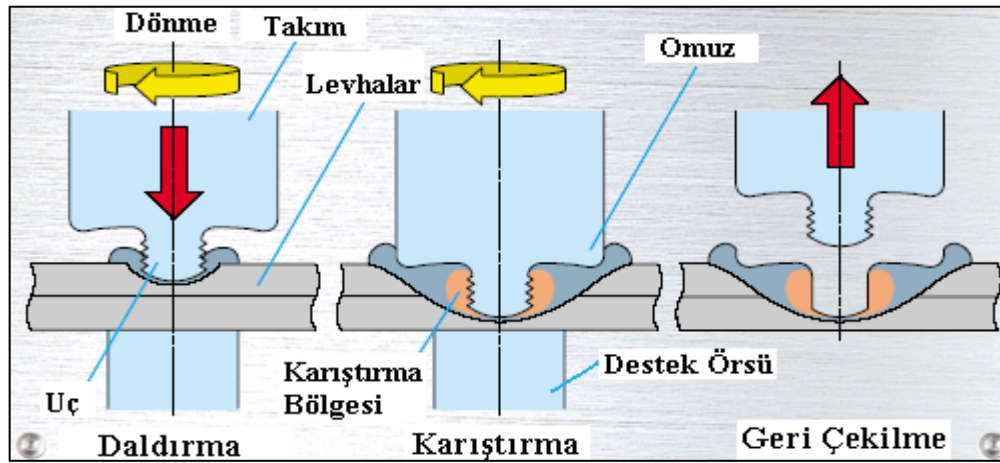
SKNK yönteminde meydana gelen kaynağın görünüşü, otomobil gövdelerinin montajı için yaygın olarak kullanılan DNK benzemektedir. SKNK yöntemi bir katı faz kaynak yöntemi oluşu ve diğer özelliklerinden dolayı gövde montajı ve diğer benzer uygulamalar için doğal olarak dikkat çekici hale gelmiştir. Yöntem alüminyum alaşımları, magnezyum, pirinç, bronz, bakır ve hatta ileri yüksek dayanımlı çelikler Advanced High Strength Steels (AHSS) için kullanılmaktadır. Otomobil gövde montajı için ilk kaynak yöntemi olan DNK, birçok yeni yüksek performanslı hafif ağırlıkta yapı malzemeleri, örneğin alüminyum alaşımları ve ayrıca ileri yüksek dayanımlı çelikler için problemler oluşturabilir. SKNK yöntemi ile yapılan ilk çalışmalar, alüminyum alaşımlarına

uygulanışının araştırılması ve geliştirilmesi üzerine olmuştur. Bununla beraber SKNK yöntemi, AHSS'nin kaynağında hem çelik gereksinimini sağlayan firmalara hem de otomobil kullanıcılarına bazı eşsiz teknik mükemmellikler sunmuştur. [1].

DNK otomotiv endüstrisinde çeliklerin birleştirilmesi için yaygın olarak kullanılır fakat hafif alaşımlar için iyi sonuç vermez. Al alaşımlarının birleştirilmesi için, yüksek akım gereksinimi ve bitmiş kaynak bağlantısının kalitesindeki tutarsızlıktan dolayı DNK yöntemi pek uygun değildir. Günümüzde ise otomotiv endüstrisinde, geleneksel çelik elemanlar yerine hafif alaşımların kullanımı önemli bir şekilde artmıştır. Alüminyumun çeliğe oranla daha yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, çeliğin daha yüksek enerji tüketimine ve daha yüksek enerji kapasiteli ve de alt yapı gerektiren sistemlere sahip olmasını gerektirir. Bu durum ayrıca sık sık elektrot örtüsünün aşınmasına ve elektrot ömrünün azalmasına neden olur. Otomobil gövde ve kapıları için yaygın olarak kullanılan Al alaşımları ise, aracın ağırlığını azaltır. Böylece daha az yakıt kullanımı söz konusudur. Bu durum ekonomik açıdan yarar sağladığı gibi daha az egzoz gazı çıkışını da sağlamaktadır. Böylece aracın performansı artarken, çevrede daha az kirletilmiş olur [1].

2.5.2. SKNK Yönteminin Uygulanışı

SKNK yönteminin uygulanabilmesi için Şekil 2.17'de görüleceği gibi 3 aşmaktan oluşan çok basit bir proses vardır. Bunlar; 1-Daldırma, 2-Karıştırma, 3-Geri çekmedir [1], [6], [7], [17].



Şekil 2.17. SKNK yönteminin uygulanışı [1], [17].

1-Daldırma: Belli bir devir sayısında dönme hareketi yapan kaynak takımının karıştırıcı uç tabanının malzeme yüzeyine teması ile malzeme içerisine malzemenin üst yüzeyine

dik doğrultuda belli bir ilerleme ile dalma yaptığı son nokta arasındaki mesafedir ki çoğunlukla kaynak takımının omuz kısmı malzemenin üst yüzeyinden bir miktar içeri girmesi ile dalma hareketi sonlandırılır. Dalma esnasında takım döndüğünden dolayı karıştırıcı ucun ilk olarak temas etmesi sırasında temas ettiği bölge yumuşar ve ilerleme devam ettikçe PP malzemedeki yumuşama sürer ve kaynak takımı herhangi bir zorlanma ile karşılaşmadan dalma hareketini tamamlar [1], [6], [7], [17].

2-Karıştırma: Dalma işlemi gerçekleştiikten sonra dönen takımın kaynak edilecek her iki malzemenin de yumuşayarak akıcılık kazanması ve bu sayede birbirleri ile karışması için belli bir süre boyunca takımın dalma konumunda bekletilmesidir. Karıştırma sırasında, dönen karıştırıcı pim ile malzeme arasındaki sürtünme sırasında ortaya çıkan ısı temas bölgesindeki PP malzemenin ısısının yükselmesi ile beraber yumuşayarak akıcı hale gelmesine neden olmaktadır. Isı yayılımı karıştırma safhası boyunca geçen süre içerisinde devam eder ve yüzeye temas eden omuz bölgesinin de karıştırıcı pim gibi bir miktar malzemeyi yumuşatarak akıcılık özelliği kazandırması ile bir kaynak havuzunun oluşması sağlanır. Kaynak havuzunu dolduran yumuşamış malzeme hacmi, karıştırıcı pim üzerinde bulunan helisel kanalların yardımı ile kaynak takımının ekseni doğrultusunda ve aynı zamanda dönen karıştırıcı pimin sürtünme kuvveti ve yine dönen omuz kısmının tabanının sürtünme kuvveti ile kaynak takımının ekseni etrafında dönerek karışma işlemi gerçekleşir [1], [6], [7], [17].

3-Geri çekme: Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra dönmeye devam eden kaynak takımı belli bir ilerleme hızında kaynak takımı ekseni doğrultusunda ve dalma yönüne zıt olarak geri çekilerek kaynaklanmış malzemelerden uzaklaştırılır. Geri çekme işlemi tamamlandıktan sonra kaynak bölgesinde karıştırıcı uç profiline benzer bir profilde karakteristik bir boşluk kalır [1], [6], [7], [17].

SKNK sonucunda oluşan kaynak kesit profili literatürde “Fincan Tabağı Formu” olarak nitelendirilmektedir [1]. Yöntemin başarısına ve bağlantının dayanımına etki eden beş ana parametresi ise takımın geometrisi, dönme hızı (devir sayısı), dalma hızı, dalma derinliği ve karıştırma süresidir (takım geri çekilmeden önceki karıştırma süresidir) [1], [3], [4], [6], [7], [19], [20].

2.5.3. SKNK Yönteminin Başarısını Etkileyen Parametreler

SKNK yönteminin başarısını etkileyen bu 5 temel parametreyi açıklayacak olursak:

1- Takım Geometrisi: Takım geometrisi, takımın kaynak edilecek parçalara temas edecek

olan bölgenin kesitidir ki bu kesit kaynak edilecek malzeme ile takım arasındaki sürtünerek ısı oluşturan profil geometrisini tanımlar. Takım geometrisi sürtünme ısısından dolayı yumuşayarak kaynak havuzunu meydana getiren yarı akışkan malzemenin kaynak bölgesinden dışarı kaçmasını engellemesi beraberinde aynı zamanda bir biri üzerine bindirilen malzemeler arasında oluşan kaynak havuzundaki yarı akışkan malzemenin olabildiğince iyi karışmasını sağlamalıdır. Bu karıştırma işlemi esnasında özellikle karıştırıcı merkez pim, karışıma maksimum oranda yarı akışkan malzeme dahil etmeli ve karıştırma işleminin sürekliliğini sağlamalıdır [1], [3], [4], [6], [7], [19], [20].

2- Kaynak Takımının Devir Sayısı: Kaynak takımının kaynak edilecek malzemeler ile arasında bir sürtünme oluşmalıdır ki bir miktar malzeme yumuşasın ve bir kaynak havuzu meydana getirebilsin. Bunun sağlanabilmesi için mutlaka kaynak edilecek parçalar ile kaynak takımı arasındaki temas bölgesinde hareket olmalıdır. Kaynak takımı ile kaynak edilecek malzemeler arasındaki bu hareket takımın belli bir dönme devrinde döndürülmesi ile gerçekleşir. Dönme devri arttıkça takımın çevrel hızı artacağından dolayı sürtünme hızı da artar. Dolayısı ile takımın dönme devri arttıkça daha kısa sürede kaynak havuzu meydana gelir [1], [3], [4], [6], [7], [19], [20].

3- Dalma Hızı: Dalma hızı diğer parametrelere nazaran kaynak mukavemetini en az etkileyen parametredir. Dalma hızı mm/dk cinsinden kaynak takımının kaynak edilecek parça yüzeyinden dalma derinliğine ulaşıncaya kadar ki ilerleme hızıdır [1], [3], [4], [6], [7], [19], [20].

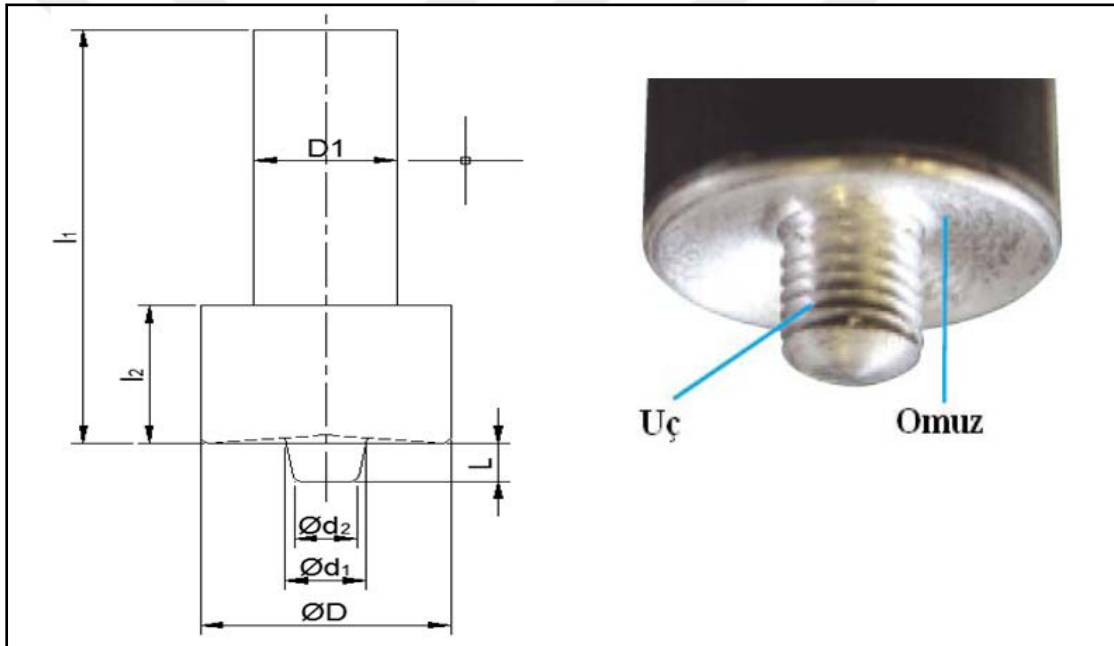
4- Dalma Derinliği: Belli bir devir sayısında dönme hareketi yapan kaynak takımının karıştırıcı uç tabanının malzeme yüzeyine teması ile malzeme içerisine malzemenin üst yüzeyine dik doğrultuda belli bir ilerleme ile dalma yaptığı son nokta arasındaki mesafedir ki çoğunlukla kaynak takımının omuz kısmı malzemenin üst yüzeyinden bir miktar içeri girmesi ile dalma hareketi sonlandırılır [1], [3], [4], [6], [7], [19], [20].

5- Karıştırma Süresi: Dalma işlemi gerçekleştikten sonra dönen takımın kaynak edilecek her iki malzemenin de yumuşayarak akıcılık kazanması ve bu sayede birbirleri ile karışması için belli bir süre boyunca takımın dalma konumunda bekletilme süresidir. Karıştırma süresi boyunca, dönen karıştırıcı pim ile malzeme arasındaki sürtünme sırasında ortaya çıkan ısı temas bölgesindeki PP malzemenin ısısının yükselmesi ile beraber yumuşayarak akıcı hale gelmesine neden olmaktadır. Isı yayılımı karıştırma safhası boyunca geçen süre içerisinde devam eder ve yüzeye temas eden omuz bölgesinin

de karıştırıcı pim gibi bir miktar malzemeyi yumuşatarak akıcılık özelliği kazandırması ile bir kaynak havuzunun oluşması sağlanır. Bu esnada kaynak havuzunu dolduran yumuşamış malzeme hacmi, karıştırıcı pim üzerinde bulunan helisel kanalların yardımı ile karışarak kaynak bölgesinin dayanımının artması sağlanır [1], [3], [4], [6], [7], [19], [20].

2.5.4. SKNK Takımı

Takımın iki önemli kısmı vardır: (1) Karıştırıcı uç ve (2) Omuz. Çok farklı karıştırıcı uç ve omuz geometrileri olabilmektedir [3]. Birleştirme takımı Şekil 2.20'deki gibi, genellikle silindirik bir takımın merkezinde erkek olarak işlenmiş vidalı, konik, üçgen profilli veya özel bir profilde tasarlanmış takım ucu tasarımına sahiptir [1].



Şekil 2.18. Örnek bir SKNK takımı [1].

ØD = Omuz Çapı

Ød_1 = Konik Ucun Büyük Çapı

L = Uç Boyu (mm)

l_2 = Omuz Boyu (mm)

l_1 = Takım Boyu (mm)

ØD_1 = Sap Çapı (mm)

Ød_2 = Konik Ucun Küçük Çapı

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. KAYNAK İŞLEMİ İÇİN KULLANILAN MALZEME

Deneysel çalışmada kaynaklı bağlantıların oluşturulmasında kullanılacak olan numuneler için, DIN EN ISO 15013 TG1.1 standardında, RÖCHLING Engineering Plastics firması tarafından 2000x1000x4 mm boyutlarında ekstrüzyon ürünü olarak üretilmiş, Polystone P-grau Homopolimer polipropilen (PP) levhalar temin edilmiştir. Malzemenin çalışma sıcaklığı 0-100 °C, camsı geçiş sıcaklığı (yumuşama sıcaklığı) 90°C ve erime sıcaklığı 162-167°C, yoğunluğu 0,91 gr/cm³, akma gerilmesi 32 Mpa, elastik modülü 1300 Mpa, darbe direnci 4 kJ/m², shore sertliği 72 scale D, dielektrik gerilimi 45 kV/mm'dir [21]. PP malzeme, kalıplanabilen, ekstrüzyonla çekilebilen, elyaf ve film haline getirilebilen termoplastiklerin en önemlisidir ve geniş bir kullanım alanı vardır. Elyaf, iplik, halat ve çuval lifi üretiminde, ayrıca ambalaj ipliği ve şeffaf ambalaj malzemesinde, paketlenme filmi üretiminde, özel gıda ambalajlarında en yaygın olarak da ekmek ambalajlamasında, peruk, sentetik çim, keçe, paspas, dokumasız tekstil ve halı üretiminde, yer döşemesi yapımında, masa örtüsü, hasır örgü, balık ağı, kumaş, güneşlik ve giyim eşyası yapımında, özel giysi üretiminde, tekstil bobinlerinin ve makaralarının imalatında, sentetik kağıt üretiminde, valiz, bavul, çanta imalatında, tıraş kremi ve diş macunu tüplerinde, plastik raf ve kaplarda, şişeler ve şişe kapaklarında, meşrubat şişesi kasalarında, aerosol kapak ve vanalarında, piknik ve yemek takımlarında, termoslarda, gösterge tabloları ve hassas cihaz kutularında, taşıma ve depolama kaplarında, plastik koli bandı yapımında, şerit ve film imalatında, tel, kablo kaplamasında ve diğer kaplama işlemlerinde, masa, sandalye gibi bahçe mobilyalarında ve çeşitli el aletlerinde, mutfak, banyo ve elektrikli ev eşya ve aletlerinde, örneğin elektrik süpürgesi, çamaşır ve bulaşık makinası parçalarında, deterjan çekmeceleri, çamaşır makinası tankı ve su pompası gövdelerinde, pencere ve kapı kollarında, ütü ve su ısıtıcısı gövdelerinde, filtre imalatında, optik ve elektrik malzemelerinde, elektrik düğme ve prizlerinde, ayakkabı topuğu, tarak, menteşe yuvası ve oyuncak yapımında, hastane ve laboratuvarda kullanılan malzemelerde ve tıbbi ekipmanlarda, örneğin steril sağlık gereçlerinde, 120 °C sıcaklıkta ve basınç altında sterilize edilerek tıbbi uygulamalarda kullanılan tüp ve enjektör

yapımında, ilaç ambalaj sanayinde, teyp ve video kasetlerinde, televizyon kasasında, ekstrüzyon ürünü çeşitli profillerin üretiminde, örneğin plastik boru, levha üretiminde, tüfek ve tabanca kabzasında, otomobil endüstrisinde çeşitli parçalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1], [8], [13], [22]-[24], [25].

3.2. KAYNAK İŞLEMİ İÇİN KULLANILAN SKNK TAKIMLARI

3.2.1. Takım Malzemesi

Kaynak işlemi için kullanılan takımların malzemesi AISI/SAE 1.4140 İslah Çeliğidir. Kimyasal bileşimleri karbon miktarı bakımından sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli yükler altında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımlı yapı çelikleridir. İndüksiyon edilebilirliği iyidir. Otomobil ve uçak yapımında, krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli ve çark yapımında kullanılır. Malzeme kimyasal bileşimi; Cr %0,9-1.2, C %0.38-0.45, Mn %0,5-0.8, Si 0.15-0.4, Mo %0.15-0.3, Pmax %0.035, Smax %0.035 şeklindedir. Isıl işlem özellikleri ise; Sıcak sekil verme sıcaklığı 850-1050 °C, Yumuşak Tavlama Sıcaklığı 680-720 °C, Yumuşak tavlama sertliği 241 HB, Normal tavlama sıcaklığı 840-880 °C, sertleştirme işlemi suda yapılacak ise; 820-850 °C'ye kadar ısıtılıp suda soğutulduğunda 54-56 HRc, yağda yapılacak ise; 830-860 °C'ye kadar ısıtılıp yağda soğutulduğunda 54-56 HRc sertliğe ulaşır, Meneviş sıcaklığı 540-680 °C'dir [1], [26]-[28].

3.2.2. Takım Geometrisi

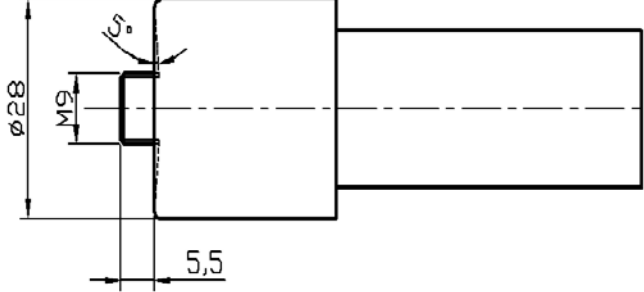

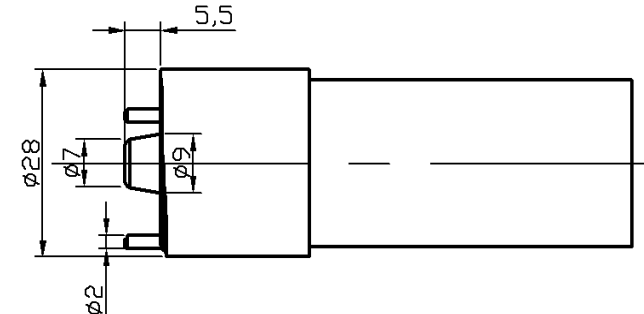

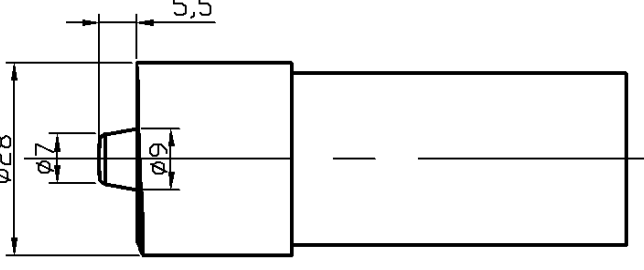

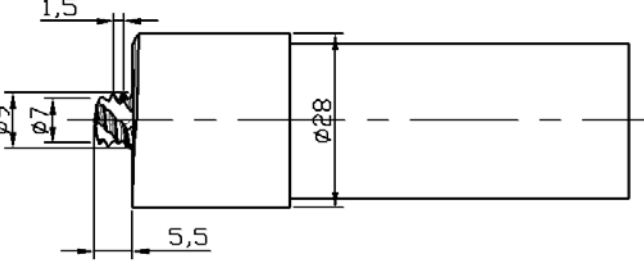

Bu çalışmada 4 farklı takım geometrisi kullanılmıştır. Kullanılan geometrilere ilişkin Çizelge 3.1'de görüleceği üzere her takıma bir adet kod verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan SKNK takımlarının kodlanması.

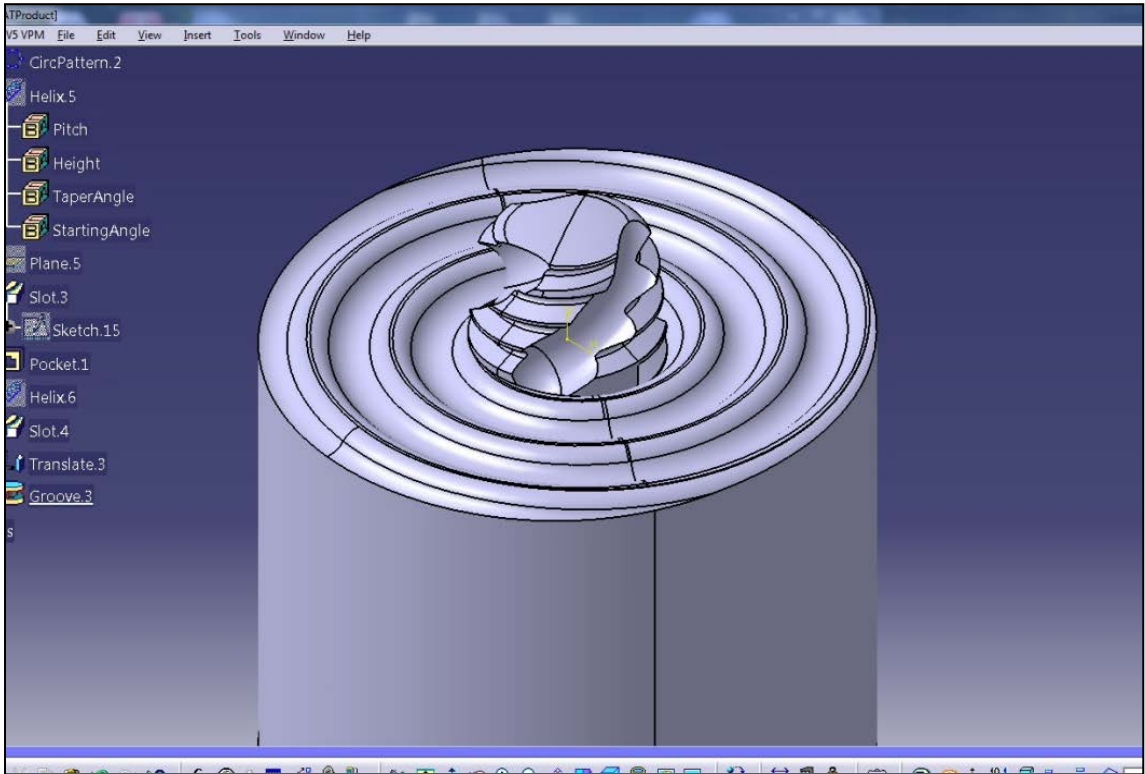
	Takımın Geometri Tanımı (Omuz Çapı x Omuz Tabanı x Merkez Pimi)	Takımın Kodu
1	Ø28, Düz Omuzlu, M9 Uçlu SKNK Takımı	T1
2	Ø28, Spiral Omuzlu, Karıştırıcı Pimli, Konik Uçlu SKNK Takımı	T2
3	Ø28, Spiral Omuzlu, Helis Uçlu SKNK Takımı	T3
4	Ø28, Spiral Omuzlu, Konik Merkez Pimli Takım	T4

Kullanılan takım geometrilerinin AutoCAD programında çizilmiş teknik resimleri ve fotoğrafları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

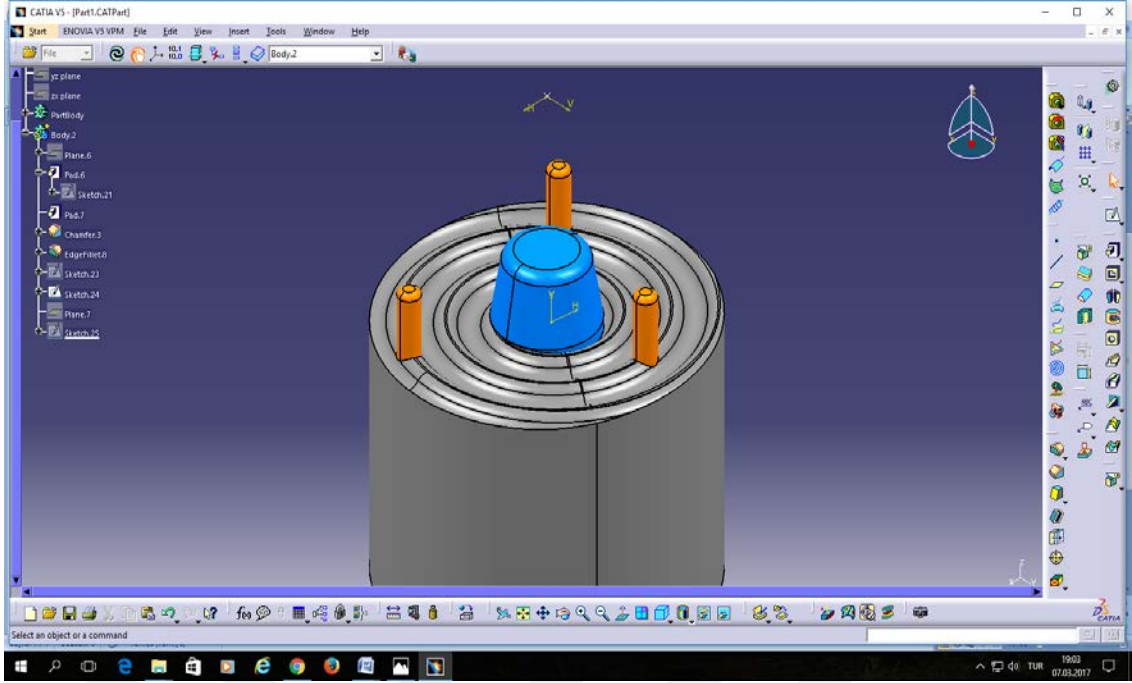
Çizelge 3.2. Kullanılan takımların teknik resimleri ve fotoğrafları.

TK	Takımın Teknik Resmi	Takımın Fotoğrafi
T1		
T2		
T4		
T3		

T3 takımının helisel ucu hariç kullanılan bütün takımlar kendi imkanlarımız kullanılarak imal edilmiştir. Helisel uç için ise dört eksenli CNC tezgahına sahip bir firmadan destek alınmıştır. Takımların silindirik gövdeleri, konik uç ve M9 uç Cumayeri MYO bünyesinde bulunan mekanik atölyedeki universal tornada, spiral omuz tabanı ise yine aynı atölyedeki üç eksenli CNC dik işleme merkezinde imal edilmiştir. Üç eksenli CNC dik işleme tezgahında ISO kod sistemine göre kod oluşturularak imal edilen takımların tasarımları Catia V5 CAD programında yapılmış ve ISO CNC kodları MATERCAM X6 CAM programında çıkarılmıştır. Şekil 3.1'de Catia V5 CAD programında tasarlanmış olan T3 kodlu takımın ekran fotoğrafı, Şekil 3.2'de ise T2 takımının Catia V5 CAD programında tasarlanmış halinin ekran fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 3.1. T3 kodlu takımın V5 CAD programında tasarlanmış halinin ekran görüntüsü.



Şekil 3.2. T2 kodlu takımın Catia V5 CAD programında tasarlanmış halinin ekran görüntüsü.

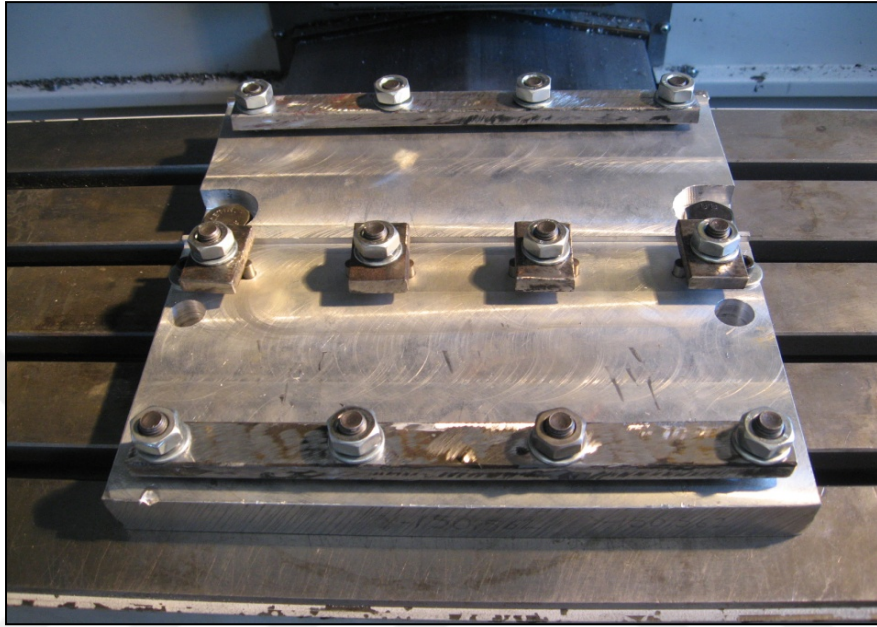
T3, T4 ve T2 takımlarında kullanılan omuz tabanının spiral olarak imal edilmesindeki amaç; takımın omuz kısmının malzemeye teması ve bir miktar malzemeden içeri girmesi esnasında takımın altından sıyrılıp kaynak bölgesini terk eden malzeme kaybının önüne geçilmek istenmesidir. Spiral omuz tabanında bulunan spiral kanallar takım dönme yönüne bağlı olarak dışarıdan içeriye doğru malzemeyi sürükler ve omuz tabanı ile temasa girerek ergiyen malzemenin kaynak bölgesinden dışarıya kaçışını engeller. Bu sayede daha fazla malzeme kaynak bölgesinde kalarak kaynak dayanımının artmasına neden olur.

T2 takımında kullanılan Karıştırıcı Pimler ise; bindirme yöntemi ile kaynaklanan parçaların birleşme yüzeyindeki kaynak alanını artırmak sureti ile kaynak dayanımını artırmaya yönelik olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Ayrıca bu kaynak takımı ile daha önce elde edilmemiş yeni bir kaynak profili elde edilmiştir.

3.3. SKNK’NIN UYGULANIŞI

Bu çalışmada birleştirme yöntemi olarak SKNK kaynağında kullanılan bindirme birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bindirme birleştirme yöntemi gereğince SKNK kaynağı yapılacak olan numuneler birbiri üzerine bindirilerek Şekil 3.3’de görünen 3 adet

numunenin tek bağlama ile aynı anda imal edilebilmesine olanak sağlayan bir bağlama aparatı yardımı ile kaynaklanarak imal edilmişlerdir. Aparatın imalatı Cumayeri MYO bünyesinde bulunan mekanik atölyedeki üç eksenli CNC dik işleme tezgahında yapılmıştır. Bindirme yöntemi için gereken hassasiyet üç eksenli CNC dik işleme tezgahının kullanımı ile sağlanmıştır.



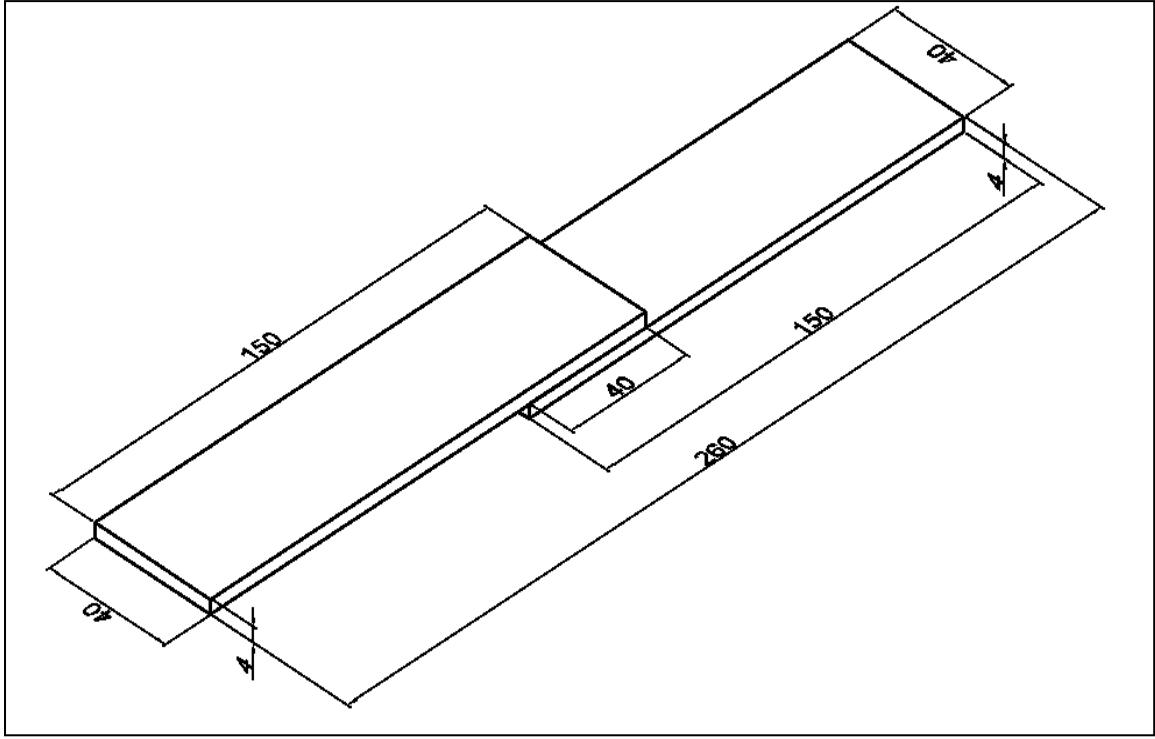
(a)



(b)

Şekil 3.3. SKNK Bindirme Birleştirme kaynağı bağlama aparatı. (a) Aparatın boş hali, (b) Aparatın dolu hali.

SKNK ile birleştirilecek parçaların kaynak dayanımlarını belirlemek amacıyla imal edilen numuneler çekme testine tabi tutulacağından dolayı TS EN 12814-2 standardına uygun geometride 4 mm kalınlığındaki PP levhadan 150x40 mm ölçülerinde daire testere tezgâhı yardımı ile kesilerek Şekil 3.4’de gösterilen şekilde üst üste bindirilmiş ve ’te görünen üç eksenli CNC dik işleme tezgahında SKNK işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. SKNK bağlantısı için bindirme şekli.

SKNK işlemi için kullanılan üç eksenli CNC dik işleme merkezinin maksimum devri 10000 dev/dk, maksimum ilerlemesi 20000 mm/dk, konumlama hassasiyeti 0,005 mm, kontrol paneli FANUC marka Oi-Mate modeli ve kullandığı kod sistemi ISO G, M kod sistemidir. SKNK işlemi için kontrol paneli üzerinden kullanılan parametrelerin ISO programı olarak yazılması ve daha sonra bu programın çalıştırılarak kaynak operasyonunun otomatik olarak yapılması sağlanmıştır. SKNK için kullanılan tezgahta yapılan işlem son derece hassastır. Girilen parametrelerin tezgâh tarafından otomatik olarak uygulanması sonucunda, yapılan birleştirme işlemi oldukça dar toleranslar içinde gerçekleştirilebilmiştir. SKNK işlemi için kullanılan First MCV300 model CNC dik işleme tezgâhı Şekil 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.5. FİRST marka MCV300 modeli üç eksenli CNC dik işleme merkezi.

SKNK yönteminde kaynak mukavemetini etkileyen beş önemli parametrenin, 1- Takım geometrisi, 2- Kaynak takımının devir sayısı, 3- Dalma hızı, 4- Dalma derinliği ve son olarak da 5- Karıştırma süresi olduğu daha önce belirtilmişti. Bu parametreler için bu çalışmada dört farklı takım geometrisi kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada kaynak mukavemetine en çok etki eden parametreler değiştirilmek sureti ile en iyi kaynak mukavemetini sağlayan parametreler tespit edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan parametre değerleri, üç eksenli CNC dik işleme tezgahında, ISO G, M kod sistemi ile hazırlanan CNC programına girilmek suretiyle otomatik olarak SKNK işlemi için denenerek, numuneler imal edilmiştir. İmalatı yapılan numuneler çekme testine tabi tutularak her bir numunenin kaynak mukavemeti belirlenmiştir. Bu sayede en yüksek çekme dayanımına sahip olan numuneler için kullanılan parametreler belirlenmiştir. Böylece, çalışmada en iyi mukavemet değerleri için optimum kaynak parametrelerinin tespiti sağlanmıştır. Bunun yanı sıra kendi imkanlarımızla imal edilmiş olan numune alma cihazında, kaynaklanmış parçaların kaynak bölgelerinden numuneler alınmıştır. Alınan numunelerin kaynak bölgeleri optik mikroskopla incelenerek kaynak mukavemetine etki eden faktörler araştırılmıştır. Ayrıca yine optik mikroskopta kopma bölgeleri incelenmiş kaynak mukavemetine etki eden diğer faktörler araştırılmıştır.

3.4. KAYNAK MUKAVEMETİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada en yüksek çekme dayanımını elde edebilmek için uygun parametrelerin optimum değerlerini saptamak amacıyla Çizelge 3.3. Belirlenen parametre değerleri'deki kaynak dayanımına en fazla etki eden parametreler denenmiştir. En uygun devir sayısını belirlemek amacıyla 750-2000 dev/dk aralığı için 6 farklı değer, en uygun karıştırma süresini belirlemek amacıyla 30-150 sn aralığı için 5 farklı değer, en uygun dalma derinliğini belirlemek amacıyla 5,75-6,5 mm aralığı için 4 farklı değer ve en uygun takım geometrisini belirlemek amacıyla Şekil 3.1'de gösterilen 4 farklı takım geometrisi belirlenmiştir. Dolayısıyla her bir geometri için $6 \times 5 \times 4 = 120$ adet numune üretimi planlanmıştır. Fakat her bir takım geometrisi için yapılan ön deneyler neticesinde bazı takımların geometrilerinden kaynaklanan nedenlerle kaynak dayanımlarının oldukça düşük çıkması ve kaynak işleminin çok uzun sürmesi ve birçok güçlükle karşılaşılması nedeniyle bazı takımlar için yapılan deney sayısı daha az olmuştur. SKNK yöntemi ile CNC dik işleme merkezinde ISO G, M kod sistemi kullanılarak İmal edilmiş olan numunelere uygulanan çekme-koparma testleri sonuçlarına göre max. çekme kuvveti açısından en uygun parametre değerleri tespit edilmiştir.

Çizelgelerde kullanılan parametre değerlerini ifade etmek amacıyla parametre adlarının baş harflerinden oluşan kısaltmalar kullanılmıştır. Buna göre; Takım Devri parametresini dev/dk. cinsinden ifade etmek amacıyla TD kısaltması, Dalma Hızı parametresini mm/dk. cinsinden ifade etmek amacıyla DH kısaltması, Karıştırma Süresi parametresini sn. cinsinden ifade etmek amacıyla KS kısaltması, Dalma Derinliği parametresini mm cinsinden ifade etmek amacıyla DD kısaltması kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Belirlenen parametre değerleri.

TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (Sn)	DD (mm)
750	100	30	5,75	1500	100	30	5,75
750	100	30	6	1500	100	30	6
750	100	30	6,25	1500	100	30	6,25
750	100	30	6,5	1500	100	30	6,5
750	100	60	5,75	1500	100	60	5,75
750	100	60	6	1500	100	60	6
750	100	60	6,25	1500	100	60	6,25
750	100	60	6,5	1500	100	60	6,5
750	100	90	5,75	1500	100	90	5,75
750	100	90	6	1500	100	90	6

Çizelge 3.3. (devam). Belirlenen parametre değerleri.

TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (Sn)	DD (mm)
750	100	90	6,25	1500	100	90	6,25
750	100	90	6,5	1500	100	90	6,5
750	100	120	5,75	1500	100	120	5,75
750	100	120	6	1500	100	120	6
750	100	120	6,25	1500	100	120	6,25
750	100	120	6,5	1500	100	120	6,5
750	100	150	5,75	1500	100	150	5,75
750	100	150	6	1500	100	150	6
750	100	150	6,25	1500	100	150	6,25
750	100	150	6,5	1500	100	150	6,5
1000	100	30	5,75	1750	100	30	5,75
1000	100	30	6	1750	100	30	6
1000	100	30	6,25	1750	100	30	6,25
1000	100	30	6,5	1750	100	30	6,5
1000	100	60	5,75	1750	100	60	5,75
1000	100	60	6	1750	100	60	6
1000	100	60	6,25	1750	100	60	6,25
1000	100	60	6,5	1750	100	60	6,5
1000	100	90	5,75	1750	100	90	5,75
1000	100	90	6	1750	100	90	6
1000	100	90	6,25	1750	100	90	6,25
1000	100	90	6,5	1750	100	90	6,5
1000	100	120	5,75	1750	100	120	5,75
1000	100	120	6	1750	100	120	6
1000	100	120	6,25	1750	100	120	6,25
1000	100	120	6,5	1750	100	120	6,5
1000	100	150	5,75	1750	100	150	5,75
1000	100	150	6	1750	100	150	6
1000	100	150	6,25	1750	100	150	6,25
1000	100	150	6,5	1750	100	150	6,5
1250	100	30	5,75	2000	100	30	5,75
1250	100	30	6	2000	100	30	6
1250	100	30	6,25	2000	100	30	6,25
1250	100	30	6,5	2000	100	30	6,5
1250	100	60	5,75	2000	100	60	5,75
1250	100	60	6	2000	100	60	6
1250	100	60	6,25	2000	100	60	6,25
1250	100	60	6,5	2000	100	60	6,5
1250	100	90	5,75	2000	100	90	5,75
1250	100	90	6	2000	100	90	6
1250	100	90	6,25	2000	100	90	6,25
1250	100	90	6,5	2000	100	90	6,5
1250	100	120	5,75	2000	100	120	5,75
1250	100	120	6	2000	100	120	6
1250	100	120	6,25	2000	100	120	6,25
1250	100	120	6,5	2000	100	120	6,5
1250	100	150	5,75	2000	100	150	5,75
1250	100	150	6	2000	100	150	6
1250	100	150	6,25	2000	100	150	6,25
1250	100	150	6,5	2000	100	150	6,5

3.5. KAYNAK MUKAVEMETİNİ BELİRLEMEK AMACIYLA UYGULANAN TEST YÖNTEMİ

Bu çalışmada her bir numune için kaynak mukavemetini belirlemek amacıyla SKNK işlemi uygulanan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Düzce Üniversitesi Gümüşova MYO bünyesindeki metalürji laboratuvarında bulunan Şekil 3.6'deki, max. yükleme kapasitesi 5kN olan TIME GROUP INC. firmasının WDW-E 5kN serisi universal elektromekanik test cihazı kullanılarak, kaynaklı parçaların TS EN 12814-2 standardına uygun olarak çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme test hızı 20 mm/dak ve çeneler arası mesafe 180 mm olarak ilgili standarda göre belirlenmiştir. Bindirme numuneleri çekme cihazının çenelerine bağlanırken, parçaların eksenini ile çenelerin ekseninin çakışması için, gerektiğinde levhalarla aynı kalınlığa sahip parçalar kullanılarak çekme çenelerine sıkıştırılması sağlanmıştır.

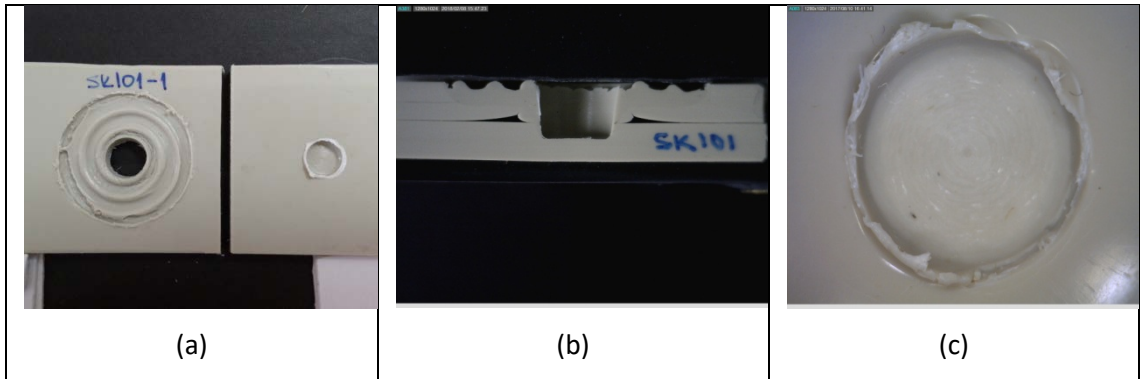


Şekil 3.6. Yükleme kapasitesi 5kN olan TIME GROUP INC. firmasının WDW-E 5kN serisi universal elektromekanik test cihazı.

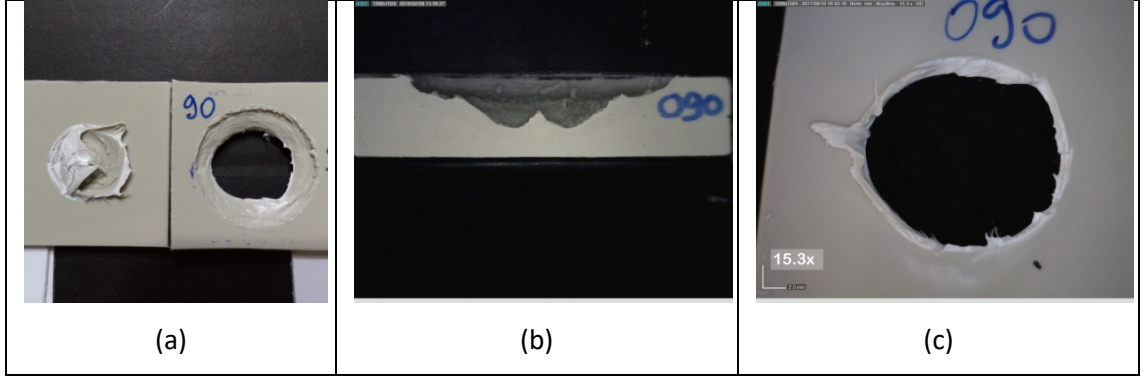
Elektronik ortamda kaydedilmiş ilgili test sonuçları ve kaynak işleminin gerçekleştirildiği parametreler tablo haline getirilerek, çekme kuvvetlerinin hangi parametrelerde elde edildiği daha net olarak görülmüştür. Aynı zamanda en iyi çekme kuvvetini sağlayan parametreler belirlenmiştir.

3.6. ÇEKME TESTİ SONUCUNDA ORTAYA ÇIKAN KOPMA TÜRLERİ

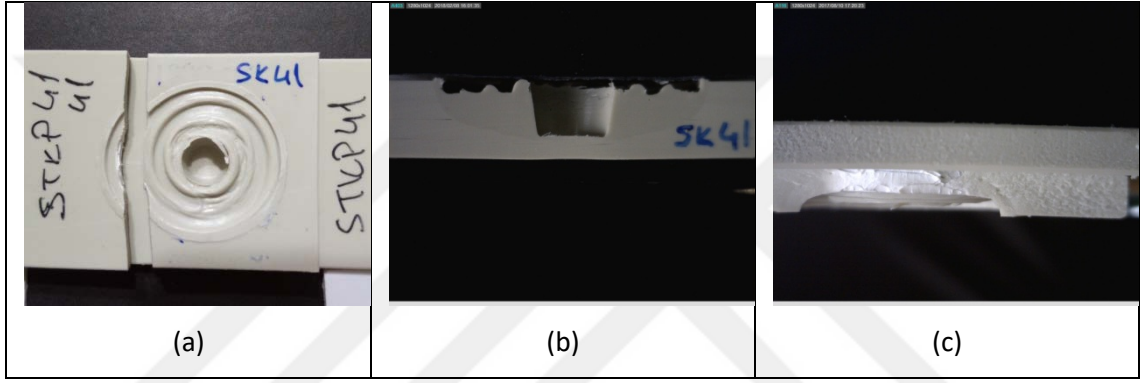
Çekme testi sonucunda ortaya çıkan kopma fotoğrafları incelendiğinde, kopmanın üç farklı şekilde oluştuğu gözlemlenmiştir. Kaynak işleminin küçük bir alanda oluştuğu düşük bekleme süreleri, yetersiz dalma derinlikleri ve düşük takım devirlerinde pim esaslı kopma, parametrelerin artışı ile takım omzunun kaynak bölgesi oluşumuna katıldığı, bununla beraber kaynak dayanımının arttığı omuz esaslı kopma, kaynak bölgesinin omuz çapının kenarına yakın bir yerinden kaynaklanmamış bölgeyi de içine alacak şekilde enine bir hat çizerek oluşan ara yüzey esaslı kopma şekilleri ortaya çıkmıştır. Bunlardan ilkinde, kopma bölgesinin kaynak takımı piminin dönmesi ile beraber pim çevresindeki sürtünme sonucu oluşan kaynağa pim esaslı kopma adı verilmiştir. Şekil 3.7’de pim esaslı kopma türüne ait kaynak bölgesinin üstten çekilmiş kopmuş fotoğrafı, kaynak kesiti ve optik mikroskop fotoğrafları verilmiştir. İkincisinde, kopma bölgesinin kaynak takımı omzunun etrafında çevresel olduğu görülmüş ve bu kopma işlemine omuz esaslı kopma adı verilmiştir. Şekil 3.8’de omuz esaslı kopma türüne ait kaynak bölgesinin üstten çekilmiş kopmuş fotoğrafı, kaynak kesiti ve optik fotoğrafları verilmiştir. Üçüncüsünde ise, kopma bölgesinin üst levhada esas malzemede enine olarak ve kaynak bölgesi kenarında ilerleme gösterecek şekilde gerçekleştiği görüldüğünden bu kopma türüne ara yüzey esaslı kopma adı verilmiştir. Şekil 3.9’da ara yüzey esaslı kopma türüne ait kaynak bölgesinin üstten çekilmiş kopmuş fotoğrafı, kaynak kesiti ve optik mikroskop fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 3.7. Pim esaslı kopma türüne ait kaynak bölgesinin üstten çekilmiş kopmuş fotoğrafı (a), kaynak kesiti (b) ve optik mikroskop fotoğrafları (c).



Şekil 3.8. Omuz esaslı kopma türüne ait kaynak bölgesinin üstten çekilmiş kopmuş fotoğrafı (a), kaynak kesiti (b) ve optik mikroskop fotoğrafları (c).



Şekil 3.9. Ara yüzey esaslı kopma türüne ait kaynak bölgesinin üstten çekilmiş kopmuş fotoğrafı (a), kaynak kesiti (b) ve optik mikroskop fotoğrafları (c).

4. BULGULAR

Bu çalışma için 4 farklı takım geometrisi, 6 farklı takım devri, 5 farklı dalma derinliği ve 4 farklı karıştırma süresi belirlenerek toplamda $6 \times 5 \times 4 = 120$ adet numuneye SKNK uygulanmıştır. Her bir takıma ait kod Çizelge 3.2’de verilmiştir. Her bir numune için ise Numune Kodu “NK” olarak adlandırılan sütunlarda belirtilmiştir.

4.1. T1 TAKIMINA AİT PARAMETRELERİN MAX. ÇEKME KUVVETİNE ETKİSİ

T1 takımı için ön deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda 6 farklı devir sayısı 5 farklı karıştırma süresi ve 4 farklı dalma miktarı belirlenerek çekme numuneleri üretilmiş ardından bu numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.1’de, belirlenen parametreler ile üretilen numunelerden en iyi max. çekme kuvvetine sahip ilk 10 adet numunenin sıralaması görülmektedir. Buna göre en yüksek max. çekme kuvveti 1000 dev/dk’da 60 sn karıştırma süresine sahip, 6 mm dalma derinliğinde üretilen numunenin 2907 N max. çekme kuvvetine sahip T1 takımı ile üretilmiş 090 kodlu numuneye aittir. Ayrıca max. çekme kuvvetleri incelendiğinde en iyi on max. çekme kuvvetine sahip numunelerin altı adedinin dalma derinliğinin 6 mm olan numuneler olduğu ve bu numunelerinde üç tanesinin 1000 dev/dk devir ile üretildiği görülmektedir.

Çizelge 4.1.T1 takımı ile üretilen max. çekme kuvveti açısından en iyi değerlere sahip olan ilk 10 adet numuneye ait parametre ve max. çekme kuvveti değerleri.

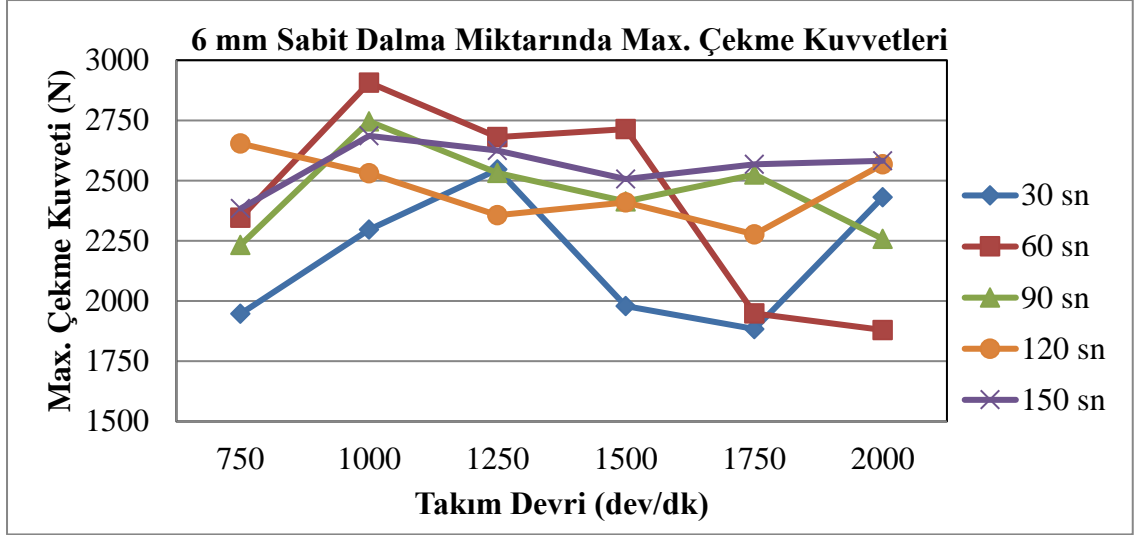
NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
090	1000	100	60	6	2907
035	1500	100	150	6,25	2780
082	1750	100	150	5,75	2773
094	1000	100	90	6	2746
037	1500	100	60	6	2714
102	1000	100	150	6	2686
110	1250	100	60	6	2681
059	750	100	120	6	2654
093	1000	100	90	5,75	2645
100	1000	100	120	6,5	2644

4.1.1. Takım Devrinin Kaynak Dayanımına Etkisi

Buna göre en iyi çekme kuvvetine 1000 dev/dk'da üretilen numunelerde ulaşılmıştır. Devir sayısı 1000 dev/dk'nın üzerine çıktığında max. çekme kuvvetinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. Devir sayısı 1000 dev/dk'nın altındaki devirlerde ise max. çekme kuvveti belirgin seviyede düşmektedir. En düşük max. çekme kuvveti 750 dev/dk devir sayısı ile üretilen 043 kodlu 972 N max. çekme kuvvetine sahip numunede olduğu görülmüştür. Çizelge 4.2'deki max. çekme kuvvetleri, 100 mm/dk sabit dalma hızı, 60 sn sabit karıştırma süresi ve 6 mm sabit dalma derinliği ile üretilen çekme numunelerinde ölçülmüştür. Max. çekme kuvveti değerleri için tek değişken devir sayısı olduğundan dolayı, devir sayısının max. çekme kuvvetine etkisi Şekil 4.1'deki grafikte net olarak görülebilmektedir.

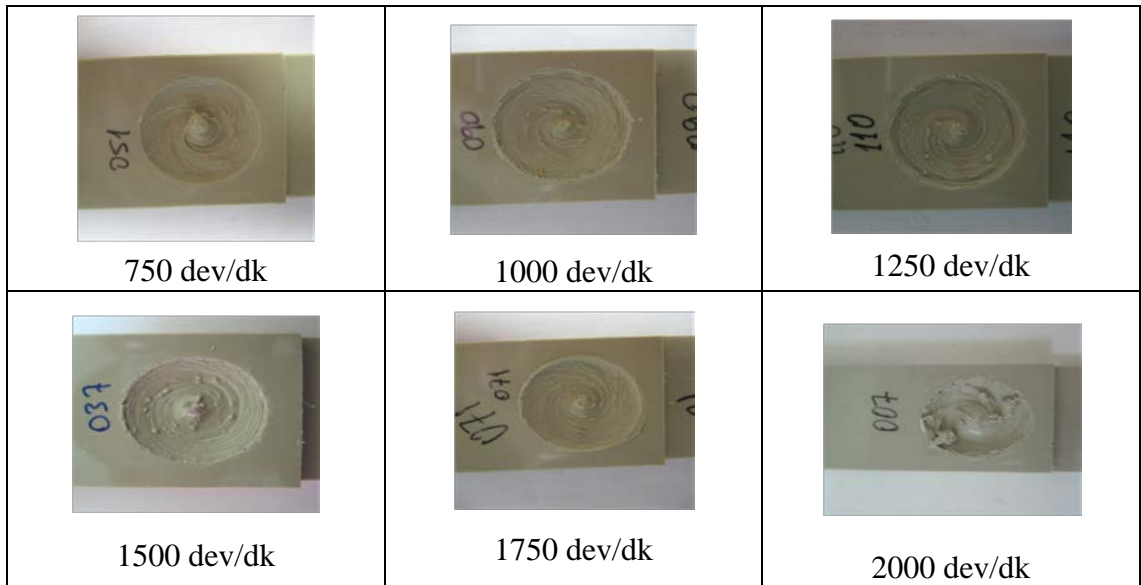
Çizelge 4.2. T1 takımı için devir sayısının kaynak dayanımı üzerindeki etkisi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
047	750	100	30	6	1947
013	1000	100	30	6	2297
106	1250	100	30	6	2546
021	1500	100	30	6	1979
067	1750	100	30	6	1884
025	2000	100	30	6	2431
051	750	100	60	6	2346
090	1000	100	60	6	2907
110	1250	100	60	6	2681
037	1500	100	60	6	2714
071	1750	100	60	6	1948
007	2000	100	60	6	1880
055	750	100	90	6	2233
094	1000	100	90	6	2746
114	1250	100	90	6	2532
023	1500	100	90	6	2413
075	1750	100	90	6	2525
018	2000	100	90	6	2258
059	750	100	120	6	2654
098	1000	100	120	6	2531
117	1250	100	120	6	2357
124	1500	100	120	6	2410
079	1750	100	120	6	2277
040	2000	100	120	6	2568
063	750	100	150	6	2384
102	1000	100	150	6	2686
119	1250	100	150	6	2625
034	1500	100	150	6	2506
083	1750	100	150	6	2568
045	2000	100	150	6	2582



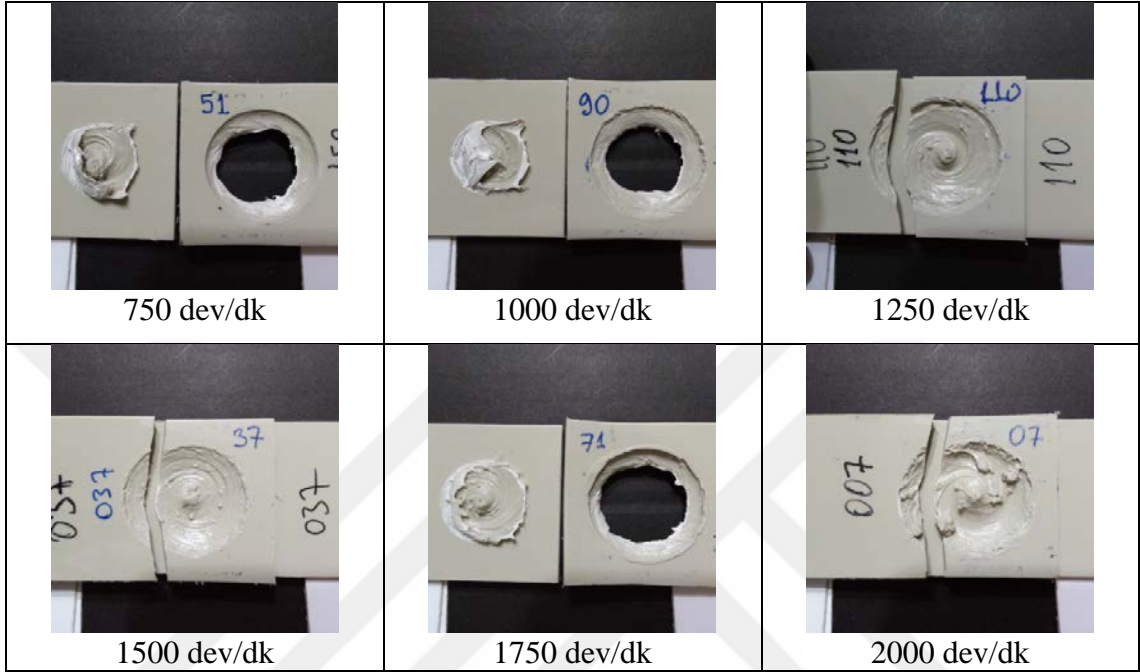
Şekil 4.1. T1 takımı için kaynak takımının devir sayısının max. çekme dayanımı üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.

Şekil 4.2'deki 750-2000 dev/dk devir aralığındaki 6 farklı devir sayısı ile birleştirilen sabit 60 sn karıştırma süresi ve 6 mm dalma derinliği uygulanan numunelerin çekme deneyi öncesi kaynak bölgesinin üstten görüntüleri benzerlik göstermektedir. Çekme deneyi öncesi kaynak bölgeleri incelendiğinde, kaynak bağlantısının oldukça düzgün bir şekilde gerçekleştirildiği, alt ve üst parçaya ait parçaların birleştirme işlemine katıldığı, bağlantının hedefine ulaştığı gözlemlenmektedir. Buda imal edilen kaynak takımının yapılan işleme uygun olduğunu göstermektedir.



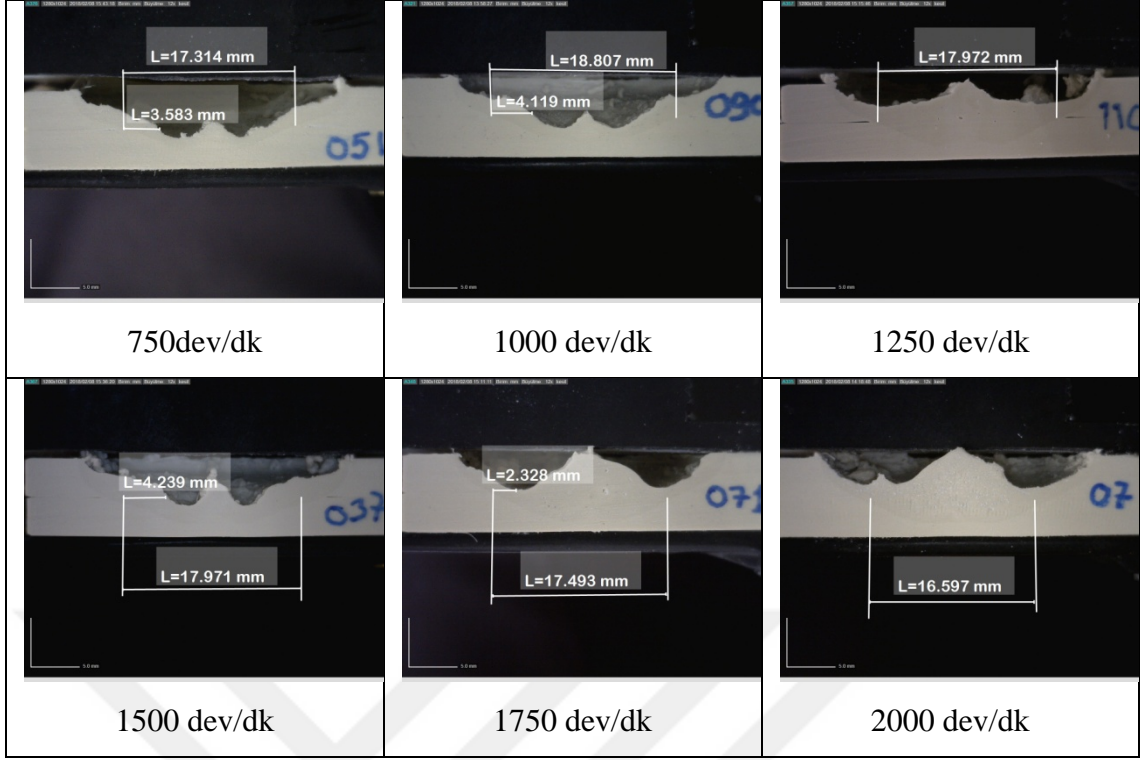
Şekil 4.2. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görüntüleri.

Aynı numuneler için Şekil 4.3'deki çekme testi sonrası kaynak bölgesi kopma fotoğrafları incelendiğinde ise iki farklı kopma tipi gözlenmektedir. Buna göre, 750, 1000 ve 1750 dev/dk devir sayıları ile üretilen numunelerin çekme testi sonrasında omuz esaslı koptuğu, 1250, 1500 ve 2000 dev/dk devir sayılarında ise ara yüzey esaslı koptuğu görülmektedir.



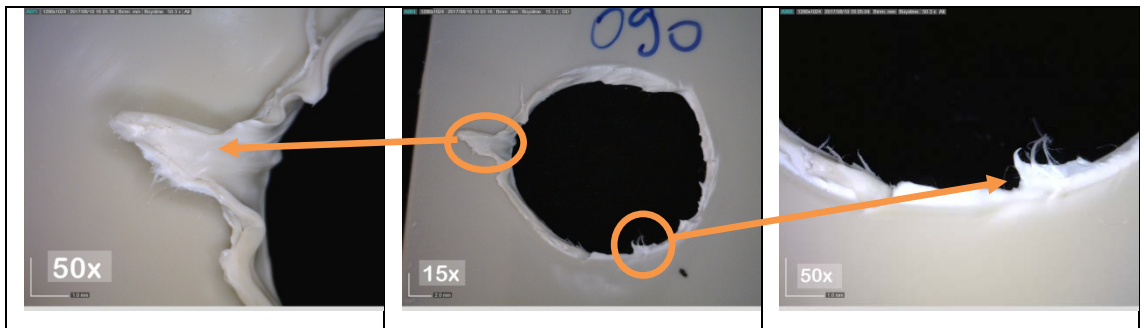
Şekil 4.3. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme-koparma testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünüşleri.

Şekil 4.4'de optik mikroskop görüntüleri ara kesit kaynak çapı ve nüfuziyet açısından incelendiğinde, ara kesit kaynak çapının ve nüfuziyetin artması ile çekme kuvveti değerlerinin arttığını destekleyen önemli veriler elde edilmiştir. Buna göre dalma derinliği 6 mm ve karıştırma süresi 60 sn olan numuneler arasında en iyi çekme kuvveti değeri 1000 dev/dk takım devri ile üretilen 18,8 mm ara kesit kaynak çapı ve 4,1 mm kaynak nüfuziyet genişliğine sahip olan 90 nolu numunede ortaya çıkmıştır. En düşük çekme dayanımına sahip 2000 dev/dk devir sayısı ile üretilen 07 nolu numunede ise yaklaşık 16,6 mm ara kesit kaynak çapı, düşük çekme kuvvetini açıklamaktadır.

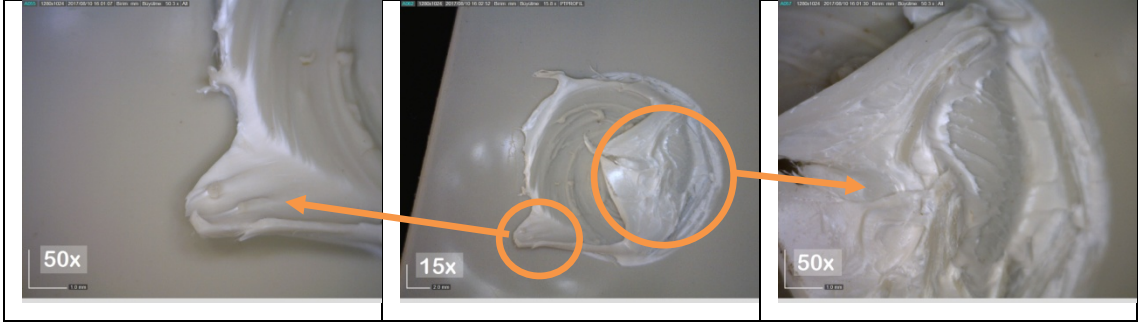


Şekil 4.4. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görüntüleri.

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'daki, en yüksek çekme kuvveti değerine ait 90 nolu numuneye ait optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, omuz esaslı kopma tipinde ortaya çıkan uzama lifleri net bir şekilde görülmektedir. Aynı zamanda bu uzama lifleri kopmanın sünek bir şekilde gerçekleştiğini de göstermektedir. Buda bize, elde edilen en yüksek çekme kuvveti değerini açıklamaktadır.

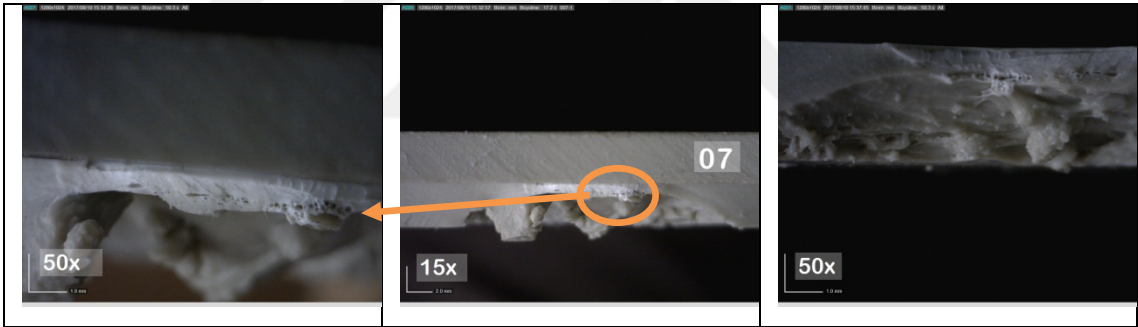


Şekil 4.5. T1 takımı ile birleştirilen en iyi dayanım değerine ait 090 numaralı numunenin omuz esaslı kopma bölgesinin üst parçasına olan optik görünümü.

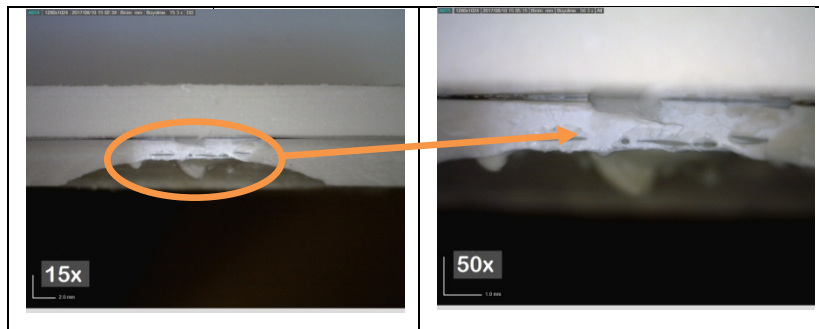


Şekil 4.6. T1 takımı ile birleştirilen en iyi dayanım değerine ait 090 nolu numunenin omuz esaslı kopma bölgesinin alt parçasına ait olan optik görünümü.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de 07 ve 37 nolu numunelere ait ara yüzey esaslı kopma türüne ait kopma görünümleri incelendiğinde ise çekme olayı gerçekleşmeye başladığında kaynak bölgesinin içerisinde var olan delik ve boşlukların çentik etkisi yaptığı anlaşılmaktadır. Bu sayede uzama gerçekleşmeden ani kırılma gerçekleşerek daha düşük çekme kuvvetleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, ara yüzey esaslı kopma sonucunda daha düşük çekme kuvveti değerleri kaçınılmaz olmuştur.



Şekil 4.7. T1 takımı ile birleştirilen 07 nolu numuneye ait ara yüzey esaslı kopma bölgesinin optik görünümü.



Şekil 4.8. T1 takımı ile birleştirilen 37 nolu numuneye ait ara yüzey esaslı kopma bölgesinin optik görünümü.

4.1.2. Dalma Derinliğinin Kaynak Dayanımına Etkisi

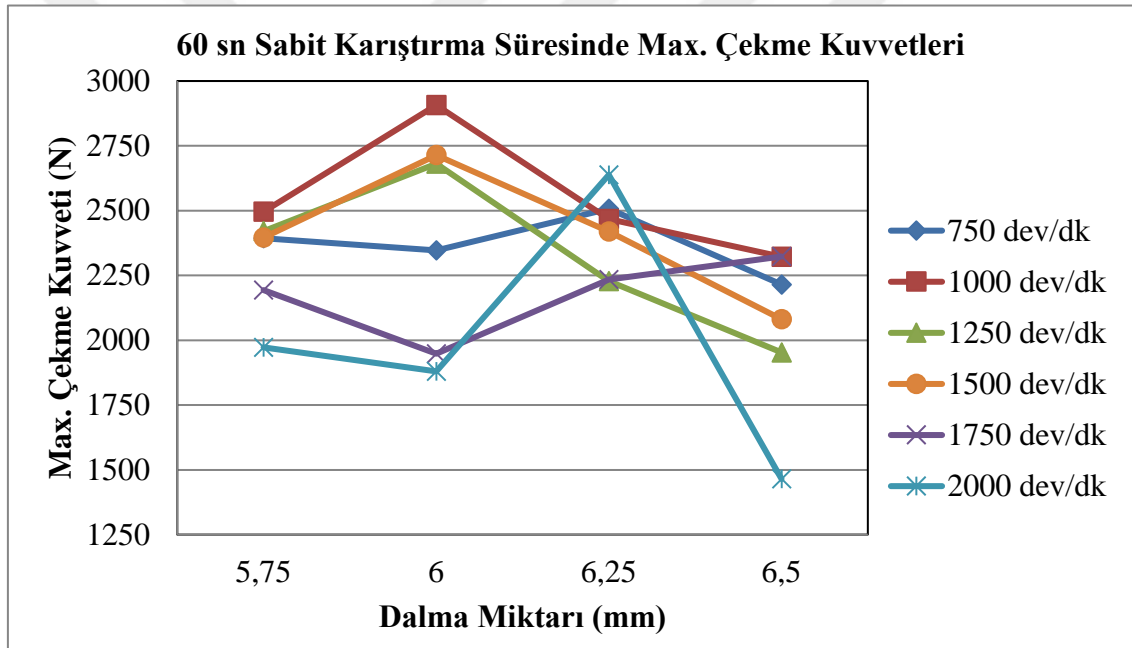
T1 takımı için ön deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda 4 farklı dalma derinliği belirlenerek çekme numuneleri üretilmiş, üretilen bu numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.3'te deneylerden edinilen sonuçlar doğrultusunda belirlenen değerler ile üretilen numunelerin çekme testi sonucunda Newton cinsinden ölçülen max. çekme kuvvetleri verilmiştir. Buna göre en iyi çekme kuvvetine 6 mm dalma derinliği ile üretilen numunelerde ulaşılmıştır. Dalma derinliği 6 mm'nin üzerine çıktığında 1000, 1250 ve 1500 dev/dk takım devri için max. çekme kuvvetlerinde belirgin bir düşme görülmüştür. 2000 dev/dk takım devrinde en iyi max. çekme kuvvetine ulaşılırken 1750 dev/dk takım devrinde ise 6 mm'nin üzerinde max. çekme kuvvetinin arttığı görülmüştür. En düşük max. çekme kuvvetinin ise 5,75 mm dalma derinliği ile üretilen numunede olduğu görülmüştür. Çizelge 4.3'teki max. çekme kuvvetleri 100 mm/dk sabit dalma hızı ve T1 takımı için max. çekme kuvveti açısından en uygun devir sayısı olan 1000 dev/dk'da ve 60 sn karıştırma süresi için üretilen çekme numunelerinde ulaşılmıştır. Çizelge 4.3'te görülen max. çekme kuvveti değerleri için tek değişken dalma derinliği olduğundan dolayı dalma derinliğinin max. çekme kuvvetine etkisi net olarak görülebilmektedir. Ayrıca dalma derinliğinin max. çekme kuvvetine etkisi Şekil 4.9'daki grafikte görülmektedir.

Çizelge 4.3. T1 takımı için dalma derinliğinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
050	750	100	60	5,75	2393
051	750	100	60	6	2346
052	750	100	60	6,25	2507
053	750	100	60	6,5	2215
089	1000	100	60	5,75	2496
090	1000	100	60	6	2907
091	1000	100	60	6,25	2467
092	1000	100	60	6,5	2322
109	1250	100	60	5,75	2421
110	1250	100	60	6	2681
111	1250	100	60	6,25	2228
112	1250	100	60	6,5	1953
121	1500	100	60	5,75	2396
037	1500	100	60	6	2714
031	1500	100	60	6,25	2419

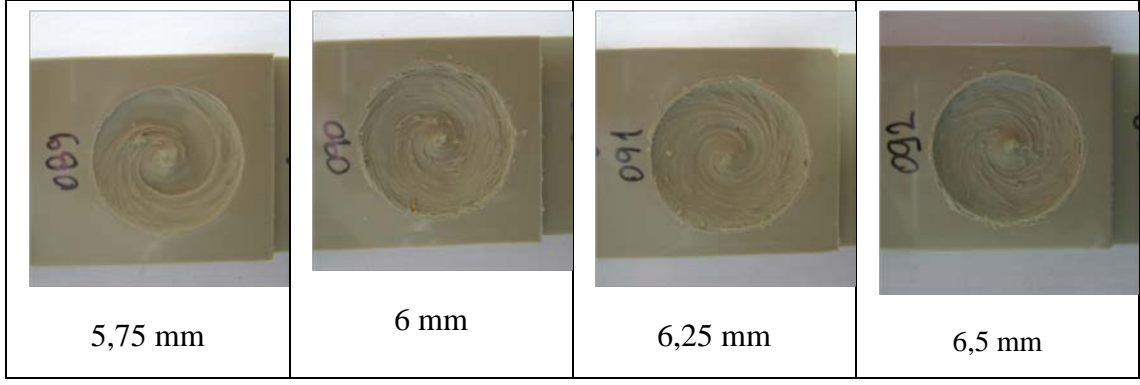
Çizelge 4.3. (devam). T1 takımı için dalma derinliğinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
039	1500	100	60	6,5	2081
070	1750	100	60	5,75	2194
071	1750	100	60	6	1948
072	1750	100	60	6,25	2234
073	1750	100	60	6,5	2323
043	2000	100	60	5,75	1972
007	2000	100	60	6	1880
030	2000	100	60	6,25	2638
006	2000	100	60	6,5	1465



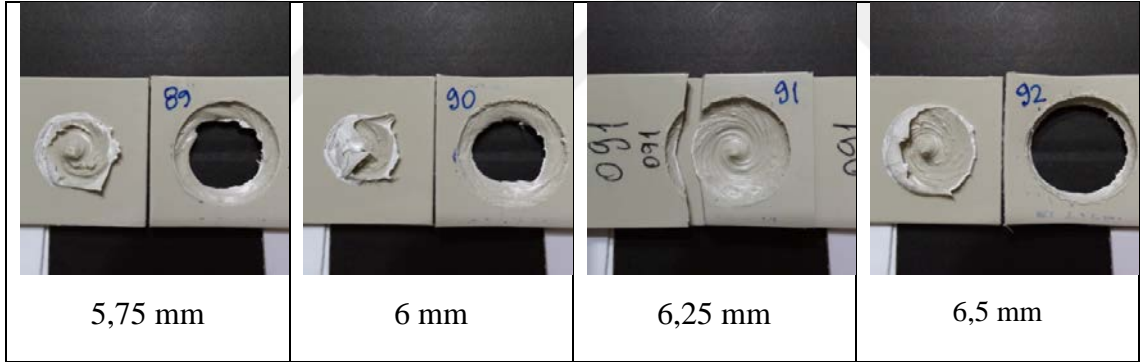
Şekil 4.9. T1 takımı için dalma derinliğinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.

Şekil 4.10'daki 5,75-6,5 mm dalma derinliği aralığındaki 4 farklı dalma derinliği ile birleştirilen sabit 1000 dev/dk takım devri ve 60 sn karıştırma süresi uygulanan numunelerin çekme deneyi öncesi kaynak bölgesi görüntüleri benzerlik göstermektedir. Çekme deneyi öncesi kaynak bölgeleri incelendiğinde, kaynak bağlantısının oldukça düzgün bir şekilde gerçekleştirildiği, alt ve üst parçaların birleştirme işlemine katıldığı, bağlantının hedefine ulaştığı gözlemlenmektedir. Buda imal edilen kaynak takımının yapılan işleme uygun olduğunu göstermektedir.



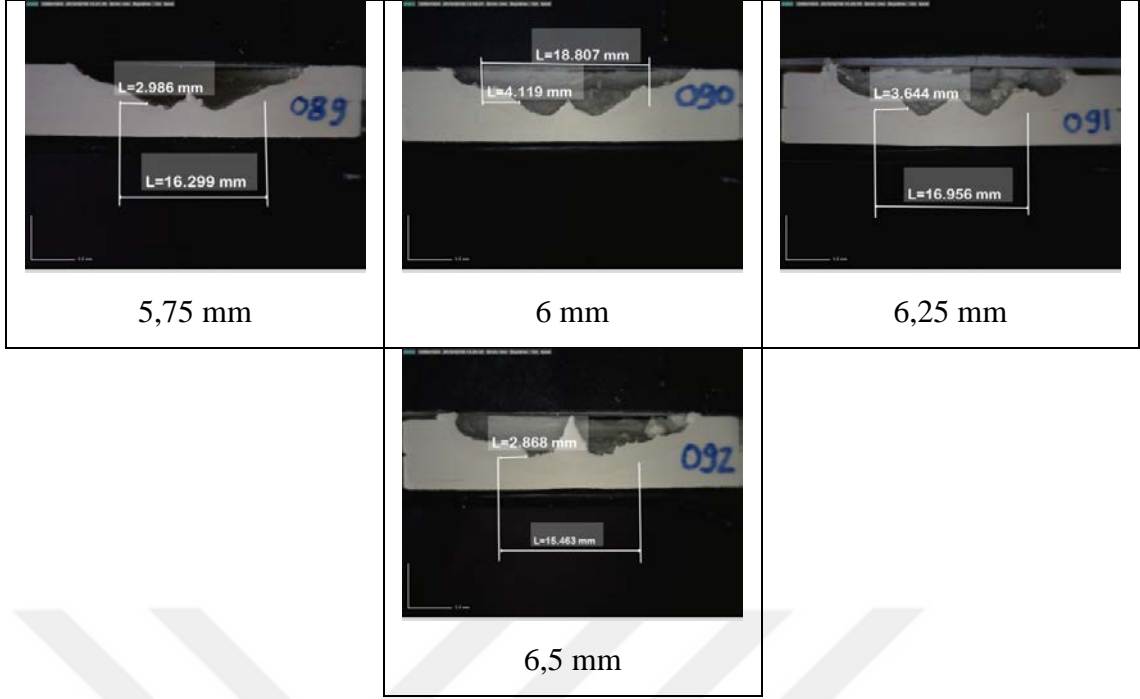
Şekil 4.10. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görünüşleri.

Aynı numuneler için Şekil 4.11'deki çekme testi sonrası kaynak bölgesi kopma fotoğrafları incelendiğinde ise iki farklı kopma tipi gözlenmektedir. Buna göre, 5,75 mm, 6 mm ve 6,5 mm dalma derinliği ile birleştirilen numunelerde omuz esaslı kopma, 6,25 mm dalma derinliği ile üretilen numunelerde ise ara yüzey esaslı kopma şekli ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.11. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünüşleri.

Şekil 4.12'deki optik mikroskop görüntüleri ara kesit kaynak çapı ve nüfuziyet açısından incelendiğinde, ara kesit kaynak çapının ve nüfuziyetin artması ile çekme kuvveti değerlerinin arttığını destekleyen önemli veriler elde edilmiştir. Buna göre sabit 60 sn karıştırma süresi sabit 1000 dev/dk takım devri ile üretilen numuneler arasında en iyi çekme kuvveti değeri 6 mm dalma derinliğinde üretilen 18,8 mm ara kesit kaynak çapı ve 4,1 mm kaynak nüfuziyet genişliğine sahip olan 90 nolu numunede ortaya çıkmıştır. En düşük çekme dayanımına sahip 6,5 mm dalma derinliğinde üretilen 92 nolu numunede ise yaklaşık 15,4 mm olan ara kesit kaynak çapı ve 2,8 mm kaynak nüfuziyeti, düşük çekme kuvvetini açıklamaktadır.



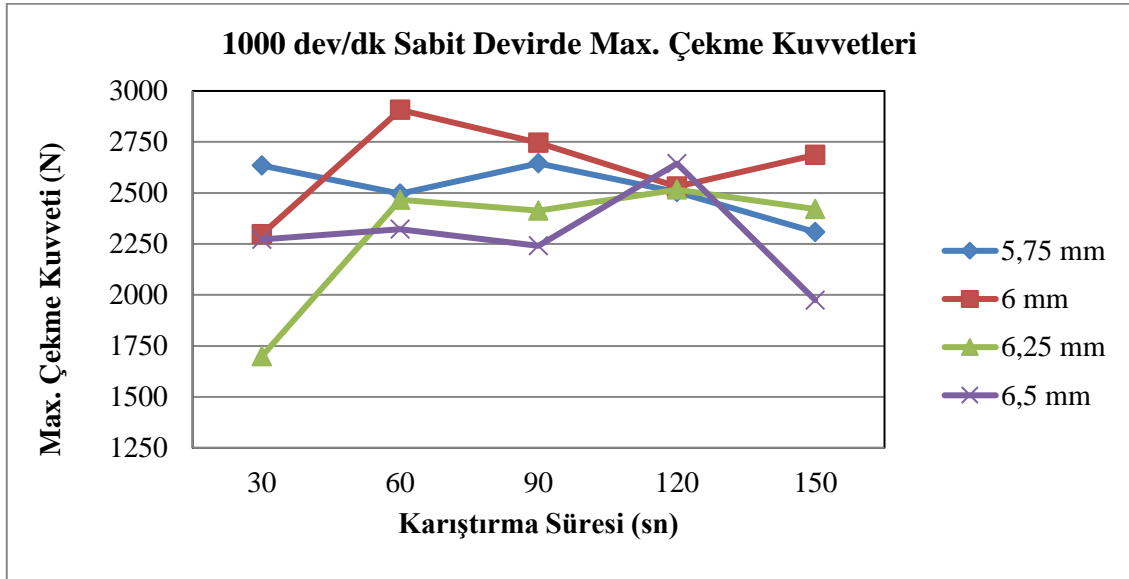
Şekil 4.12. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümleri.

4.1.3. Karıştırma Süresinin Kaynak Dayanımına Etkisi

T1 takımı için ön deneylerden edinilen sonuçlar doğrultusunda 5 farklı karıştırma süresi belirlenerek çekme numuneleri üretilmiş, üretilen bu numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.4'te ön deneylerden edinilen sonuçlar doğrultusunda belirlenen parametreler ile üretilen numunelerin çekme testi sonucunda Newton cinsinden ölçülen max. çekme kuvvetleri verilmiştir. Buna göre en iyi çekme kuvveti 60 sn karıştırma süresi ile üretilen numunelerde ulaşılmıştır. En düşük max. çekme kuvveti ise 0 ve 30 sn karıştırma süresi ile üretilen numunelerde olduğu görülmüştür. T1 takımı için en iyi max. çekme kuvveti, 1000 dev/dk'da, 100 mm/dk sabit dalma hızında ve 6 mm dalma derinliğinde 2907 N max. çekme kuvveti olarak elde edilmiştir. Şekil 4.13'teki grafikte, tek değişken parametre karıştırma süresi olduğundan dolayı karıştırma süresinin max. çekme kuvvetine etkisi net olarak görülebilmektedir.

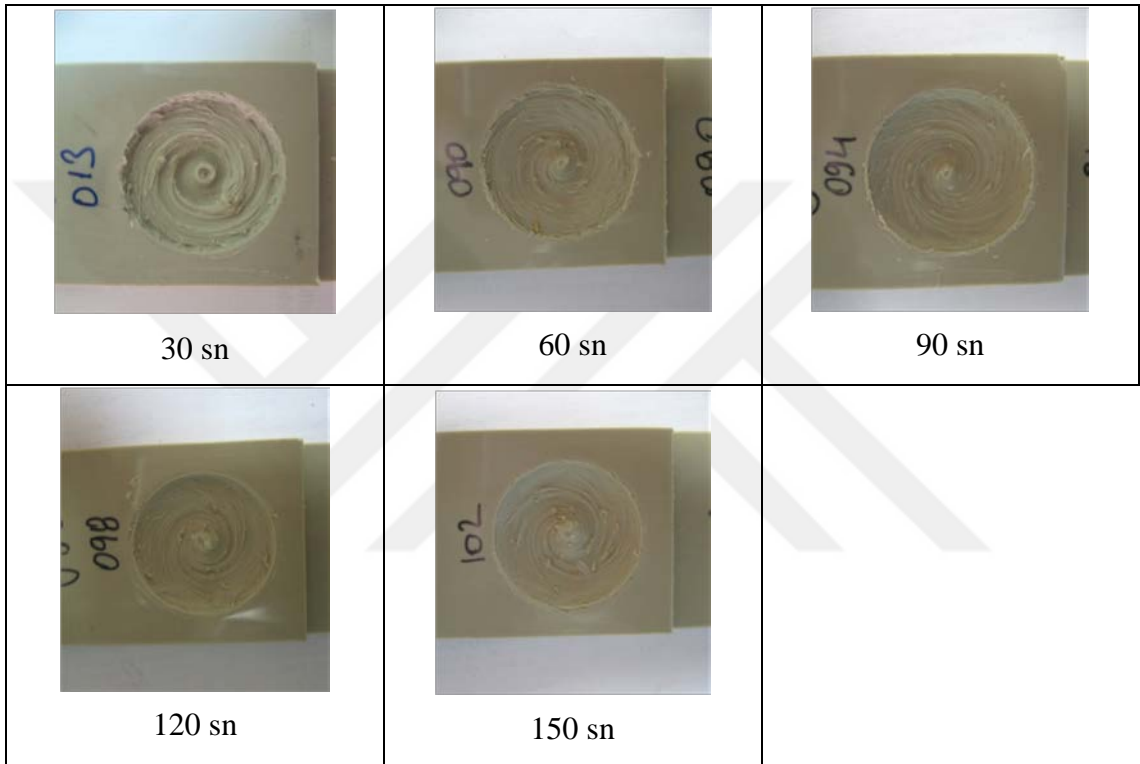
Çizelge 4.4. T1 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımı üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
010	1000	100	30	5,75	2635
089	1000	100	60	5,75	2496
093	1000	100	90	5,75	2645
097	1000	100	120	5,75	2505
101	1000	100	150	5,75	2308
013	1000	100	30	6	2297
090	1000	100	60	6	2907
094	1000	100	90	6	2746
098	1000	100	120	6	2531
102	1000	100	150	6	2686
087	1000	100	30	6,25	1699
091	1000	100	60	6,25	2467
095	1000	100	90	6,25	2413
099	1000	100	120	6,25	2516
103	1000	100	150	6,25	2421
088	1000	100	30	6,5	2272
092	1000	100	60	6,5	2322
096	1000	100	90	6,5	2240
100	1000	100	120	6,5	2644
104	1000	100	150	6,5	1974



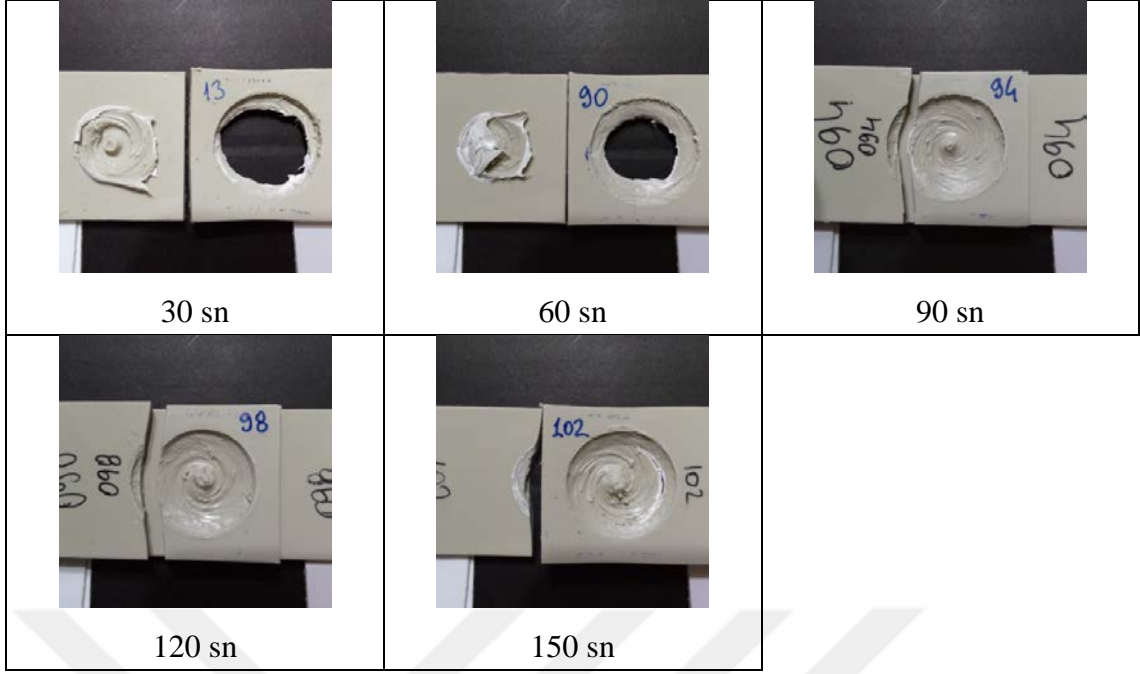
Şekil 4.13. T1 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımı üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.

Şekil 4.14'deki 30-150 sn karıştırma süresi aralığındaki 5 farklı karıştırma süresi ile birleştirilen sabit 1000 dev/dk takım devri ve 6 mm dalma derinliği uygulanan numunelerin çekme deneyi öncesi kaynak bölgesi görüntüleri benzerlik göstermektedir. Çekme deneyi öncesi kaynak bölgeleri incelendiğinde, kaynak bağlantısının oldukça düzgün bir şekilde gerçekleştirildiği, alt ve üst parçaya ait parçaların birleştirme işlemine katıldığı, bağlantının hedefine ulaştığı gözlemlenmektedir. Buda imal edilen kaynak takımının yapılan işleme uygun olduğunu göstermektedir.



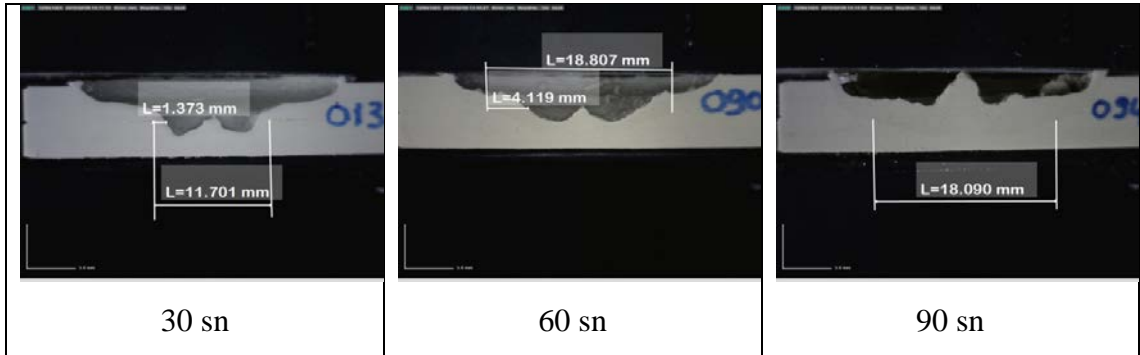
Şekil 4.14. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görünüşleri.

Aynı numuneler için Şekil 4.15'teki çekme testi sonrası kaynak bölgesi kopma fotoğrafları incelendiğinde ise iki farklı kopma tipi gözlenmektedir. Buna göre, 30 ve 60 sn karıştırma süreleri ile birleştirilen numunelerde omuz esaslı kopma, 90,120 ve 150 sn karıştırma süreleri ile üretilen numunelerde ise ara yüzey esaslı kopma şekli ortaya çıkmıştır.

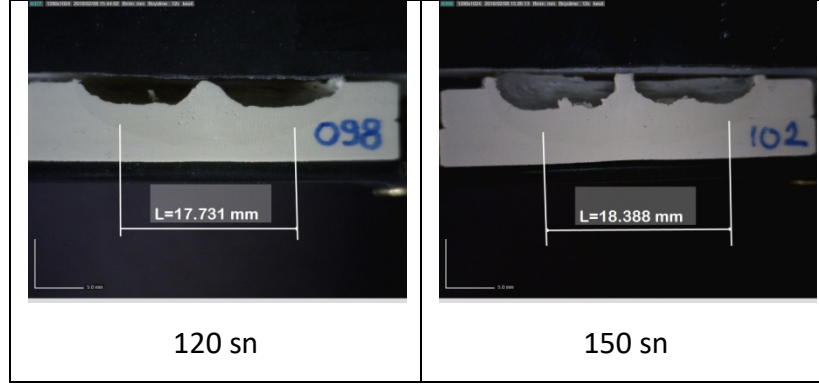


Şekil 4.15. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünüşleri.

Şekil 4.16’da optik mikroskop görüntüleri ara kesit kaynak çapı ve nüfuziyet açısından incelendiğinde, ara kesit kaynak çapının ve nüfuziyetin artması ile çekme kuvveti değerlerinin arttığını destekleyen önemli veriler elde edilmiştir. Buna göre sabit 6 mm dalma derinliği ve sabit 1000 dev/dk takım devri ile üretilen numuneler arasında en iyi çekme kuvveti değerine 60 sn karıştırma süresi ile üretilen 18,8 mm ara kesit kaynak çapı ve 4,1 mm kaynak nüfuziyet genişliğine sahip olan 90 nolu numunede ulaşılmıştır. En düşük çekme kuvvetine sahip 120 sn karıştırma süresi ile üretilen 98 nolu numunede ise yaklaşık 17,7 mm olan ara kesit kaynak çapı, düşük çekme kuvvetini açıklamaktadır.



Şekil 4.16. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünüşleri.



Şekil 4.16. (devam). T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümleri.

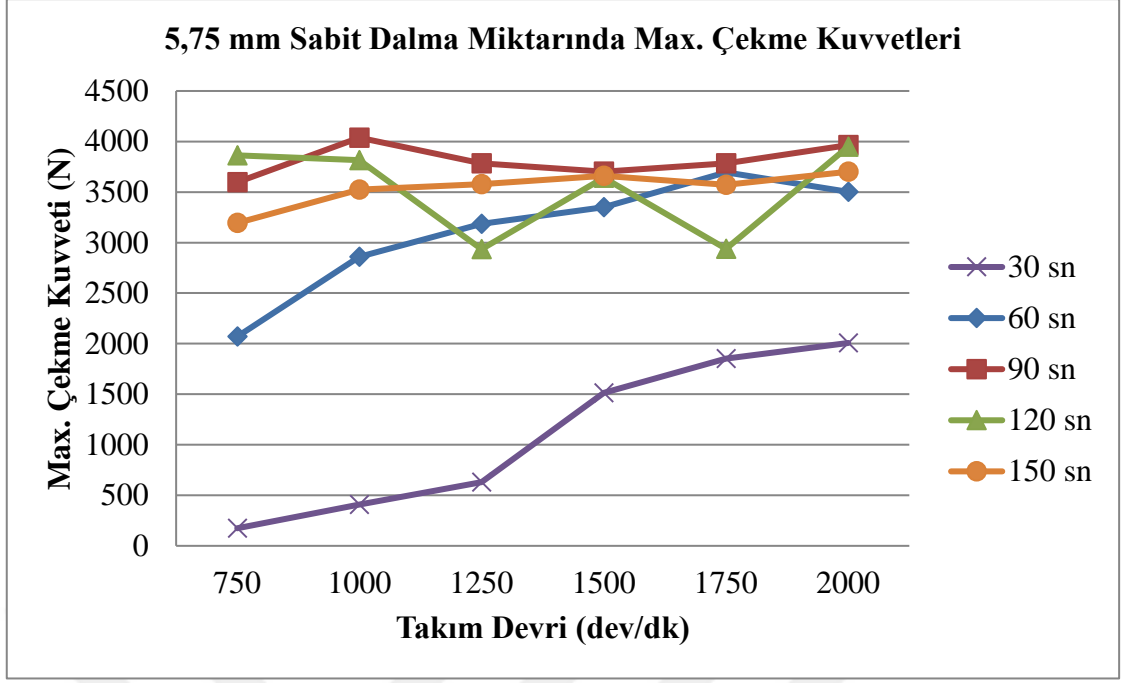
4.2. T4 TAKIMINA AİT PARAMETRELERİN ÇEKME KUVVETİNE ETKİSİ

4.2.1. Takım Devrinin Kaynak Dayanımına Etkisi

T4 takımı için deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda 6 farklı devir sayısı belirlenerek çekme numuneleri üretilmiş, üretilen bu numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.5'te deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda belirlenen değerler ile üretilen numunelerin çekme testi sonucunda Newton cinsinden ölçülen max. çekme kuvvetleri verilmiştir. Buna göre en iyi max. çekme kuvvetine 1000 dev/dk takım devrine 90 sn karıştırma süresine ve 5,75 mm dalma derinliğine sahip SK21 kodlu numunede 4038 N max. çekme kuvveti olarak ulaşılmıştır. Devir sayısı 1000 dev/dk'nın üzerine çıktığında max. çekme kuvvetinde önemli bir değişiklik olmamakla beraber bir miktar düşme gözlemlenmiştir. Devir sayısı 1000 dev/dk'nın altındaki devirlerde ise max. çekme kuvveti belirgin seviyede düşmektedir. En düşük max. çekme kuvveti 750 dev/dk devir sayısı ile üretilen SK81 kodlu numunede 174 N max. çekme kuvveti olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.5'te görülen max. çekme kuvveti değerleri için tek değişken devir sayısı olduğundan dolayı devir sayısının max. çekme kuvvetine etkisi net olarak görülebilmektedir. Ayrıca devir sayısının max. çekme kuvvetine etkisi Şekil 4.17'deki grafikte görülmektedir.

Çizelge 4.5. T4 takımı için devir sayısının max. çekme kuvveti üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
SK81	750	100	30	5,75	174
SK101	1000	100	30	5,75	407
SK105	1250	100	30	5,75	629
SK109	1500	100	30	5,75	1514
SK113	1750	100	30	5,75	1852
SK117	2000	100	30	5,75	2007
SK85	750	100	60	5,75	2070
SK01	1000	100	60	5,75	2859
SK02	1250	100	60	5,75	3186
SK03	1500	100	60	5,75	3351
SK04	1750	100	60	5,75	3695
SK05	2000	100	60	5,75	3503
SK89	750	100	90	5,75	3597
SK21	1000	100	90	5,75	4038
SK22	1250	100	90	5,75	3785
SK23	1500	100	90	5,75	3701
SK24	1750	100	90	5,75	3785
SK25	2000	100	90	5,75	3963
SK93	750	100	120	5,75	3863
SK41	1000	100	120	5,75	3817
SK42	1250	100	120	5,75	2935
SK43	1500	100	120	5,75	3643
SK44	1750	100	120	5,75	2938
SK45	2000	100	120	5,75	3949
SK97	750	100	150	5,75	3194
SK61	1000	100	150	5,75	3523
SK62	1250	100	150	5,75	3579
SK63	1500	100	150	5,75	3660
SK64	1750	100	150	5,75	3572
SK65	2000	100	150	5,75	3701



Şekil 4.17. T4 takımı için kaynak takımının devir sayısının max. çekme kuvveti üzerine etkisinin grafik halinde gösterimi.

Şekil 4.18'deki, 750-2000 dev/dk devir aralığındaki 6 farklı devir sayısı ile birleştirilen sabit 90 sn karıştırma süresi ve 5,75 mm dalma derinliği uygulanan numunelerin çekme deneyi öncesi kaynak bölgesi görüntüleri benzerlik göstermektedir. Çekme deneyi öncesi kaynak bölgeleri incelendiğinde, kaynak bağlantısının oldukça düzgün bir şekilde gerçekleştirildiği, alt ve üst parçaya ait parçaların birleştirme işlemine katıldığı, bağlantının hedefine ulaştığı gözlemlenmektedir. Buda imal edilen kaynak takımının yapılan işleme uygun olduğunu göstermektedir.

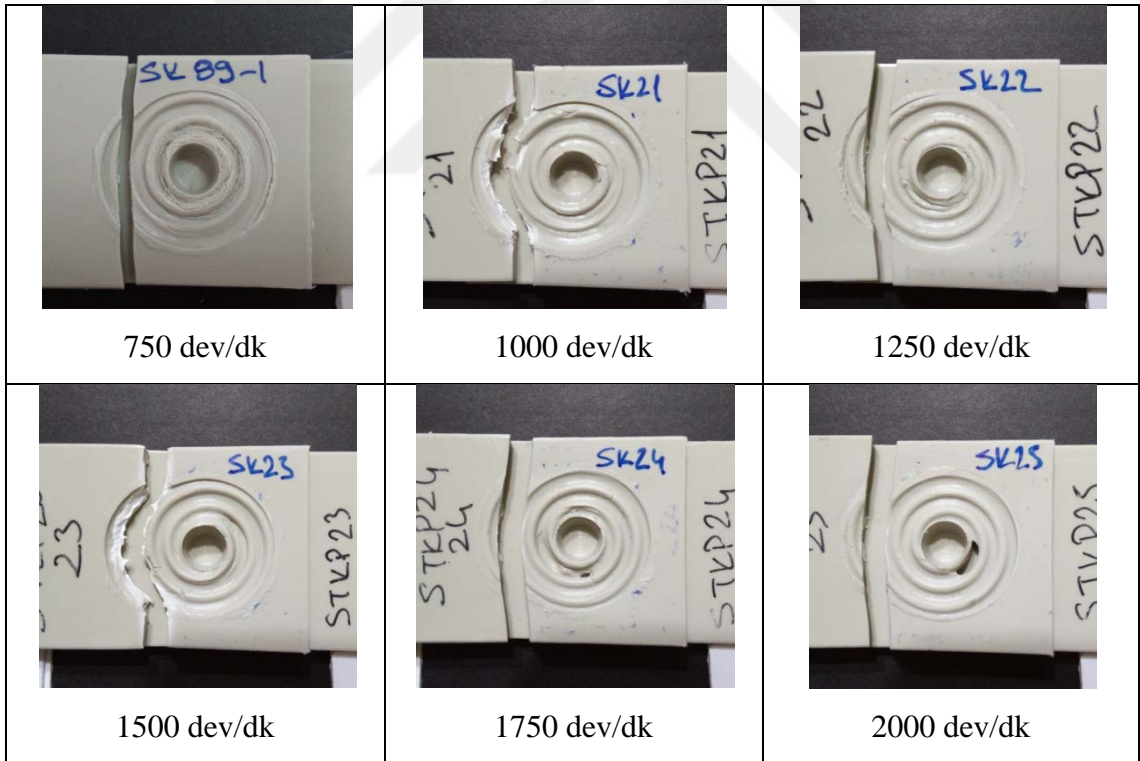


Şekil 4.18. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görüntüleri.



Şekil 4.18. (devam). T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görünüşleri.

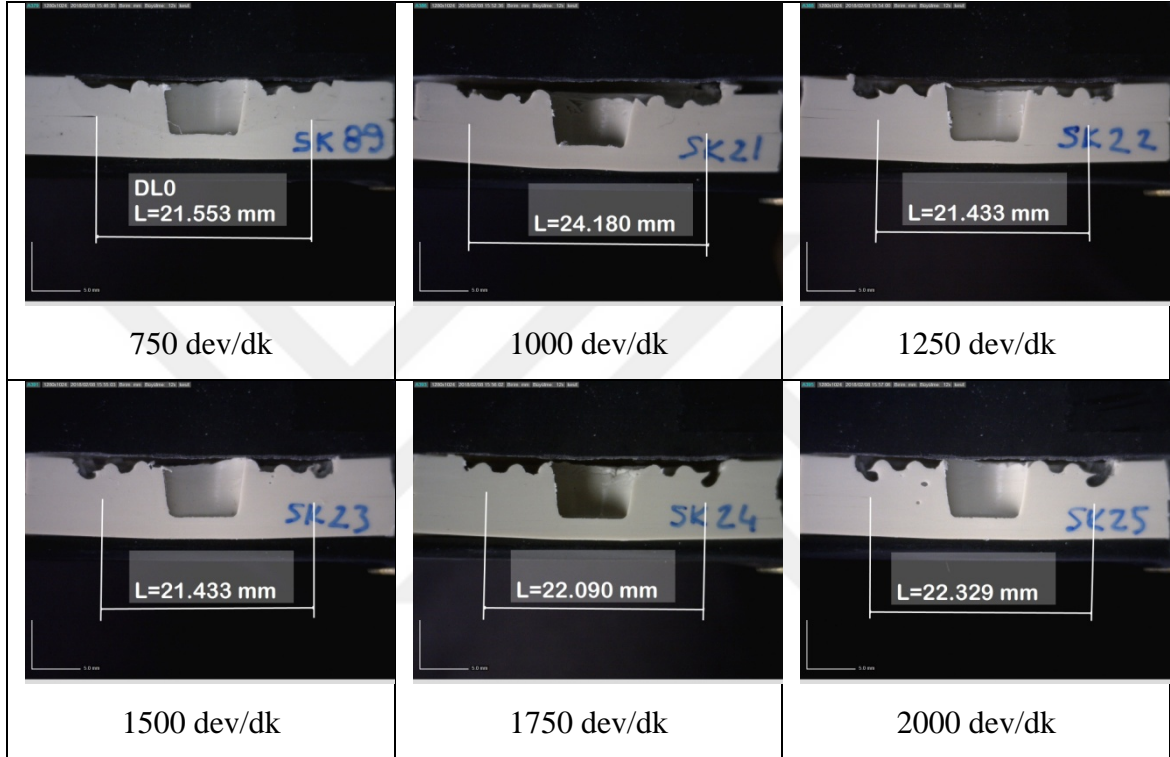
Aynı numuneler için Şekil 4.19'deki çekme testi sonrası kaynak bölgesi kopma fotoğrafları incelendiğinde sadece ara yüzey esaslı kopma tipi gözlenmektedir. Buna göre sabit 5,75 mm dalma derinliği ve 1000 dev/dk takım devri ile üretilen numunelerin çekme testleri sonucunda aynı kopma mekanizmasına sahip oldukları görülmüştür.



Şekil 4.19. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünüşleri.

Şekil 4.20'de optik mikroskop görüntüleri ara kesit kaynak çapı ve nüfuziyet açısından incelendiğinde, ara kesit kaynak çapının ve nüfuziyetin artması ile çekme kuvveti

değerlerinin arttığını destekleyen önemli veriler elde edilmiştir. Buna göre karıştırma süresi 90 sn, dalma derinliği 5,75 mm olan numuneler arasında en iyi çekme kuvveti değerine 1000 dev/dk takım devri ile üretilen 24,2 mm ara kesit kaynak çapına sahip olan SK21 nolu numunede ulaşılmıştır. En düşük çekme kuvvetine sahip 1500 dev/dk takım devri ile üretilen SK23 kodlu numunede ise 21,4 mm ara kesit kaynak çapı, düşük çekme kuvvetini açıklamaktadır.



Şekil 4.20. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin kesit görüntüleri.

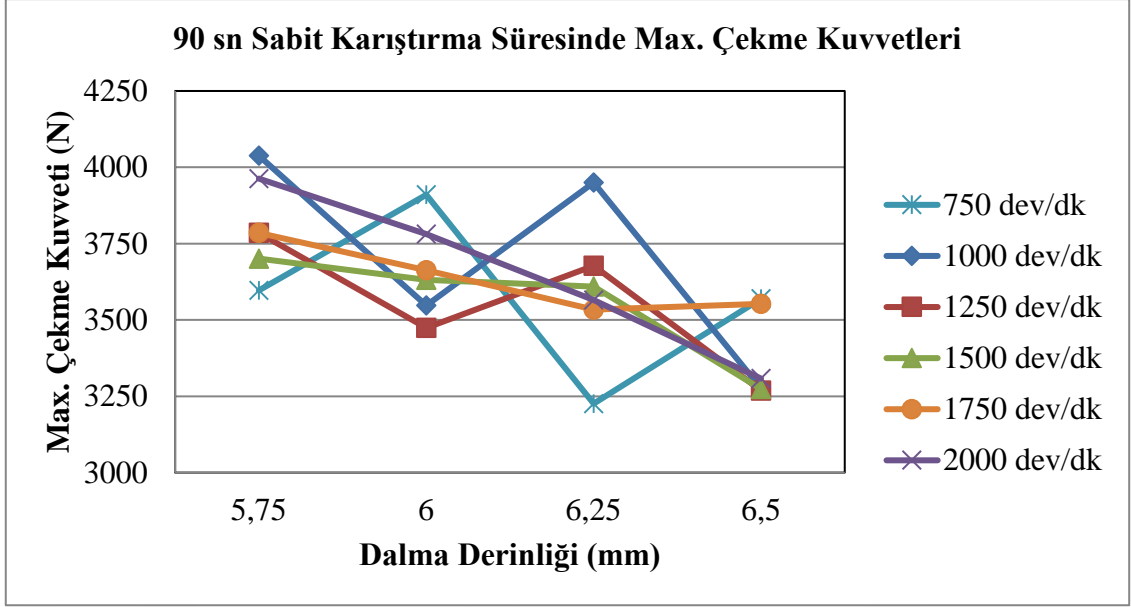
4.2.2. Dalma Derinliğinin Kaynak Dayanımına Etkisi

T4 takımı için deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda 4 farklı dalma derinliği belirlenerek çekme numuneleri üretilmiş, üretilen bu numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.6'da deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda belirlenen değerler ile üretilen numunelerin çekme testleri sonucunda Newton cinsinden ölçülen max. çekme kuvvetleri verilmiştir. Buna göre en iyi çekme kuvvetine 5,75 mm dalma derinliği ile üretilen SK21 kodlu numunede ulaşılmıştır. En düşük çekme kuvveti ise dalma derinliği 6,25 mm olan numunede görülmüştür. Dalma derinliği 5,75 mm'nin üzerine çıkarıldığında ve altına düşürüldüğünde max. çekme kuvvetinde belirgin bir değişim görülmemektedir. Çizelge 4.6'da görülen max. çekme kuvveti değerleri için tek

değişken dalma derinliği olduğundan dolayı dalma derinliğinin max. çekme kuvvetine etkisi net olarak görülebilmektedir. Ayrıca dalma derinliğinin max. çekme kuvvetine etkisi Şekil 4.21'deki grafikte görülmektedir.

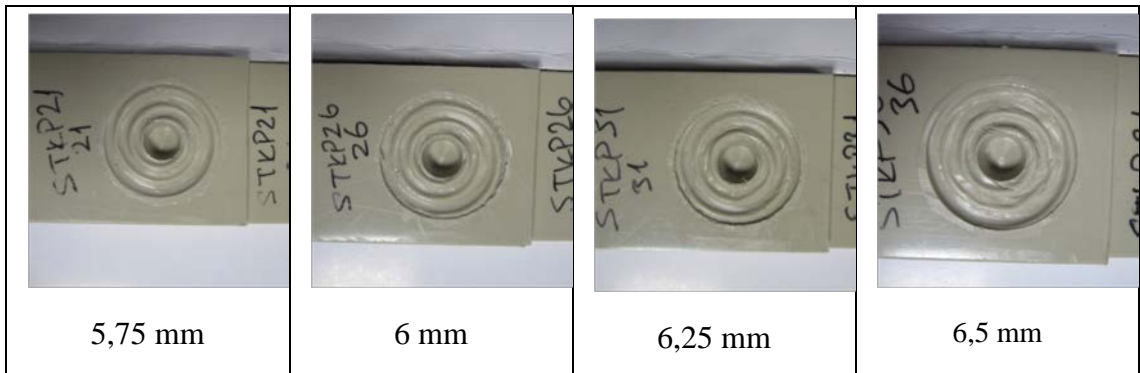
Çizelge 4.6. T4 takımı için dalma derinliğinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin çizelge halinde gösterilmesi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
SK89	750	100	90	5,75	3597
SK90	750	100	90	6	3910
SK91	750	100	90	6,25	3226
SK92	750	100	90	6,5	3569
SK21	1000	100	90	5,75	4038
SK26	1000	100	90	6	3547
SK31	1000	100	90	6,25	3950
SK36	1000	100	90	6,5	3276
SK22	1250	100	90	5,75	3785
SK27	1250	100	90	6	3474
SK32	1250	100	90	6,25	3678
SK37	1250	100	90	6,5	3269
SK23	1500	100	90	5,75	3701
SK28	1500	100	90	6	3631
SK33	1500	100	90	6,25	3609
SK38	1500	100	90	6,5	3274
SK24	1750	100	90	5,75	3785
SK29	1750	100	90	6	3663
SK34	1750	100	90	6,25	3534
SK39	1750	100	90	6,5	3553
SK25	2000	100	90	5,75	3963
SK30	2000	100	90	6	3781
SK35	2000	100	90	6,25	3565
SK40	2000	100	90	6,5	3308



Şekil 4.21. T4 takımı için dalma derinliğinin max. çekme kuvveti üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.

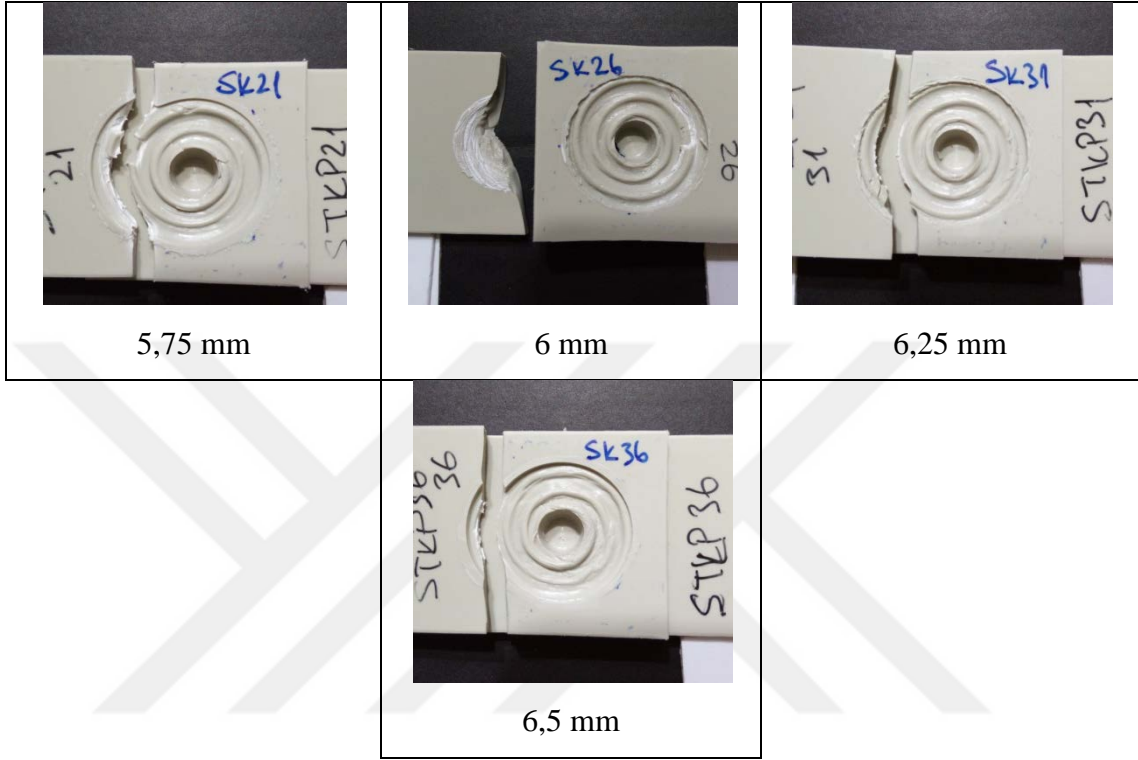
Şekil 4.22'deki 5,75-6,5 mm dalma derinliği aralığındaki 4 farklı dalma derinliği ile birleştirilen sabit 1000 dev/dk takım devri ve 90 sn karıştırma süresi uygulanan numunelerin çekme deneyi öncesi kaynak bölgesi görüntüleri benzerlik göstermektedir. Çekme deneyi öncesi kaynak bölgeleri incelendiğinde, kaynak bağlantısının oldukça düzgün bir şekilde gerçekleştirildiği, alt ve üst parçaya ait parçaların birleştirme işlemine katıldığı, bağlantının hedefine ulaştığı gözlemlenmektedir. Buda imal edilen kaynak takımının yapılan işleme uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.22. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görünüşleri

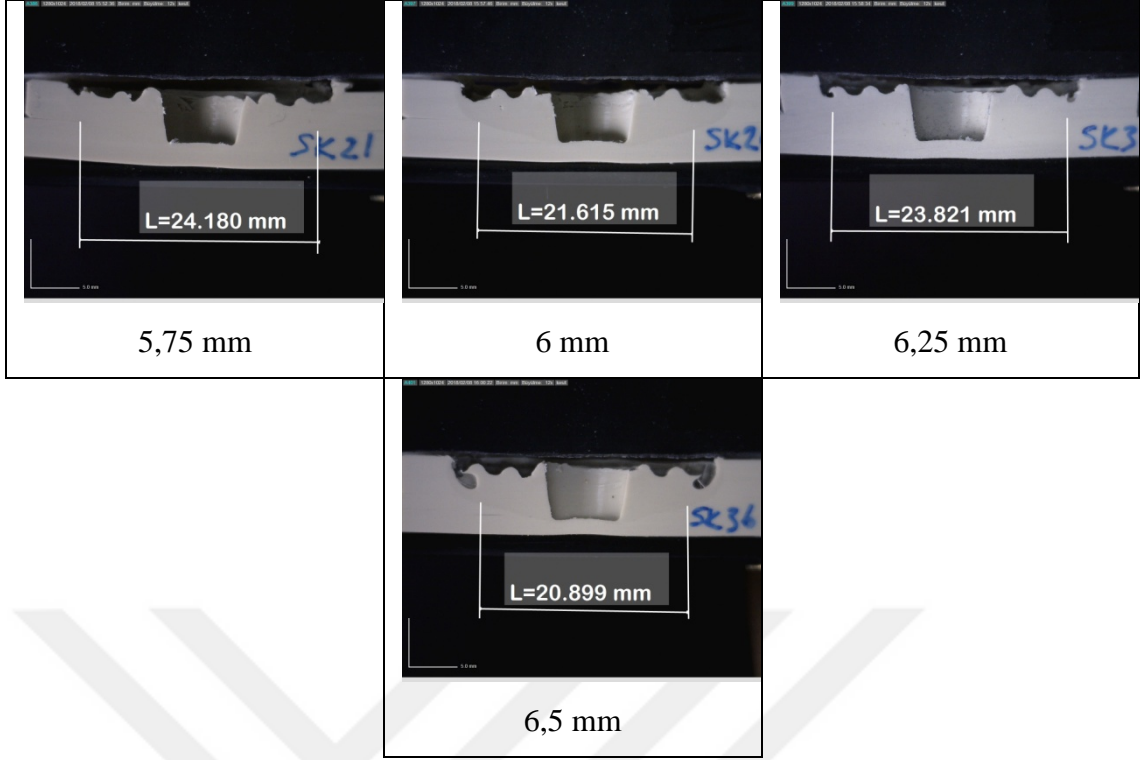
Aynı numuneler için Şekil 4.23'teki çekme testi sonrası kaynak bölgesi kopma fotoğrafları incelendiğinde sadece ara yüzey esaslı kopma tipi gözlenmektedir. Bunun

yanı sıra 6 mm dalma derinliği ile üretilen numunede alt plaka ara yüzey esaslı kopma türüne maruz kalmıştır. Buna göre sabit 90 sn karıştırma süresi ve 1000 dev/dk takım devri ile üretilen numunelerin çekme testleri sonucunda aynı kopma mekanizmasına sahip oldukları görülmüştür.



Şekil 4.23. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünümüleri

Şekil 4.24'te optik mikroskop görüntüleri ara kesit kaynak çapı ve nüfuziyet açısından incelendiğinde, ara kesit kaynak çapının ve nüfuziyetin artması ile çekme kuvveti değerlerinin arttığını destekleyen önemli veriler elde edilmiştir. Buna göre sabit 90 sn karıştırma süresi sabit 1000 dev/dk takım devri ile üretilen numuneler arasında en iyi çekme kuvveti değerine 5,75 mm dalma derinliğinde üretilen 24,2 mm ara kesit kaynak çapına sahip olan SK21 nolu numunede ulaşılmıştır. En düşük çekme kuvvetine sahip 6,5 mm dalma derinliğinde üretilen SK36 nolu numunede 20,9 mm olan ara kesit kaynak çapı, düşük çekme kuvvetini açıklamaktadır.



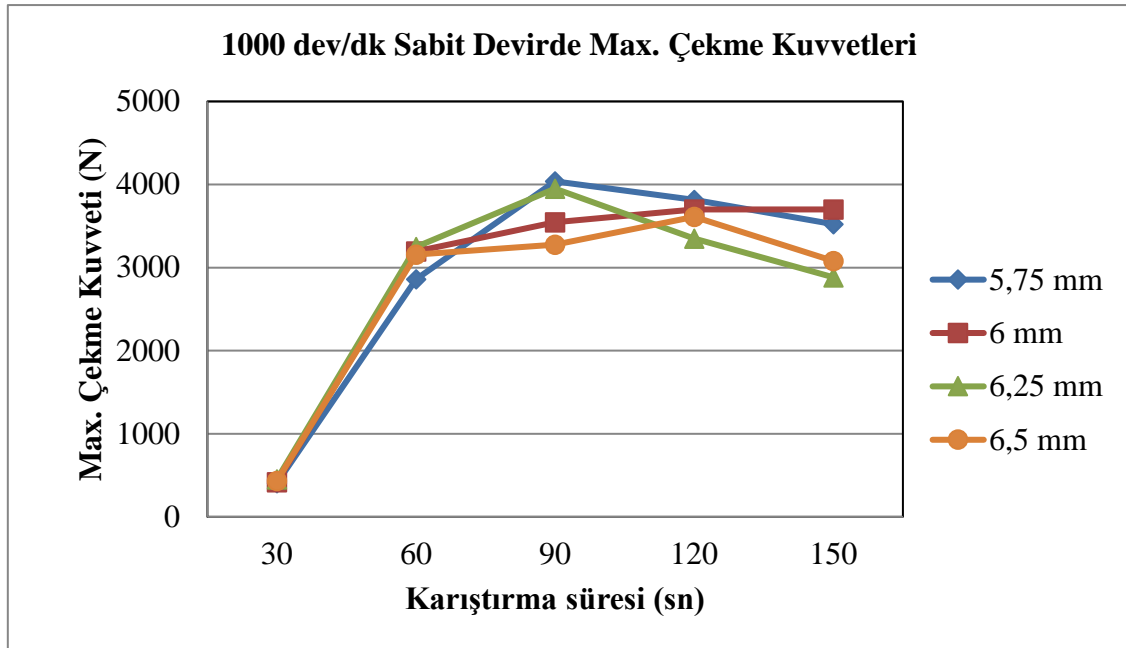
Şekil 4.24. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümleri.

4.2.3. Karıştırma Süresinin Kaynak Dayanımına Etkisi

T4 takımı için deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda 5 farklı karıştırma süresi belirlenerek çekme numuneleri üretilmiş, üretilen bu numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.7’de, deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda belirlenen değerler ile üretilen numunelerin çekme testi sonucunda Newton cinsinden ölçülen max. çekme kuvvetleri verilmiştir. Buna göre en iyi çekme kuvvetine 90 sn karıştırma süresi ile üretilen SK21 kodlu numunede ulaşılmıştır. En düşük max. çekme kuvveti 30 sn karıştırma süresi ile üretilen numunelerde olduğu görülmüştür. Karıştırma süresi 90 sn’nin altına düştüğünde max. çekme kuvvetinde belirgin bir azalma görülmekte hatta 30 sn karıştırma süresinde çok düşük değerler sergilemektedir. En düşük max. çekme kuvveti değeri ise SK101 kodlu numunede 407 N olarak elde edilmiştir. Bu değere 30 sn karıştırma süresinde imal edilen numunede ulaşılmıştır. Çizelge 4.7’de görüleceği üzere tek değişken parametre karıştırma süresi olduğundan karıştırma süresinin max. çekme kuvvetine etkisi net olarak görülebilmektedir. Ayrıca karıştırma süresinin max. çekme kuvvetine etkisi Şekil 4.25’teki grafikte görülmektedir.

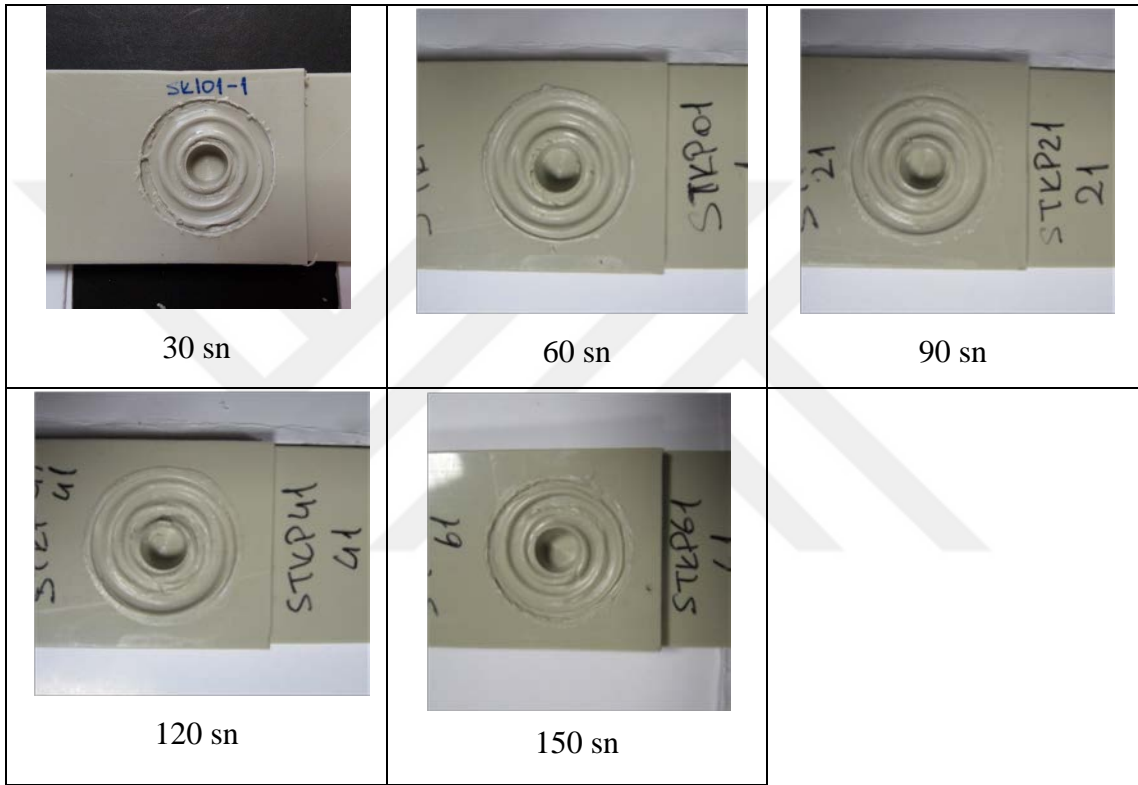
Çizelge 4.7. T4 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
SK101	1000	100	30	5,75	407
SK01	1000	100	60	5,75	2859
SK21	1000	100	90	5,75	4038
SK41	1000	100	120	5,75	3817
SK61	1000	100	150	5,75	3523
SK102	1000	100	30	6	418
SK06	1000	100	60	6	3196
SK26	1000	100	90	6	3547
SK46	1000	100	120	6	3700
SK66	1000	100	150	6	3700
SK103	1000	100	30	6,25	452
SK11	1000	100	60	6,25	3250
SK31	1000	100	90	6,25	3950
SK51	1000	100	120	6,25	3348
SK71	1000	100	150	6,25	2883
SK104	1000	100	30	6,5	434
SK16	1000	100	60	6,5	3156
SK36	1000	100	90	6,5	3276
SK56	1000	100	120	6,5	3611
SK76	1000	100	150	6,5	3079



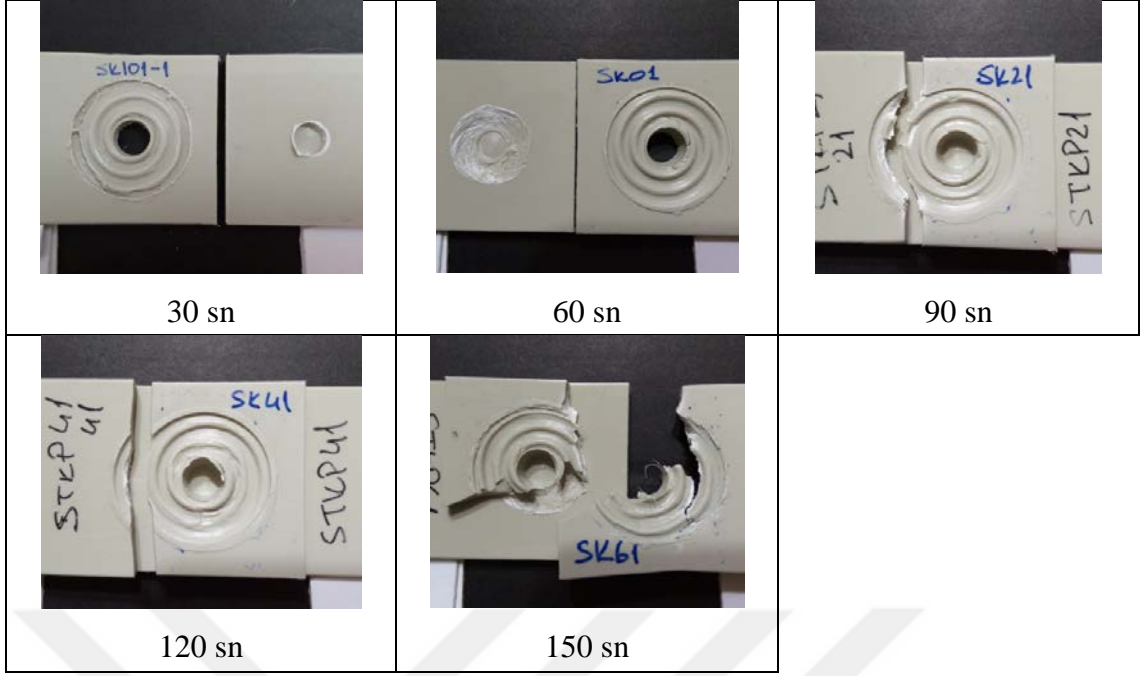
Şekil 4.25. T4 takımı için karıştırma süresinin max. çekme kuvveti üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.

Şekil 4.26'daki 30-150 sn karıştırma süresi aralığındaki 5 farklı karıştırma süresi ile birleştirilen sabit 1000 dev/dk takım devri ve 5,75 mm dalma derinliği uygulanan numunelerin çekme deneyi öncesi kaynak bölgesi görüntüleri benzerlik göstermektedir. Çekme deneyi öncesi kaynak bölgeleri incelendiğinde, kaynak bağlantısının oldukça düzgün bir şekilde gerçekleştirildiği, alt ve üst parçaya ait parçaların birleştirme işlemine katıldığı, bağlantının hedefine ulaştığı gözlemlenmektedir. Buda imal edilen kaynak takımının yapılan işleme uygun olduğunu göstermektedir.



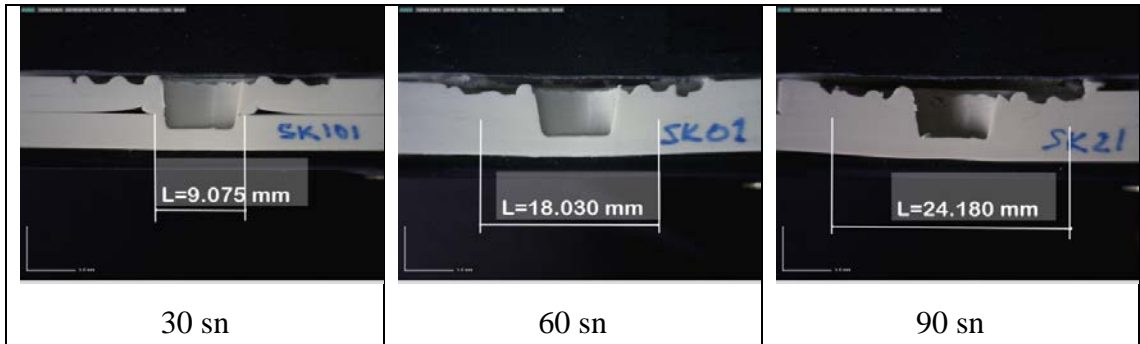
Şekil 4.26. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin üstten görüntüleri.

Aynı numuneler için Şekil 4.27'deki çekme testi sonrası kaynak bölgesi kopma fotoğrafları incelendiğinde ise iki farklı kopma tipi gözlenmektedir. Buna göre, 30 ve 60 sn karıştırma süreleri ile birleştirilen numunelerde pim esaslı kopma, 90,120 ve 150 sn karıştırma süreleri ile üretilen numunelerde ise ara yüzey esaslı kopma şekli ortaya çıkmıştır.

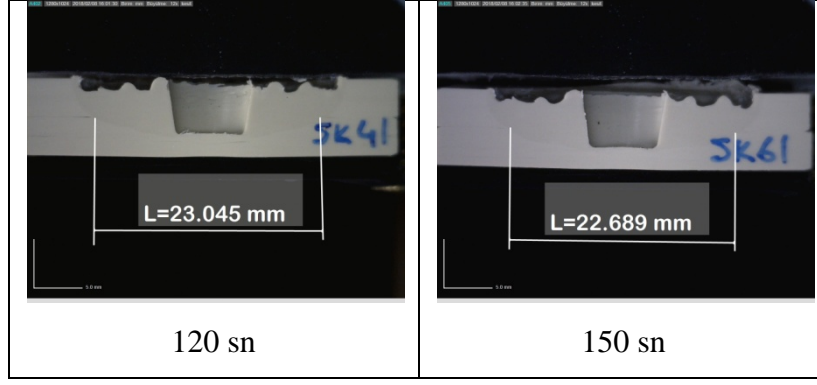


Şekil 4.27. T1 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünüşleri.

Şekil 4.28’de optik mikroskop görüntüleri ara kesit kaynak çapı ve nüfuziyet açısından incelendiğinde, ara kesit kaynak çapının ve nüfuziyetin artması ile çekme kuvveti değerlerinin arttığını destekleyen önemli veriler elde edilmiştir. Buna göre sabit 5,75 mm dalma derinliği ve sabit 1000 dev/dk takım devri ile üretilen numuneler arasında en iyi çekme kuvveti değeri 90 sn karıştırma süresi ile üretilen 24,4 mm ara kesit kaynak çapına sahip olan SK21 nolu numunede ortaya çıkmıştır. En düşük çekme kuvvetine sahip 30 sn karıştırma süresi ile üretilen SK101 nolu numunede ise 9 mm olan ara kesit kaynak çapı, düşük çekme kuvvetini açıklamaktadır.



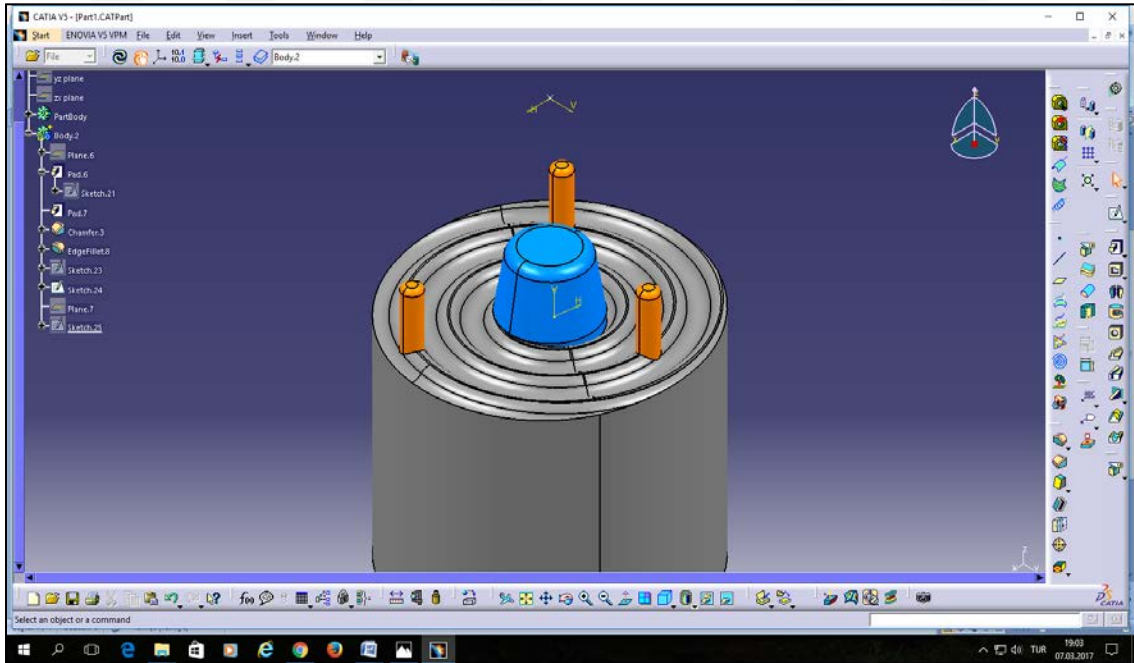
Şekil 4.28. T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünüşleri.



Şekil 4.28. (devam). T4 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümleri.

4.3. T2 TAKIMINA AİT PARAMETRELERİN ÇEKME KUVVETİNE ETKİSİ

T2 takımı Şekil 4.29’da görüleceği gibi helisel omuz üzerine merkezden farklı ölçülerde kaçık olarak yerleştirilmiş 3 adet pimden oluşmaktadır. Pimlerin bu şekilde yerleştirilmesindeki amaç; daha fazla malzemenin kaynak havuzuna dahil edilip kaynak havuz hacmini artırmaktır. Kaynak havuz hacminin artması ile kaynak kesit alanında artma meydana gelir ve kaynak dayanımı kaynak kesit alanına bağlı olarak artar.



Şekil 4.29. T2 takımının ekran görüntüsü.

T2 takımının sahip olduğu özel geometri, bu çalışmanın en iyi sonuçlarının alındığı kaynak takımı geometrisidir. T2 takımı ile üretilen numunelerin kaynak bölgeleri enine

kesilmiş ve kaynak kesiti incelenmiştir. İncelemeler sonucunda, daha önce literatürde rastlanmamış yeni bir kesit formu ile karşılaşılmıştır. Özellikle bu takım ile üretilen numunelerin kaynak bölgelerinin enine kesitleri, “Fincan Tabacağı Formu” şeklinde değil de, şişe dibine benzemesi nedeniyle “Şişe Dibi Formu” olarak isimlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen bu farklı kaynak kesiti formunun, yapılan testler sonucunda dayanıma beklenen kazanımı sağladığı görülmüştür. Çizelge 4.8’de T2 kaynak takımı ile yapılan denemeler sonucunda max. çekme kuvveti açısından ulaşılan en iyi beş değer verilmiştir.

Çizelge 4.8. T2 takımı ile elde edilen en iyi altı numuneye ait parametre ve max. çekme kuvveti değerleri.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
PT21	1000	100	60	6	4273
PT22	1250	100	60	6	4237
PT10	1500	100	90	6	4121
PT23	1500	100	60	6	4089
PT12	1250	100	120	6	4082
PT27	1250	100	90	6	4007

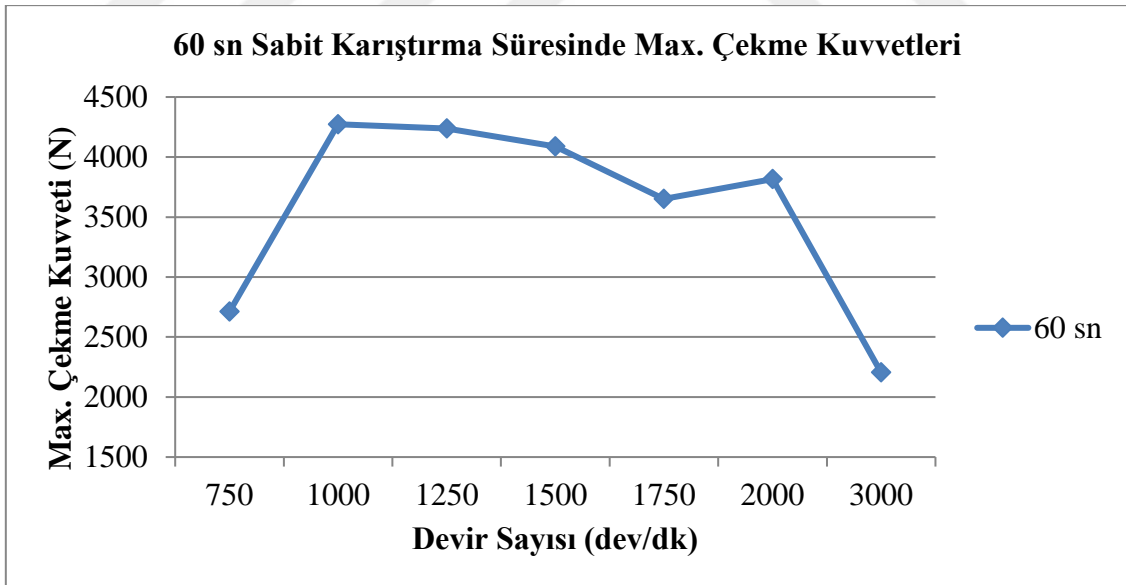
4.3.1. Takım Devrinin Kaynak Dayanımına Etkisi

T2 takımı için deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda 6 farklı devir sayısı belirlenerek çekme numuneleri üretilmiş, üretilen bu numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.9’da deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda belirlenen değerler ile üretilen numunelerin çekme testi sonucunda Newton cinsinden ölçülen max. çekme kuvvetleri verilmiştir. Buna göre en iyi çekme kuvvetine 1000 dev/dk’da üretilen PT21 kodlu numunede 4273 N max. çekme kuvveti olarak ulaşılmıştır. Takım devri 1000 dev/dk’nın üzerine çıkarıldığında max. çekme kuvvetinde belirgin bir azalma olmakla birlikte 1000 dev/dk’nın altına düşürüldüğünde de aynı sonuç ile karşılaşılmıştır. En düşük çekme kuvveti 3000 dev/dk’da üretilen PT08 kodlu numunede 2204 N olarak elde edilmiştir. T2 takımı için yapılan ön denemeler sonucunda, karıştırma işleminden hemen sonra geri çekme işlemi yerine takımın devri 0 dev/dk’ya düşürülerek bu pozisyonda 30 sn bekletilmesinin max. çekme kuvveti üzerinde ciddi dayanım artışına sebep olduğu görülmüş ve T2 takımı ile üretilen çekme numunelerinde “bekleme süresi” adı altında yeni ve sabit bir parametre belirlenmiştir. Bekleme süresi bitiminde takım hareketsiz iken geri çekme işlemi yapılmıştır. Ayrıca T2 takımı için yapılan ön denemelerde 3000 dev/dk devir sayısı da denenmiştir. 3000 dev/dk için üretilen çekme numunelerinin max. çekme

kuvvetlerinin çok düşük çıkmasından dolayı bu devir sayısı ile çekme numunesi üretimi yapılmamıştır. Çizelge 4.9'daki max. çekme kuvvetleri, 100 mm/dk sabit dalma hızı, 60 sn sabit karıştırma süresi, 6 mm sabit dalma derinliğinde ve 30 sn bekleme süresinde üretilen çekme numunelerinde ölçülmüştür. Çizelge 4.9'da görülen max. çekme kuvveti değerleri için tek değişken takım devri olduğundan dolayı devir sayısının max. çekme kuvvetine etkisi net olarak görülebilmektedir. Ayrıca devir sayısının max. çekme kuvvetine etkisi Şekil 4.30'daki grafikte görülmektedir.

Çizelge 4.9. T2 takımı için devir sayısının max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
PT02	750	100	60	6	2711
PT21	1000	100	60	6	4273
PT22	1250	100	60	6	4237
PT23	1500	100	60	6	4089
PT24	1750	100	60	6	3651
PT25	2000	100	60	6	3817
PT08	3000	100	60	6	2204

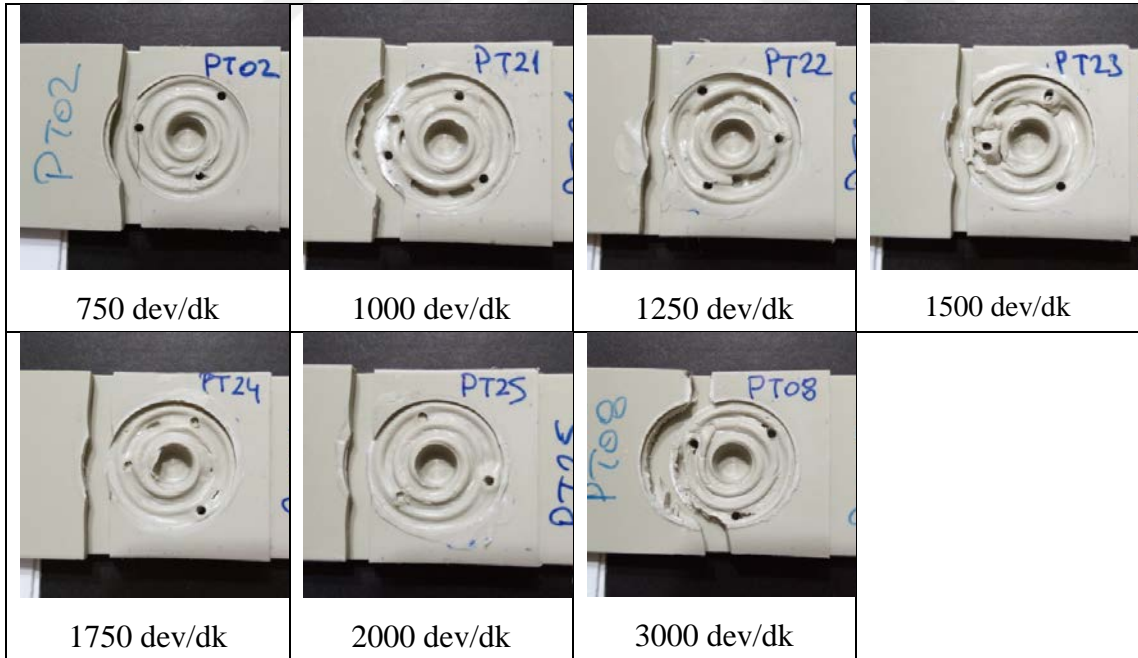


Şekil 4.30. T2 takımı için kaynak takımının devir sayısının max. çekme kuvveti üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.

Şekil 4.31'deki 750-3000 dev/dk devir aralığındaki 7 farklı devir sayısı ile birleştirilen, sabit 60 sn karıştırma süresi ve 6 mm dalma derinliği uygulanan numunelerin kaynak bölgesi görüntüleri benzerlik göstermektedir. Kaynak bölgelerinin üstten görünüşleri

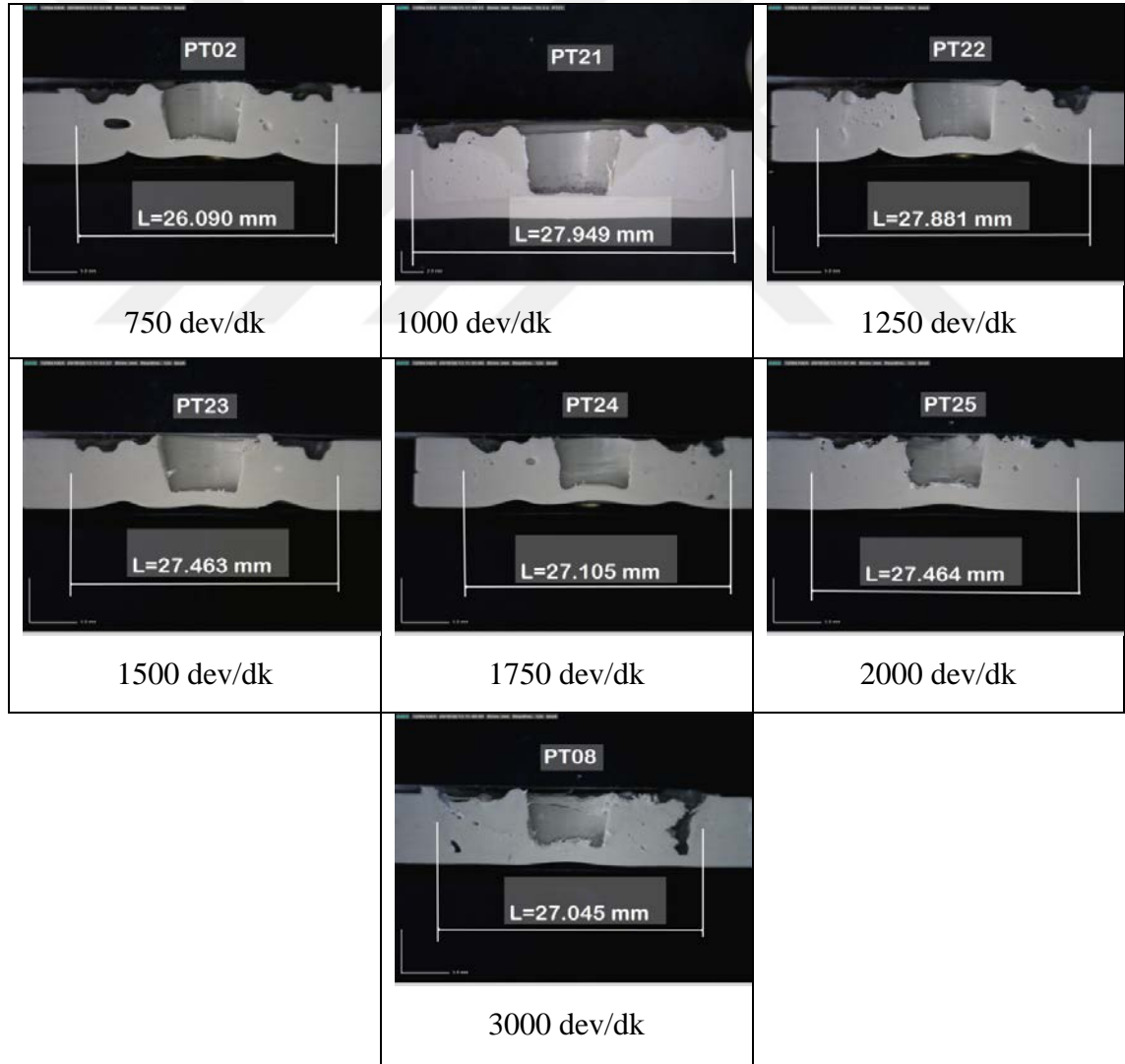
incelendiğinde 1,5 mm çapında 3 adet delik görülmektedir. Bu delikler kaynak takımında var olan 1,5 mm çapında ve 5 mm uzunluğundaki pimlere aittir. Dolayısı ile kaynak bölgesinin üst görünüşünde var olan 1,5 mm çapındaki 3 adet delik görünümü, T2 takımı ile birleştirilen numuneler için karakteristik bir görünümdür. Bunun yanı sıra 1000 dev/dk ve 1250 dev/dk takım devri ile imal edilen numunelerin kaynak bölgelerinin üst yüzeyinde çukur oluşumu gözlemlenmektedir. Fakat bu numunelerin çekme kuvveti değerleri incelendiğinde oluşan çukurların dayanıma olumsuz yönde etki yapmadığı anlaşılmaktadır. Çekme deneyi öncesi kaynak bölgeleri incelendiğinde, kaynak bağlantısının oldukça düzgün bir şekilde gerçekleştirildiği, alt ve üst parçaya ait parçaların birleştirme işlemine katıldığı, bağlantının hedefine ulaştığı gözlemlenmektedir. Buda imal edilen kaynak takımının yapılan işleme uygun olduğunu göstermektedir.

Aynı numuneler için Şekil 4.31'deki çekme testi sonrası kaynak bölgesi kopma fotoğrafları incelendiğinde sadece ara yüzey esaslı kopma tipi gözlenmektedir. Buna göre sabit 6 mm dalma derinliği ve 60 sn karıştırma süresi 750-3000 dev/dk takım devri aralığında üretilen numunelerin aynı kopma mekanizmasına sahip oldukları görülmüştür.



Şekil 4.31. T2 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünüşleri.

Şekil 4.32'deki optik mikroskop görüntüleri ara kesit kaynak çapı ve nüfuziyet açısından incelendiğinde, ara kesit kaynak çapının ve nüfuziyetin artması ile çekme kuvveti değerlerinin arttığını destekleyen önemli veriler elde edilmiştir. Buna göre sabit 6 mm dalma derinliği ve sabit 60 sn karıştırma süresi ile üretilen numuneler arasında en iyi çekme kuvveti değeri 1000 dev/dk takım devri ile üretilen 27,9 mm ara kesit kaynak çapına sahip olan PT21 nolu numunede ortaya çıkmıştır. En düşük çekme kuvvetine sahip 3000 dev/dk takım devri ile üretilen PT08 kodlu numunede ise 27 mm olan ara kesit kaynak çapı, düşük çekme kuvvetini açıklamaktadır. Aynı zamanda PT08 kodlu numunenin kaynak kesiti incelendiğinde kaynak bölgesinde malzeme bütünlüğünün bozularak boşluklar oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu boşluklar da kaynak dayanımını düşüren önemli bir etken olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.32. T2 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görüntüleri.

4.3.2. Dalma Derinliğinin Kaynak Dayanımına Etkisi

T2 takımı için ön deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda farklı dalma derinliklerinde üretilen numunelerin max. çekme dayanımları arasında belirgin farklar olmaması nedeniyle ilgili takım ile sadece 6 mm dalma derinliğinde çekme numuneleri üretilmiş ve çekme testine tabi tutulmuştur. Dolayısı ile T2 takımı için dalma derinliği parametresinin kaynak dayanımına etkisi araştırılmamıştır.

4.3.3. Karıştırma Süresinin Kaynak Dayanımına Etkisi

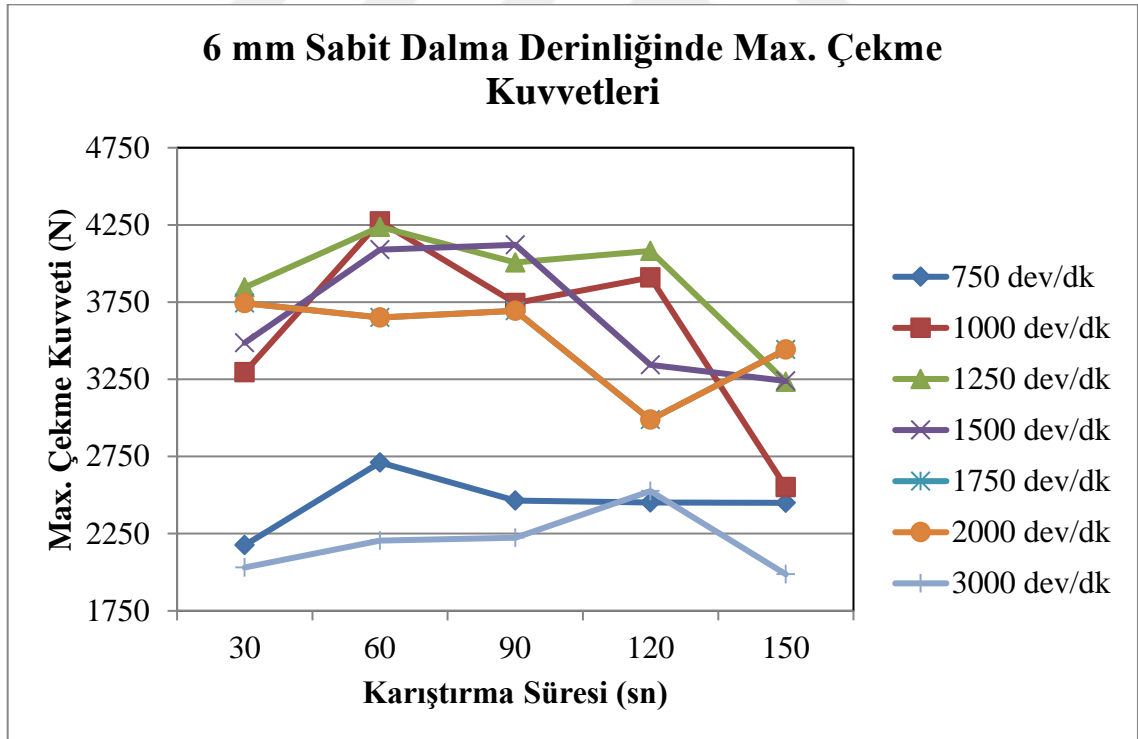
T2 takımı için ön deneylerden edinilen sonuçlar doğrultusunda 5 farklı karıştırma süresi belirlenerek çekme numuneleri üretilmiş, üretilen bu numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.10'da ön deneylerden edilen sonuçlar doğrultusunda belirlenen değerler ile üretilen numunelerin çekme testi sonucunda Newton cinsinden ölçülen max. çekme kuvvetleri verilmiştir. Buna göre en iyi çekme kuvvetine 60 sn karıştırma süresi ile üretilen numunelerde ulaşılmıştır. En düşük max. çekme kuvveti 30 ve 150 sn karıştırma süresi ile üretilen numunelerde olduğu görülmüştür. 90, 100 ve 120 sn karıştırma sürelerinde üretilen çekme numunelerinin max. çekme kuvvetlerinde bir miktar düşüş gözlenmekle beraber 150 sn karıştırma süresinde üretilen numunelerin max. çekme dayanımlarında ise belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Karıştırma süresinin max. çekme kuvvetine etkisi Şekil 4.33'teki grafikte görülmektedir.

Çizelge 4.10. T2 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
PT01	750	100	30	6	2175
PT02	750	100	60	6	2711
PT03	750	100	90	6	2464
PT04	750	100	120	6	2452
PT05	750	100	150	6	2449
PT16	1000	100	30	6	3295
PT21	1000	100	60	6	4273
PT31	1000	100	90	6	3743
PT11	1000	100	120	6	3910
PT26	1000	100	150	6	2551
PT17	1250	100	30	6	3846
PT22	1250	100	60	6	4237
PT27	1250	100	90	6	4007
PT12	1250	100	120	6	4082
PT32	1250	100	150	6	3234

Çizelge 4.10. (devam). T2 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin tablo halinde gösterilmesi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
PT01	750	100	30	6	2175
PT02	750	100	60	6	2711
PT03	750	100	90	6	2464
PT04	750	100	120	6	2452
PT05	750	100	150	6	2449
PT16	1000	100	30	6	3295
PT21	1000	100	60	6	4273
PT31	1000	100	90	6	3743
PT11	1000	100	120	6	3910
PT26	1000	100	150	6	2551
PT17	1250	100	30	6	3846
PT22	1250	100	60	6	4237
PT27	1250	100	90	6	4007
PT12	1250	100	120	6	4082
PT32	1250	100	150	6	3234

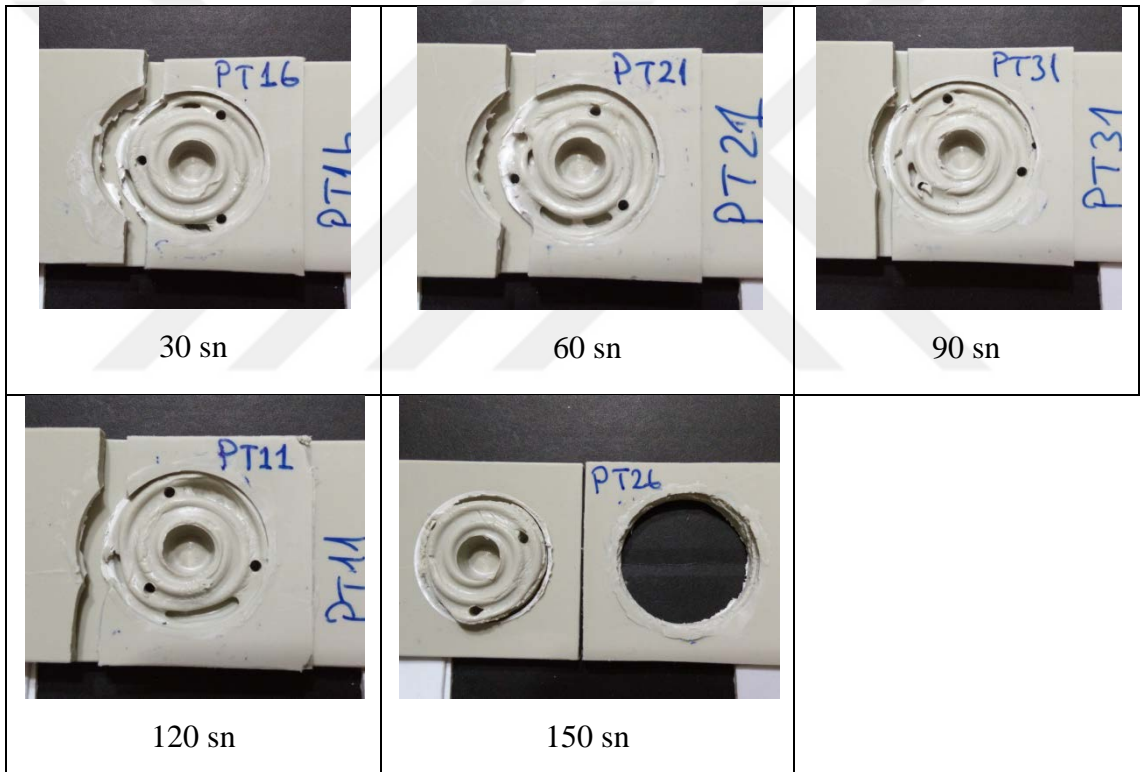


Şekil 4.33. T2 takımı için karıştırma süresinin max. çekme dayanımını üzerine etkisinin grafik halinde gösterilmesi.

Şekil 4.34'teki 30-150 sn aralığındaki 5 farklı karıştırma süresi ile birleştirilen, sabit 1000 dev/dk takım devri ve 6 mm dalma derinliği uygulanan numunelerin kaynak bölgesi

görüntüleri benzerlik göstermektedir Çekme deneyi öncesi kaynak bölgeleri incelendiğinde, kaynak bağlantısının oldukça düzgün bir şekilde gerçekleştirildiği, alt ve üst parçaya ait parçaların birleştirme işlemine katıldığı, bağlantının hedefine ulaştığı gözlemlenmektedir. Buda imal edilen kaynak takımının yapılan işleme uygun olduğunu göstermektedir.

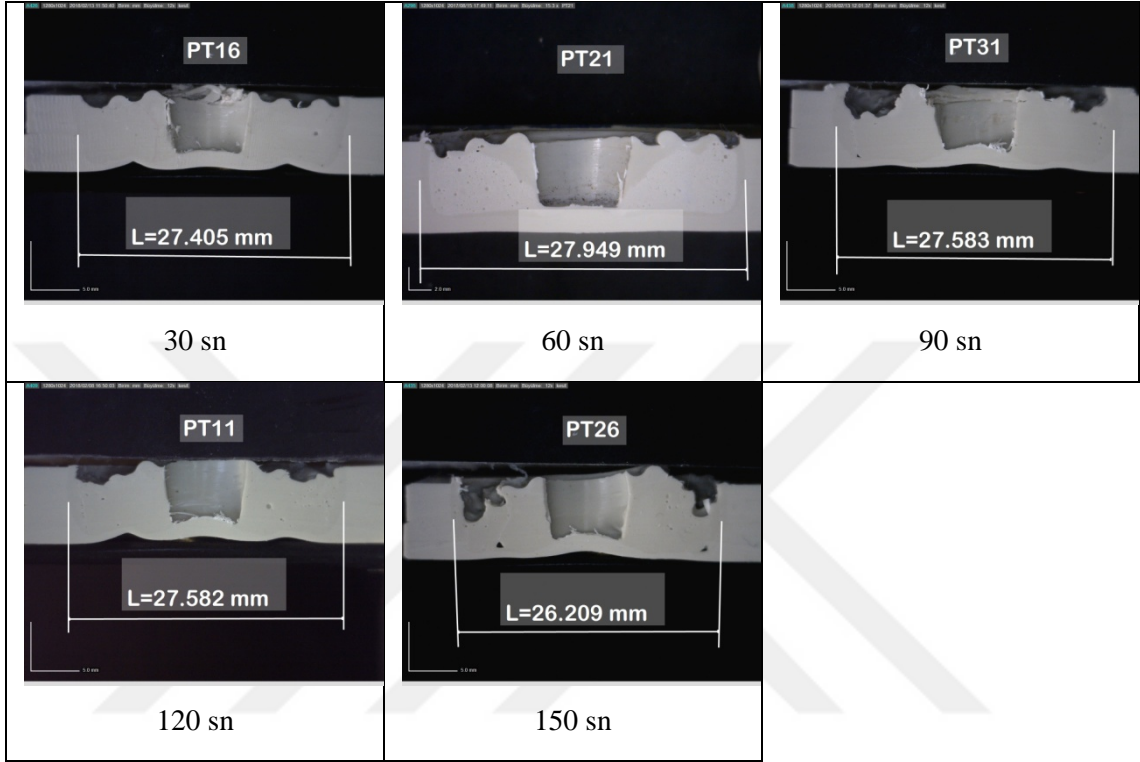
Aynı numuneler için Şekil 4.34'teki çekme testi sonrası kaynak bölgesi kopma fotoğrafları incelendiğinde 30, 60, 90 ve 120 sn karıştırma sürelerinde üretilen numunelerde ara yüzey esaslı kopma tipi gözlenmektedir. 150 sn karıştırma süresinde üretilen numunenin kopma tipi incelendiğinde ise omuz esaslı kopma tipi gözlenmektedir.



Şekil 4.34. T2 takımı ile birleştirilen numunelere ait çekme testi sonrası kaynak bölgesinin üstten görünüşleri.

Şekil 4.35'de optik mikroskop görüntüleri ara kesit kaynak çapı ve nüfuziyet açısından incelendiğinde, ara kesit kaynak çapının ve nüfuziyetin artması ile çekme kuvveti değerlerinin arttığını destekleyen önemli veriler elde edilmiştir. Buna göre sabit 1000 dev/dk takım devri ve sabit 6 mm dalma derinliği ile üretilen numuneler arasında en iyi çekme kuvveti değeri 60 sn karıştırma süresi ile üretilen 27,9 mm ara kesit kaynak çapına sahip olan PT21 nolu numunede ortaya çıkmıştır. En düşük çekme kuvvetine sahip 150

sn karıştırma süresi ile üretilen PT26 kodlu numunede ise 26,2 mm olan ara kesit kaynak çapı, düşük çekme kuvvetini açıklamaktadır. Aynı zamanda PT26 kodlu numunenin kaynak kesiti incelendiğinde kaynak bölgesinin dış çapına yakın bölgesinde meydana gelen derin çukur, düşük dayanımlı bir kaynak oluşumuna yol açmıştır.



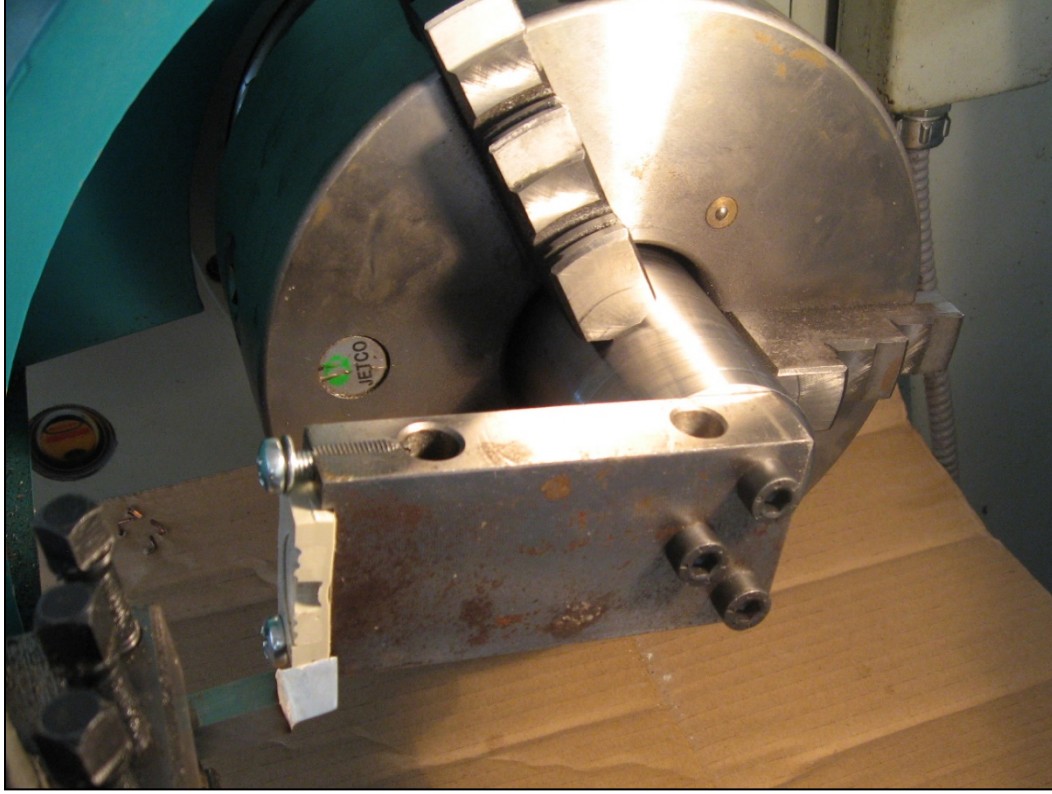
Şekil 4.35. T2 takımı ile birleştirilen numunelere ait kaynak bölgesinin kesit görünümleri.

4.3.4. T2 İle Oluşturulan Yeni Kaynak Kesit Profili

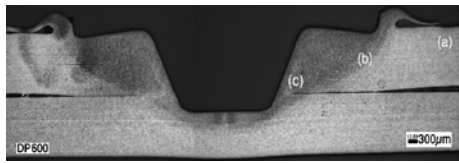
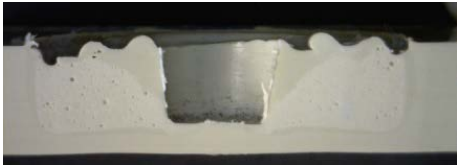
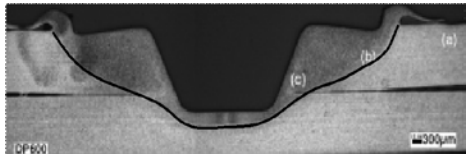

T2 takım ile üretilen numunelerin kaynak bölgelerinin enine kesitleri incelendiğinde, daha önce literatürde rastlanmamış yeni bir kaynak kesiti formu ile karşılaşılmıştır. Kesitin fincan tabağı formu şekline değil de şişe dibine benzediği, kaynak havuzu hacminin arttığı ve de kaynak bölgesi alanının arttığı görülmüştür.

T2 takım ile üretilen numuneler kaynak bölgesinin merkezinden enine kesilmiş ve kesilen parçaların kesim yüzeyleri Şekil 4.36'da görünen yüzey düzeltme aparatı yardımı ile universal torna tezgahında kesilen kaynak yüzeyleri düzeltilmiş ve bu numuneler fotoğraflanmıştır. Ortaya çıkan kaynak kesit formu, kesit profilinin şişe dibine benzemesinden dolayı "Şişe Dibi Formu" olarak isimlendirilmiştir. Şekil 4.37'de Fincan Tabağı Formu ile Şişe Dibi Formunun görsel karşılaştırılması verilmiştir. Ayrıca elde edilen bu farklı kaynak kesiti formunun, yapılan testler sonucunda, artan kaynak bölgesi

hacmi ve alanı sayesinde, dayanıma beklenen kazanımı sağladığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda, en yüksek çekme kuvvetine, T2 takımı ile elde edilen, Şişe Dibi Formuna sahip numunelerde ulaşılmıştır.



Şekil 4.36. Kaynak kesiti yüzey düzeltme aparatı.

	Fincan Tabağı Formu	Şişe Dibi Formu
Kaynak Görünümü		
Kaynak Formu Kesit Görünümü		

Şekil 4.37. Şişe Dibi Formu ile Fincan Tabağı Formunun görsel olarak karşılaştırılması (Fincan tabağı formu [1]).

4.4. T3 TAKIMINA AİT PARAMETRELERİN ÇEKME KUVVETİNE ETKİSİ

T3 takımında, spiral omuz kullanılmıştır. Merkez pim olarak da iki farklı helis adımına sahip bir merkez pim kullanılmıştır. Omuzda bulunan spiral kanallar omuzun malzemeye temas etmeye başladığı andan itibaren yumuşayan malzemenin dışarı kaçmasına engel olmak ve daha fazla malzemeyi kaynak havuzunda tutmak ve böylece kaynak dayanımını artırmak amacıyla kullanılmıştır. Merkezde bulunan çift helis kanallı pim ise son yıllarda özellikle SKK uygulamalarında çokça kullanılan ve iyi sonuçlar alınan bir geometridir. Böylece her iki faydalı geometri bir arada kullanılarak yüksek dayanımlı SKNK uygulamaları yapılması hedeflenmiştir. Fakat yapılan ön deneyler sonucunda istenilen kaynak dayanımının elde edilememesi ile beraber Şekil 4.38’de görüldüğü üzere kaynak işlemi sonrasında takımın merkez pimi etrafında çok fazla malzeme birikmesi ve bu biriken malzemelerin takımın merkez piminden uzaklaştırılmasındaki zorluk bu çalışma için T3 takımı ile deneylere devam edilememesi gerektiği sonucuna ulaşmamızı sağlamıştır. Öyle ki karıştırıcı uçtan katılmış malzeme uzaklaştırılma işlemi hem çok uzun zaman almakta hem de temizlik esnasında takımın zarar görme riski ortaya çıkmaktadır. Bu sebeplerden dolayı T3 takımı ile ön deneyler haricinde herhangi bir numune üretilmemiştir.



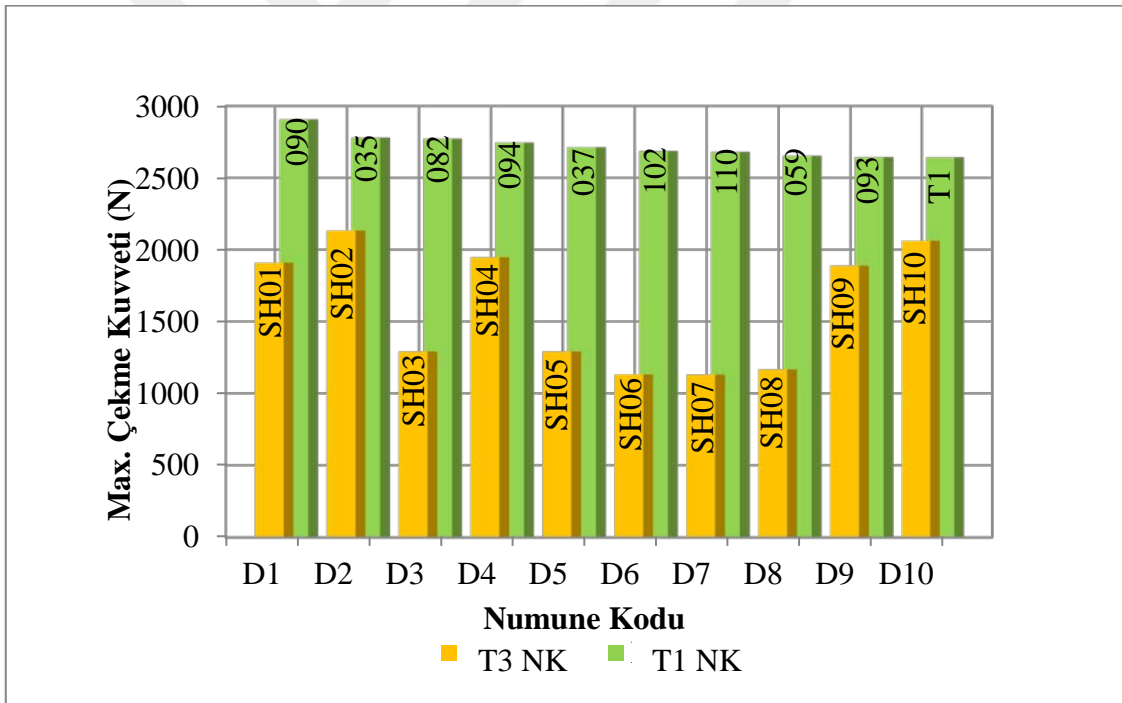
Şekil 4.38. T3 takımının karıştırıcı ucunda SKNK işleminden sonra biriken PP malzeme.

T3 takımın SKNK performansını görebilmek amacıyla T1 takımı ile elde edilmiş en iyi max. çekme kuvvetine sahip 10 adet numunenin sahip olduğu SKNK parametreleri T3 takımını ile denenmiş ve sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Buna göre T1 kaynak takımı

ile elde edilen değerlerin T3 kaynak takımı ile elde edilen değerlerden belirgin olarak daha iyi olduğu görülmüştür. Bu fark Şekil 4.39'daki grafikte daha net görülmektedir.

Çizelge 4.11. T1 ile üretilen numuneler ile T3 ile üretilen numunelerin karşılaştırılması.

T3 NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)	T1 NK	MÇK Fmax (N)
SH01	1000	100	60	6	1910	090	2907
SH02	1500	100	150	6,25	2134	035	2780
SH03	1750	100	150	5,75	1292	082	2773
SH04	1000	100	90	6	1948	094	2746
SH05	1500	100	60	6	1292	037	2714
SH06	1000	100	150	6	1133	102	2686
SH07	1250	100	60	6	1131	110	2681
SH08	750	100	120	6	1167	059	2654
SH09	1000	100	90	5,75	1890	093	2645
SH10	1000	100	120	6,5	2062	100	2644



Şekil 4.39. Aynı SKNK parametrelerinde üretilmiş numunelere ait max. çekme kuvveti değerlerinin T1 ve T3 açısından kıyaslanması.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada SKNK işlemi için kaynak dayanımına etki eden parametrelerden takım geometrisi, takım devri, dalma derinliği ve karıştırma süresi parametreleri üzerinde çalışma yapılmış ve kaynak dayanımı açısından en uygun parametrelerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda PP malzemeden imal edilmiş parçalar, bindirme kaynak yöntemi ile kaynaklı birleştirme işlemi için 4 farklı kaynak takımı, 6 farklı takım devri, 4 farklı dalma derinliği ve 5 farklı karıştırma süresi kullanılarak SKNK yöntemi ile kaynaklanmış ve bu numuneler çekme testine tabi tutularak kaynak dayanımları ölçülmüştür. Yapılan testler sonucunda kaynak takım geometrisinin, takım devrinin, dalma derinliğinin ve karıştırma süresinin kaynak dayanımına etki ettiği görülmüştür.

5.1. TAKIM GEOMETRİSİNİN KAYNAK DAYANIMINA ETKİSİNİN TARTIŞILMASI

5.1.1. Takım Geometrisinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Literatür İncelemesi

Yapılan literatür incelemesi sonucunda, SKNK işlemi sonucunda oluşturulan kaynak noktalarının dayanımına takım geometrisinin önemli oranda etki ettiği görülmüştür. Bilici ve diğ. dört farklı uç profili (silindirik, konik, vida dişi açılmış silindirik ve üçgen) ile, belirli koniklik açısı, kesit boyutu ve uç uzunluğuna sahip takımlarla oda sıcaklığında kaynaklı bağlantılar gerçekleştirmişlerdir. Yüksek yoğunluklu polietilen levhaların SKNK ile birleştirilmesinde, kullanılan takımın uç geometrisinin, kaynak kopma kuvvetine etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, konik takım uç profilinin, en yüksek kaynak kopma kuvvetine sahip kaynak dikişi oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca kaynak takımının uç kesit boyutu ve koniklik açısının, dikiş oluşumu ve kaynak kopma kuvveti üzerinde etkisinin olduğu sonucuna varmışlardır [29]. Bilici ve diğ., yapmış oldukları bir diğer çalışmada ise yine konik uç profiline ait takım ile en iyi kaynak dayanımı değerini elde etmişlerdir [30]. Mert Ş. ve diğ. yapmış oldukları araştırma çalışmasında, sürtünme karıştırma kaynağında, kaynak dayanımını artırmak için kullanılan kaynak takımı geometrisinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalarını detaylı bir şekilde incelemişlerdir [31]. Badarinarayan H. ve diğ. yaptıkları çalışmada, 3

farklı omuz taban açısında (10^0 konkav, 0^0 düz, 10^0 konveks) ürettikleri takımlarla, alüminyum 5754-O levhalar üzerinde uyguladıkları SKNK sonucunda, en iyi kaynak dayanımına 10^0 konkav tabanlı takım ile ulaşılmıştır [32]. Badarinarayan H. ve diğ. bir diğer çalışmalarında ise iki farklı uç geometrisi (silindirik, üçgen) kullanmışlar ve kaynak dayanımı açısından silindirik uçlu kaynak takımının daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir [33]. Tozaki T. ve diğ. üç farklı uç uzunluğuna (3,7 - 3,1 - 2,4 mm) sahip takım ile yaptıkları çalışma sonucunda, uç uzunluğu arttıkça kaynak dayanımında da artış olduğunu gözlemlemişlerdir [34], [35].

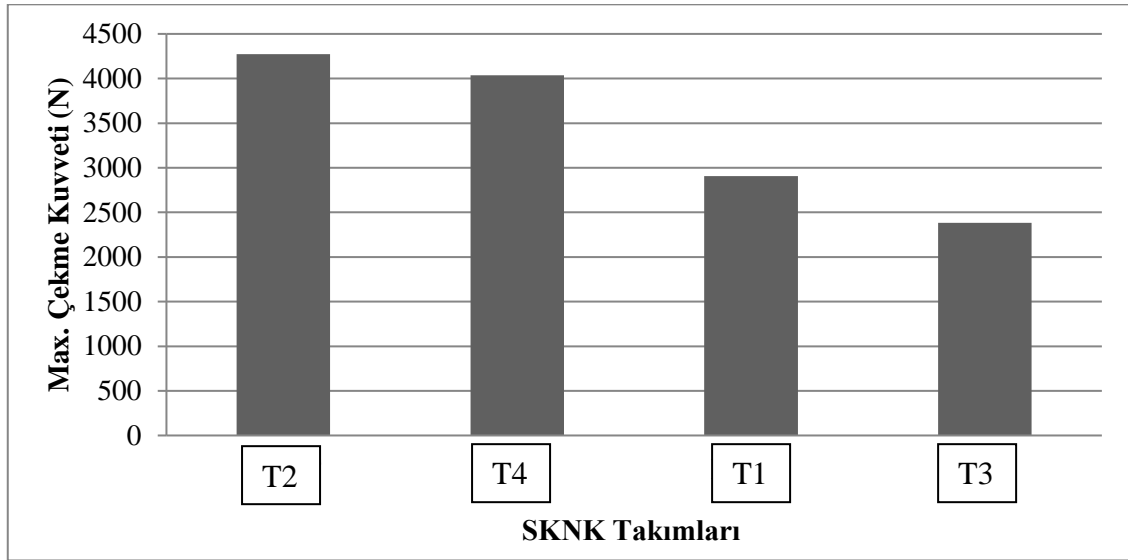
5.1.2. Takım Geometrisinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Tartışılması

Bu çalışmada takım geometrisinin SKNK dayanımına etkisini araştırmak için 4 farklı takım geometrisi kullanılmıştır. Takım geometrileri belirlenirken literatürde var olan takım geometrileri ve ön deney sonuçları ile birlikte temel fizik prensipleri de göz önünde bulundurulmuştur. Takımlar, CNC dik işleme tezgâhı ve Torna tezgâhı kullanılarak, çoğu kendi imkanlarımız dahilinde üretilmiş ve SKNK uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ön deneyler sonucunda belirlenen takım geometrileri için kaynak parametreleri belirlenmiş ve her bir takım geometrisi için belirlenen bu parametreler uygulanmıştır. Çizelge 5.1’de görülen, farklı geometrilere imal edilen takımlar ile üretilen SKNK numunelerinin çekme testleri sonucunda en yüksek çekme değerine T2 kodlu takım ile ulaşılmıştır. En iyi ikinci değere T4 kodlu takım ile en iyi üçüncü değere ise T1 kodlu takım ile ulaşılmıştır. Yapılan ön deneyler neticesinde T3 takımını ile yaşanan sıkıntılar sonucunda herhangi bir deney numunesi üretilmemiştir.

Çizelge 5.1. SKNK işlemi ile üretilen numunelerin üretiminde kullanılan farklı geometrilere sahip takımlar ile elde edilen max. çekme kuvveti değerleri.

TK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK F_{max} (N)
T2	1000	100	60	6	4273
T4	1000	100	90	5,75	4037
T1	1000	100	60	6	2907
T3	1500	100	150	6,25	2134

Her bir takım için ulaşılan max. çekme kuvvetleri, Şekil 5.1'deki grafikte görölmektedir.



Şekil 5.1. SKNK takımlarında kullanılan geometriler ile elde edilen max. çekme kuvveti değerlerinin grafik olarak gösterimi.

Elde edilen max. çekme kuvvetleri incelendiğinde, spiral omuz ve merkezden kaçık olarak yerleştirilmiş 3 adet pimden oluşan T2 kodlu takımın sahip olduğu geometrinin, max. çekme kuvvetini en yüksek değerlere taşıdığı görölmüştür. Merkezden kaçık olarak yerleştirilmiş karıştırıcı pimler mikser etkisi meydana getirerek daha fazla PP malzemenin kaynak havuzuna dahil olmasını sağlamış ve kaynak havuzunun sahip olduğu hacmin artmasına yol açmıştır. Bu sayede kaynak kesit alanı artmıştır. Artan kesit alanı bağlantının kopmaya karşı olan direncini artırarak, max. çekme kuvvetinin en iyi değerleri yakalamasını sağlamıştır. Ayrıca takım geometrisine eklenen spiral omuz kanalları kaynak bölgesinden dışarı kaçmaya çalışan malzemeyi sürekli olarak, dıştan içe doğru kapanan spiral kanallar sayesinde tutmuş ve daha fazla malzemenin kaynak havuzuna dahil olmasını sağlayarak max. çekme kuvvetinin artması sağlanmıştır. T4 kaynak takımında da aynı omuz kullanılmış ve bu takımla üretilen SKNK numunelerinin max. çekme kuvvetlerinin yüksek olmasını sağlamıştır. Üretimi diğer kaynak takımı profillerinden daha az maliyetli ve daha kolay olan T1 kaynak takımı ile oluşturulan kaynak bağlantılarından elde edilen çekme kuvveti değerleri, T3 kodlu kaynak takımı ile oluşturulan kaynak bağlantılarından elde edilen çekme kuvvetlerinden daha yüksektir. T3 kodlu kaynak takımının sahip olduğu geometri ile üretilen SKNK numunelerinin max. çekme kuvveti değerleri, T2, T4 ve T1 kodlu takımlara nazaran belirgin bir farkla daha düşük değerlerde oluştuğu görölmüştür.

5.2. KAYNAK PARAMETRELERİNİN KAYNAK DAYANIMINA ETKİSİNİN TARTIŞILMASI

5.2.1. Kaynak Parametrelerinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Literatür İncelemesi

Çevik (2014), polietilen levhalar ile yaptığı çalışmada, kaynak işlemlerinde iki farklı takım dönme yönü (sağ ve sol) ve üç farklı karıştırma süresi (60, 90 ve 120 sn) kullanmıştır. En iyi kaynak dayanımını, dönme yönü sağ ve 90 sn karıştırma süresinde 1773 N olarak elde etmiştir [36]. Çevik'in bir diğer yaptığı çalışmada (2014) ise 900 dev/dk takım dönme hızı ve beş farklı karıştırma süresi (20, 40, 60, 80 ve 100 sn) kullanmıştır. Çekme testi sonucunda en iyi çekme kuvveti değerine (1760 N) 80 sn karıştırma süresi ile oluşturulan numunede ulaşmıştır [37]. Bilici ve diğ. (2012), polietilen levhalar üzerinde yaptıkları çalışmada, takım dönme hızı, dalma derinliği ve dönme süresinin kaynak dikiş oluşumunu ve kaynak kopma kuvvetini etkilediğini ve yüksek kopma kuvveti elde edebilmek için bu üç kaynak parametresinin optimum değerinde olması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışma sonucunda kullanılan kaynak takımına bağlı olarak elde edilen optimum kaynak parametrelerini ise 710 dev/dk dönme hızı, 5,7 mm takım dalma derinliği ve 30 sn dönme süresi olarak tespit etmişlerdir [38]. Mert (2010), 3 mm kalınlığındaki polipropilen levhalar üzerinde yaptığı çalışmada, bekleme süresinin ve devir sayısının çekme kuvvetine etkisinin incelendiği ve tek nokta kaynağı için bindirme bağlantıları ile yapılan kısmında, 1728 N olarak elde edilen en yüksek çekme kuvveti değeri için optimum bekleme süresi, devir sayısı, dalma derinliği ve dalma hızı parametrelerini sırası ile 150 sn - 1250 dev/dk - 5,5 mm - 100 mm/dk olarak bulmuştur. Aynı kalınlıktaki PP numunelerde, dalma derinliğini incelediği çalışmalarda ise, 1832 N'luk en yüksek çekme kuvveti değerine, 4,65 mm'lik dalma derinliğinde ulaşmıştır. Dalma derinliğinin çekme kuvvetine etkisinin incelendiği ve tek nokta kaynağı için bindirme bağlantıları ile yapılan çalışmalarda, dalma derinliği aralığının küçük artışlar ile taranması sonucu, elde edilen en yüksek çekme kuvveti değeri için optimum bekleme süresi, devir sayısı, dalma derinliği ve dalma hızı parametreleri sırası ile 150 sn - 1250 dev/dk - 4,65 mm - 100 mm/dk olarak bulunmuştur [1]. Kurtulmuş (2012), 4 mm kalınlığındaki PP malzeme üzerinde yaptığı çalışmada en iyi kaynak dayanımına 900 dev/dk takım devri, 5,7 mm dalma derinliği ve 120 sn karıştırma süresinde ulaşmıştır [39], [40].

5.2.2. Takım Devrinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Tartışılması

Bu çalışmada, ön deneyler yapılmak suretiyle 250 dev/dk ile 6000 dev/dk aralığında 12 adet farklı takım devri kullanılarak kaynak dayanımı açısından en uygun takım devrini tespit edebilmek için deneyler yapılmış ve deneylerin sonucunda takım devri olarak 750, 1000, 1250, 1500, 1750 ve 2000 dev/dk değerleri belirlenmiştir. Belirlenen takım devirlerinin dışında kalan devirler ile imal edilen numunelerin çekme testleri sonuçlarının istenilen düzeyde çıkmaması sonucunda 750-2000 dev/dk aralığında seçilen 5 farklı takım devri dışında kalan devirler ile numune üretimi yapılmamıştır. Belirlenen bu takım devri değerleri imal edilen SKNK takımları için ayrı ayrı uygulanmış ve bu takımlarla imal edilmiş SKNK numunelerinin kaynak dayanımları ölçülmüştür. Buna göre en yüksek çekme kuvvetine, T2, T4 ve T1 kodlu kaynak takımları için 1000 dev/dk takım devrinde ulaşılmıştır. T3 kodlu kaynak takımı için ise 1500 dev/dk takım devrinde en yüksek çekme kuvveti değeri elde edilmiştir. Bu da göstermektedir ki kaynak dayanımı açısından en uygun takım devir değeri kullanılan SKNK takımının geometrisine göre farklılık göstermekle beraber takım devri açısından bir genelleme yapılacak olunursa, 1000 dev/dk takım devri SKNK işlemi için kullanılması tercih edilmesi gereken takım devri olmalıdır. Deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde Çizelge 5.2'de görüldüğü üzere 3000, 4000, 5000 ve 6000 dev/dk gibi yüksek devir sayıları uygulandığında takımın PP malzeme ile temas bölgesinde meydana gelen yüksek merkezkaç kuvveti daha fazla malzemenin kaynak bölgesinden uzaklaşmasına neden olmakta ve dolayısı ile kaynak dayanımı düşmektedir. Bu sebepten dolayı bu çalışmada yüksek takım devirleri kullanılmamıştır. Her ne kadar devir sayısı ile karıştırma süresi birbiri ile ters orantılı olsa da dışarıya kaçan malzemenin fazla olması, yüksek takım devirlerinin kullanılmaması gerektiği kanısını doğrulamaktadır. Çok düşük takım devir değerleri kullanıldığında ise takım ile malzeme arasındaki sürtünmenin SKNK için yeterli ısıyı oluşturamadığı dolayısı ile PP malzemede kaynak için istenilen yumuşamayı sağlayamadığı görülmektedir.

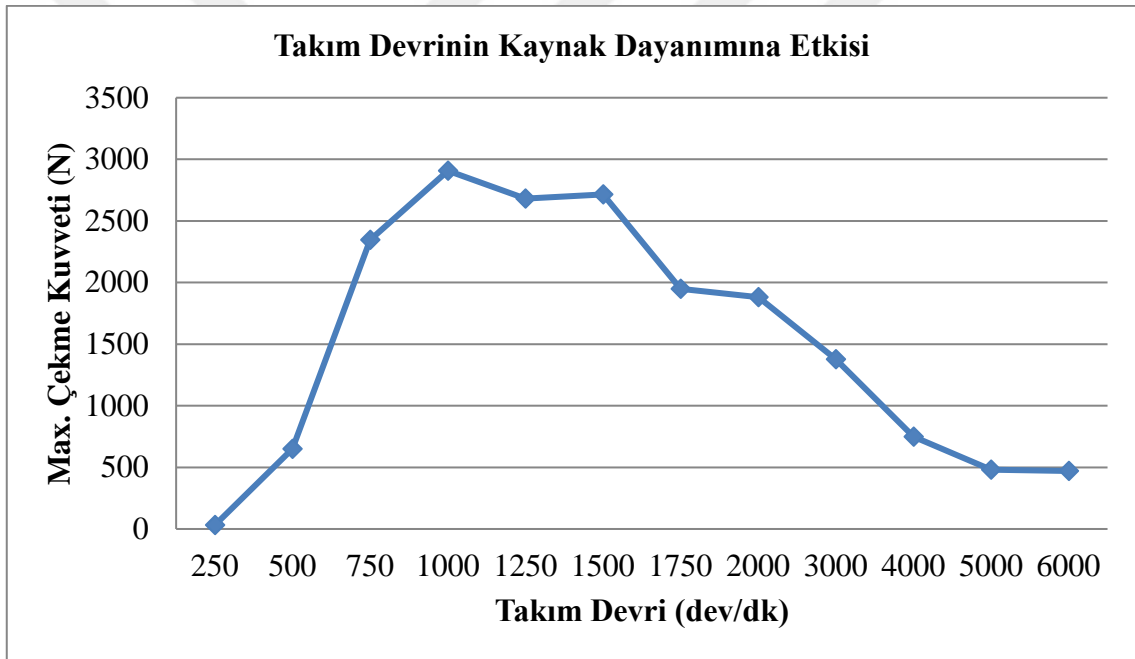
Çizelge 5.2. Yüksek takım devrinin max. çekme kuvvetine etkisi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
D05	250	100	60	6	32
D06	500	100	60	6	650
051	750	100	60	6	2346
090	1000	100	60	6	2907

Çizelge 5.2. (devam). Yüksek takım devrinin max. çekme kuvvetine etkisi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
110	1250	100	60	6	2681
037	1500	100	60	6	2714
071	1750	100	60	6	1948
007	2000	100	60	6	1880
D07	3000	100	60	6	1376
D08	4000	100	60	6	748
D09	5000	100	60	6	482
D10	6000	100	60	6	471

Şekil 5.2’de ise yüksek takım devrinin max. çekme kuvvetine etkisi grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Yüksek takım devrinin max. çekme kuvvetine etkisinin grafik olarak gösterilmesi.

5.2.3. Dalma Derinliğinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Tartışılması

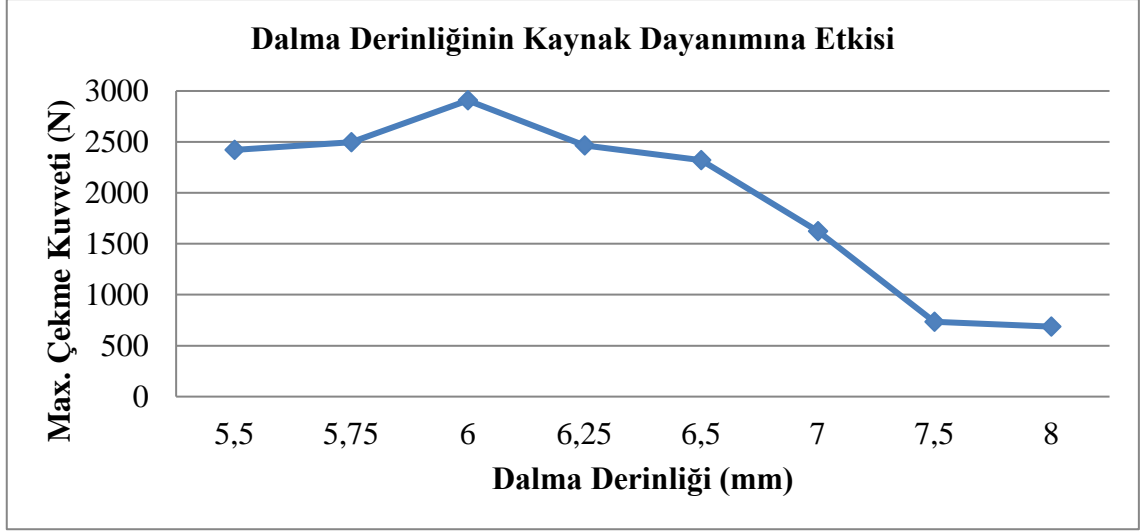
Bu çalışmada, kaynak dayanımı açısından en uygun dalma derinliği parametrelerini tespit edebilmek için ön deneyler yapılmış ve yapılan ön deneylerin sonucunda dalma derinliği olarak 5.75, 6, 6.25, ve 6.5 mm parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen bu parametre değerleri imal edilen SKNK takımları için ayrı ayrı uygulanmış ve bu takımlarla imal edilmiş SKNK numuneler çekme testine tabi tutularak max. çekme kuvveti değerleri belirlenmiştir. Buna göre max. çekme kuvvetine sahip olan numunelerin üretilmesinde

kullanılan T2 kodlu kaynak takımı için 6 mm, T4 kodlu kaynak takımı için 5,75 mm, T1 kodlu kaynak takımı için 6 mm, T3 kodlu takım için ise 6,25 mm dalma derinlikleri en iyi dalma derinlikleri olarak tespit edilmiştir. Bu da göstermektedir ki kaynak dayanımı açısından en uygun dalma derinliği değeri kullanılan SKNK takımının geometrisine göre farklılık göstermektedir. Genel itibarı ile kaynak dayanımı açısından en iyi dalma derinliği 6 mm olarak kabul edilebilir. Ön deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde 5,75 mm'nin altındaki değerlerde, özellikle 5,5 ve altındaki değerlerde, omuz malzemeye temas etmediği için kaynak takımı omzunun SKNK işlemine herhangi bir faydası olamamaktadır. Parça yüzeyine temas etmeyen omuz ile malzeme arasında herhangi bir sürtünme olmayacağından dolayı yüzeyde yumuşama meydana gelmeyecek, kaynak bölgesinde daha az ısı ve daha az yumuşamış malzeme olacaktır. Ayrıca yüzeyde yumuşamış malzeme olmadığından dolayı karışma da söz konusu olmayacaktır. Yumuşama ve karışma işlemi sadece merkez pim etrafında olacaktır. Sadece merkez pim etrafında meydana gelen kaynak bölgesinin kesit alanı küçük olacak ve bu durum kaynak dayanımına olumsuz etkiyecektir. Bunun yanı sıra edinilen sonuçlar itibarı ile dalma derinliğinin 6,5 mm'den fazla olması kaynak takımının omuz kısmının malzemeye daha fazla dalması anlamına gelir ki buda kaynak havuzunun hacminin azalmasına yol açtığı görülmüştür. Omuz ne kadar çok malzemeye daldırılır ise omuzun girmiş olduğu bölgedeki malzeme boşalır ve takım geri çekildiğinde malzemeye dalmış olan omuz profili kadar bir hacmin boşluk olarak kaldığı görülmüştür. Boşluk olarak kalan bölge kaynak dayanımını olumsuz olarak etkilemektedir. Çizelge 5.3'te dalma derinliğinin kaynak dayanımına etkisi görülmektedir.

Çizelge 5.3. Dalma derinliğinin kaynak dayanımına etkisi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
D11	1000	100	60	5,5	1423
089	1000	100	60	5,75	2496
090	1000	100	60	6	2907
091	1000	100	60	6,25	2467
092	1000	100	60	6,5	2322
D12	1000	100	60	7	1625
D13	1000	100	60	7,5	734
D14	1000	100	60	8	687

Ayrıca Şekil 5.3'te dalma derinliğinin kaynak dayanımına etkisi grafik olarak görülmektedir.



Şekil 5.3. Dalma derinliğinin kaynak dayanımına etkisinin grafik olarak gösterilmesi.

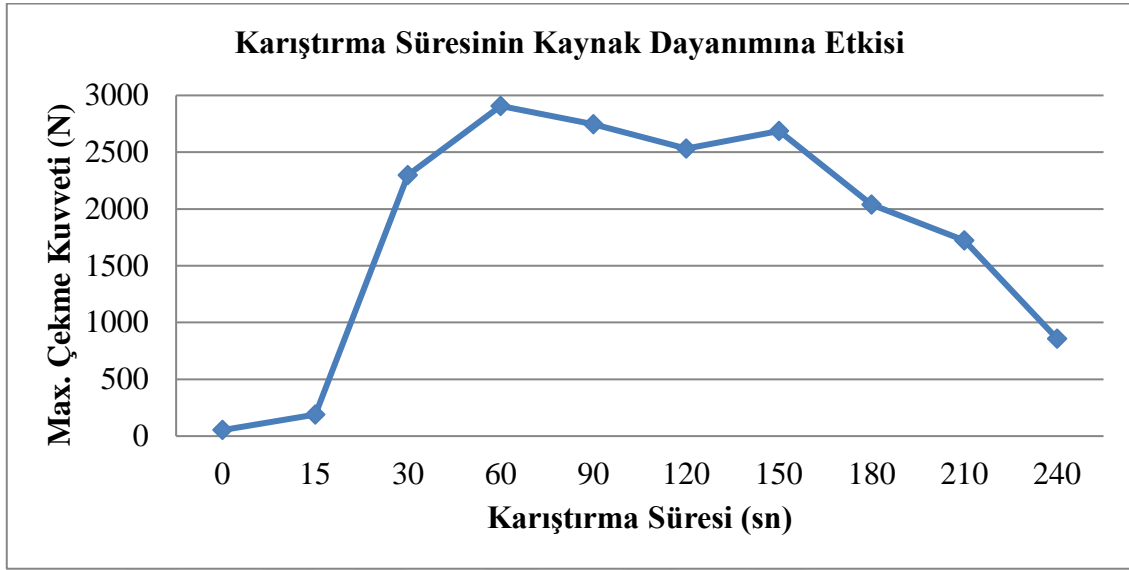
5.2.4. Karıştırma Süresinin Kaynak Dayanımına Etkisinin Tartışılması

Karıştırma süresinin kaynak dayanımına etkisi incelendiğinde T2 takımı için en yüksek çekme kuvveti olan 4273 N max. çekme kuvvetine sahip numunede en iyi karıştırma süresi 60 sn, T1 takımı için kaynak dayanımı açısından 2907 N max. çekme kuvvetine sahip numunede en iyi karıştırma süresi 60 sn, T4 takımı için kaynak dayanımı açısından 4037 N max. çekme kuvvetine sahip numunede en iyi karıştırma süresi 90 sn, T3 takımı için kaynak dayanımı açısından 2134 N max. çekme kuvvetine sahip numunede en iyi karıştırma süresi 150 sn olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, kaynak dayanımı açısından en iyi karıştırma süresinin, takım geometrisine bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır. Karıştırma süresinin kaynak dayanımına etkisi Çizelge 5.4'te görülmektedir.

Çizelge 5.4. Karıştırma süresinin kaynak dayanımına etkisi.

NK	TD (dev/dk)	DH (mm/dk)	KS (sn)	DD (mm)	MÇK Fmax (N)
D01	1000	1000	0	6	53
D15	1000	1000	15	6	189
088	1000	1000	30	6	2297
090	1000	1000	60	6	2907
094	1000	1000	90	6	2746
98	1000	1000	120	6	2531
102	1000	1000	150	6	2686
D02	1000	1000	180	6	2038
D03	1000	1000	210	6	1722
D04	1000	1000	240	6	857

Ayrıca Şekil 5.4'te de görüldüğü gibi karıştırma süresinin 30 sn'nin altında belirlenmesi kaynak dayanımının düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 5.4. Karıştırma süresinin kaynak dayanımına etkisinin grafik olarak gösterilmesi.

6. SONUÇ

1- Bu çalışmada kullanmak için 4 adet SKNK takımı üretilmiştir. Kullanılan bu takımlardan T2 kodlu SKNK takımı ile üretilen bağlantıların üzerinden alınan zar numunelerin incelenmesi ile karşılaşılan kaynak kesiti daha önce literatürde rastlanmamış olan yeni bir kaynak formudur. Bu forma, form profilinin şişe dibine benzemesi üzerine “Şişe Dibi Formu” adı verilmiştir. Şişe Dibi Formunu oluşmasına sebep olan şey T2 takımı üzerinde bulunan ve merkezden farklı mesafelerde ve birbirine 120° açı ile yerleştirilmiş olan 3 adet pimin kaynak işlemi sırasında bir mikser gibi davranması ve daha fazla hacimde malzemenin yumuşayarak karışmasını sağlamasıdır.

2- Şişe Dibi Formu’na sahip olan numuneler üzerinde yapılan testler sonucunda bu formun kaynak dayanımı üzerinde beklenen olumlu etkiyi gerçekleştirdiği görülmüştür. Bu çalışmanın tamamı ele alındığında en yüksek çekme kuvvetlerine, T2 takımı ile elde edilmiş olan Şişe Dibi Formuna sahip numunelerde ulaşılmıştır. Bu çalışmada elde edilen en yüksek çekme kuvveti 4273 N olup bu değer T2 takımı ile elde edilmiştir.

3- Bu çalışmada elde edilen 4273 N’luk en yüksek çekme kuvveti değerine, T2 kodlu SKNK takımı ile 1000 dev/dk takım devri, 6 mm dalma miktarı ve 60 sn karıştırma süresi kullanılarak ulaşılmıştır.

4- T1 takımı için en yüksek çekme kuvveti değeri olan 2907 N değerine 60 sn karıştırma süresi, 1000 dev/dk takım devri ve 6 mm dalma derinliği ile üretilen numunelerde ulaşılmıştır.

5- T4 takımı için en yüksek çekme kuvveti değeri olan 4038 N değerine 90 sn karıştırma süresi, 1000 dev/dk takım devri ve 5,75 mm dalma derinliği ile üretilen numunelerde elde ulaşılmıştır.

6- Elde edilen en yüksek çekme kuvveti olan ve T2 takımı ile elde edilen 4273 N max. çekme kuvveti, esas malzemenin 5844 N’luk çekme kuvvetinin %73,11’ine denk gelmektedir. Bu oran T1 takımı ile elde edilen max. çekme kuvveti 2907 N değeri için %49,74 ve T4 takımı ile elde edilen max. çekme kuvveti 4037 N değeri için %69,1 dir.

7- T2 ve T4 takımlarında kullanılan spiral omuz kanalları, kaynak bölgesinden dışarı

kaçmaya çalışan malzemeyi sürekli olarak, dıştan içe doğru kapanan spiral kanallar sayesinde tutmuş ve daha fazla malzemenin kaynak havuzuna dahil olmasını sağlamıştır. Bu sayede max. çekme kuvvetinin artması sağlanmıştır.

8- T3 takımında kullanılan çift helis kanallı karıştırıcı pim geometrisi istenilen sonucu vermemiştir. Bunun sebebi takımın merkez pimi etrafında çok fazla malzeme birikmesi ve bu biriken malzemelerin takımın merkez piminden uzaklaştırılmasındaki zorluktur. Karıştırıcı pim üzerinde biriken katılaşmış malzemenin uzaklaştırılma işlemi hem çok zaman almakta hem de temizlik esnasında takımın zarar görme riski ortaya çıkmaktadır. Bu sebeplerden dolayı T3 takımı ile ön deneyler haricinde herhangi bir numune üretilmemiştir. T3 takımında kullanılan karıştırıcı pim her ne kadar SKK için uygun bir geometri olsa da SKNK için uygun olmadığı görülmüştür.

9- T2 takımı üzerinde bulunan 3 adet karıştırıcı pim, yüksek devirlerde, merkezden kaçık olmaları sebebi ile karıştırma esnasında kaynak havuzunda bulunan yumuşamış malzemeyi dışarıya doğru savurmakta ve kaynak havuzunun malzeme hacmini küçültmektedir. Bu da kaynak dayanımının düşmesine yol açtığı görülmüştür.

10- Bu çalışmada, dalma derinliğinin kaynak dayanımına etkisi araştırılmış olup 5,75 ve 6 mm dalma değerlerinde en yüksek çekme kuvvetleri elde edilmiştir. Özellikle 5,5 mm ve altındaki değerlerde omuz malzemeye temas etmediği için kaynak takımı omzunun SKNK işlemine herhangi bir faydası olmadığı görülmüştür. Parça yüzeyine temas etmeyen omuz ile malzeme arasında herhangi bir sürtünme olmadığından dolayı yüzeyde yumuşama meydana gelmemiş, kaynak bölgesinde daha az ısı ve daha az yumuşamış malzeme oluşmuştur. Ayrıca yüzeyde yumuşamış malzeme olmadığından dolayı karışma da söz konusu olmamıştır. Yumuşama ve karışma işlemi sadece merkez pim etrafında oluşmuştur. Sadece merkez pim etrafında meydana gelen kaynak bölgesinin kesit alanı küçük oluşmuş ve bu durum kaynak dayanımına olumsuz etkilemiştir. Bunun yanı sıra edinilen sonuçlar itibarı ile dalma derinliğinin fazla olması kaynak takımının omuz kısmının malzemeye daha fazla dalması anlamına gelir ki buda kaynak havuzunun hacminin azalması demektir. Omuz ne kadar çok malzemeye daldırılır ise omuzun girmiş olduğu bölgedeki malzeme boşalır ve takım geri çekildiğinde malzemeye dalmış olan omuz profili kadar bir hacim boşluk olarak kaldığı görülmüştür. Üretilen numuneler üzerinde yapılan testlerden elde edilen sonuçlara göre boşluk olarak kalan bu bölge kaynak dayanımını olumsuz olarak etkilemiş ve max. çekme kuvveti değerinin daha düşük çıkmasına yol açmıştır. Bu nedenle de optimum dalma derinliklerinde çalışmak,

çekme kuvvetini artırıcı rol oynamıştır.

11- Karıştırma süresinin kaynak dayanımına etkisi araştırılmış olup, farklı takım geometrileri, farklı dalma derinlikleri ve farklı devir sayıları için en yüksek çekme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Özellikle 30 sn ve altındaki karıştırma sürelerinde çok düşük max. çekme kuvvetleri elde edilmiştir. En iyi karıştırma süresi T2 takımı için 60 sn, T4 takımı için 90 sn ve T1 takımı için 60 sn olarak belirlenmiştir.

12- Üretimi diğer kaynak takımı profillerinden daha az maliyetli ve daha kolay olan T1 kaynak takımı ile oluşturulan kaynak bağlantılarından elde edilen çekme kuvveti değerleri, T3 kodlu kaynak takımı ile oluşturulan kaynak bağlantılarından elde edilen çekme kuvvetlerinden daha yüksektir. T3 kodlu kaynak takımının sahip olduğu geometri ile üretilen SKNK numunelerinin max. çekme kuvveti değerleri, T2, T4 ve T1 kodlu takımlara nazaran belirgin bir farkla daha düşük değerlerde oluştuğu görülmüştür.

13- Bu çalışmada CNC Dik İşleme Tezgâhı kullanılmıştır. Böylece girilen parametreler ISO G, M sistemine göre programlanarak tezgâh tarafından otomatik olarak uygulanması sağlanmıştır. Bu sayede operatör hataları sıfıra indirilmiş dolayısı ile parametre değerlerinde tamlik sağlanarak sıfır hata ile numune üretimi sağlanmıştır.



7. KAYNAKLAR

- [1] Ş. Mert, "Polipropilen malzemenin sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmesi," Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2010.
- [2] S. Şelale, "Polietilen malzemenin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2006.
- [3] M. K. Bilici, "Polietilenin sürtünme karıştırma nokta kaynak özellikleri," Doktora Tezi, Metal Eğitimi Bölümü., Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [4] K. Kaptan, "Sürtünme karıştırma kaynağı birleştirmelerinde farklı karıştırıcı uç formlarının birleştirme kalitesine etkilerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [5] A. A. Arıcı, ve A. T. Ertürk, "Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen polietilen levhalarda kaynak bölgesi özelliklerinin belirlenmesi," 8. *Uluslar Arası Kırılma Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2007, ss. 490-497.
- [6] B. Çevik, "Polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleşebilirliğine karıştırıcı takım dönme yönü ve karıştırma süresinin etkisi," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 3, ss. 28-33, 2013.
- [7] M. K. Bilici, S. Hartomacıoğlu, ve A. İ. Yükler, "Yüksek yoğunluklu polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynak parametrelerinin optimizasyonunda yapay sinir ağlarının kullanımı," 3. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 2012, ss. 366-378.
- [8] S. Akkurt, *Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2007, böl. 19, ss. 516-550.
- [9] M. Arıcıoğlu, "Polimer malzemelerin analiz yöntemleri," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2000.
- [10] E. Pişkin, *Polimer Teknolojisine Giriş*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: İnkılap Yayınevi, 1987.
- [11] T. Uluşen, "Plastik esaslı kompozit malzemelerin kimyasal kaplama işlemlerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2008.
- [12] J. Brydson, *Plastics Materials*, 8th Edition, London, England: Butterworth Heineman, 1999, pp. 1-250.
- [13] A. Ezdeşir, E. Erbay, İ. Taşkıran, A. Yağcı, M. Cöbek, ve T. Bilgiç, *Polimerler-I*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Pagev Yayınları, 1999, ss. 1-254.
- [14] O. Balkan, "Sıcak gaz kaynağı ile plastiklerin birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1999.

- [15] A. A. Arıcı, T. Sınmazçelik, "Plastiklerin kaynaklı birleştirme yöntemleri," *PAGEV Plastik Dergisi*, İstanbul, Türkiye, 2004, ss. 124-133.
- [16] M. Erkul, "Plastiklerin ultrasonik kaynağı," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [17] Ş. Mert, A. A. Arıcı, "Friction stir spot welding method using in polypropylene sheet materials joining," *12th International Materials Symposium*, Denizli, Turkey, 2008, pp. 1150-1156.
- [18] A. A. Arıcı, S. Şelale, "Polietilen malzemenin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi," *PAGEV Plastik Dergisi*, s. 95, ss. 130-138, 2007.
- [19] A. A. Arıcı, Ş. Mert, "Polipropilen malzemenin sürtünme karıştırma nokta kaynağı ile birleştirilmesi," *PAGEV Plastik Dergisi*, s. 95, ss. 152-162, 2007.
- [20] A. A. Arıcı, Ş. Mert, "Friction stir spot welding of polypropylene," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 27, no. 18, pp. 2001-2004, 2008.
- [21] RÖCHLING Engineering, Polystone Thermoplastics Characteristics and Applications. (2014, 27 July), Erişim: <http://www.roechling.com>
- [22] Ö. T. Savaşçı, N. Uyanık, G. Akovalı, "Plastikler ve plastik teknolojisi," *Pagev Yayınları*, s. 2, ss. 7-8, 12-16, 19-20, 24-25, 59, 306-307, 433-435, 501, 2002.
- [23] F. Kaya, *Plastikler ve Katkı Maddeleri*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2005, ss. 49-51.
- [24] M. Saçak, *Polimer Teknolojisi*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Kitapevi, 2005, ss. 1-27, 71-81, 171-172.
- [25] H. Yıldırım, "Plastiklere uygulanan kalite kontrol yöntemleri ve plastiklere katılan katkı maddeleri seminer notları," İstanbul, Türkiye: MMO İstanbul Şubesi Yayınları, 2007, ss. 4, 23-25, 71-73.
- [26] M. Subaşı, Ç. Karataş, "AISI 4140 çeliğinde elde edilen farklı sertliklerin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkisinin araştırılması," *Politeknik Dergisi*, c. 14, s. 4, ss. 289-295, 2011.
- [27] M. Subaşı, Ç. Karataş, "AISI 4140 çeliğinde sertlik, yorulma dayanımı ilişkisi," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, s. 13(1), ss. 21-27, 2010.
- [28] Ş. Ekinci, A. Akdemir, "Nitrülenmiş AISI 4140 çeliğine uygulanan yükün aşınma hızına etkisi," *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, c. 10, s. 1, ss. 38-52, 2011.
- [29] M. K. Bilici and A. I. Yukler, "Influence of tool geometry and process parameters on macrostructure and static strength in friction stir spot welded polyethylene sheets," *Materials and Design*, vol. 33, pp. 145-152, 2012.
- [30] M. K. Bilici, A. İ. Yukler ve M. Kurtulmuş, "Yüksek yoğunluklu polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağında kaynak ucu geometrisinin kaynak mukavemetine etkisi," *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, s. 23(3), ss. 111-122, 2011.
- [31] Ş. Mert ve E. Kaluç, "Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki gelişmeler," *Kaynak Teknolojisi VI. Ulusal Kongresi*, Ankara, Türkiye, 2003, ss. 103-115.

- [32] H. Badarinarayan, Y. Shi, X. Li, and K. Okamoto, "Effect of tool geometry on hook formation and static strength of friction stir spot welded aluminum 5754-O sheets," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 49 (11), pp. 814-823, 2009.
- [33] H. Badarinarayan, Q. Yang, and S. Zhu, "Effect of tool geometry on static strength of friction stir spot-welded aluminum alloy," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 49 (2), pp. 142-148, 2009.
- [34] Y. Tozaki, Y. Uematsu, and K. Tokaji, "Effect of tool geometry on microstructure and static strength in friction stir spot welded aluminium alloys," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 47 (15), pp. 2230-2236, 2007.
- [35] G. Çakır, Ş. Mert, S. Mert, "Polipropilen malzemeye uygulanan sürtünme karıştırma nokta kaynağında takım geometrisinin bağlantı dayanımına etkisinin incelenmesi," *1. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar ve Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu*, Tokat, Türkiye, 2017, ss. 207-213.
- [36] B. Çevik, "Polimer malzemelerin sürtünme karıştırma nokta kaynağı," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 2, ss. 271-277, 2014.
- [37] B. Çevik, "Termoplastik polimerlerin SKNK yöntemi ile kaynaklanabilirliğine karıştırma süresinin etkisi," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 3, s. 2, ss. 69-74, 2014.
- [38] M. K. Bilici, A. İ. Yükler, M. Kurtulmuş, "Polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynağında kaynak parametrelerinin bağlantının performansına etkileri," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 27, s. 2, ss. 439-445, 2012.
- [39] M. Kurtulmuş, "Friction stir spot welding parameters for polypropylene sheets," *Scientific Research and Essays*, vol. 7(8), pp. 947-956, 2012.
- [40] G. Çakır, Ş. Mert, S. Mert, "CNC tezgâhta polipropilen malzemeye sürtünme karıştırma nokta kaynağının uygulanması ve optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi," *1. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar ve Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu*, Tokat, Türkiye, 2017, ss. 36-41.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Gültekin ÇAKIR
Doğum Tarihi ve Yeri :11.05.1979 Malatya
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :gultekincakir@duzce.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Talaşlı Üretim Öğr.	Gazi Üniversitesi	2001
Lise	Makine	İzmit Teknik Lisesi	1997

TEZ içeriğinden yapılan yayınlar

1- G. Çakır, Ş. Mert, S. Mert, “Polipropilen Malzemeye Uygulanan Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında Takım Geometrisinin Bağlantı Dayanımına Etkisinin İncelenmesi” *1. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar ve Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, s. 207-213, Gaziosmanpaşa University Tokat, Kasım 2-4, 2017.

2- G. Çakır, Ş. Mert, S. Mert, “CNC Tezgahta Polipropilen Malzemeye Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının Uygulanması ve Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi” *1. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar ve Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, s. 36-41, Gaziosmanpaşa University Tokat, Kasım 2-4, 2017.