

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİETİLEN MALZEMENİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI
İLE BİRLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Makine Müh. Serkan ŞELALE

Ana Bilim Dalı: Makine Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. A. Armağan ARICI

KOCAELİ, 2006

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİETİLEN MALZEMENİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI
İLE BİRLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Makine Müh. Serkan ŞELALE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 09 Haziran 2006

Tezin Savunulduğu Tarih: 12 Temmuz 2006

Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr.A. Armağan ARICI

(.....)




Üye
Prof.Dr.Ahmet ÜNAL

(.....)



Üye
Yrd.Doç.Dr.Tülin ŞAHİN

(.....)



KOCAELİ, 2006

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜRLER

Öncelikle polietilen malzeme gibi günümüzde oldukça fazla alanda kullanılmaya başlanan bir malzeme üzerinde şu an halen geliştirilmekte olan bir birleştirme yöntemi olarak sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi üzerinde çalışmayı bana öneren ve çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olarak çalışmalarımın birçok aşamasında direkt yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Armağan ARICI'ya sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. Yine çalışmalarımda büyük emeği geçen teknisyen Abdülkadir YAYLA'ya ve manevi olarak her zaman destek veren Yrd. Doç. Dr. Tülin ŞAHİN'e sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca bana hayat boyu destek çıkan ve her konuda istisnasız yardımlarını esirgemeyen annem Semra ŞELALE'ye ve babam Lütfullah ŞELALE'ye, ve yine aynı şekilde bana her konuda yardımcı olan ve yalnız bırakmayan arkadaşlarım Y. Mak. Müh. Emre MARAL ve Gemi İnşaatı Müh./Mak. Müh. Onur CANBAK'a sonsuz minnet duygularımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
KISALTMALAR.....	viii
ÖZET	ix
İNGİLİZCE ÖZET	x
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2.1. Plastiklerin Tanıtılması	3
2.1.1. Termoplastiklerin başlıca özellikleri	4
2.1.2. Termoset plastiklerin başlıca özellikleri	4
2.2. Termoplastiklere Uygulanan Birleştirme Yöntemleri ve Endüstriyel Uygulamaları.....	5
2.3. Plastiklere Uygulanan Başlıca Kaynak Yöntemleri	6
2.3.1. Sıcak eleman kaynak yöntemi	6
2.3.2. Sıcak gaz ile kaynak yöntemi ve ekstrüzyon kaynağı.....	8
2.3.2.1. Sıcak gaz kaynağı	8
2.3.2.2. Ekstrüzyon kaynağı	9
2.3.3. Lazer ile kaynak yöntemi	10
2.3.4. Ultrasonik kaynak yöntemi.....	11
2.3.4.1. Plastiklerin ultrasonik kaynak makinesi genel yapısı	13
2.3.5. Sürtünme (Döndürme) kaynağı	15
2.3.6. Yüksek frekans kaynağı	16
2.3.6.1. RF/Dielektrik kaynağı	16
2.3.6.2. Elektromanyetik kaynak (Endüksiyon kaynağı)	17
2.3.6.3. Mikrodalga kaynağı	18
2.3.7. Özdirençli implant kaynağı	19
2.3.8. Kızıl ötesi ısıtma ile kaynak	20
2.3.9. Transmisyon vasıtası ile kızılötesi kaynak.....	21
2.3.10. Titreşim yoluyla kaynak	21
2.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağı	22
2.4.1. Plastik malzemelere uygulanan sürtünme karıştırma kaynağına ait literatür çalışması	24
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	45
3.1. Malzeme	45
3.2. Deney Parçalarının Boyutları	45
3.3. SKK'nın Uygulaması.....	46
3.4. Kaynaklı Parçaların Görsel İncelenmesi.....	49
3.5. Test Numunelerinin Hazırlanması ve DeneYlerin Uygulanışı	49
3.5.1. Numunelerin kodlanması	50
3.5.2. Numune sayısı.....	52
3.5.3. Üç nokta eğme deneyi.....	52
3.5.4. Çekme deneyi.....	53
BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ	54
4.1. Tek Taraflı Kaynak Sonuçları	54

4.1.1. Görsel inceleme sonuçları	54
4.1.2. Çekme deneyi sonuçları	57
4.1.3 Eğme deneyi sonuçları	59
4.2. Çift taraflı kaynak sonuçları	62
4.2.1. Görsel inceleme sonuçları	62
4.2.2. Çekme deneyi sonuçları	71
4.2.3. Eğme deneyi sonuçları	73
4.3. Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi	75
4.4. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	77
4.4.1. Görsel inceleme sonuçlarının irdelenmesi.....	77
4.4.2. Çekme deneyi sonuçlarının irdelenmesi.....	80
4.4.3. Eğme deneyi sonuçlarının irdelenmesi.....	83
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Polimerlerin birleştirme yöntemlerinin sınıflandırılması.....	5
Şekil 2.2. Sıcak eleman kaynağının uygulanışı	7
Şekil 2.3. Sıcak gaz kaynağının uygulanışı	9
Şekil 2.4. Sıcak gaz kaynağının uygulanışı	9
Şekil 2.5. Ekstrüzyon kaynağının uygulanışı	10
Şekil 2.6. Lazer kaynağı	10
Şekil 2.7. Bir pnomatik ultrasonik kaynak makinesinin temel konstrüksiyonu	14
Şekil 2.8. Ultrasonik kaynak işleminde parçaların durumu	14
Şekil 2.9. Sürtünme kaynağının uygulanışı	15
Şekil 2.10. Dielektrik kaynağı	17
Şekil 2.11. Endüksiyon kaynağının uygulanışı	18
Şekil 2.12. Mikrodalga kaynağı.....	19
Şekil 2.13. Özdirençli implant kaynağı.....	19
Şekil 2.14. Kızılötesi ısıtma ile alın kaynağı.....	20
Şekil 2.15. Kızılötesi ısıtma ile bindirme kaynağı.....	20
Şekil 2.16. Transmisyon vasıtası ile kızılötesi kaynağının uygulanışı	21
Şekil 2.17. Farklı şekillerde uygulanan titreşim kaynağı.....	22
Şekil 2.18. Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanışı	23
Şekil 2.19. Sürtünme karıştırma kaynağının uygulama adımları	23
Şekil 2.20. Bilgisayar kontrollü bir sürtünme karıştırma kaynak makinesi sistemi ..	24
Şekil 2.21. Alüminyum stili takım	27
Şekil 2.22. Johns'un geliştirdiği som takım tasarımı	28
Şekil 2.23. Dingil omuz takım tasarımı	29
Şekil 2.24. Sıcak-pabuç takım tasarımı	29
Şekil 2.25. Sıcak-pabuç II takım tasarımı	30
Şekil 2.26. Dönel hareket	30
Şekil 2.27. Çift taraflı bobin tekniği	30
Şekil 2.28. İleri geri hareket	31
Şekil 2.29. İleri geri hareket	31
Şekil 2.30. Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı için uygun takım uçları	33
Şekil 2.31. Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı için uygun takım uçları	34
Şekil 2.32. Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı için uygun takım uçları	35
Şekil 2.33. Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağında kullanılabilir zorlayıcı yüzeyler.....	37
Şekil 2.34. TWI'ın sürtünme karıştırma kaynağı ile PVC'yi kaynaklı birleştirme çalışmaları.....	38
Şekil 2.35. TWI'ın sürtünme karıştırma kaynağı ile PVC'yi kaynaklı birleştirme çalışmaları.....	38
Şekil 2.36. Alüminyum stili takım ile yapılan SKK kaynağına ait görüntü	40
Şekil 2.37. Sıcak-pabuç II takım tasarımı ile yapılan SKK kaynağı görüntüsü	41
Şekil 2.38. Ana malzeme ve kaynaklı malzemeye ait gerilme-uzama grafiği	42
Şekil 3.1. Kaynak edilecek levhaların boyutları	45
Şekil 3.2. Parçaların tezgaha çelik lama pabuçlar kullanılarak bağlanması	46

Şekil 3.3. Takım ucunun, kaynak edilecek parçaların birleşme çizgisini ortalayacak şekilde hizalanması	47
Şekil 3.4. Tek taraflı sürtünme karıştırma kaynak işlemi sırasında kullanılan takım ucu	48
Şekil 3.5. Çift taraflı sürtünme karıştırma kaynak işlemi sırasında kullanılan takım ucu	48
Şekil 3.6. Kaynak edilmiş parçanın boyutları ve görünümü	49
Şekil 4.1. Tek taraflı sürtünme karıştırma kaynağının etkilediği bölge	54
Şekil 4.2. Tek taraflı sürtünme karıştırma kaynağının etkilediği bölge	55
Şekil 4.3. Tek taraflı SKK'da kaynak edilmeyen arka tarafın görünümü.....	55
Şekil 4.4. Tek taraflı SKK'da çekme deneyi sonucu kopma oluşumu.....	56
Şekil 4.5. Tek taraflı SKK'da yüz eğme deneyi sonucu kırılma oluşumu.....	56
Şekil 4.6. Tek taraflı SKK'da kök eğme deneyi sonucu kırılma oluşumu.....	57
Şekil 4.7. 630 d/dak. ve 12.5 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları.....	58
Şekil 4.8. 630 d/dak. ve 25 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları.....	58
Şekil 4.9. 630 d/dak. ve 40 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları.....	59
Şekil 4.10. 630 d/dak. ve 12.5 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları	60
Şekil 4.11. 630 d/dak. ve 25 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları	60
Şekil 4.12. 630 d/dak. ve 40 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları	61
Şekil 4.13. Tek taraflı kaynağın aksine çift taraflı kaynakta kaynamayan bölge oluşturmadan kaynak yapmak mümkündür	62
Şekil 4.14. Kötü bir çift taraflı SKK bağlantısı ("5C" kodlu numune)	63
Şekil 4.15. Şekil 4.14'te verilen tipte bir bağlantı için kopma durumu ("5C" kodlu numune)	63
Şekil 4.16. Yine "5C" kodlu numune'de kaynak bölgesinde oluşan boşluk.....	63
Şekil 4.17. Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede çekme deneyi sonucu oluşan kopma	64
Şekil 4.18. Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede çekme deneyi sonucu oluşan kopma	64
Şekil 4.19. Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede yüz eğme deneyi sonucu kırılmayan numune	65
Şekil 4.20. Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede kök eğme deneyi sonucu kırılmayan numune	65
Şekil 4.21. Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede yüz eğme deneyi sonucu kırılan numune.....	65
Şekil 4.22. Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede kök eğme deneyi sonucu kırılan numune.....	66
Şekil 4.23. "0A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	66
Şekil 4.24. "0B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	66
Şekil 4.25. "0C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	67
Şekil 4.26. "1A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	67
Şekil 4.27. "1B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	67
Şekil 4.28. "1C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	67
Şekil 4.29. "2A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	68
Şekil 4.30. "2B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	68
Şekil 4.31. "2C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	68
Şekil 4.32. "3A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	68
Şekil 4.33. "3B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	69

Şekil 4.34. "3C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	69
Şekil 4.35. "4A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	69
Şekil 4.36. "4B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	69
Şekil 4.37. "4C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	70
Şekil 4.38. "5A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	70
Şekil 4.39. "5B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	70
Şekil 4.40. "5C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü	70
Şekil 4.41. 1000 d/dak. ve 12.5 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları	71
Şekil 4.42. 1000 d/dak. ve 25 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları	72
Şekil 4.43. 1000 d/dak. ve 40 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları	72
Şekil 4.44. 1000 d/dak. ve 12.5 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları	72
Şekil 4.45. 1000 d/dak. ve 25 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları	74
Şekil 4.46. 1000 d/dak. ve 40 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları	75
Şekil 4.47. Çift taraflı SKK uygulamasında oluşan kaynaklı bölgelerin şematik gösterimi	75
Şekil 4.48. Çift taraflı SKK uygulamasında çekme deneyleri sırasında oluşan kaynak hasarlarının şematik ve fotoğraflanmış halde gösterimi	76
Şekil 4.49. Takım omzunun kaynak bölgesinde malzeme yığıldığı durum	79
Şekil 4.50. Takımın iyi bir kaynak başlangıcı yaptığı durum	80
Şekil 4.51. Takımın kötü bir kaynak başlangıcı yaptığı durum	80
Şekil 4.52. Tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları	81
Şekil 4.53. Çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları	81
Şekil 4.54. Tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen yüz eğme dayanımı sonuçları	83
Şekil 4.55. Tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen kök eğme dayanımı sonuçları	84
Şekil 4.56. Çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen yüz eğme dayanımı sonuçları	85
Şekil 4.57. Çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen kök eğme dayanımı sonuçları	85

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Plastik malzemelerin kaynak yöntemlerine genel bir bakış	6
Tablo 2.2. 6.35 mm kalınlığındaki PP'de 305 mm uzunluğunda alın kaynağı birleştirilmesi için polimer birleştirme tekniklerinin karşılaştırılmasında işlem gereksinimleri	25
Tablo 2.3. İşlem kapasitesinin genel polimer teknikleriyle karşılaştırılması	26
Tablo 2.4. Çeşitli polimerler için gerilim testi sonuçları	39
Tablo 2.5. Makine ayarları	41
Tablo 2.6. Kaynaklı plastiklerin çekme dayanım sonuçları	42
Tablo 2.7. BYU'dan Strand'ın PP'yi kaynak etmede kullandığı parametreler	43
Tablo 3.1. Tek taraflı SKK uygulamasında kullanılan numune kodları ve parametrelerin alakası	51
Tablo 3.2. Çift taraflı SKK uygulamasında kullanılan numune kodları ve parametrelerin alakası	51
Tablo 4.1. Tek taraflı kaynak edilmiş parçanın kaynak bölgesindeki kalınlık değişimi	54
Tablo 4.2. Tek taraflı kaynak edilmiş parçaların çekme dayanımı değerleri	57
Tablo 4.3. Tek taraflı kaynak edilmiş parçaların eğme dayanımı değerleri	59
Tablo 4.4. Çift taraflı kaynak edilmiş parçanın kaynak bölgesindeki kalınlık değişimi	62
Tablo 4.5. Çift taraflı kaynak edilmiş parçaların çekme dayanımı değerleri	71
Tablo 4.6. Çift taraflı kaynak edilmiş parçaların eğme dayanımı değerleri	73
Tablo 4.7. Numunelere ait kırılma yerlerinin tipleri	77

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternative Current
BYU	: Brigham Young University
CAM	: Computer Aided Manufacturing
DC	: Direct Current
d	: Devir
dak	: Dakika
Hz	: Hertz
ISO	: International Organization for Standardization
kW	: Kilowatt
mm	: Milimetre
MPa	: MegaPascal
PA	: Poliamid
PC	: Polikarbon
PE	: Polietilen
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PP	: Polipropilen
PTFE	: Politetrafloraetilen
PVC	: Polivinil Klorür
RF	: Radyo Frekansı
SKK	: Sürtünme Karıştırma Kaynağı
V	: Volt
TTIR	: Transmisyon Vasıtasıyla Kızılötesi Kaynak
TWI	: The Welding Institute

POLİETİLEN MALZEMENİN SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI ile BİRLEŞTİRİLMESİ

Serkan ŞELALE

Anahtar Kelimeler: Polietilen, Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK), Çekme Dayanımı, Eğme Dayanımı, Tek Taraflı, Çift Taraflı, Takım İlerleme Hızı, Takım Açısı

Özet: Bu çalışmada, polietilen malzemenin tek taraflı ve çift taraflı sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi ve bu birleştirme sırasında kullanılan farklı anahtar kaynak parametrelerinin, kaynaklı bağlantının mukavemet özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Kaynak işlemi sırasında, takım ilerleme hızı ve takım açısı olmak üzere iki farklı parametre ele alınmıştır ve bu parametreler ile 5 mm. kalınlığındaki polietilen plakalara tek taraflı ve çift taraflı olmak üzere iki tip alın kaynağı uygulanmıştır. Daha sonra bu plakalardan çıkarılan numuneler üzerinde çekme ve üç nokta eğme deneyleri uygulanarak kaynaklı bağlantıların dayanım değerleri ölçülmüştür.

JOINING OF POLYETHYLENE with FRICTION STIR WELDING

Serkan ŞELALE

Keywords: Polyethylene, Friction Stir Welding (FSW), Tensile Strength, Flexural Strength, Single-Sided, Two-Sided, Feedrate, Tool Angle

Abstract: In this research, it was examined that joining of polyethylene with single-sided and two-sided friction stir welding. And the effects of single-sided and two-sided friction stir welding on polyethylene strength with using different key parameters were investigated.

During welding process, two different parameters including feedrate and tool angle were examined and with these parameters, single-sided and two sided butt welds were applied to 5 mm. thickness of polyethylene sheets. Afterward, tensile and three point bending tests were applied on the samples which were taken from welded sheets and the strength values of samples were measured.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), sürtünme kaynağı yönteminden geliştirilmiş bir başka kaynak yöntemidir. Bilindiği gibi sürtünme kaynağı genellikle silindirik kesitli malzemelere uygulanan ergitmesiz bir kaynak yöntemidir ve sürtünme karıştırma kaynağı, son on yılda keşfedilmiş ve geliştirilmiş bir katı hal kaynak tekniği olarak karşımıza çıkmıştır. Birçok yönden sağladığı üstünlükler ile günümüzde özellikle alüminyum ve alüminyum alaşımları için yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bir çok sanayi kuruluşu bu tekniği üretimlerinde kullanmak için pilot çalışmalar yürütmektedir.

SKK tekniği 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 türevi olup, kaynak sonrası çok az deformasyonlu, çatlak veya boşluk meydana getirmeksizin güvenli bir kaynak yapmanın çok zor olduğu birçok malzemenin kaynağını basitleştirmiştir. Geniş uygulama alanına yayılmış ve farklı geometrilere uzunluğuna birleştirilen veya bindirme yapılan parçaların kaynak edilmesine olanak sağlamıştır. Günümüze kadar TWI'da alüminyum ve alüminyum alaşımları için bu kaynak yöntemi ile oluşturulacak birleştirmeler üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Özellikle kaynak yapılması çoğu zaman zor olan alüminyum alaşımların birleştirilmesinde, sürtünme karıştırma kaynağı başarılı bir performans göstermiştir ve alın ve bindirmeli alüminyum alaşım kaynakları için yeni ve başarılı bir kaynak tekniği olarak ortaya çıkmıştır (Özsoy ve Kaluç 2002, Çam 2003).

Bu çalışmaların sonuçları, bu yöntemin gerek yaşlandırma sertleşmesi yapılmış gerekse yaşlandırma sertleşmesi yapılamayan (1xxx ve 5xxx serileri gibi) alüminyum ve alaşımlarında başarılı ve güvenli bağlantıların ortaya çıktığını göstermiştir. Ayrıca bakır-bakır alaşımları, kurşun, titanyum-titanyum alaşımları, magnezyum-magnezyum alaşımları, metal matrisli alüminyum kompozitlerde de bu yöntemin uygulanmasına başlanmıştır (Özsoy ve Kaluç 2002).

Œu an ise bu yöntem polimerik malzemeleri birleŒtirmede kullanılmaya baŒlanmıŒtır ve geliŒim süreci hala devam etmektedir. 1998'den beri, polimerler üzerine sürtünme karıŒtırma kaynağının fizibilite tayini için temel araŒtırmalar Brigham Young Üniversitesi (BYU)'nde ve TWI'da sürdürülmektedir. eŒitli polimerler ana malzemenin dayanımını %90 oranında sağlayacak Œekilde kaynak edilmiŒlerdir. Yine de, polimer mikro yapılarının özellikleri hakkında çok az bilgiye sahip olunabilmiŒtir ve sürtünme karıŒtırma kaynağı üzerine yapılan araŒtırmalar devam etmektedir (Strand 2004).

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Plastiklerin Tanıtılması

Plastik malzeme molekülleri karbonun az miktarda metal olmayan malzemelerle yaptıkları bileşiklerdir. Bu maddeler genellikle oda sıcaklığında gaz halindedir.

Propan C_3H_8 gibi tanınmış hidrokarbon bileşikleri sabit büyüklükte olan moleküllere sahiptir. Bunların tersine plastik malzemeler büyük zincir veya ağ moleküllerinden meydana gelirler. Farklı genişleme şekillerine sahip olduklarından sadece ortalama bir molekül kütlesi (molekül ağırlığı) belirlenebilir.

Plastik malzemeler yüksek moleküler bileşiklerdir; polimerler olarak da adlandırılırlar. Zincir veya ağ şeklindeki moleküllerine makro moleküller denir. Makro moleküller monomer denilen tek moleküllerden oluşurlar. Makro moleküller kimyasal reaksiyonlar sonucunda meydana gelirler.

Birçok çeşidi olan plastiklerin hangi gruptan olduğunu anlamak çok defa zor bir iştir. Aynı plastik çeşitli formlarda şekillendirilmiş olabilir. Aynı tür bir plastik, farklı ticari adlar alabilir. Bununla beraber çok çeşitli ad ve şekilleri bulunan plastik, termik özellikleri bakımından Termoplastikler ve Termoset plastikler olarak iki ana grupta toplanabilirler.

Plastik malzemelerin özellikleri metallerinkiyle karşılaştırılırsa, büyük farklar görülür. Metal atomları tamamlanmamış bir elektron kabuğuna (dış kabuk) sahip olduklarından, kimyasal maddelere karşı dayanıksızdırlar. Plastik malzemeler ise kimyasal bileşikler olarak moleküler yapıdadır ve molekülleri doymuştur. Atomları ise kimyasal bağlar ile soy gaz karakterine sahip olmuşlardır. Bu nedenle birçok kimyasal maddelere karşı dayanıklıdırlar.

Plastik malzemelerin değişik olan bağ ve yapı türü, fiziksel davranışının metalik malzemelere göre tamamen farklı olması sonucunu doğurur.

Plastikler, endüstri alanında ağaç, metal, seramik ve deri malzemelere nazaran en yeni olanlardır. Bununla beraber, kısa bir zamanda geniş alanda kullanılmaya

başlanmıştır. Bugün tüketicilerce bilinen binlerce eşya, sentetik malzemelerden yapılmaktadır.

Endüstride imal edilen plastik malzemelerin hızla gelişmesinde ilk faktör sıcak gaz kaynağının çok yönlülüğü olmuştur. Bu kaynak işlemi, aşınma dayanımı, hafiflik, dielektrik özellikler ve arzu edilen iyi darbe mukavemeti veren plastiklere ekonomik olarak uygulanmaya müsaittir. Sıcak gaz kaynağı endüstrideki büyük miktardaki konstrüksiyon donanımlarının gerçekleştirilmesinde ve ufak parçaların imal edilmesinde kullanılır.

İmalatta en yaygın kullanılan plastikler PVC ve polietilendir. Bu malzemelerin kaynak yöntemleri de oldukça yaygındır. Yüksek frekans kaynağı defter kabı, cüzdan, ayakkabı imali, deniz yatağı ve oyuncaklar imalinde oldukça büyük uygulama alanı bulmuştur.

Bu arada, sıcak eleman kaynağının da memleketimizde geniş çapta bir kullanım alanına sahip olduğunu belirtmekte fayda vardır. Sıcak eleman kaynağı, özellikle de sıhhi tesisat ve kalorifer borularının artık günümüzde termoplastik malzemelerden yapılması sonucu, oldukça fazla uygulama alanı bulmuştur (Anık ve diğ. 2003).

2.1.1. Termoplastiklerin başlıca özellikleri

Termoplastikler ısıtıldığında yumuşar ve soğutulduğunda da sertleşir. Isı verilisinin ne süreyle tekrar edildiği önemli değildir. Isıtma ve soğutma işlemi birkaç kez tekrarlayarak termoplastiğe yeniden çeşitli şekiller verilebilir. Termoplastik bu özelliği bakımından balmumuna benzer. Isıtıldığında dökülebilir, soğutulduğunda da katı hale gelir. Tekrar ısıtıldığında yine yumuşar. Bu gruba giren önemli plastikler şunlardır: Akrilikler, selülozikler, naylon, polistiren, poliestilen, karbon florür ve viniler (Anık ve diğ. 2003).

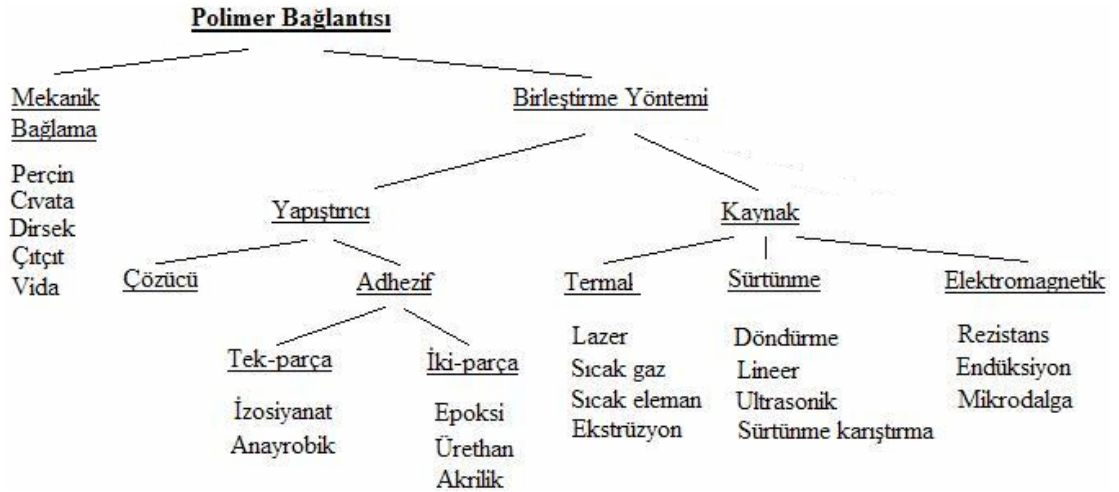
2.1.2. Termoset plastiklerin başlıca özellikleri

Termosetler ısı verilmesiyle bir defa istenilen şekle sokulur ve bundan sonra tekrar ısıtılıp eritilerek ilk şekline dönüştürmek mümkün olmaz. Termosetlerin sertleşmesi için sıcaklığın çok fazla olması gerekmez. Bu sıcaklık genellikle 176°C'nin az üzerindedir. Termosetler sertleştirildikten sonra tekrar ısıtılsa da eski yumuşak

durumuna dönmez. Buradaki olay, yumurtanın kaynatılmasına benzetilebilir. Yumurta belirli bir süre kaynatılırsa, içi katılaştır ve bundan sonra kaynatmaya devam edilse de yumuşayarak önceki sıvı haline dönmez. Bu grubun belli başlı plastikleri fenolikler, amenerler, poliesterler, epoksiler ve alkidlerdir (Anık ve diğ. 2003).

2.2. Termoplastiklere Uygulanan Birleştirme Yöntemleri ve Endüstriyel Uygulamaları

Polimer parçalarını bağlama işlemi mekanik bağlamalı ve birleştirmeli yöntem olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Birleştirme de kendi içinde yapıştırma ve kaynak olarak ikiye ayrılır. Aşağıdaki şekilde, Strand'ın bildirdiğine göre Stokes'un yaptığı bu işlemler arasındaki ilişkiler görülmektedir.



Şekil 2.1: Polimerlerin birleştirme yöntemlerinin sınıflandırılması (Strand 2004)

Mekanik bağlantılar, adhezifler ve kaynak işlemlerinin hepsi mühendislik plastiklerinin aralarında bağlantı oluşumuna yönelik işlem görürler. Mekanik bağlantılar iki birleşeni hızlı bir şekilde birleştirirler, fakat bunlar boşluklu bağlantılardır ve sıkı bağlantı sağlamazlar, bu nedenle bölgesel gerilimler bunların polimerik malzemede mukavemet azaltıcı etkilere neden olurlar.

Mekanik bağlantılar için cıvata, perçin gibi ara bağlantı elemanları kullanılabilir. Birleştirme yöntemlerinde birleştirilecek parçalar, harici bir parça ile temas etmezler. Yapıştırıcılar, kaynak yöntemleri, ve çözücülerin hepsi birleştirme yöntemlerine dahildir. Yapıştırıcı ile birleştirme yöntemi, sürekli bir bağlantı için kimyasal

reaksiyonları kullanır. Buna, yapıştırırmalı birleştirmeler olarak bir ya da iki parçalı adhezifleri ve çözücülülere örnek olarak verebiliriz. Adhezif birleştirmeler iyi özellikler ve tamamen kusursuz birleşme sağlarlar, fakat bu birleştirmeyi sağlamak zordur ve onarımları uzun sürer. Bunun yanı sıra adhezif birleştirmelerde hazırlık işlemleri ve yüzey temizliğine önem verilmesi gerekmektedir.

Kaynak yöntemi komşu malzeme ile mekanik nitelikli yapışkan bağlantı oluşturmak için kullanılır. Plastiklerin kaynağı termoplastik polimerlerle sınırlıdır çünkü bu malzemeler ısı ile yumuşayabilirler. Termoset polimerler bir kez sertleştiklerinde bir daha ısı ile yumuşatılamazlar. Termoplastik polimerlerin kaynağı için gerekli olan ısı metaller için gerekenden daha azdır (Strand 2004).

2.3. Plastiklere Uygulanan Başlıca Kaynak Yöntemleri

Tablo 2.1’de plastik malzemelerin kaynağında genel olarak kullanılan kaynak yöntemleri ve bu yöntemlerin özellikleri kısaca belirtilmiştir.

Tablo 2.1: Plastik malzemelerin kaynak yöntemlerine genel bir bakış (Anık ve diğ. 2003)

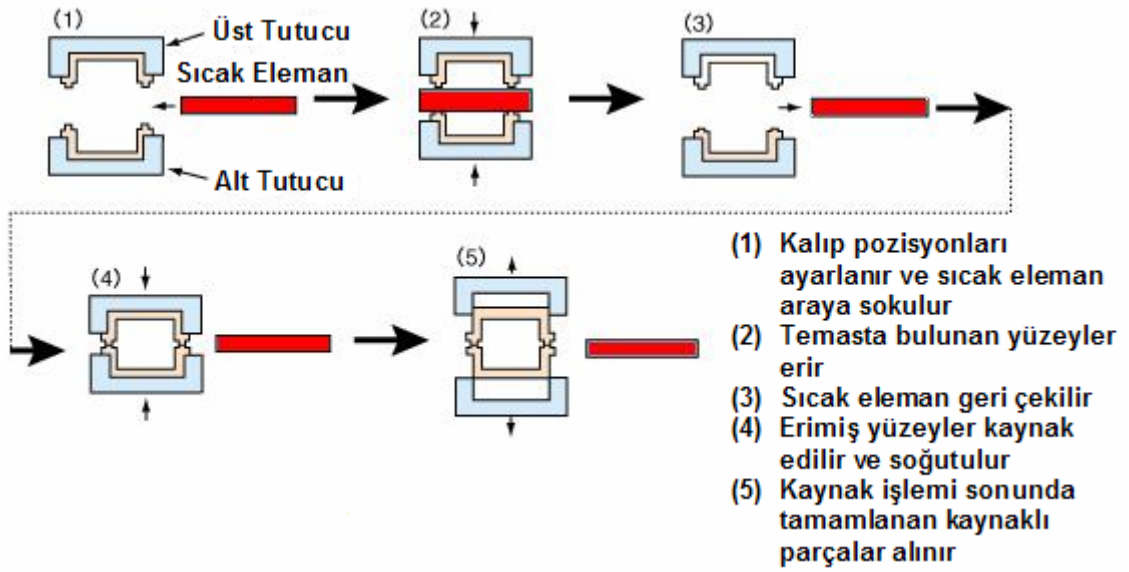
Kaynak Yöntemi	Yumuşatma İşlemi	En Çok Kullanılan Dikiş Şekilleri
Sıcak gaz kaynağı	Sıcak gaz akımında ısıtma (elle veya otomatik)	A, K, B
Direkt sıcak eleman kaynağı	Birleştirilecek parçaların arasındaki sıcak elemanlar yardımıyla	A, B (folyelerde)
Endirekt sıcak eleman kaynağı	Bir veya her iki dış yüzeydeki sıcak elemanlar yardımıyla	B (folyelerde)
Yüksek frekans kaynağı	Dielektrik kayıplar yardımıyla	B (folyelerde)
Ultrasonik kaynak	İç ve dış sürtünmeler yardımıyla	A, K (parçalarda)
Sürtünme kaynağı	Dönel sürtünme sayesinde	A, K (iri profiller ve parçalarda)
Çözme kaynağı	Parçalar katı halde iken monomer çözeltiler yardımıyla çözülerek birbirine bastırılır	A, K, B (levhalarda, parçalarda ve folyelerde)

- A: Alın kaynağı, K: Köşe kaynağı, B: Bindirme kaynağı

2.3.1. Sıcak eleman kaynak yöntemi

Sıcak eleman kaynağı, iki polimer arasında sağlam kaynaklar yapmaya olanak sağlayan basit bir işlemdir (Anık ve diğ. 2003). Sıcak eleman kaynağı 1930’ların başlarında yarı mamul parçaların kaynağında kullanılmaya başlanılmıştır (Pecha ve Savitski 2003). Bu yöntem genellikle; sert ve yumuşak PVC, PE, PP, PA malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır (Anık ve diğ. 2003).

Birleştirilecek yüzeyler bir araya getirilir ve aralarına konulan sıcak eleman ile kaynak sıcaklığına kadar ısıtılır, yüzeyler birleşme sıcaklığına eriştikten sonra sıcak eleman çekilerek uygulanan basma kuvveti ile (el veya mekanik olarak) birleşme olur. Sıcaklıklar genellikle kaynaklanacak malzemenin kalınlığına ve tipine göre 180°C ile 230°C arasında değişir. Kaynak sıcaklığı, çalışılan yüzeye mümkün olduğunca yakın olacak şekilde yerleştirilen termosensör ve elektronik regülatörler ile kontrol edilir (Joshi).



Şekil 2.2: Sıcak eleman kaynağının uygulanışı (www.polyplastics.com)

Strand'ın belirttiği şekilde Stokes'un araştırmalarına göre, 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.

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. Erimiş filmlerin geliştirilmesiyle, malzemeler takıma

yapışmaya yönlenebilirler. Bu takımın PTFE ile kaplanmasıyla engellenebilir (Strand 2004).

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. Günümüzde, bu kaynak yöntemi yaygın olarak sıhhi tesisat işlerinde kullanılmaktadır (Anık ve diğ. 2003).

2.3.2. Sıcak gaz ile kaynak yöntemi ve ekstrüzyon kaynağı

2.3.2.1. Sıcak gaz kaynağı

Sıcak gaz kaynağı metaller için uygulanan oksii-asetilen kaynağına benzerdir. Tek fark oksii-asetilen ile yakılan alev burada sıcak gaz akımı ile yer değiştirmektedir. Sıcak gaz kaynağında ısı taşıyıcı olarak ısıtılmış gaz (genellikle sıkıştırılmış hava) kullanılır. Bunun haricinde kaynak tabancasından geçerken bir elektrik bobini tarafından ısıtılan nitrojen, hidrojen, oksijen ve karbon dioksit gazları da kullanılabilir. Yöntemde elle kumanda edilen veya otomatik cihazlar kullanılır. Yöntem 20. yüzyılda icat edilmiştir ve hem termoplastik malzeme hem de termoplastik kaynak çubuğunun, hidrojen, oksijen, karbon dioksit gazları veya sıkıştırılmış hava tarafından ısıtılması ve eritilmesi ile uygulanır. 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 (Joshi). Geniş bağlantılarda boşlukları tamamen doldurmak için metallerdeki gibi birkaç pasolu kaynak yapılabilir (Hutton 2003).



Şekil 2.3: Sıcak gaz kaynağının uygulaması (www.petzetakis-africa.co.za)



Şekil 2.4: Sıcak gaz kaynağının uygulaması (Joshi)

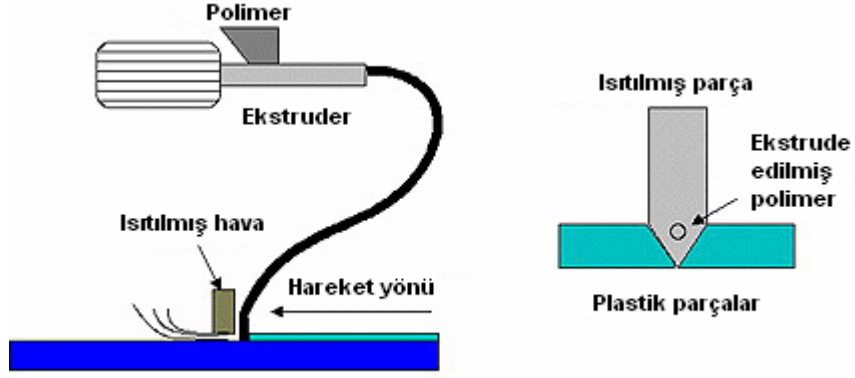
Bu yöntem termoplastiklere uygulanan genel kaynak metotlarından biri olmasına rağmen hatırı sayılır tecrübe gerektirmektedir. Gaz veya hava, elektrik ya da alevle ısıtılan spiral bir tüpten geçirilerek ısıtılır (Joshi).

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. Dolgu için kullanılan çubuk kaynak edilen parçanın malzemesine benzer özelliklere sahip olabilir. Bu çubuğun kullanılmasının amacı kaynaklı bağlantının uygulandığı bölgede malzeme yumuşaklığını sağlamaktır (www.petzetakis-africa.co.za).

2.3.2.2. Ekstrüzyon kaynağı

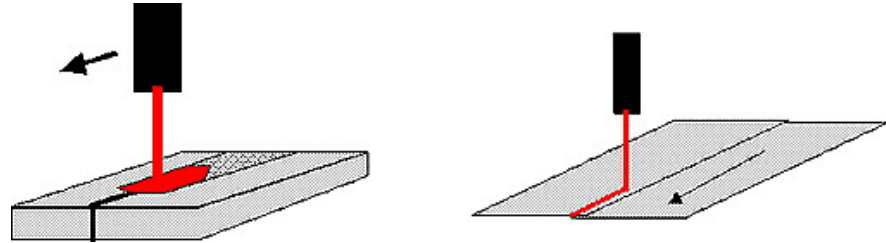
Ekstrüzyon kaynağında da ısıtma yöntemi sıcak gaz kaynağınıninkine benzerdir. Bunun haricinde bu yöntemde ısıtma işlemi için ısıtılmış takımlar veya kızılötesi ısıtıcılar kullanılabilir. Fark tamamen ilave malzemenin eritilmiş halde kaynak bağlantısına enjekte edilmesidir. İlave malzeme bir ekstrüder içinde sıcak gaz ile ısıtılarak, hareket ederken birleşme ağızına sevk edilir ve basınç bir kaynak baskısı veya diğer bir vasıta ile sağlanır. Bu yöntem genellikle uzun birleştirmelerde kullanılır. Genellikle, parçalar çok kalın olmadığı sürece tek pasoda kaynak edilir (Benatar 2003). Tipik uygulamalar; ufak yolcu gemilerindeki ek yerlerinde, geniş termoplastik hava kanallarının montajında kullanılmaktadır (Anık ve diğ. 2003).



Şekil 2.5: Ekstrüzyon kaynağının uygulanişı (www.ewi.org)

2.3.3. Lazer ile kaynak yöntemi

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.



Şekil 2.6: Lazer kaynağı (www.ewi.org)

İlk uygulamalar polietilenin kaynaklanacak kısımlarını birbirine bastırıp bağlantı bölgesi boyunca lazer ışını kaynağının hareket ettirilmesi ile yapılmaktaydı. Deforme olmuş polimer kaynak bölgesinden bastırılır ve bağlantı çizgisinde kalan deforme olmamış ince bir tabaka boyunca kuvvetli bir birleşme elde edilir.

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 yada saydam olması istenen parçaların kaynağında önemli bir avantaj

getirmektedir. Kısaca lazer sisteminin yararları şunlardır; 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 işlemdir. Lazer kaynağı tek bir ışınlamayla veya sürekli olarak ışınlamayla uygulanabilir, ancak bağlantı yapılacak malzeme mengeneyle tutturulmalıdır. Kaynak hızı polimerin soğurma özelliğine bağlıdır (Joshi).

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'lık hıza ulaşılmıştır. Ancak daha yüksek hızların da mümkün olduğu düşünülmektedir. Kaynak mukavemeti esas malzemenin mukavemetine yakın çıkmıştır (Anık ve diğ. 2003).

2.3.4. Ultrasonik kaynak yöntemi

İnsan kulağının duyabildiği mekanik titreşimlerin dağılımı 16 Hz ile 16000 Hz frekansları arasındadır. 15000 Hz ve 10^{10} Hz arasında titreşimlere ultrasonik titreşim denilmektedir. Ultrasonik titreşimler metallerin kaynağı, şekillendirilmesi, tahribatsız muayenelerde ve sağlık, tedavi uygulamalarında kullanılmaktadır.

Ultrasonik kaynak yönteminde, düşük frekans elektrik enerjisi yüksek frekanslı mekanik enerjiye (mekanik titreşimlere) dönüştürülmektedir. Titreşim oluşumu ses dalgalarından sağlanmaktadır. Mekanik titreşimler birleştirilecek plastik parçaların üzerine uygulanır. Uygulanan bu mekanik titreşimler birleştirilecek parçaların kaynak bölgesinde kuvvetli bir iç sürtünmeye ve dolayısıyla ani bir ısı artışına sebep olur. Plastik içinde oluşan ısı birbiriyle temas halindeki plastik parçalarda erimeye neden olur. Kısa sürede oluşan erimeyi takiben plastik parçalara basınç uygulanır ve kaynak tamamlanır. 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. Ultrasonik kaynak termoplastik malzemelerin birleştirilmesi için endüstrilerde tercih edilen bir metot haline gelmiştir. Plastiklerin ultrasonik kaynağının genel olarak kullanıldığı uygulama örnekleri aşağıdaki gibidir.

Elektrik endüstrisinde yuvalar, mutfak makineleri, ütü, fiş ve konnektörler, televizyon ve radyo kabinleri, teyp kasetleri, otomotiv endüstrisinde ısıtma ve havalandırma tesisat parçaları, yuvalar ve kumanda panelleri ve uyarı işaretleri, emniyet kemeri kilitleme sistemleri, reflektörler ve geri lambaları, filtreler, paketleme endüstrisinde ise plastik tüplerin kapatılması, yiyecek ve içecek malzemelerinin ambalajlanmasında ve bu sınıflandırmaların dışında plastiklerin ultrasonik kaynağı işlemi oyuncak üretiminden ofis malzemelerinin üretimine hatta giyim eşyası üretimine kadar geniş ve değişik alanlarda kullanılmaktadır.

Ultrasonik kaynak makinaları ile aynı veya farklı cins hammaddelere sahip plastik parçaların birleştirilmesi mümkün olduğu gibi çeşitli formlardaki metallerin ve somunların plastiklerin içine gömülmesi, metallerin plastiğe perçinlenmesi imkanı da vardır.

Sistemin temel avantajları şunlardır:

- Enerji tasarrufu sağlar, sistem sadece kaynak esnasında yüklendiği kadar enerji çeker.
- Operasyon sırasında duman ve ısı oluşturmadığı için havalandırma sistemi gerektirmez.
- Diğer birleştirme tekniklerine göre, düşük fiyat ve yüksek verimli olduğu görülür.
- Otomasyona kolaylıkla adapte edilebilir.

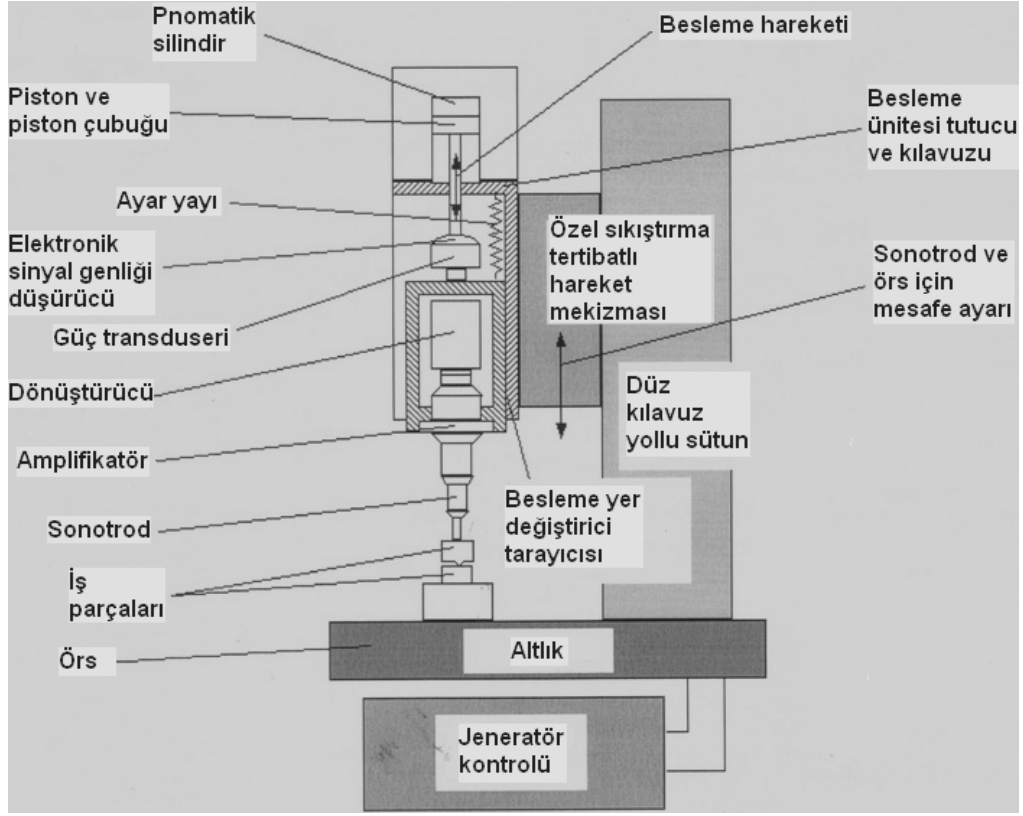
Plastikler için ultrasonik metodu kullanılarak gerçekleştirilen üretim ve uygulama esasları şunlardır:

- Plastik malzemelerin birbirine kaynağı
- Farklı plastik malzemelerin birleştirilmesi (Perçin başı ezme)
- Plastik malzemelerin içerisine metal yerleştirilmesi
- Nokta Kaynağı (Ultrasonik puntalama),
- Sıvama
- Tekstil kesme ve dikiş (Karahasanoğlu ve Erkul 2001).

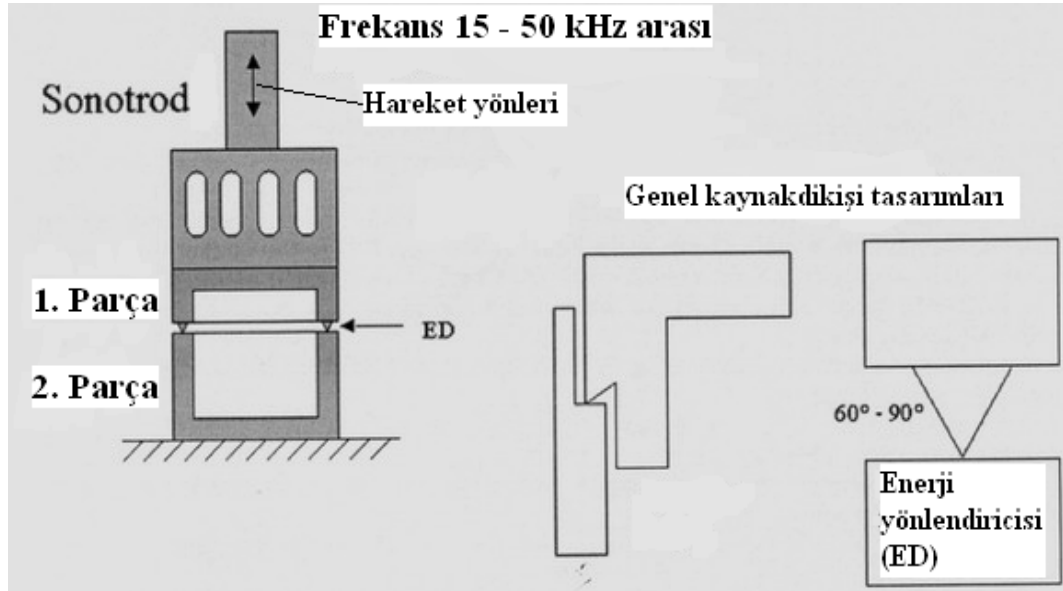
2.3.4.1. Plastiklerin ultrasonik kaynak makinesi genel yapısı

Ultrasonik kaynak makinelerinin temel ekipmanları Güç Kaynağı, Transduser, Booster ve Sonotrod'tur. Esas itibari ile Güç kaynağı 220 V ile çalışır. Güç kaynağına 50 - 60 Hz arasında giriş verilir ve buradan yaklaşık 20000 Hz veya 40000 Hz çıkış alınır. Transduser de elektriksel enerji mekanik titreşimlere dönüştürülür. Booster sonotrod sayesinde mekanik titreşimin genliği artırılır ve bu titreşim sonotrod (kaynak kalıbı) ile parçaya iletilir. Sonotrod kaynak edilecek parçaya göre dizayn edilir ve kaynak kalıbı olarak da tanımlanır. Ayarlanabilir basınç altında kaynak edilecek iki termoplastik parçaya uygulanan mekanik titreşim enerjisi parçaların birbirine temas eden yüzeylerinde oluşan sürtünme enerjisi nedeni ile ısı enerjisine dönüşür ve temas eden yüzeylerde sıcaklık malzemenin ergime noktasına ulaştığında mekanik titreşim durdurulur ve basınç altında bir süre parçaların soğuması beklenerek işlem tamamlanır. Uygulamada kaynak süreleri 0,1-1,5 saniye arasında değişmektedir (Karahasanoğlu ve Erkul 2001).

Kaynak, kaynak edilecek parçalara, düşük genlikte (10 µm – 250 µm) yüksek frekansta (10 – 70 kHz) değişken mekanik titreşimler uygulanarak kaynak bölgesinin ısıtılıp basınç altında birleştirilmesi ile yapılır (Grewell ve diğ 2003, Anık ve diğ. 2003) . Plastik kaplanmış karton veya kumaşların, ultrasonik yöntemle kaynak yapılmaları mümkündür. 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. Sonotrod ucunun yivli olması gerekir. 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 ve PE; Sert-PVC ve Poliakrilit malzemeler için de kullanılır (Anık ve diğ. 2003).



Şekil 2.7: Bir pnomatik ultrasonik kaynak makinesinin temel konstrüksiyonu (plastics.bayer.com)



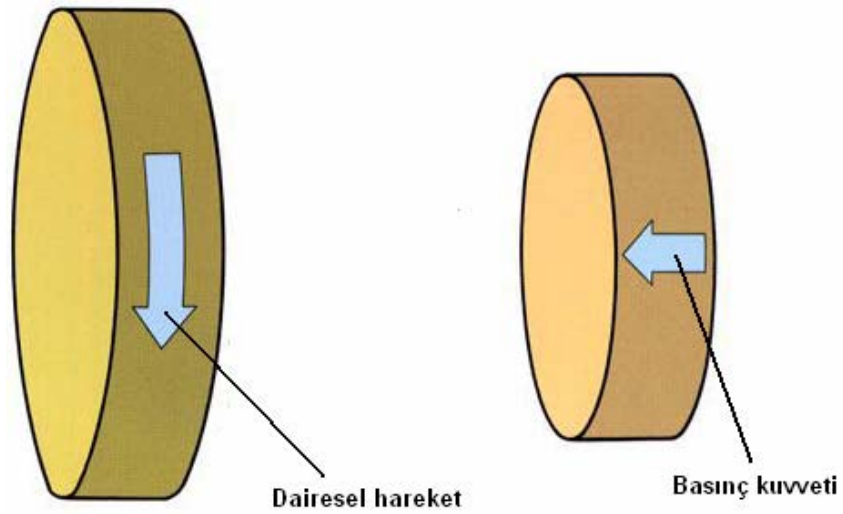
Şekil 2.8: Ultrasonik kaynak işleminde parçaların durumu (plastics.bayer.com)

2.3.5. Sürtünme (Döndürme) kaynağı

Termoplastiklerin sürtünme kaynağı (aynı zamanda döndürme kaynağı olarak ta anılır) metaller için uygulanan ile aynı prensip üzerine kuruludur. Bu işlemde parçalardan biri, diğeri onun üzerinde açisal hız ile dönerken sabit olacak şekilde tutulur. Parçalar 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 (Joshi). Plastiklerde bu yöntem ile elde edilen bağlantının kuvveti, malzemenin normal dayanımının %90'ı kadar olabilir. Kaynak süresi 1 ile 5 saniye arasındadır.

Isıtma etkisi nispi yüzey hızına bağlı olduğu gibi maksimum ısı katı parçalarda dış bölgelerde oluşabilir. Isının homojen olmayan dağılımı kaynak bölgesi gerilmeleriyle sonuçlanabilir. İnce kesitli içi boş kesitler daha elverişlidir.

Sürtünme kaynağı bir matkap presiyle gerçekleştirilebilir ancak daha iyi sonuç elde edilmek isteniyorsa kaynaklar, döndürme kısmına kontrollü enerji verebilen sistemler ile elde edilebilir. Bu, belirli bir enerji seviyesi için genellikle bir volan tipi parçayı döndürmekle yapılabilir. Sabit parça ile temas esnasında, bu enerji kaynak çizgisinde dağılır. Diğeri tasarımlarda, sabit miktarda enerji veren özel kontrollü ekipmanlar kullanır.



Şekil 2.9: Sürtünme kaynağının uygulanışı (www.ewi.org)

Sürtünme kaynağının avantajları olarak yüksek kaynak kalitesi ve 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 açısal hizalamaya ihtiyaç duymadığı durumlara uygun olmasıdır (Joshi). Döndürme kaynağının ilk uygulamalarından biri su dolu pusulaların kapatılmasıdır. Bu, suya daldırılmış gövde üzerinde kapağın döndürülmesi ile yapılmıştır. Diğer uygulamalar şamandıraların ve aestrol şişelerinin üretimini içerir. Sürtünme kaynağı plastik parçalara silindirik parça ve pim eklemede kullanılır ve termal plastiklerin çoğuna uygulanan hızlı ve etkili bir bağlantı tekniğidir (Anık ve diğ. 2003).

2.3.6. Yüksek frekans kaynağı

Bu yöntemde kaynak için gereken ısı, yüksek frekanslı değişken bir elektrik alanı tarafından sağlanır. Yöntem sadece dielektrik kayıpları yüksek plastiklerde kullanılabilir. Kaynak işlemi basınç altında gerçekleşir. Değişken elektriksel alan sayesinde plastik içinde dipoller oluşur ve bunların yüksek frekansta hareketleri ile iç sürtünmeler ve dolayısıyla ısınma ve birleşme sağlanır (Anık ve diğ. 2003).

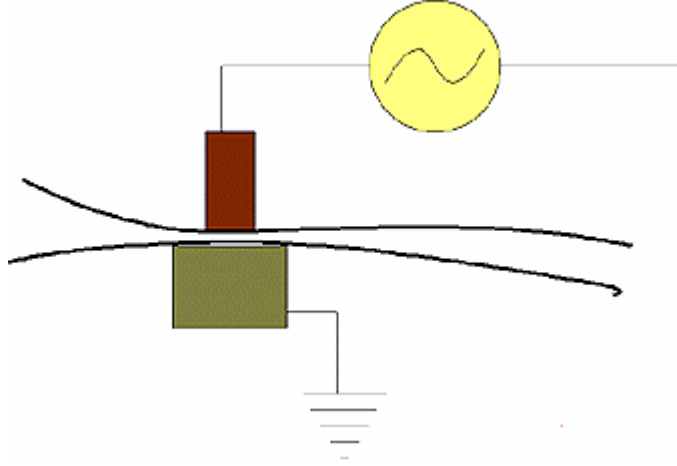
2.3.6.1. Radyo frekansı/dielektrik kaynağı

Radyo frekansı (RF) kaynağı; PVC, poliüretan ve poliamidler gibi kuvvetli dipollere sahip polimerleri birleştirmede kullanışlıdır. Dipollere değişen alan uygulaması sonucu, alanla oryantasyona neden olunacaktır. Dipoller değişen alan polaritesini izlemeye çalışacak ve bu işlem sonucu bir kısım alan enerjisi ısıya dönüşerek kaynağı oluşturacaktır. ABD'de, en yaygın kullanılan RF kaynağı frekansı 27.12 MHz olarak belirlenmiştir, ancak frekanslar ülkeye bağlı olarak değişebilir.

Tıbbi alanda, sıvıları taşımak için kullanılan çantalar RF kaynağının ana uygulama alanlarıdır. Çantalar ve çantaya malzemeyi koymak için kullanılan portlar tek bir adımda yapılabilir (Anık ve diğ. 2003).

Yüksek yoğunluklu alan normalde film tabakalarının tüm taraflarına basılan elektrodlar ile polimere uygulanır (Şekil 16.). Alan yoğunluğu mesafenin artması ile azaldığı için bu yöntem genelde elektrodların çok yakın olarak tutulduğu ince

polimer filmlerin kaynak edilmelerinde uygundur. Kaynağın filmler arasındaki ara yüzeyde oluştuğu gözükür çünkü nispeten soğuk elektrotlar film yüzeylerinden ısı çekerler.

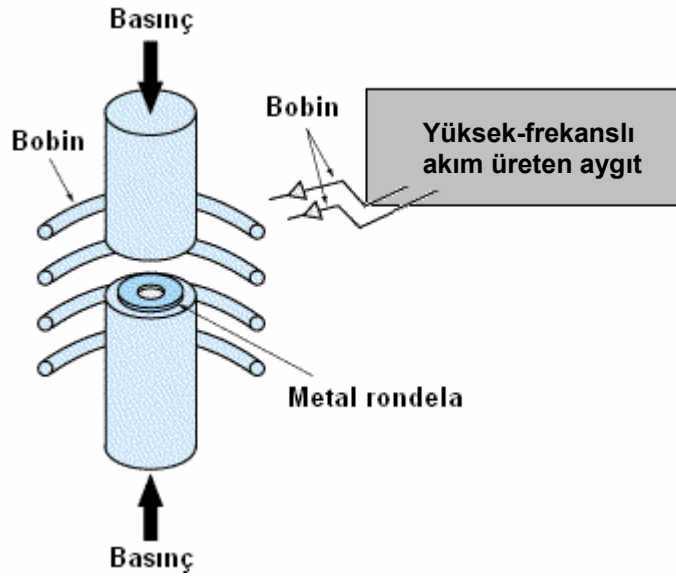


Şekil 2.10: Dielektrik kaynağı (www.ewi.org)

PVC atık ürünlerinin yakılması hakkındaki sorun polyster veya çok katlı filmlerin kaynağında artan öneme ulaşmıştır. Isıtma verimliliği malzemeye bağlıdır. Polietilen ve polipropilen gibi poliofinler, aslında alana duyarsız 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 (www.ewi.org).

2.3.6.2. Elektromanyetik kaynak (endüksiyon kaynağı)

Endüksiyon kaynağı, iletken malzemeler radyo frekansı (RF) alanına maruz bırakıldığında gözlenir. RF enerjisi malzemedeki Eddy akımlarına neden olur ve ısıtma $I^2 \times R$ ısıtmasıyla gerçekleşir (Anık ve diğ. 2003).

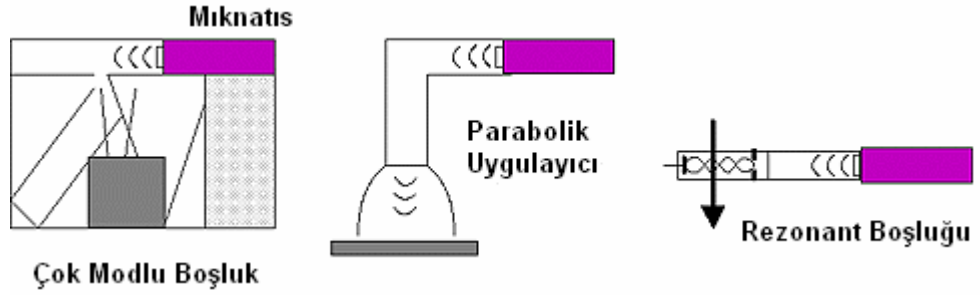


Şekil 2.11: Endüksiyon kaynağının uygulanişı (www.ewi.org)

Elektromanyetik bağlantı yada manyetik ısı damgalama kaynak oluşturmak için endüksiyon ısını kullanır. Endüksiyon ısı, etki sahasındaki manyetik partiküllerde ısı meydana getiren yüksek frekanslı alternatif akımdan yararlanır. Elektromanyetik plastik kaynağında, mikron-boyutlarındaki manyetik partiküller termal plastik içerisinde yayılır. Bu malzeme kaynak yapılmak üzere manyetik yayılım yapan yüzeyler arasına yerleştirildiğinde ve elektromanyetik etki alanına maruz bırakıldığında, ara yüzeyde ısı meydana gelir ve termal plastik malzemelerin erimesine ve sonradan ortaya çıkan kaynama işlemine neden olur. Bu bütün uygun termal plastiklerde polimerden – polimere bağlantı meydana getirir. Bu sıcak ergiyiklerde, katı bağlayıcı sistemlere yada birleşme yerinde aşı olarak uygulanabilir. 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 (www.ewi.org).

2.3.6.3. Mikrodalga kaynağı

Mikrodalga kaynağı halen gelişmenin başlarında olan bir teknolojidir. Mikrodalgalar, hem endüksiyon hem de RF (dielektrik) kaynaklarından daha yüksek frekansa sahiptirler. ABD'de yaygın olan iki frekans 915 MHz ve 2.45 GHz'dir (mutfak mikrodalgaları). RF kaynağında olduğu gibi, dipoller ile etkileşimden ısı ortaya çıkar. Bu ısı yardımıyla kaynak işlemi gerçekleştirilir.

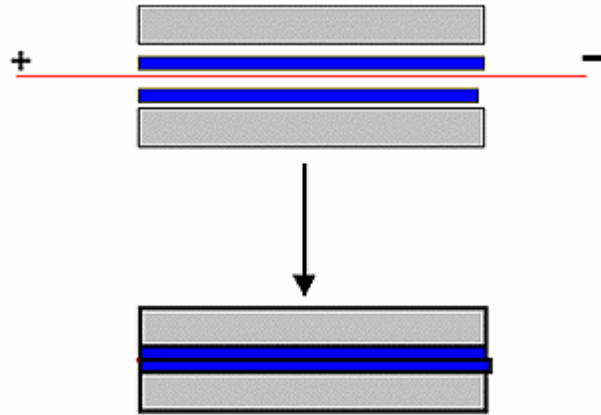


Şekil 2.12: Mikrodalga kaynağı (www.ewi.org)

2.3.7. Özdirençli implant kaynağı

Özdirençli implant kaynağı, elektriksel iletken bir elementin bağ hattına akım uygulanması sonucu ısıtılmasıyla oluşur. Elementin etrafındaki bölge erir ve baskı uygulaması sonucunda kaynak oluşur. Bazen eriyen maddenin daha iyi akışı ve bağ hattındaki boşlukların doldurulması için bağ hattına ekstra bir polimer eklemek yararlı olur.

Güç kaynakları, basit değişken voltaj transformatörlerinden, AC ve DC modunda çalışan programlanabilir birimlere kadar değişkenlik göstermektedir. Özdirençli element metal kablolar ve örgüler, bantlar, halatlar ve yapraklar gibi karbon tabanlı elemanlar gibi akımı ileten herhangi bir malzeme olabilir. Bu işlem genellikle daha geniş yapılara ve kapalı devre içermeyen kaynak noktalarına uygulanır.



Şekil 2.13: Özdirençli implant kaynağı (www.ewi.org)

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

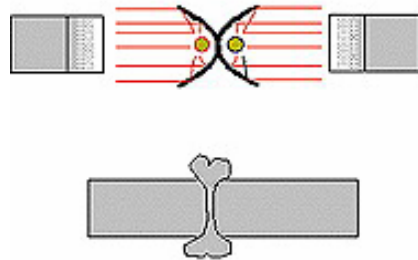
işlemler birçok termoplastik tabanlı malzemeyi birleştirmede kullanılabilir. İmplant malzemeleri bağ hattında kaldığına göre, planlanan uygulamayla uyumlu olmalıdırlar (Anık ve diğ. 2003).

2.3.8. Kızıl ötesi ısıtma ile kaynak

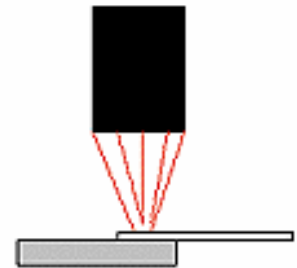
Kızılötesi radyasyonu sıcak levha kaynağına temassız bir alternatif olarak geliştiriliyor. Kızılötesi radyasyonu genelde yaklaşık 1 mikronluk dalga boyuyla radyasyon üreten yüksek yoğunluklu, kuvars ısı lambalarıyla temin edilir. Bir polimer bu radyasyona maruz bırakıldığında erime meydana gelir, işlemin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

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 basın sağlanamamıştır (Anık ve diğ. 2003).

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 (Anık ve diğ. 2003).



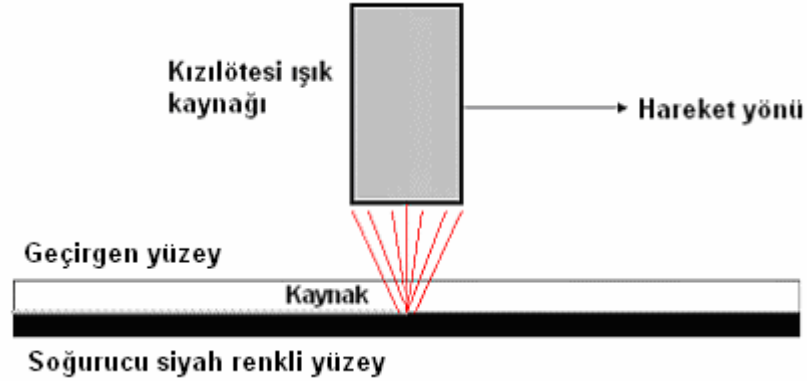
Şekil 2.14: Kızılötesi ısıtma ile alın kaynağı
(www.ewi.org)



Şekil 2.15: Kızılötesi ısıtma ile bindirme kaynağı

2.3.9. Transmisyon vasıtası ile kızılötesi kaynak

Radyasyonun (geçirgen) transparan bir polimerden kendisiyle temas halinde olan emici bir arayüze geçtiği ve transmisyon vasıtasıyla kızılötesi kaynak (TTIR) adı verilen bir işlem geliştirilmektedir. Arayüzde ortaya çıkan ısı transparan polimeri eritir. Isı kaynağı kaynak bölgesinin dışında bulunmaktadır.

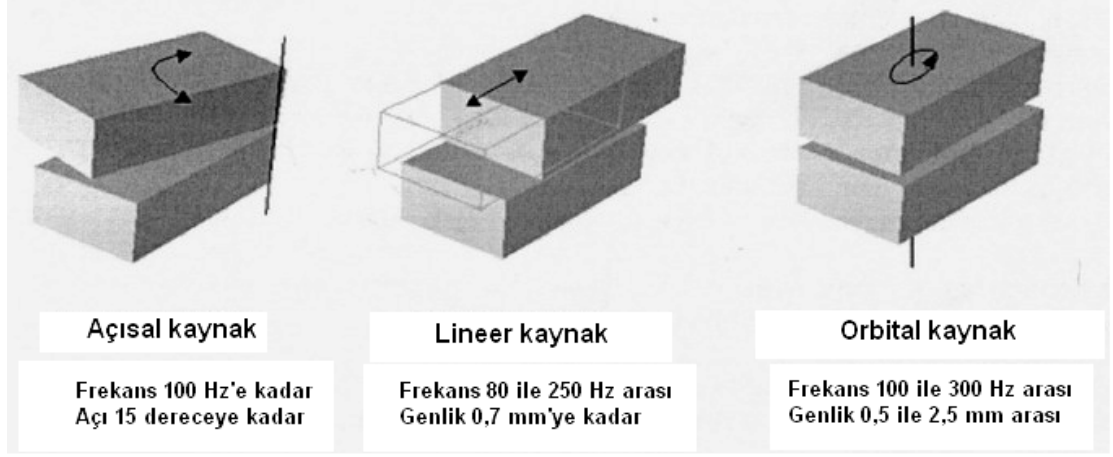


Şekil 2.16: Transmisyon vasıtası ile kızılötesi kaynağının uygulanaışı

Hemen hemen bütün polimerler kızılötesi enerjisine karşı transparandır. Kızılötesi enerji, kuvars çubuklar (hafif borular) veya cam lifleri gibi optikle ilgili malzemelerden geçebilir. Örneğin kaynak bölgesiyle aşağı yukarı aynı alana sahip kuvars liflerinden oluşan bir yığın kızılötesi enerjisini alabilir ve bu yığının diğer tarafı kaynak bölgesine uyacak biçimde şekillendirilebilir. Çok karmaşık kaynak bölgeleri bile bu teknikle şekillendirilebilir (Anık ve diğ. 2003).

2.3.10. Titreşim yoluyla kaynak

Bu uygulama aynı zamanda doğrusal (lineer) sürtünme kaynağı olarak da adlandırılır. Titreşim veya doğrusal sürtünme kaynağı iki termoplastik bölgenin basınç altında; uygun frekans ve genişlikte, polimeri eritip birleştirmek için yeterli ısı elde edilinceye kadar sürtünmesini gerektirir. Titreşim durduktan sonra bölgeler hizaya getirilir ve soğumaya bırakılarak kaynağı oluşturur. 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. Titreşim kaynağı uygulamada sadece doğrusal değil bunun haricinde açısız ve orbital (kendi eksenini etrafında dönerek) şekilde de kullanılabilir.



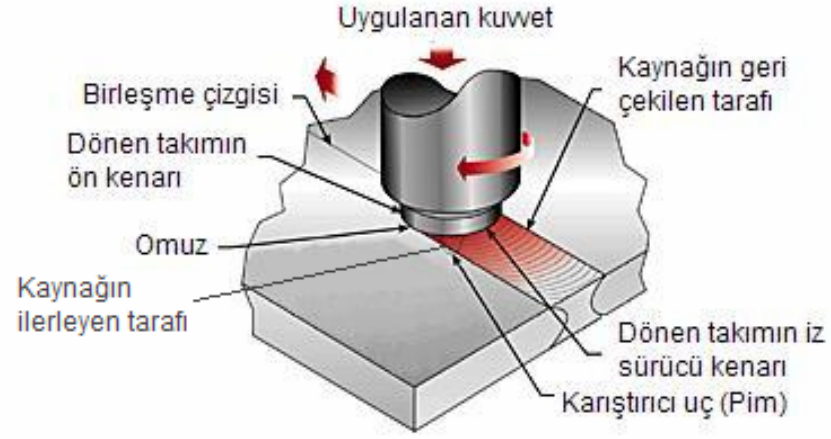
Şekil 2.17: Farklı şekillerde uygulanan titreşim kaynağı (plastics.bayer.com)

Bu yöntemin en büyük avantajı büyük ve karmaşık doğrusal bağlantıları yüksek üretim oranlarında kaynak edebilmesidir. Diğer avantajları arasında birkaç parçayı aynı andan kaynak edebilmesi, hemen hemen bütün termoplastik malzemelerin kaynağına uygun olması ve işlem kolaylığıdır. Titreşim kaynağının başlıca uygulamaları otomobil ev aletleri endüstrisinde bulunmaktadır.

Titreşim kaynağı kalıp enjeksiyonu veya ekstrüzyonla üretilen, şişirilerek kalıplanmış, ısı ile şekillendirilmiş veya damgalanmış gibi hemen hemen bütün termoplastik malzemelere uygulanabilir (Joshi).

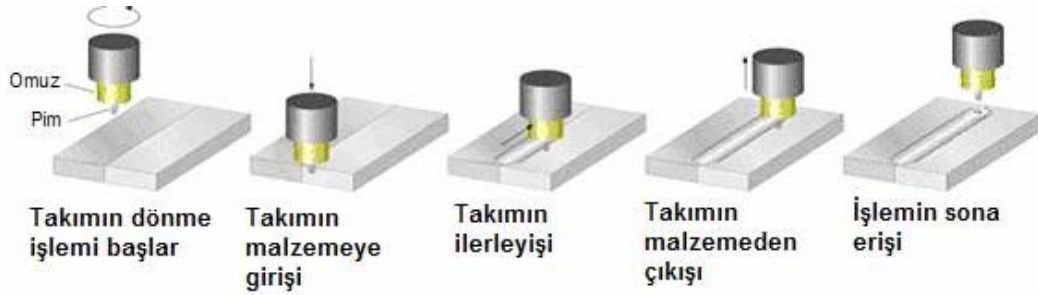
2.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Geleneksel sürtünme işlemleri parçaları birbirine sürtmeyi içerirken yeni geliştirilen yöntem birleştirilecek parçalara karşı üçüncü bir cismi sürtmeyi içerir. Silindirik bir takım omzu yan yana getirilmiş iki iş parçasının birleşme yerleri üzerinde dairesel hareket yapar. Sürtünmeden dolayı meydana gelen ısı sayesinde kaynak edilecek malzemelerin birleşme yerleri yumuşar ve daha sonra birbirlerine kaynarlar ve bu şekilde bağlantı sağlanır. Yöntemin uygulaması için çok spesifik bir sisteme ihtiyaç duyulmamakta ve standart bir üniversal freze tezgahı ya da nümerik kontrollü (NC) freze tezgahına yapılacak küçük modifikasyonlar ile tezgah SKK kaynağını uygulamaya hazır hale getirilebilir.



Şekil 2.18: Sürtünme karıştırma kaynağının uygulanışı (www.mts.com)

Üçüncü cisim bir bıçak veya dönen mandrel olabilir. Bu işlem, yaygın olarak başlıca metallere uygulanmaktadır, ancak plastikler için uygunluğu da açıktır. Buna benzer bir işlem bir testere ile bir parça termoplastiği keserken de gözlenir.



Şekil 2.19: Sürtünme karıştırma kaynağının uygulama adımları (www.jwri.osaka-u.ac.jp)

Daha detaylı anlatmak gerekirse yöntemde kaynak edilen parçalar ergimezler bu yüzden yöntem katı hal kaynağı olarak adlandırılır. Kaynak yöntemi Şekil 2.18 ev Şekil 2.19'daki gibi alın altına sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen omuzlu bir pimin 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 bir 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.



Şekil 2.20: Bilgisayar kontrollü bir sürtünme karıştırma kaynak makinesi sistemi

Şekil 2.20'den de görüldüğü gibi sürtünme karıştırma kaynağı için istenildiği takdirde bilgisayar kontrollü bir sistem kurulabilir. Bu şekilde bir sistem ile CAM uygulamaları için de uyumluluk sağlanabilir ve yazılım ve çizim programları sayesinde sistem otomatik olarak kaynak işlemini gerçekleştirebilir. Ayrıca bu sistemde kaynak işleminde kullanılan silindirik ucun da kaynak edilecek parçalara uygun olarak değiştirme imkanı vardır.

2.4.1. Plastik malzemelere uygulanan sürtünme karıştırma kaynağına ait literatür çalışması

Polimerlerin sürtünme karıştırma kaynağının çok yeni olması sebebiyle, şimdiye kadar bu konu hakkında çok az çalışmanın yayımlanmış olması şaşırtıcı değildir. Birkaç grup, polimerler ile ilgili araştırma çalışmalarını yayımlamışlardır. Bunlar içinde öncü gruplar TWI (The Welding Institute) ve BYU (Brigham Young University)'da çalışmaktadırlar. Bu kısımda bu gruplara ait sürtünme karıştırma kaynağına dair araştırmalar ve elde ettikleri tecrübe ve sonuçlara değinilecektir.

Strand'ın çalışmasında üretim alanında sürtünme karıştırma kaynağının, polimerleri birleştirmek amacıyla kullanılan diğer yöntemle olan ultrasonik, sıcak-levha, sıcak gaz, ekstrüzyon ve sürtünme yöntemleriyle karşılaştırılmasına yönelik özel bir parça tasarlanmıştır. Strand'ın belirttiğine göre çalışma sonunda sürtünme karıştırma kaynağını adheziv bağlantılarla da karşılaştırmak mümkündür. Karşılaştırmalar parça hazırlığının temeli, işlem süresi, ortadan kaldırılabilirliği, işlemin tekrarlanabilirliği, bağlantı etkinliği ve makine/parça maliyeti üzerinde gerçekleştirilmiştir. İşlemin devamlılığı ve farklı parçalar üzerine uygulanabilirliği de karşılaştırmaya dahil edilmiştir. Buradaki yöntemler 6.35 mm kalınlığındaki polipropilen'in 305 mm uzunluğundaki alın kaynağı işleminde karşılaştırılmaya konmuştur. İşlem için gerekenlerin özeti Tablo 2.2'de, işlem kabiliyetleri açısından karşılaştırılmalı hali Tablo 2.3'te verilmektedir.

Tablo 2.2: 6.35 mm kalınlığındaki PP'de 305 mm uzunluğunda alın kaynağı birleştirilmesi için polimer birleştirme tekniklerinin karşılaştırılmasında işlem gereksinimleri (Strand 2004)

İşlem	Hazırlık	İşlem zamanı	Toplam zaman	Tüketim	Makine/Takım, tüketim tutarı
Ultrasonik	Enerji direktörleri	1-3 san.	5-10 dak.	yok	\$30.000
Sıcak-levha	yok	30-40 san.	60-90 san.	yok	\$47.000
Sıcak-gaz	v- kanalı	8-10 dak.	15 dak.	gaz, dolgu	\$3.500
Ekstrüzyon	v- kanalı	8-10 dak.	15 dak.	gaz, dolgu	\$5.500
Sürtünme	düzeltilmiş yüzey	10-15 san.	6-8 dak.	yok	\$89.000
Adhezifler	temiz	3 dak.	2-3 saat	temizleyici, adhezif	\$3.000
Sürtünme Karıştırma	yok	2 dak.	3 dak.	yok	\$11.000

Ultrasonik kaynak işlemi, polimerleri kaynak etmede en geniş biçimde kullanılan yöntemlerden biridir. Bu kaynak süresi 1-3 saniye kadar olan çok hızlı bir yöntemdir. Bağlantı performansının 75%'in üzerinde olması mümkün olmuştur ve işlem oldukça tekrarlanabilir şekildedir. Yine de, makineler ve takımlar oldukça pahalıdır, ve parça hazırlığı zaman almaktadır. Sadece farklı parçalar üretilebilmiş, ve sadece nokta kaynağı gerçekleştirilebilmiştir. Parça özellikleri kötü olmaktadır.

Sıcak-levha kaynağı da geniş bir biçimde kullanılan işlemdir. Strand'ın çalışmalarında çok yüksek kaynak performansları elde etmenin mümkün olduğu bulunmuştur. Belirtilen parçadaki kaynak süresi 30-40 saniye kadardır. Ufak yüzey hazırlıkları gerektirmektedir ve işlemin tekrarlanabilirliği yüksektir. Makine ve takım maliyetleri spektrumun en üstündedir ve yine sadece farklı parçalar

üretilebilmektedir. Karmaşık geometrili bağlantılar sağlanabilse de bunlar için çok yüksek maliyetler gereklidir.

Tablo 2.3: İşlem kapasitesinin genel polimer teknikleriyle karşılaştırılması (Strand 2004)

İşlem	Bağlantı Verimi (%)	Tekrarlanabilirlik	Süreklilik	Farklı Parça Üretimi
Ultrasonik	75 %	yüksek	Hayır	Evet
Sıcaklevha	90 %	yüksek	Hayır	Evet
Sıcak-gaz	60 %	düşük	Zor	Evet
Ekstrüzyon	70 %	düşük	Zor	Evet
Sürtünme	85 %	yüksek	Hayır	Evet
Adhezifler	90 %	düşük	Hayır	Evet
Sürtünme Karıştırma	95 %	yüksek	Evet	Evet

Sıcak-gaz ve ekstrüzyon kaynakları işletme ve performansta birbirlerine çok benzer çıkmışlardır. Uygun kaynak oluşumu için çok yavaş ilerleme oranı ile gerçekleşecek işlemde V kanalı gerekmiştir. Bu işlemler için bağlantı verimi iyi derecede tekrarlanabilirlikle birlikte genellikle %60-70 civarındadır. Yine de, bu operatörün yeteneğine bağlı olmaktadır. Tüketim gaz ve dolgu telini içermektedir. İşlem sürekli kaynak için kullanılabilir fakat bu oldukça zor olmaktadır. Makine maliyeti düşük, fakat işçilik oldukça fazla olmaktadır.

Sürtünme kaynağının birçok biçimi uygulanmaktadır. İki parça birbirine zıt yönlerde dönerek veya doğrusal olarak birbirlerine zıt yönlerde ileri geri hareket ile kaynak işlemini gerçekleştirirler. Burada, lineer (doğrusal) sürtünme kaynağı ele alınacaktır. Ufak bir ön hazırlık gereklidir, genellikle tek bir adımda yüzeylerin düzeltilmesi ve birbiri üzerine getirilmesiyle olur. Kaynak süresi 15-20 saniye civarındadır, ve 85% oranında etkili bağlantılar sağlanabilir. Tüketim gerektirmemektedir, ve tekrarlanabilirlik oldukça yüksektir. Makine ve takım maliyetleri orta düzeydedir.

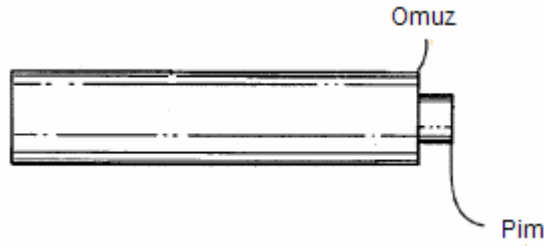
Adhezifler büyük değişkenlikte olanaklar sunmaktadır. Gerçekleşme süreleri oldukça kısa (anayrobikler için dakikalar içerisinde.) veya çok uzun (epoksiler için birkaç saatte.) olabilir. Az bir operatör yeteneği gereklidir, fakat sıklıkla çevresel etkilerinin kanıtı masraflıdır. Bağlantı dayanımları dikkatli adhezif seçimiyle düzeltilebilir, ve genellikle %90 oranının üstündedir. Parçalar arasında uygun teması sağlamak için temizlemesi nedeniyle parça hazırlığı gereklidir. adheziflerin eşsiz avantajı hem termoplastik hem de termoset polimerleri bağlamadaki yeteneğidir.

Görülen örnekte de olduğu gibi sürtünme karıştırma kaynağı plastiklerin kaynağında oldukça yüksek yeterlilik göstermiştir. Makine ve takım maliyetleri oldukça düşüktür, ve bağlantılardaki verimi olarak %90-95 aralığında çekme ve eğilme özellikleri sağlar. Herhangi parça hazırlığı ve tüketim gerektirmemektedir (Strand 2004).

BYU'dan Seth R. Strand'ın da çalışmalarında belirttiğine göre genel anlamda sürtünme karıştırma kaynağı üzerine üç alanda kapsamlı yapılan araştırmalar yayımlanmıştır. Bunlar, takım tasarımı, işlem parametreleri ve kaynak edilebilir malzemeler üzerinedir.

Strand'ın belirttiğine göre, Johns polimerler için fonksiyonel SKK takımı yaratılmasına yönelik bazı tasarımları tanımlamıştır. Alüminyumların sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan, standart alüminyum stili takım (dahili omuz ve pimli) ile kaynağın oluşturulabildiğini ancak çok düşük mekanik ve görsel özellikler taşıdığını belirtmiştir. Araştırmalarının sonucuna göre alüminyum stili takım malzemeyi kaynak içinde tutmaktansa, onu dışarıya sürer ve kaynak boyunca büyük boşluklar oluşur (Strand 2004).

Nelson da, Birleşik Devletler patent araştırmasında ilk önce alüminyum stili takım kullanarak kaynak denemelerine başlamıştır (Nelson 2004).

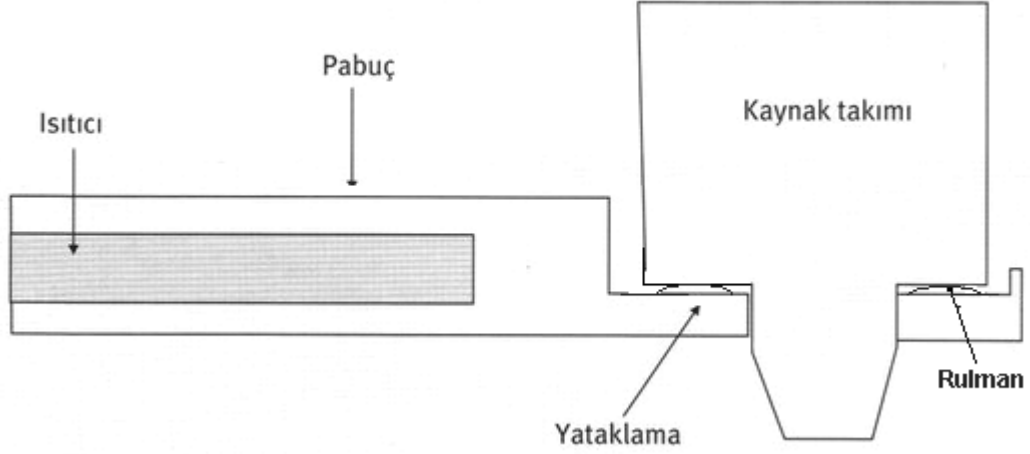


Şekil 2.21: Alüminyum stili takım (Nelson 2004)

Şekil 2.21'de görülen bu takımın geniş çapa sahip kısmı omuz ve uç kısımdaki daha küçük silindirik parça ise pim olarak adlandırılmaktadır. Omuz kısmı, pim malzemeye dalarak birleştirmeyi gerçekleştirdiği sırada kaynak edilecek malzemenin üst yüzeyiyle temas halindedir (Nelson 2004).

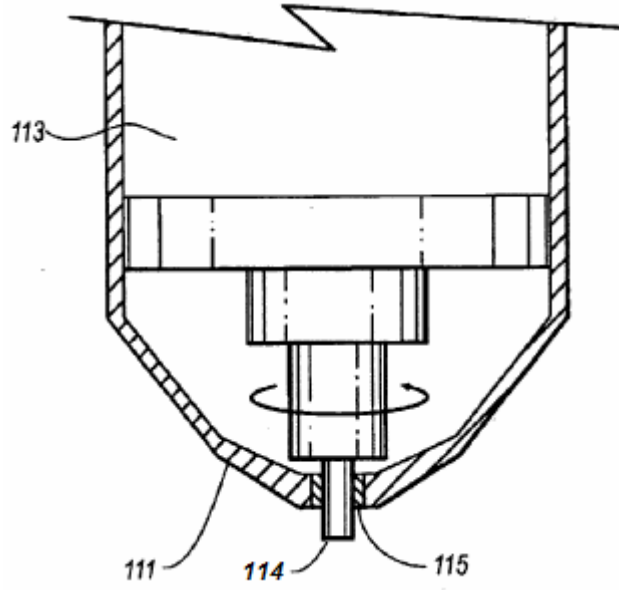
Strand'ın PP'nin kaynağı üzerine olan, çalışmalarında Johns'un son takım tasarımı başarı sağlamıştır ve BYU'da şu an kullanılan modeldir. Bu bir dönen pimden, rulmanlı yataktan ve sabit bir pabuçtan meydana gelir. Pabuç boşlukların

oluşumunu sınırlayarak, kaynağın soğuma süresi boyunca kaynak alanı üzerine basıncın genişçe etkimesine izin verir. Eğer bağlantının uygun şekilde erimesi için fazladan enerji gerekiyorsa ısıtılabilir. Johns'un çıkarımına göre takım ömrünün uzunluğu için pim olabildiğince kısa olmalıdır. Bu takım üzerine etkiyen momenti minimize edecektir ve bu da dönel yüklemenin etkisinin üstesinden gelinmesine yardım edecektir (Strand 2004).



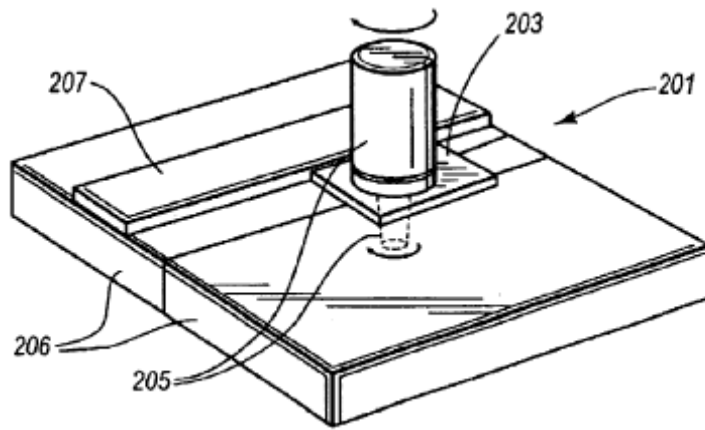
Şekil 2.22: Johns'un geliştirdiği som takım tasarımı (Strand 2004)

Şekil 2.23'de görülen, Nelson'un çalışmalarında kullandığı ikinci takım tasarımında mil kafasına yerleştirilmiş sabit konik şekle sahip takım tasarımıyla, omuzun sabit tutulması amaçlanmıştır. Bu takım "dingil omuz" olarak adlandırılır. Şekil 2.23'deki 111 no'lu omuz sabit olacak şekilde milin 113 no'lu dingil bileziğinin üzerine yerleştirilmiştir. 114 no'lu pimde şekilde 115 no'lu gösterilen grafit karışımı pirinç burcun içinden geçirilmiştir. Burç takımın kaynak esnasında oluşan yüklemelerden korunmasını sağlamaktır. Sabit omuzun amacı pim malzemeyi yumuşattığı sırada, bu bölge üzerine basarak malzeme kaybını önlemektir (Nelson 2004).



Şekil 2.23: Dingil omuz takım tasarımı (Nelson 2004)

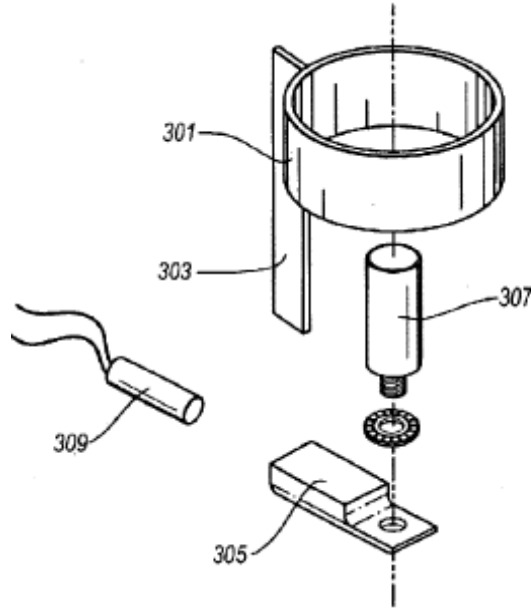
Nelson'un kullandığı üçüncü takım tasarımı Şekil 2.24'te görülmektedir. Bu takım tasarımı "sıcak-pabuç" olarak geçer. Aslında 203 no'lu parçadan görüldüğü üzere burada malzemeye basması için kullanılan omuz değil daha çok bir pabuç veya plakadır. Bu plakanın, takımın ilerlemesi sırasında 207 no'lu parça kılavuzlanarak ile dönmesi engellenmiştir. Bu metotta milin kafasına diğer metotlarda olduğu gibi açı verilmemiştir. Harici bir kaynak tarafından verilen ısı ile malzeme yumuşatılmıştır ve yüzeyin kalitesi artmıştır.



Şekil 2.24: Sıcak-pabuç takım tasarımı (Nelson 2004)

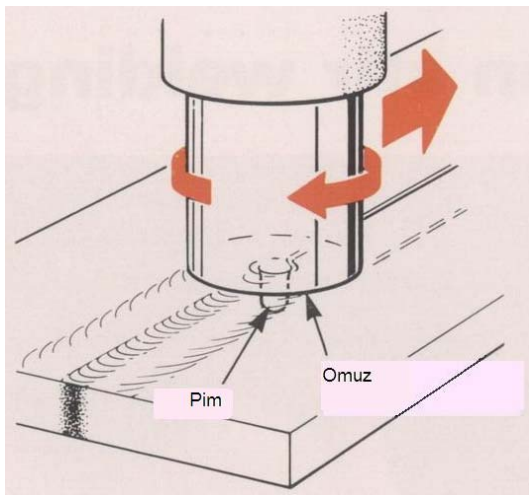
"Sıcak-pabuç II" isminde dördüncü bir takım tasarımı, Şekil 2.25'de görülmektedir. Burada takım omzu bir rulman vasıtasıyla 305 no'lu plakaya basmaktadır ve bu

sayede malzeme yüzeyine oturan bu pabuç (305) sabit şekilde durabilmektedir. Bu tasarımda parça rezisif ısıtıcılarla ısıtılmaktadır (309) (Nelson 2004).

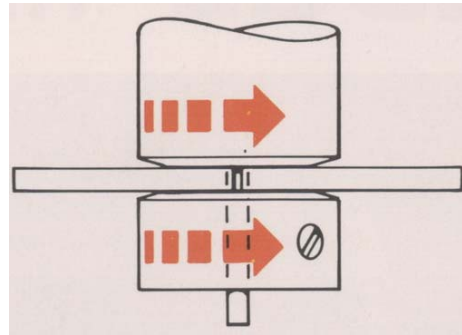


Şekil 2.25: Sıcak-pabuç II takım tasarımı (Nelson 2004)

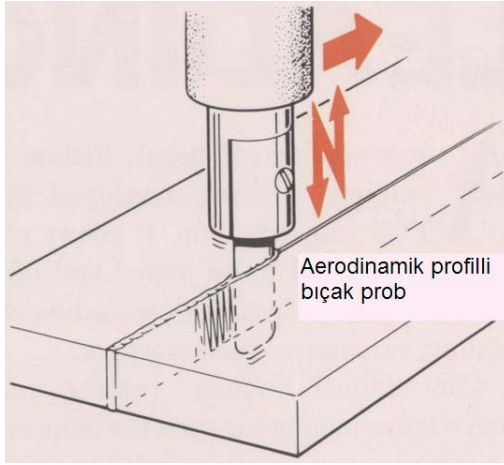
TWI ise araştırmalarında, ilk denemelerinde kullandıkları dönen takımla yapılan SKK'da, kaynak boyunca oluşan boşluklar nedeniyle, polimerlerin SKK'sında dikeyde ileri geri hareket eden bıçak "aerodinamik profilli bıçak" kullanımını geliştirmiştir. Şekil 2.26 ile Şekil 2.29 arası TWI'nın SKK uygulamaları için geliştirdiği takımlar ve uygulama yöntemleri görülmektedir (Sınmazçelik ve Arıcı 2004).



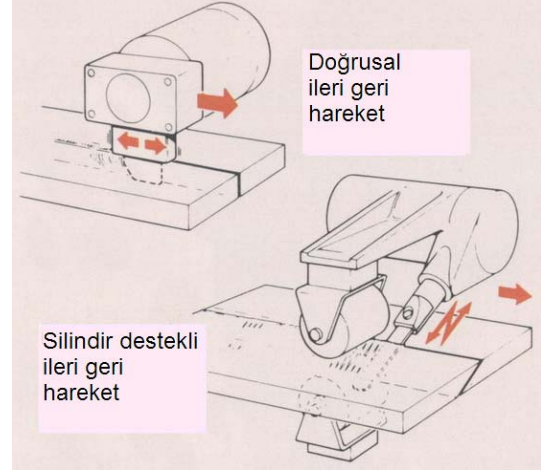
Şekil 2.26: Dönel hareket (Sınmazçelik ve Arıcı 2004)



Şekil 2.27: Çift taraflı bobin tekniği (Sınmazçelik ve Arıcı 2004)



Şekil 2.28: İleri geri hareket
(Sınmazçelik ve Arıcı 2004)



Şekil 2.29: İleri geri hareket
(Sınmazçelik ve Arıcı 2004)

Sürtünme karıştırma kaynağına ait Nelson'un Birleşik Devletler patent çalışmasında dikkat çekildiği üzere termoplastiklerin partiküler özellikleri ile ilgili birçok nedenden dolayı termoplastiklere uygulanan sürtünme karıştırma kaynağının başarısız olduğu tespit edilmiştir. Metallerin aksine konvansiyonel olarak dönen takım, termoplastığı uygun şekilde birleştirebilecek yeterli enerjiyi üretememektedir. Ön çalışmalarda omuzun, fazladan yüzey enerjisi ve enerji girdisinde artış sağlaması başarılıdır, ancak sonuç yine tatmin edici olmamıştır. Kaynak bölgesindeki malzeme, omuzun malzemeyi altında tutmasından daha çok dışarıya atması dolayısıyla, kaynak bölgesinde tutunamaz. Bu malzeme kaybı dolayısıyla kaynak bağlantısı zayıflamış ve boşluklar oluşmuştur.

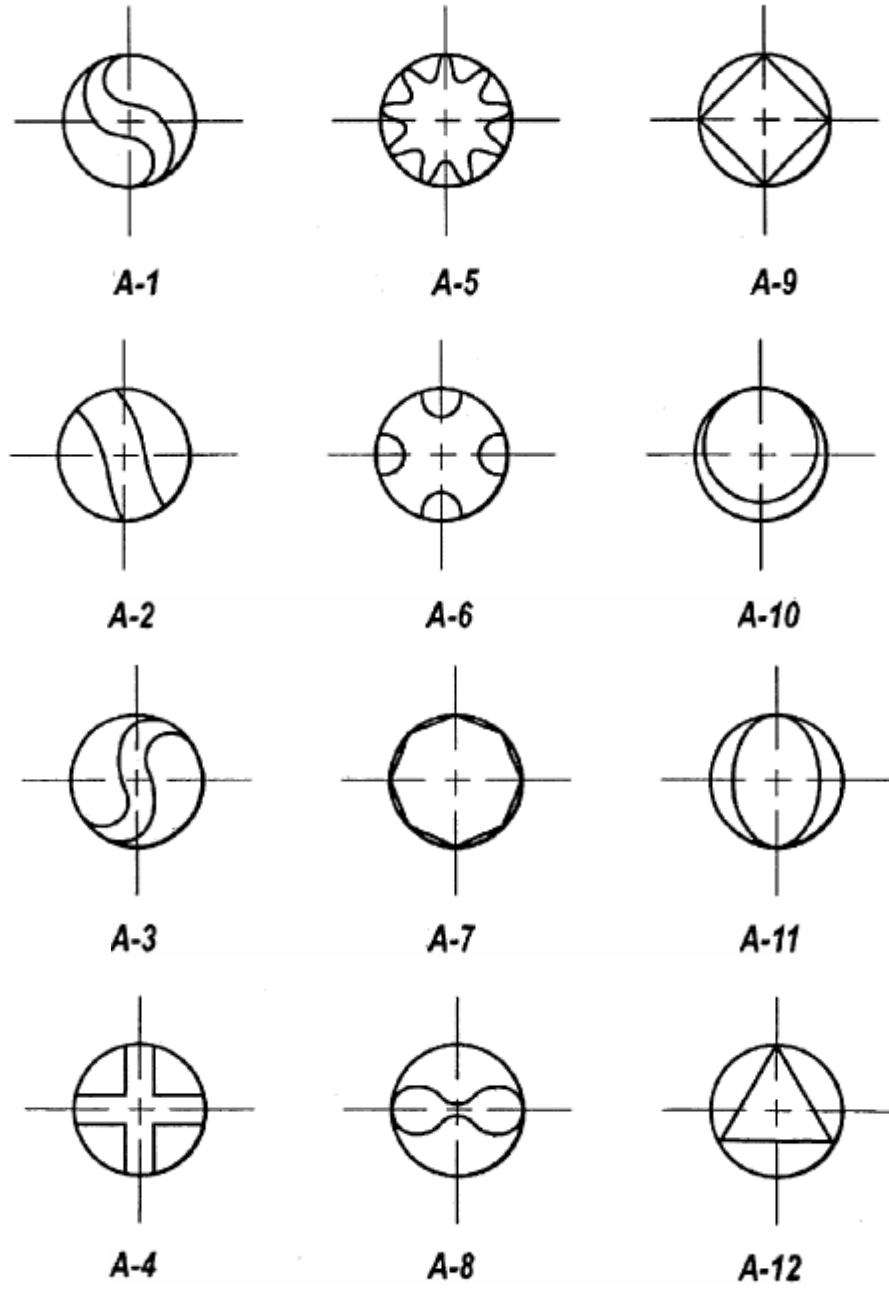
Sonuç olarak Nelson'un patent çalışmalarında, burada değineceğimiz araştırmalarına göre bu problemlerin, SKK işlemine yapılacak iki modifikasyonla çözülebildiği bulunmuştur; (1) omuz yüzeyini sabit tutmanın, ya da en azından pim veya dönen elemanın bağımsız hareket etmesinin sağlanması, ve (2) takımın ürettiği enerjiden bağımsız olarak ayrıca sistem tarafından enerji üretilmesi.

(1)'e göre ele alındığında, omuz yüzeyini sabit tutmanın, yada en azından pim veya dönen elemanın bağımsız hareket etmesinin sağlanması gerekmektedir. Yani yukarıda anlatıldığı gibi yüzey pim ile birlikte döndüğünde, malzemeyi kaynak bölgesinde kalacak şekilde zorlamamakta ve termoplastik malzeme üzerinden malzeme kaybını engelleyememektedir. Bu nedenle malzemenin üzerinde bulunduğu yüzey, dönen elemanla (pim) aynı yönde daha yavaş hareket etmeli,

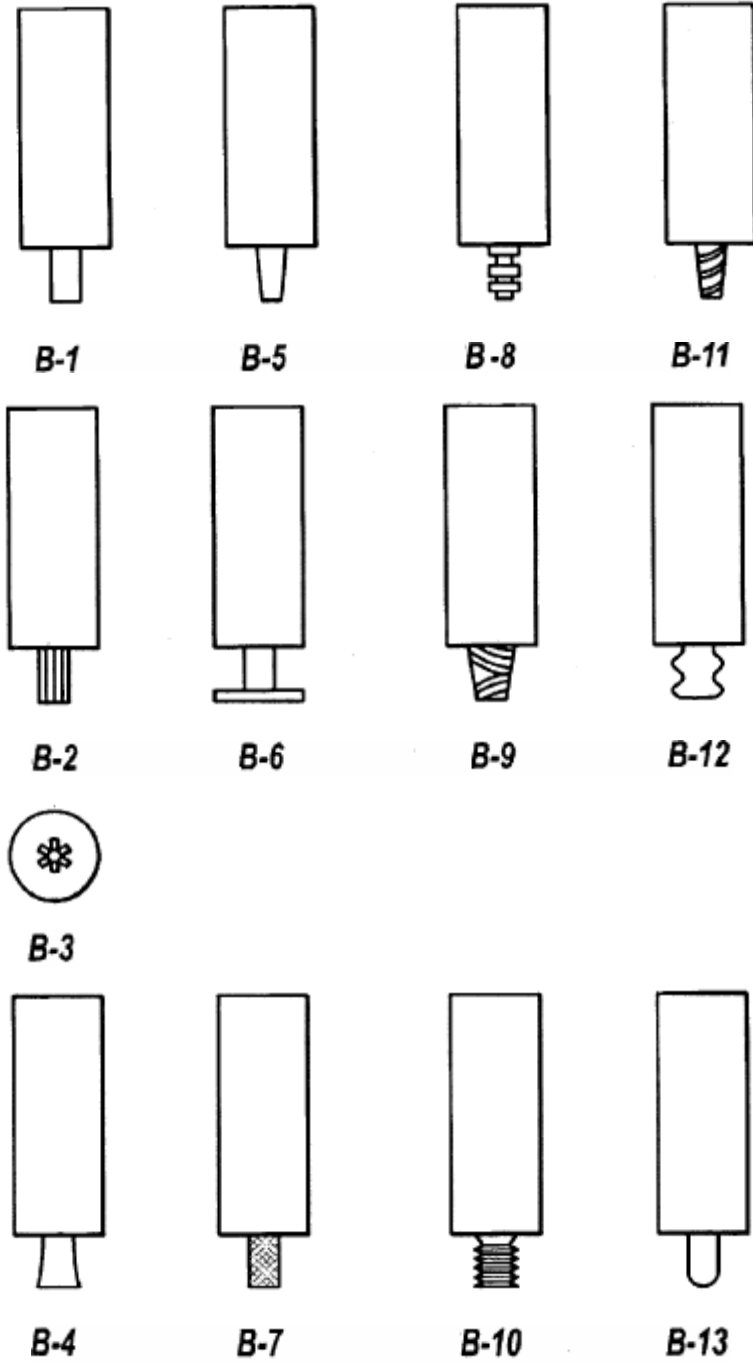
sabit durmalı ya da pimin tam tersi yöne hareket etmelidir ki kaynak bölgesinden dışarı çıkan malzemeyi bölgede tutabilsin.

(2)'ye göre ele alındığında, sisteme, takımın ürettiği sürtünme enerjisinden bağımsız bir enerji eklendiğinde, bu şekilde kaynak bölgesindeki sıcaklık takımın dönme ve ilerleme hızından bağımsız olmaktadır. Bu da sadece termoplastiğin ısısı açısından değil aynı zamanda termoplastiğin kaynağı sırasında, malzemenin dışarı kaçmasını engelleme, boşlukların oluşmasını engelleme gibi malzeme akışında da optimum kondisyonlara ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu da takım dizaynında daha fazla seçeneğe izin vermektedir. Bu şekilde malzeme üzerinde dönerek sürtünme enerjisi meydana getiren bir omuz yerine, yumuşamış veya erimiş malzemenin akış kontrolüne izin yoğunlaşmış buna izin verecek veya bahsetmiş olunan termoplastiğe harici sürtünme enerjisi girdisini sağlayacak bir takım dizaynı tasarlanabilmesi mümkün hale gelmektedir.

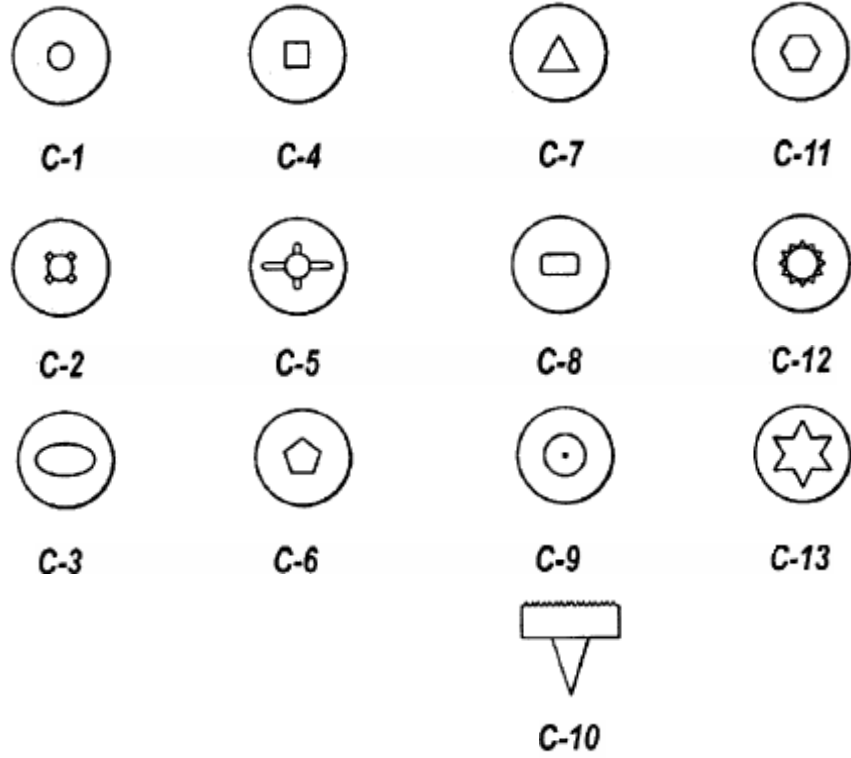
Nelson'un yaptığı çalışmalar sonucunda ifade ettiğine göre, termoplastik malzemeyi yumuşatmak için gerekli olan ısıyı, takım sürtünme enerjisi ile ortaya çıkarmaktadır. Aynı zamanda takımın geometrisi malzeme akışını da kontrol etmektedir. Bunun için dairesel hareket yaparak dönen, ancak kesiti dairesel olmayanlar da dahil birçok farklı takım tasarımı kullanılabilir. Bu şekilde yıldız şeklinde, oval, çokgen, bıçak, "s" şeklinde ya da birçok kombinasyonda kesit geometrisine sahip takımlar kullanılabilir. Kesit ve yan görünüşleriyle buna uygun dairesel takım uçları Şekil 2.30, Şekil 2.31 ve Şekil 2.32'de gösterilmektedir. Şekil 2.30 A-1'den A12'ye Şekil 2.32 C2'den C8'e ve C-11'den C13'e kadar dairesel olmayan takımın resimleri görülmektedir (Nelson 2004).



Şekil 2.30: Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı için uygun takım uçları (Nelson 2004)



Şekil 2.31: Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı için uygun takım uçları (Nelson 2004)



Şekil 2.32: Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı için uygun takım uçları (Nelson 2004)

Ayrıca takımın geometrisinin yan yüzeyleri de kesici yada sürtünme oluşturacak biçimde kabarık, eğimli, yivli, delikli, dişli veya buna benzer bir yapıya sahip olabilir. Bu tip yapılar, termoplastik malzemeye içerisinde sürtünme meydana getirerek ısı girdisi sağlamaktadırlar. Aynı zamanda bu tip takımlar yapıları gereği termoplastik malzemenin akışını da kontrol etmektedirler. Nelson'un verdiği örneğe göre, vida dişi açılmış olan bir takım uygun dönüş yönünde yumuşayan malzemeyi aşağıya doğru iter ve bu şekilde fazla malzeme kaybı önlenebilir.

Nelson'un patent çalışmasında belirtilen diğer bir yol ise kaynak bölgesine olan ısı girdisi, Johns'un, BYU'da kullanılmakta olduğunu belirttiğimiz takım tasarımındaki gibi sürtünme enerjisi dışında harici bir kaynakla kaynak edilecek bölgeye termal enerji girdisi sağlanması veya takımın ısıtılması yoluyla da sağlanabilir. Belirtilen termal enerji yerine malzememizin kaynağı sırasında termal enerjiye çevrilecek mekanik veya elektromanyetik enerji girdisi sağlamak da mümkündür. Bu termal enerji ve sürtünme enerjisinin birleşimiyle, termoplastik malzemeye kaynak bağlantısını oluşturacak yeterli ısı girdisi sağlanmaktadır.

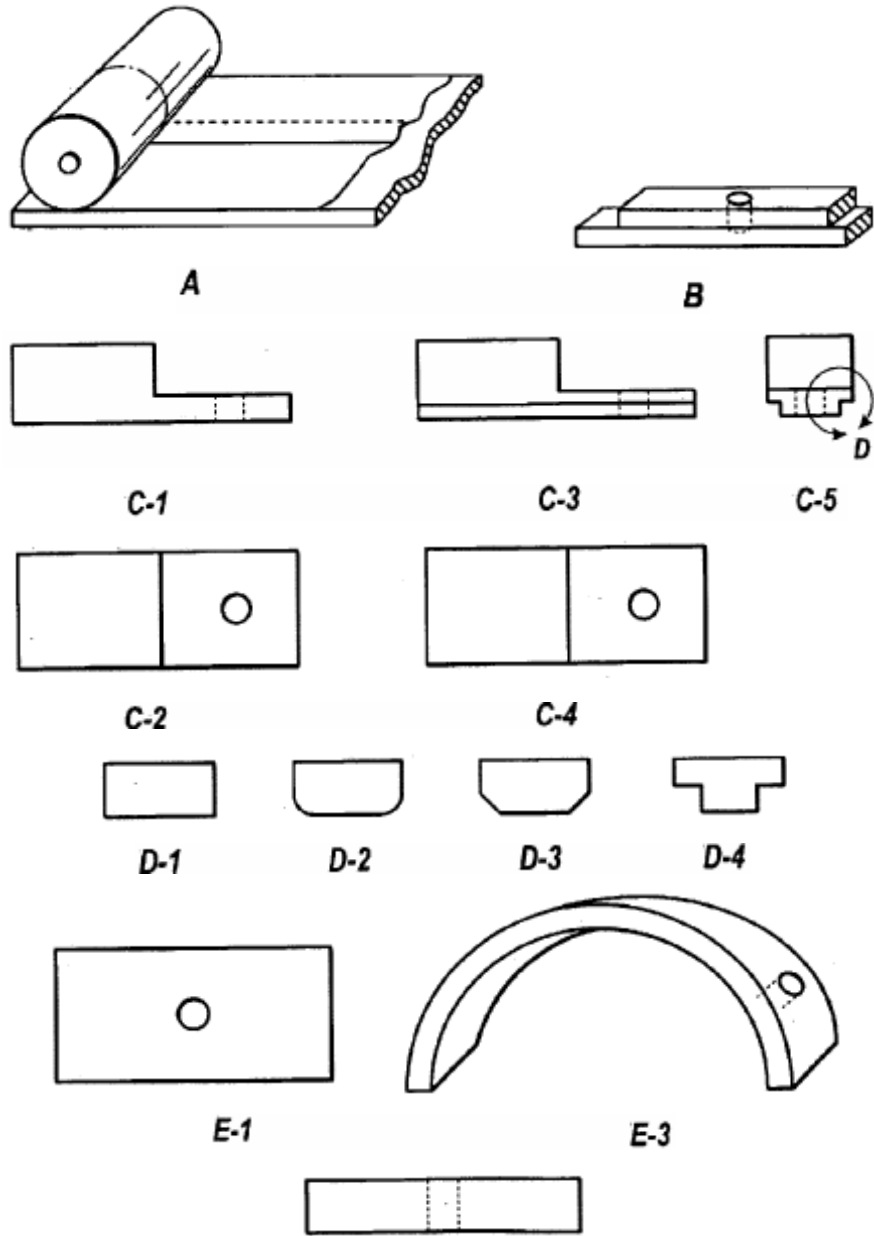
Yine Nelson'un patent çalışmasında belirtildiği üzere kaynak bölgesine enerji girdisi enerji girdisi, pim gibi dönen bir eleman yerine yukarıda TWI'nın da takım tasarımları arasında uygulamış olduğunu gösterdiğimiz şekilde, sürtünme enerjisini meydana getirmek için titreşim, salınım, eksantrik dönme hareketi ya da bunların kombinasyonunu kullanan yöntemlerle sağlanabilmektedir.

Erimiş ya da yumuşamış plastik malzemenin pimin dönüşü esnasında kaynak bölgesinden dışarı çıkmamasına zorlayacak şekilde yine Johns'un, BYU'da kullanılmakta olduğunu belirttiğimiz takım tasarımındaki gibi malzeme üzerinde sabit pabuç yüzeyi, rulmanlı yüzey gibi, malzeme üzerine gelen yüzeyi sabit tutacak çeşitli tasarımlar kullanılmaktadır (Nelson 2004).

Bu sabit pabuç veya yüzeyler, dönen pimi, pim üzerine yük bindiği sırada yanıl yüklemeye maruz bırakılmaları için pim ile birlikte hareket ederler ancak pim ile birlikte dönmezler ancak pimden yavaş dönecek veya aksi yönde dönecek şekilde tasarlanabilmektedirler.

Şekil olarak uygun bir tasarım olduktan sonra düz, konveks veya konkav küresel gibi herhangi bir dizayna sahip olmaları mümkündür.

Şekil 2.33'de dönen veya dönmeyen yapıdaki zorlayıcı yüzeylere ait tasarımlar görülmektedir (Nelson 2004).



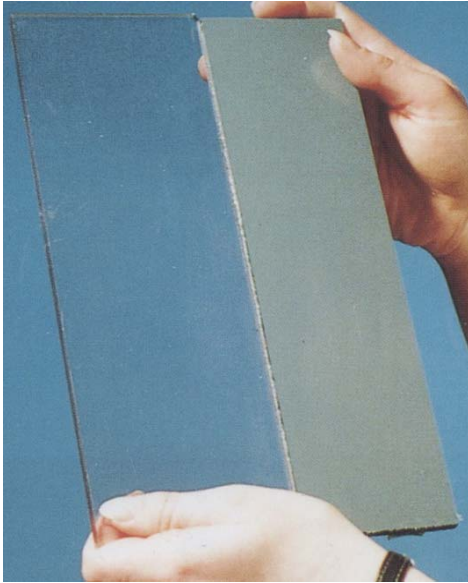
Şekil 2.33: Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağında kullanılabilir zorlayıcı yüzeyler (Nelson 2004)

Strand'ın belirttiğine göre işlem parametreleri olarak, BYU araştırmacıları başarılı işlem parametrelerini açıklayan tek gruptur. Pabuç sıcaklığı, dönme hızı, kaynak besleme oranı (ilerleme hızı), takımın daldırma derinliği (pim tabanından, örsün üst kısmına kadar olan mesafe) ve pim geometrisi olmak üzere çeşitli parametrelerle çalışılmıştır. Kaynağın besleme oranının olduğu gibi takımın dönme hızının da çok kritik olduğu bulunmuştur. Genelde daha yüksek dönme hızları (1500 – 1800 d/dak.), daha yüksek gerilme dayanımları verir.

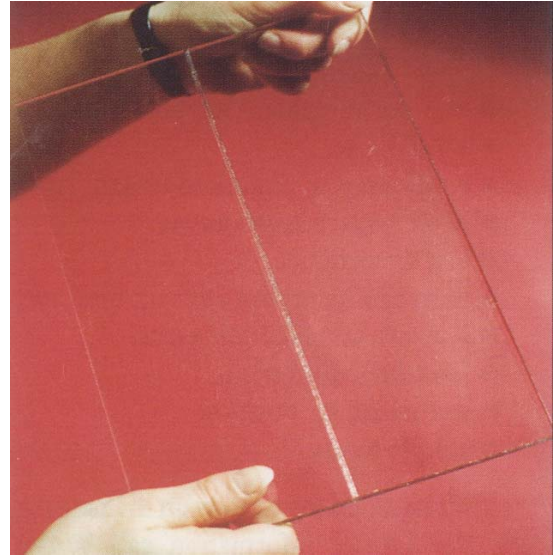
Malzemeler olarak ele alındığında, günümüzde binlerce uygun polimerden yalnızca yarım düzine kadarının sürtünme karıştırma kaynağı ile uyumluluğu araştırılmıştır. Polimer araştırmaları polietilen (PE), polipropilen (PP), Poliamid (PA), polikarbon (PC), polimetilmetakrilat (PMMA) ve politetrafloraetilen (PTFE) gibi çeşitli sınıfları içermektedir (Strand 2004).

Strand'ın bildirdiğine göre; TWI, PP'yi ana malzeme dayanımının %90'ından daha yüksek oranda bir çekme dayanımı sağlayarak başarıyla kaynak ettiğini duyurmuştur. Johns, akrilonitril butadin sitren (ABS)'in ana malzemenin %75'i oranında çekme dayanımını sağlayacak şekilde sürtünme karıştırma kaynağı ile birleşiminin hazır olduğunu duyurmuştur. Johns aynı zamanda PTFE'nin şu anki teknolojinin sağladıklarıyla kaynak edilemediğini bulmuştur (Strand 2004)..

TWI ise, "aerodinamik profilli bıçak" ile polipropilen (PP)'in (Strand 2004) ve PVC'nin kaynağını başarıyla yaptıklarını açıklamışlardır. Böylelikle, 6 mm'lik PVC levhalarda kaynak yapabilmişlerdir (Sınmazçelik ve Arıcı 2004).



Şekil 2.34 TWI'nin sürtünme karıştırma kaynağı ile PVC'yi kaynaklı birleştirme çalışmaları (Sınmazçelik ve Arıcı 2004).



Şekil 2.35 TWI'nin sürtünme karıştırma kaynağı ile PVC'yi kaynaklı birleştirme çalışmaları (Sınmazçelik ve Arıcı 2004).

Strand'ın çalışmalarında değindiği bir konuda, hiçbir literatürde yayımlanmayan bir dikkate değer özelliğin de kaynak edilen parçaların karakteristik uzamaları olduğudur. Bu kaynağın gerilme dayanımının yeterince yüksek, uzamadaki durmanın çok düşük olduğu noktada not edilmelidir. Kaynak edilmemiş bir

numunenin %100-150 uzamaya ulaşmasına rağmen kaynak edilmiş bir numune sadece %10-15'lere kadar ulaşabilmektedir. Bu oldukça üzücü farkın nedeni bilinmemektedir, ancak malzemedeki temel değişimin de kanıtıdır. Tablo 2.4'te Strand'ın bildirdiği şekilde Sorensen'in buna dair yaptığı çalışmalarda elde ettiği sonuçlar görülmektedir.

Tablo 2.4: Çeşitli polimerler için gerilim testi sonuçları (Strand 2004)

Malzeme	Ana Malzeme	Sürtünme Karıştırma Kaynağı	
	Çekme Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kaynaklı Numunelerin Ana Malzemenin Çekme Dayanımına Oranı (%)
ABS	34.1	32.7	96
HDPE	22.5	21.5	95
PA (naylon)	72.4	28.4	39
PC	68.3	57.1	83
PMMA	42.0	21.5	51
PP	31.3	30.6	98
UHMWPE	28.8	20.0	69

Nelson'un sürtünme karıştırma yöntemi ile yapılan deneyinde, deney malzemesi olarak 0.635 mm kalınlığında, 10.16 x 20.32 mm boyutlarında kalıplanmış ABS malzemesi kullanılmıştır. Bu parçadan 10.16 x 35.56 mm boyutlarında numuneler elde edilmiştir.

Nelson'un deneyleri sırasında birçok takım ucu test edilmiştir. Bu takımlar ile çeşitli kaynak bağlantıları yapılarak takım ömrü ve kaynak kalitesine bağlı olarak en optimum takım ucu tespit edilmiştir. Tüm takımlar H13 takım çeliğinden imal edilmişlerdir.

Şekil 2.21'de görülen, omuz ve uç kısımda 0.9525 mm çapındaki pime sahip bir alüminyum stili takım kullanılmıştır.

Nelson'un alüminyum stili takım ile yapılan ilk testlerinde, alüminyumun kaynağında kullanılan prosedürlere uyularak en iyi kaynağı elde etmek amacıyla takım açısı 2°-3° kadar kaynak yönüne doğru eğilmiştir. Bu şekilde yapılan kaynakta parça yüzeyiyle olan geniş temas alanından dolayı iyi derecede ısınma gerçekleştiği görülmüştür, test sonucunda takım ucu (pim) ile birlikte dönen omuzun kaynak bölgesinden malzemeyi uzaklaştırdığı görülmüştür, bu da kaynak bölgesinde boşluklar oluşmasına sebep vermektedir. Şekil 2.36'da alüminyum stili takım ile yapılan kaynağa ait kesit görüntüsü görülmektedir. Bu resimde kaynağın sağ

tarafındaki siyah kısım boşluk oluşumunu göstermektedir. Kaynak boyunca yer yer oluşan bu boşluklar kaynak mukavemetinde önemli düşüğe sebep vermektedirler.



Şekil 2.36: Alüminyum stili takım ile yapılan SKK kaynağına ait görüntü (Nelson 2004)

Kaynak bölgesindeki bu hasarları azaltmak için, takım milinin kafasının malzeme yüzeyine daha fazla daldırılarak boşluğun olduğu kaynak kenarlarında aşağıya doğru güç uygulamaya çalışılmıştır. Bu uygulanan basınç boşlukları yok etmiştir fakat bu şekilde kaynak edilen bağlantılarda çekme deneyinde ana malzemenin sadece kabul edilemez %20 dayanımına ulaşılmıştır.

Nelson'un kullandığı ve Şekil 2.23'de görülen takım tasarımı da başarılı olamamıştır, çünkü takım üzerine gelen dinamik yüklerden dolayı takım kolayca kısa bir süre sonunda kırılmıştır.

Nelson'un kaynak denemelerinde kullandığı sıcak-pabuç isminde Şekil 2.24'de görülen üçüncü takım tasarımı ise başarılı sonuçlar vermiştir. Ön çalışmalarda bu şekilde yapılan kaynak ile ana malzeme dayanımının %80'ine ulaşılmıştır. Takımın uzun bir ömrü vardır ve yüzey kalitesi de iyidir.

Nelson'un dördüncü takım tasarımı olan sıcak-pabuç II ile ABS malzemeyi kaynak için omuz 310° F sıcaklığında tutulmuştur.

Şekil 2.37'de düz bir takım ucu (pim) ve ısıtılmış pabuç takım tasarımı ile yapılan tipik bir kaynak görülmektedir. Burada ilerleme yönünden bakıldığında kaynağın görüntüsü görülmektedir. Malzeme içinde akışın daha anlaşılır olması amacıyla,

kaynak siyah ve beyaz ABS parçaları kullanılarak yapılmıştır. Kaynağın üst yarısında oluşan girdap görülmektedir.



Şekil 2.37: Sıcak-pabuç II takım tasarımı ile yapılan SKK kaynağı görüntüsü (Nelson 2004)

Alüminyum stili takım ile karşılaştırıldığında bu yöntemle yapılan kaynakta boşluk bulunmamaktadır, bu da Nelson'un yaptığı çalışmanın ilerleyen kısmında görüleceği üzere, dayanımda gözle görülür derecede artış sağlamaktadır.

Nelson'un ele aldığı kaynak parametreleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 2.5: Makine ayarları (Nelson 2004)

Faktörler	Yüksek derece	Düşük derece
X1 = Makine hızı	+ = 1000 d/dak.	- = 400 d/dak.
X2 = Makine besleme oranı	+ = 28.813 mm/dak.	- = 9.604 mm/dak.

İlk çalışmalarda yiv açılmamış takımlarda bazı problemler ortaya çıkmıştır. Bu iki ana problemden biri yivsiz takımların daha az hacimde malzemeyi kaynak bölgesinde tutması, ikincisi ise makinenin haddinden fazla zorlanmasıdır. Bu şekilde daha önce alüminyum stili takımlarla başarılı bir şekilde kullanılan yivsiz takımlar, sıcak pabuç takımında kullanılamamıştır. Yivsiz takım ile yapılan kaynakta, takım kaynak bölgesindeki malzemeyi bu bölgede tutamamaktadır ve %50'ye yakın bir malzeme kaybı ile malzeme dayanımında düşüğe sebep vermektedir.

Nelson, yapılan testler boyunca, kaynak bölgesinin gerekli şekilde ısıtıp yumuşaması sağlanmış uygun bir kaynak bağlantısının elde edilebilmesi için üç

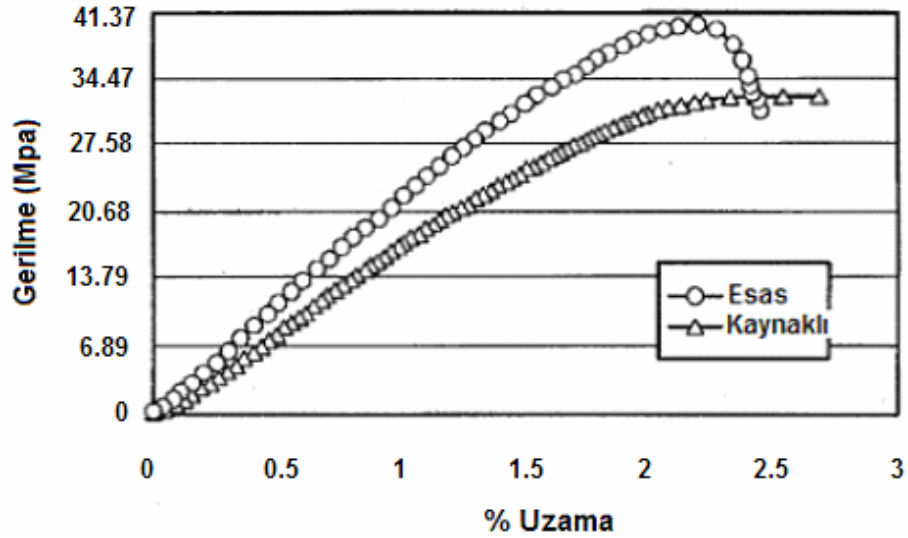
mekanizma prensibi bulmuştur, (1) dönen pimın sürtünme enerjisi, (2) pim üzerindeki yivler vasıtasıyla oluşan sürtünme enerjisi, (3) pabucun ısıtılması.

Aşağıda Nelson'un çalışmalarına ait olan çekme, eğme ve darbe test sonuçlarına ait değerler görülmektedir.

Tablo 2.6: Kaynaklı plastiklerin çekme dayanım sonuçları (Nelson 2004)

Faktör	Derece	Çekme Day. (MPa)	Akma Ger. (MPa)	Kırılma Ger. (MPa)	Uzama (%)	Modül	Profildeki % kırılma
Hız	Düşük	26.634	25.455	26.593	1.81	1601.997	100
	Yüksek	31.819	30.606	29.588	1.97	1853.586	21
Besleme	Düşük	32.571	30.792	32.240	1.94	1797.877	96
	Yüksek	27.372	27.083	25.626	1.89	1694.318	62
Takım	Düşük	29.710	28.799	29.441	1.70	1820.561	89
	Yüksek	29.082	28.703	27.172	2.06	1668.67	64

Şekil 2.37'de kaynak edilmiş ABS malzeme ve ana ABS malzeme arasındaki gerilme-uzama grafiğini göstermektedir. Bu grafikten görüleceği üzere kaynak edilmiş ABS malzeme, ana ABS malzemeden daha düşük gerilme dayanımına sahiptir.



Şekil 2.38: Ana malzeme ve kaynaklı malzemeye ait gerilme-uzama grafiği (Nelson 2004)

Yine de elde edilen sonuçlar, oldukça iyidir. Kaynaklı malzeme ortalama olarak ana malzemenin dayanımını %76.5 oranında sağlamaktadır, ve yarısı %80 oranını geçmektedir (Nelson 2004).

BYU üniversitesinden Seth r. Strand ise deneylerini polipropilen (PP) malzeme üzerinde gerçekleştirmişlerdir ve yaptıkları deneylerde kaynak parametreleri olarak daha önce ele alınmayan pabuç sıcaklığı, ilerleme hızı (besleme) ve daha önce de ele alınmış olan basınç süresi ve pim çapı olmak üzere toplam dört farklı parametreyi ele almışlardır ve bu parametreler ile elde edilen numuneler üzerinde mukavemet değişimlerini görmek amacıyla eğme testi uygulamışlardır.

Tablo 2.7: BYU'dan Strand'ın PP'yi kaynak etmede kullandığı parametreler (Strand 2004)

Kaynak Numarası	İşlem Sırası	Takım Devri d/dak.	Pim Çapı mm	İlerleme Hızı mm/dak.	Basınç Zamanı dakika	Omuz Sıcaklığı °C
PD9 a & b	19,23	1080	12.7	102	90	160
PD12 a & b	19,23	1080	6.4	102	90	160
FR51 a & b	19,23	1080	9.5	51	90	160
FR102 a & b	19,23	1080	9.5	102	90	160
FR203 a & b	19,23	1080	9.5	203	90	160
FR305 a & b	19,23	1080	9.5	305	90	160
PT30 a & b	19,23	1080	9.5	102	30	160
PT60 a & b	19,23	1080	9.5	102	60	160
PT90 a & b	19,23	1080	9.5	102	90	160
PT120 a & b	19,23	1080	9.5	102	120	160
ST110 a & b	19,23	1080	9.5	102	90	110
ST127 a & b	19,23	1080	9.5	102	90	127
ST143 a & b	19,23	1080	9.5	102	90	143
ST160 a & b	19,23	1080	9.5	102	90	160
ST177 a & b	19,23	1080	9.5	102	90	177

Şekil 2.22'den görüldüğü gibi BYU'nun araştırmalarında kullanılan takım pabuç, pim, ısıtıcı ve termokopul'dan oluşan oldukça basit bir yapıya sahiptir. Pabuç malzemesi alüminyumdur. Pabucun bu şekilde tüm kaynak edilen kısma temas edecek şekilde tasarlanmasındaki ana sebep malzeme boyunca uniform bir ısı dağılımı sağlamak ve bu şekilde soğuma sırasında oluşabilecek çarpılma ve kaynak yapısındaki farklılıkları önlemektir. Kullanılan takım ucu (pim) ise H13 çeliğinden imal edilmiştir. Pimlere 4.2 mm hatveli dış açılmıştır ve çapları son 6 mm kısımda 3 mm azalmaktadır.

Strand'ın elde ettiği sonuçlara göre, pim çapındaki değişime göre ele alınırsa; pim çapının 6.4'den 9.5'e çıkarılmasının, malzemeye etkiyen maksimum gerilimde %27'lik bir artış sağladığı görülmüştür. Pim çapının 6.4'den 12.7'e çıkarılmasının ise maksimum gerilimde %35'lik bir artış sağladığı görülmüştür. Burada Strand pim çapının arttırılması ile sadece dayanımda bir artış değil aynı zamanda kaynak edilen malzemelerin dayanım değerlerinde de daha istikrarlı, birbirine yakın sonuçlar elde etmiştir.

Basınç süresi parametre uygun sonuçlar vermediğinden bu deney sonuçlarında başarılı bir şekilde ele alınamamıştır. Basınç sresinde, süre 30 saniyeden 60 saniyeye çıkarıldığında dayanımda bir artış elde edilmiştir ancak süre daha da arttırılıp 120 saniyeye çıkarıldığında bu değerde tekrar düşüş meydana geldiğinden Strand bu incelemeyi sonraya bırakmıştır.

Takım ilerleme hızında 51-203 mm/dak.'lık ilerleme hızı arasında, parametre değişimine göre, kaynaklı bağlantı dayanımında da lineer bir artış elde edilmiştir. İlerleme hızı her 10 mm/dak. arttırıldığına bağlantı dayanımında 14 MPa'lık bir artış görülmüştür. Ancak 305 mm/dak.'lık ilerleme hızı bağlantı mukavemetinde daha fazla bir artış sağlayamamıştır.

Takım sıcaklığı açısından bakıldığında bağlantılar iki gruba ayrılmışlardır. 110-127 °C arasında bağlantı dayanımı 63,6 MPa ve 143-177 °C arasında ise 69,5 MPa değerler elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan şunlar çıkarılabilir. Daha büyük pim çapı ile elde edilen dayanım sonuçları belirgin bir şekilde iyidir. Takım ilerleme hızının yavaş olması daha iyidir ve 51 mm/dak.'ya ayarlanmış takım hızı ile elde edilen kaynak dayanımı kendinden bir sonraki yüksek dayanım değerine sahip kaynaktan %13 daha yüksek sonuç vermiştir. Pabuç sıcaklığı yüksek kaynak sonuçları en iyisidir. 177 °C sıcaklıkta pabuç kullanılarak kaynak edilen malzeme, 110 °C pabuç sıcaklığı kullanılarak kaynak edilen malzemedan %20 yüksek sonuçlar vermiştir (Strand 2004).

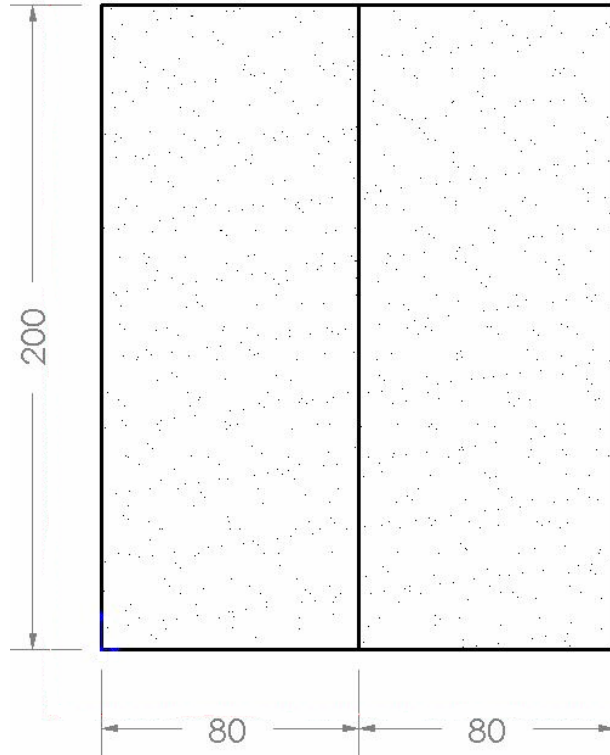
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Malzeme

Deneylerde, sürtünme karıştırma kaynağının uygulanabilirliğini ortaya koymak üzere 5 mm. kalınlığa sahip polietilen (PE) malzeme kullanılmıştır. Ana malzemenin çekme dayanımı 23.647 MPa ve akma dayanımı 20 MPa olarak elde edilmiştir.

3.2. Deney Parçalarının Boyutları

Kaynak edilecek parçalar giyotin makas ile, polietilen levhalardan 200 mm. uzunluğunda ve 80 mm. genişliğinde kesilerek çıkarılmış ve ardından bu çıkarılan parçalar, kaynak edilecek kısımları I-Alın (Küt Alın) olacak şekilde hazırlanmışlardır.

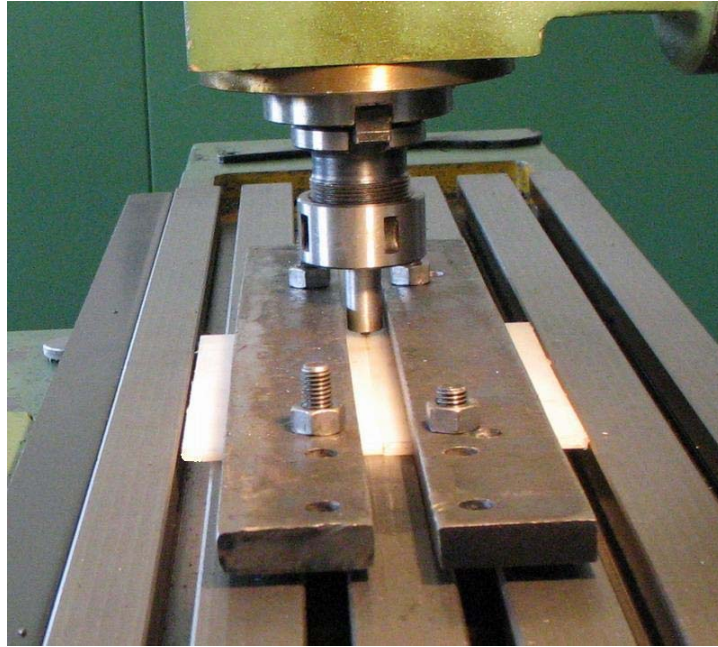


Şekil 3.1: Kaynak edilecek levhaların boyutları

3.3. SKK'nın Uygulaması

Daha önce de bahsedildiği gibi, SKK yönteminin en büyük avantajlarından bir tanesi, uygulanması için çok spesifik bir sisteme gerek duymamasıdır. Standart bir universal freze tezgahı ya da NC freze tezgahında SKK yöntemini uygulamak, tezgaha bazı aparatların eklenmesiyle mümkün hale gelebilmektedir.

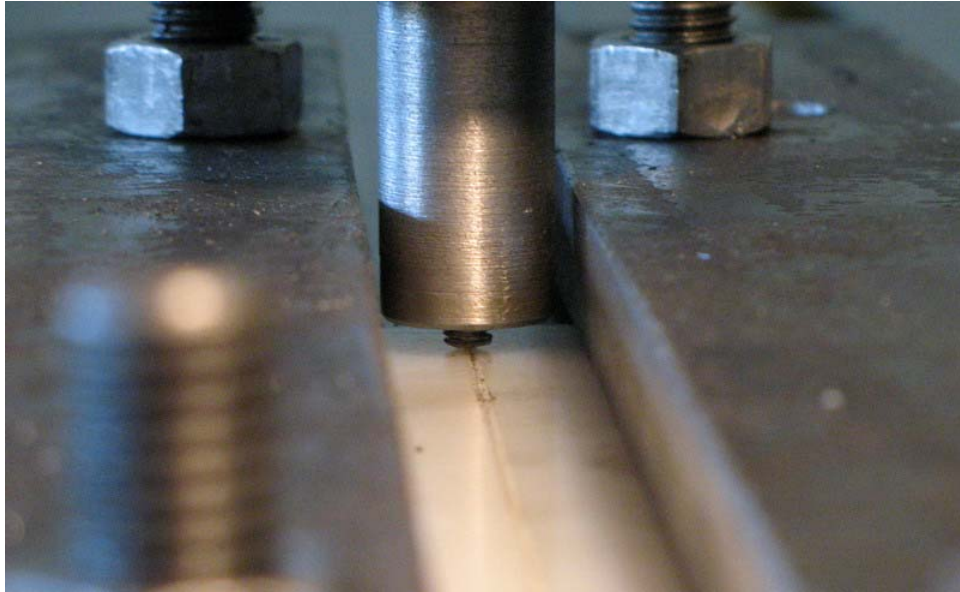
Bu çalışmada, SKK yönteminin uygulanmasında bir universal freze tezgahı kullanılmıştır. Daha sonra kaynak edilecek polietilen plakaları tezgaha bağlayabilmemizi sağlayacak uygun boyutlarda çelik lama pabuçlar hazırlanmıştır. Bu parçalar, kaynak edilecek polietilen levhalar kaynak edilecek yüzeyleri birbirlerine tam olarak denk gelecek şekilde hizalandıktan sonra, freze tezgahı tablasına bu levhaların kaymayacak şekilde iyice bağlanmasında kullanılmıştır. Son olarak da, sürtünme karıştırma kaynak yöntemi için gereken en önemli parça olan uygun takım ucu, freze ağzına yerleştirilip kaynak edilecek polietilen levhalar tezgaha bağlanarak kaynak yapmak için gerekli hazırlıklar tamamlanır ve son işlem olarak geriye freze tezgahının çalıştırılması kalır.



Şekil 3.2: Parçaların tezgaha çelik lama pabuçlar kullanılarak bağlanması

Freze tezgahı kaynak işlemine başlamadan evvel yaklaşık 5 dakika kadar çalıştırılır, böylece makinenin ısınması sağlanır. Ardından daha önce belirlenen parametreler (takım ilerleme açısı, takım ilerleme hızı, takım dönme devri vb. gibi) freze

tezgahından ayarlanır. Yapılan ön çalışmalarda tek taraflı ve çift taraflı sürtünme karıştırma kaynağı için en uygun takım devirleri belirlenmiştir. Buna bağlı olarak tek taraflı SKK uygulamalarında 630 d/dak., çift taraflı SKK uygulamalarında ise 1000 d/dak.'lık takım devirleri seçilmiş ve bu değerler sabit tutularak işlemlere devam edilmiştir. Ardından takım ucu (pim) kaynak edilecek plakaların birleşme çizgisini tam olarak ortalayacak şekilde hizalanır ve plakaların üzerine dayanarak sıfırlanır. Bu şekilde plaka yüzeylerinden ne kadar derine indiğimiz net olarak daha kolay bir şekilde görülebilir. Takım ucunun parçaya ne kadar gireceği, sürtünme karıştırma kaynağının tek taraflı veya çift taraflı SKK yöntemlerinden hangisinin uygulanacağına ve takımın kaynak açısına göre belirlenir. Ardından takım ucu uygun olan maksimum derinliğe ulaştığında, bulunduğu bölgenin ve takım ucunun uygun bir sıcaklığa erişip kaynak bölgesi yumuşamış hale gelinceye kadar tutulur. Burada önemli olan bir nokta da takımı gereğinden fazla malzemeye daldırmamaktır, aksi halde takım ucu kendisine ve tezgahın tablasına zarar verebilir. Ardından takım, yeterli sıcaklığa ulaşan malzememizin, birleştirilmesi amaçlanan bölgeler üzerinde ilerletilir ve birleşme süreci başlar.



Şekil 3.3: Takım ucunun, kaynak edilecek parçaların birleşme çizgisini ortalayacak şekilde hizalanması

Değişken parametreler olarak takım açısı ve takım ilerleme hızı (besleme oranı) ele alınmıştır. Yapılan deneylerde çift taraflı sürtünme karıştırma kaynağında 12.5 , 25 ve 40 mm'lik ilerleme hızları sırasıyla 0°, 1°, 2°, 3°, 4° ve 5°'lik takım açıları ile yapılan kaynaklarda ve yine aynı şekilde 0° ve 1°'lik takım açıları tek taraflı sürtünme karıştırma kaynağı uygulanan parçalarda kullanılmıştır.

Ayrıca burada deneylerde takım ucunun (pimin) malzemeye daldırılma derinliği ve dolayısı ile uyguladığı basıncın da göz ardı edilemeyeceği gözlemlenmiştir. Bu da daha sonra deney sonuçlarında daha detaylı bir şekilde irdelenecektir.

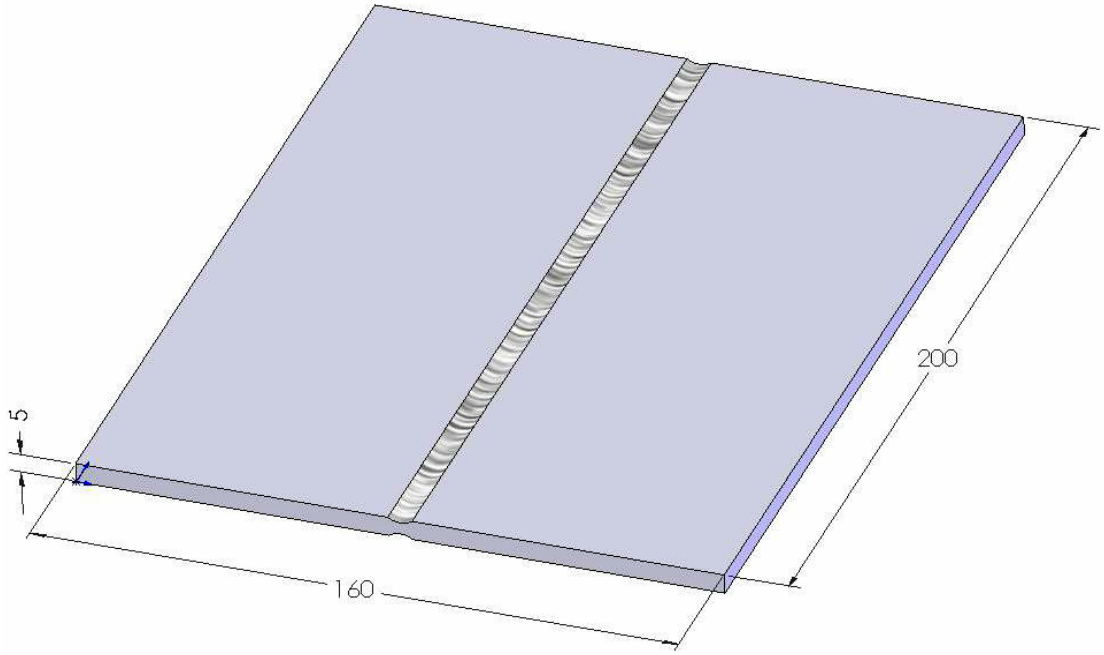
Deneyler sırasında tek taraflı ve çift taraflı sürtünme karıştırma kaynağında kullanılmak üzere iki farklı takım hazırlanmıştır. Tek taraflı kaynakta kullanılan takım frezeyle bağlanacak 16 mm çapında silindirik omuz bu omuzun uç kısmındaki, üzerine saat yönünün tersine vida yivi açılmış 4.8 mm uzunluğunda ve 5 mm yarıçapında ,bir pimden ibarettir. Pim üzerindeki vida yivi kaynak esnasında, kaynak edilecek polietilen malzememizin sürtünmeden dolayı ısınmasını sağlar. Ayrıca açılan bu diş sayesinde uygun döndürme yönünde pim malzemeyi aşağı doğru bastırır. Malzememizin sıcaklığının artması ile birleştirilecek iki plaka daha iyi bir bağ kurar ve bu da mukavemette bir artış sağlar. Takım omzu ise, takım kaynak edilecek plakaların birleşme yerleri üzerinde ilerlerken, malzemelerden kopan küçük parçaların kaynak edilecek bölgeden uzaklaşmadan bu bölgede tekrar soğuyup fazla sertleşmeden yumuşak halde kalmasını sağlar. Bu şekilde mümkün olduğunca malzeme kaybı önlenmiş olur. Tek taraflı kaynaktaki dezavantaj, takımı malzemeye daldırdığımızda malzemenin en alt yüzeyine kadar ulaşamıyor olmamızdır. Bu nedenle de bu kısım birbirine birleşmiyor ve mukavemeti büyük ölçüde olumsuz yönde etkiliyor. Çift taraflı kaynakta ise bu sorun ortadan kalkmaktadır. 5 mm kalınlığında olan polietilen malzememize her iki yönden de tek taraflı kaynakta kullandığımız takımdakine benzer ancak 2.8 mm uzunluğundaki bir pim daldırılmaktadır. Bu sayede malzemedeki kaynak edilmeyen bölge kalmayacağı için mukavemet yönünden de büyük bir sorunla karşılaşılmaz.



Şekil 3.4: Tek taraflı sürtünme karıştırma kaynak işlemi sırasında kullanılan takım ucu



Şekil 3.5: Çift taraflı sürtünme karıştırma kaynak işlemi sırasında kullanılan takım ucu



Şekil 3.6: Kaynak edilmiş parçanın boyutları ve görünümü

3.4. Kaynaklı Parçaların Görsel İncelenmesi

Kaynaklı parçaların görsel incelenmesinde tek ve çift taraflı kaynaklı parçalarda, kaynak bölgesinde meydana gelen incelme, kullanılan parametreler sonucunda parçalarda meydana gelen gözle görülür yapı bozuklukları dikkate alınmıştır.

3.5. Test Numunelerinin Hazırlanması ve Deneilerin Uygulanışı

Kaynak edilen parçalar daha sonra, numunelerin çıkartılması amacıyla, dikkatlice sökülür ve soğumaya bırakılır, bu süre içerisinde önemli olan kaynak edilmiş parçamızın bir öngerilmeye maruz kalmamasıdır, aksi halde deney sonuçları bundan olumsuz yönde etkilenebilir.

Ardından numunelerin çıkarılma işlemlerine geçilir. Standartlarda belirtildiği üzere kaynak edilen her parçadan 6'sı eğme, 3'ü de çekme olmak üzere toplam 9 adet numune çıkartılır. Numuneler çıkarılırken, kaynak dikişinin başlangıç noktasından ve son bitiş noktasından 30'ar milimetre kadar pay bırakılarak numune alınmaz. Bunun nedeni kaynak dikişinin bu kısımlarının her zaman çok sağlıklı olmamasıdır.

Numuneler eğme deneylerinde ve çekme testlerinde kullanılmak üzere ayrılmışlardır. Üç nokta eğme ve çekme testin numunelerinin gerekli hazırlıkları yapılmıştır. Her bir numuneye kaynaklı parça üzerinden alındığı noktaya ve sıraya göre kodlama işlemi yapılmıştır. Bu numunelerin parça üzerinden alındığı yerlerin bilinmesi daha sonra deneylerin sonucunda bize önemli fikirler verebilir.

Numuneleri, kaynaklı parçadan çıkarırken en fazla 0.02 mm'lik ölçüm toleransı verilmiştir. Yine kaynaklı noktanın kesit ölçümlerinde de, kaynak merkezinden ölçüm değerleri elde edilmiştir. Daha sonra üç nokta eğme ve çekme testlerine geçilmiştir.

3.5.1 Numunelerin kodlanması

Numunelerin kodlanmasında belli bir sistematik oluşturmak için numunelere kaynak şekline (tek taraflı kaynak veya çift taraflı kaynak olduğunu belli edecek şekilde) kaynak parametrelerine (0°, 1°, 2°, 3°, 4° ve 5°'lik takım açıları ve 12.5 , 25 ve 40 mm/dak.'lik ilerleme hızlarını belirtmek üzere) ve kaynak edilen parçadan alındığı sıraya (bu hem numunenin parçanın hangi bölgesinden alındığını hem de çekme veya eğme deneylerinden hangisinde kullanılacağını belirtir) göre belli bir kodlama işlemi uygulanmıştır.

Numunelerin kodlama işlemi, tek taraflı kaynaklarda 4, çift taraflı kaynaklarda toplam 3 karakterden oluşmaktadır. Tek taraflı kaynak edilen parçaların kodlama işleminde fazladan olan karakter ilk karakterdir ve bu numunenin tek taraflı kaynak edilen parçadan çıkarıldığını belirtmek amacıyla kodlamanın en başına "T" harfi konularak gösterilir. Geri kalan 3 karakterden ilkinde, kaynak işlemi sırasında kullanılan takım açısını belirten 0'dan 5'e kadar rakam kullanılır. Sonraki karakter kaynak işleminin ilerleme hızını belirtir. 12.5 mm/dak.'lık ilerleme hızı "A", 25 mm/dak.'lık ilerleme hızı "B", 40 mm/dak.'lık ilerleme hızı "C" harfi kullanılarak belirtilmiştir. Son karakter ise numunenin parçadan alınış sırasını gösteren bir rakamdır. Bu rakamın tek sayı olması numunenin çekme, çift sayı olması ise eğme deneylerinde kullanıldığını belirtir. "6" rakamından büyük karakterle kodlanmış numuneler tek sayı veya çift sayı gözetilmeksizin eğme deneylerinde kullanılmıştır. Burada tek taraflı kaynak edilmiş numune üzerinde kodlama işlemi örnek vererek basitçe göstermek gerekirse;

Mesela T0A2 kodlu numune için;

T: Tek taraflı kaynak edildiğini gösterir.

0: Parçanın 0°'lik takım açısı kullanılarak kaynak edildiğini gösterir.

A: Kaynak sırasındaki 12.5 mm/dak'lık ilerleme hızını gösterir.

2: Parçadan ikinci ve eğme numunesi olarak kullanılmak üzere çıkarıldığını belirtir.

Aşağıda tek taraflı ve çift taraflı sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan numune ve parametrelerin ilişkileri görülmektedir.

Tablo 3.1: Tek taraflı SKK uygulamasında kullanılan numune kodları ve parametrelerin alakası

Numune kodu	Takım açısı (°)	İlerleme hızı (mm/dak.)
T0A	0	12.5
T0B	0	25
T0C	0	40
T1A	1	12.5
T1B	1	25
T1C	1	40

Tablo 3.2: Çift taraflı SKK uygulamasında kullanılan numune kodları ve parametrelerin alakası

Numune kodu	Takım açısı (°)	İlerleme hızı (mm/dak.)
0A	0	12.5
0B	0	25
0C	0	40
1A	1	12.5
1B	1	25
1C	1	40
2A	2	12.5
2B	2	25
2C	2	40
3A	3	12.5
3B	3	25
3C	3	40
4A	4	12.5
4B	4	25
4C	4	40
5A	5	12.5
5B	5	25
5C	5	40

3.5.2. Numune sayısı

Tek taraflı kaynak yalnızca 0° ve 1° takım açıları ve 12.5, 25, 40 mm/dak. ilerleme hızlarında uygulanmıştır. Tüm parametreleri ayrı ayrı ele alabilmek için toplam 6 levha kaynak edilmiştir. Çift taraflı kaynak ise 0° ve 1° dışında 2°, 3°, 4° ve 5° takım açıları ve yine aynı şekilde 12.5, 25, 40 mm/dak. ilerleme hızlarında uygulanmıştır. Çift taraflı kaynak için de yine tüm parametreleri ayrı ayrı ele alabilmek için toplam 18 levha kaynak edilmiştir. Her bir levhadan 3'ü çekme 6'sı eğme olmak üzere toplam 9 numune çıkarılmıştır. Deneyler sırasında çıkarılan toplam numune sayısı 216'dır.

3.5.3. Üç nokta eğme deneyi

Eğme deneyleri ISO 178 baz alınarak gerçekleştirilmiştir ve deneylerde Instron 4411 test makinesi kullanılmıştır. Kullanılan eğme açıklığı 80 mm ve eğmeyi gerçekleştiren piston kafasını malzemeye basma hızı 50 mm/dak.'dır. Çift taraflı kaynak edilen numunelerin 54 tanesi eğme işlemi ilk kaynak edilen yüzeyden uygulanacak şekilde (yani piston kafası ilk kaynak edilen yüzeye basacak, biz bunu "yüz eğme" olarak adlandıracağız), diğer 54 tanesi ise eğme işlemi ikinci kaynak edilen yüzeye uygulanacak şekilde (kök eğme) ayrılmıştır. Aynı şekilde tek taraflı kaynak edilen 6 plakadan çıkarılan 36 numunenin 18 tanesi eğme işlemi ilk kaynak edilen yüzeyden uygulanacak şekilde (yüz eğme), diğer 18 tanesi de eğme işlemi kaynaksız yüzeye uygulanacak şekilde (kök eğme) eğme deneyine tabi tutulmuşlardır. Eğme deneyi için kullanılan tüm numuneler standartlara uygun 100 mm. uzunluğunda hazırlanmıştır ve her bir numunenin boyutu 10x5x100 mm.'dir. Bu iş için kullanılan eğme cihazı, bilgisayar kontrollü bir sisteme sahip olan ve bu sayede çekme deneyine tabi tuttuğumuz numunelere ait çekme ve eğme grafiklerini otomatik olarak çizebilen ve bu numunelerin her birine ait bilgiyi daha sonradan gerektiğinde kolayca elde etmemizi sağlayan bir sistemdir. Uygun takım uçları kullanılarak cihaz, hem eğme hem de çekme deneyleri için hazır hale getirilebilmektedir. Eğme deneyi için gerekli aparatların değişikliği cihaz üzerinde yapıldıktan sonra ve hazır hale getirildikten sonra hazırlanan numunelerin eğme işlemlerine başlamıştır.

3.5.4. Çekme deneyi

Çekme deneyleri ISO 527 baz alınarak gerçekleştirilmiştir ve deneylerde eğme deneyinde de kullandığımız Instron 4411 test makinesi kullanılmıştır. Çekmeyi gerçekleştiren piston kafasının hızı 1000 mm/dak.'dır. Çekme deneyi için hazırlanan numunelerin sayısı, 3 nokta eğme deneyinin yarısı kadardır. Bunun nedeni çekme sırasında numunelerin kaynak bölgelerine etkiyen gerilme kuvvetleri homojen şekilde etkimektedirler.

Buna göre 0°, 1°, 2°, 3°, 4° ve 5°'lik takım açılarıyla 12.5, 25 ve 40 mm'lik ilerleme hızlarında çift taraflı sürtünme karıştırma uygulanmış malzememizden toplam 54 numune, 0° ve 1° takım ilerleme açılarında ve 12.5, 25 ve 40 mm/dak.'lık ilerleme hızlarında tek taraflı sürtünme kaynağı uygulanan malzememizden ise toplam 18 tane numune çıkarılmıştır. Bu numunelerin boyutları ise yine standartlara uygun şekilde 10x5x160 mm.'dir. Çekme deneyinde kullanılan numunelerin uzunluğunun daha fazla olmasının nedeni, bu numunelerin, çekme cihazının çenelerine tutturulacak olmasıdır. Bu yüzden aynı zamanda numunelerin bu çenelerden kurtulmaması için de numuneler iki uçtan çenelere üçer santim sokulur ve öyle sıkıştırılır. Daha sonra sistem hazır hale getirildiğinde çekme işlemlerine başlanmıştır.

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARI ve İRDELENMESİ

4.1. Tek Taraflı Kaynak Sonuçları

4.1.1. Görsel inceleme sonuçları

Tablo 4.1’de tek taraflı sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış polietilen levhaların kalınlıklarındaki incelme görülmektedir.

Tablo 4.1: Tek taraflı kaynak edilmiş parçanın kaynak bölgesindeki kalınlık değişimi

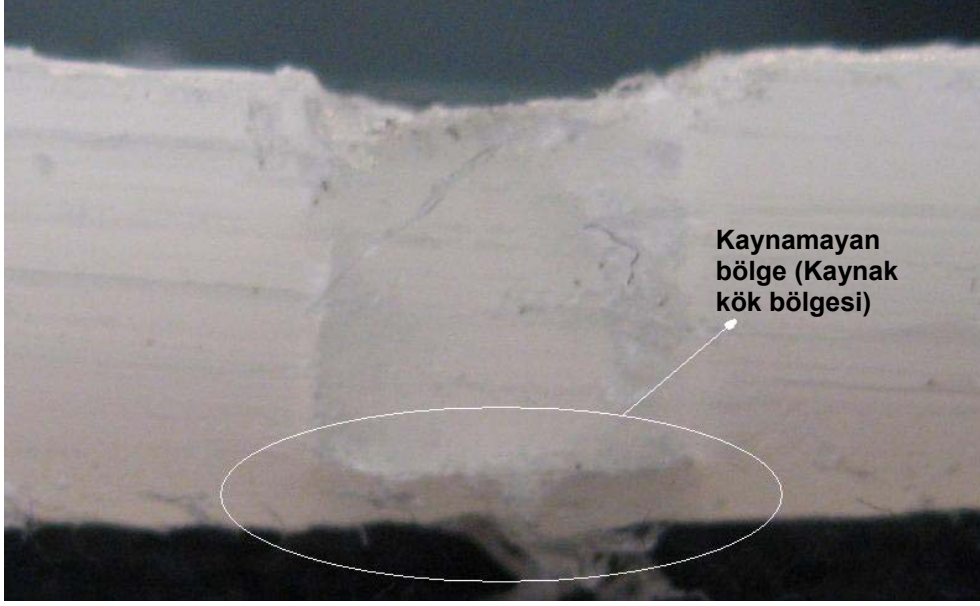
Numune kodu	Kaynak sonrası kaynaklı bölgesinin kalınlığı (mm)
T0A	4.72
T0B	4.51
T0C	4.16
T1A	4.67
T1B	4.57
T1C	4.41

Tablo 4.1’den görüldüğü gibi kaynaklı bölgenin kalınlığı, ilerleme hızının artışı ile azalmaktadır.

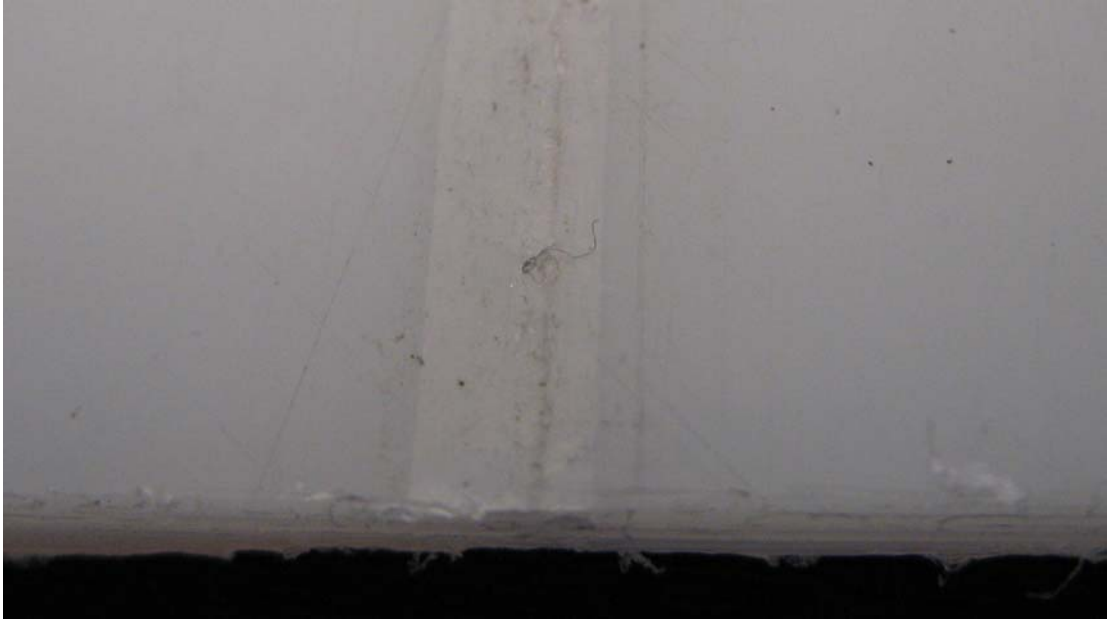
Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de, tek taraflı kaynak edilen parçalarda, sürtünme karıştırma kaynağının etki etmediği bölgelere örnekler gösterilmiştir.



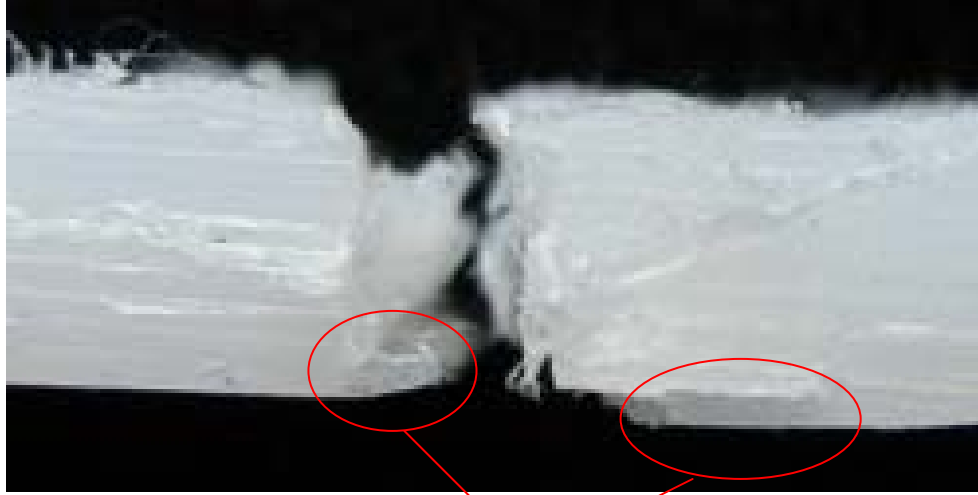
Şekil 4.1: Tek taraflı sürtünme karıştırma kaynağının etkilediği bölge



Şekil 4.2: Tek taraflı sürtünme karıştırma kaynağının etkilemediği bölge

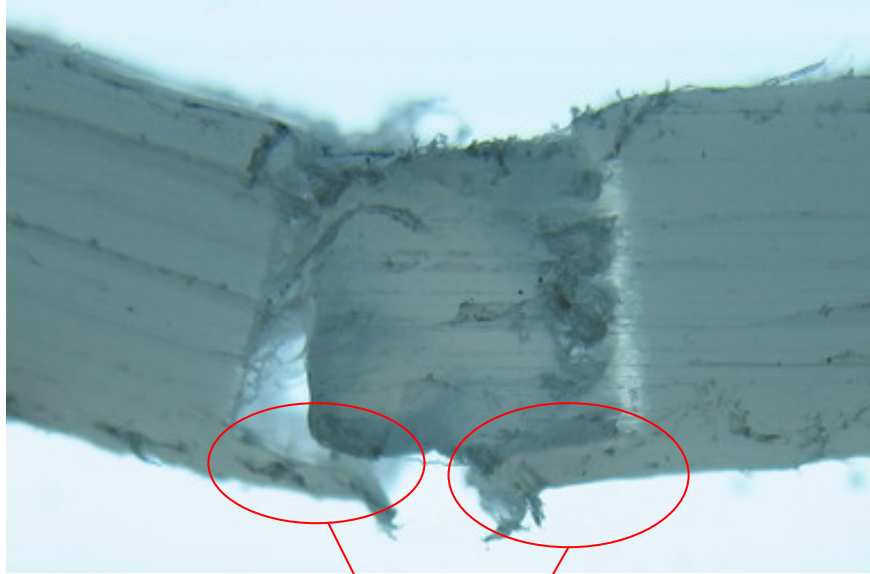


Şekil 4.3: Tek taraflı SKK'da kaynak edilmeyen arka tarafın görünümü



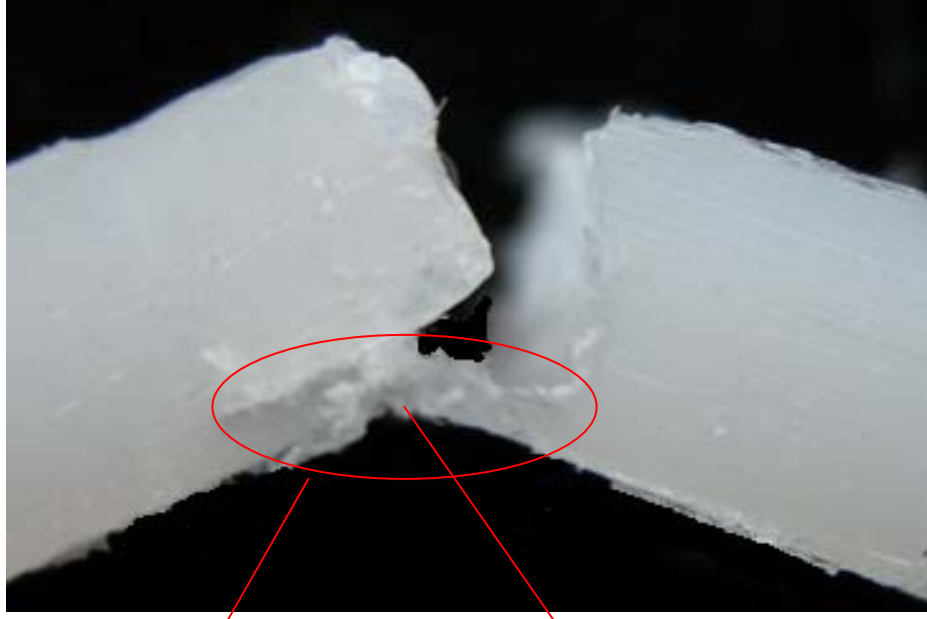
**Kopmanın meydana geldiği
kaynamayan bölgeler (Kaynak
kök bölgesi)**

Şekil 4.4: Tek taraflı SKK'da çekme deneyi sonucu kopma oluşumu



**Kopmanın meydana geldiği kaynamayan
bölgeler (Kaynak kök bölgesi)**

Şekil 4.5: Tek taraflı SKK'da yüz eğme deneyi sonucu kırılma oluşumu



Kaynamayan bölge

**Hasarın meydana geldiği yer
(Kaynamayan kök bölgesinin ortası)**

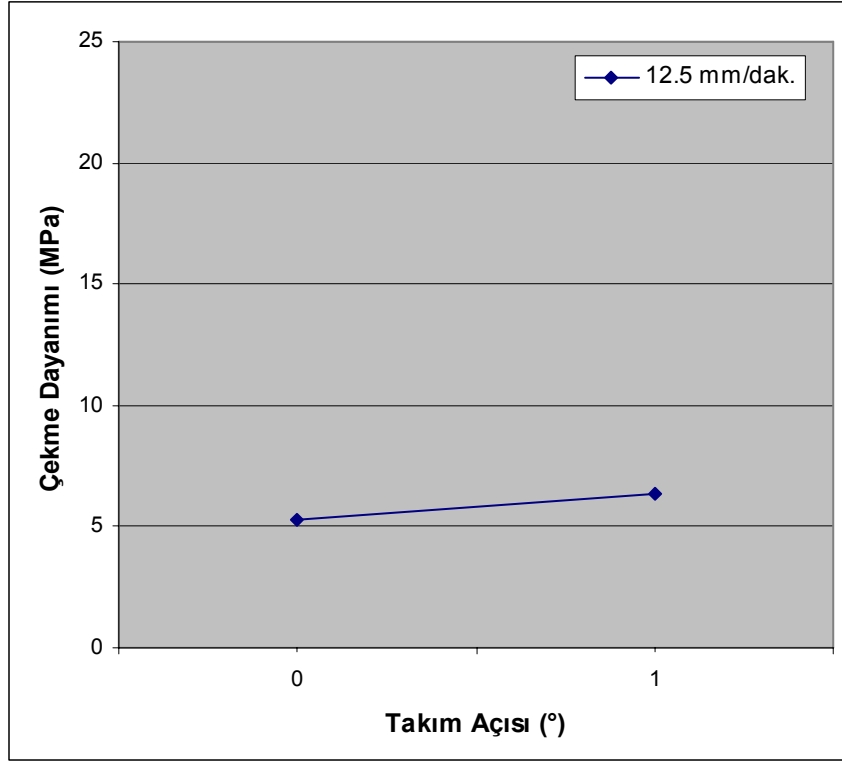
Şekil 4.6: Tek taraflı SKK'da kök eğme deneyi sonucu kırılma oluşumu

4.1.2. Çekme deneyi sonuçları

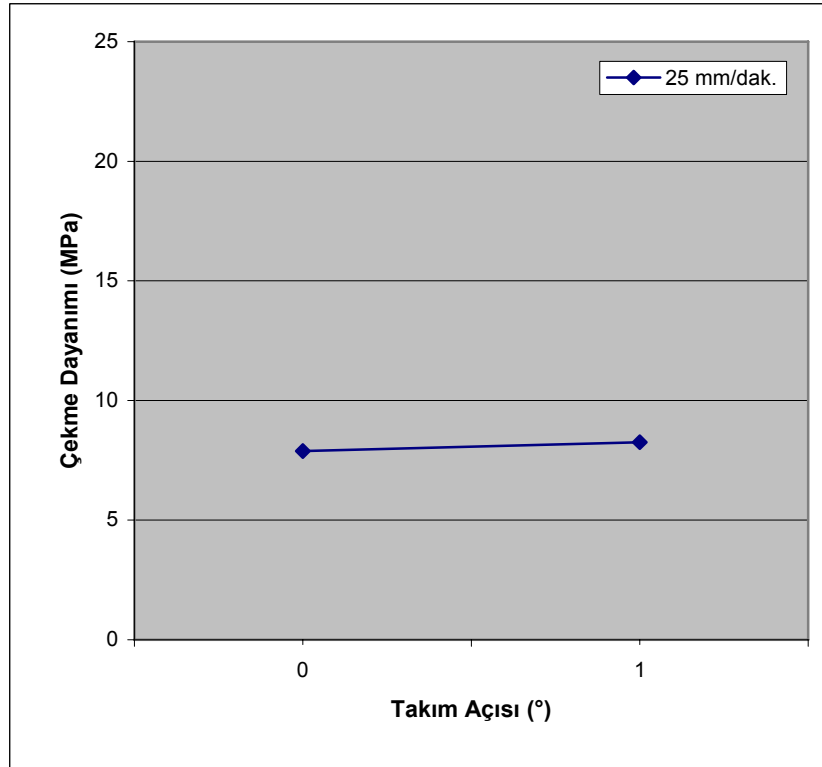
Tablo 4.2'de tek taraflı SKK uygulanan parçalara ait çekme dayanımı değerleri görülmektedir.

Tablo 4.2: Tek taraflı kaynak edilmiş parçaların çekme dayanımı değerleri

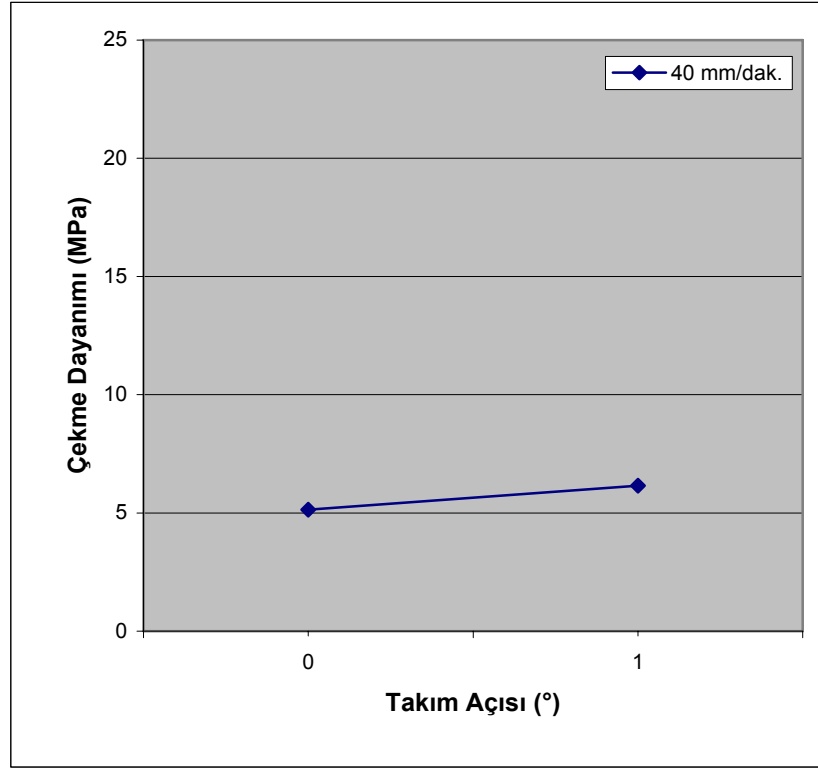
Numune kodu	Çekme dayanımı (MPa)
T0A	5.240
T0B	7.887
T0C	5.140
T1A	6.375
T1B	8.257
T1C	6.149



Şekil 4.7: 630 d/dak. ve 12.5 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları



Şekil 4.8: 630 d/dak. ve 25 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları



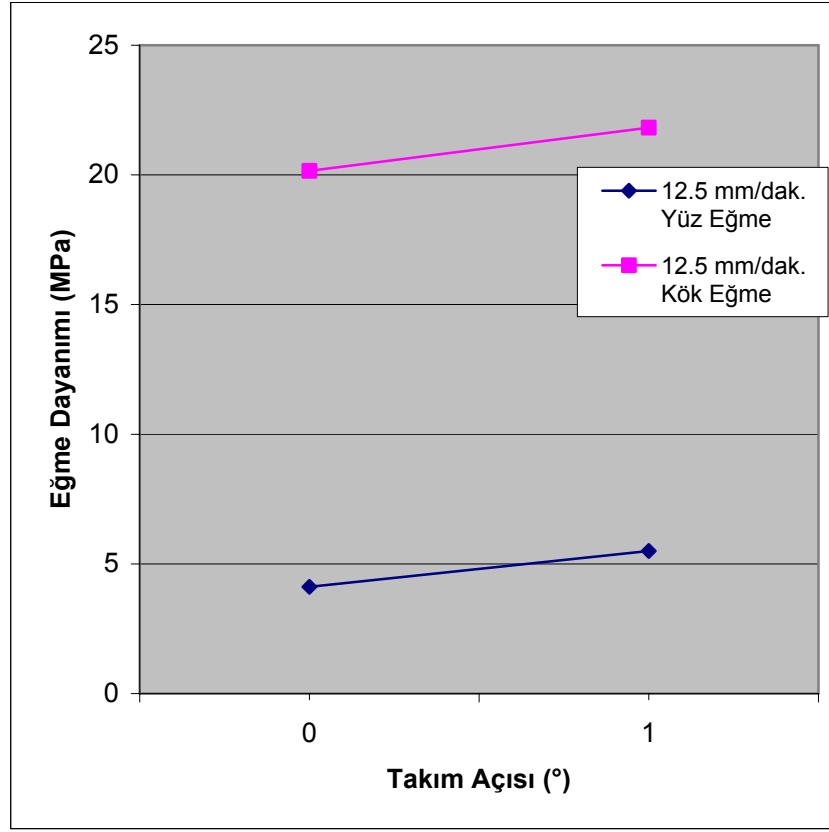
Şekil 4.9: 630 d/dak. ve 40 mm/dak. takım açısı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları

4.2.3. Eğme deneyi sonuçları

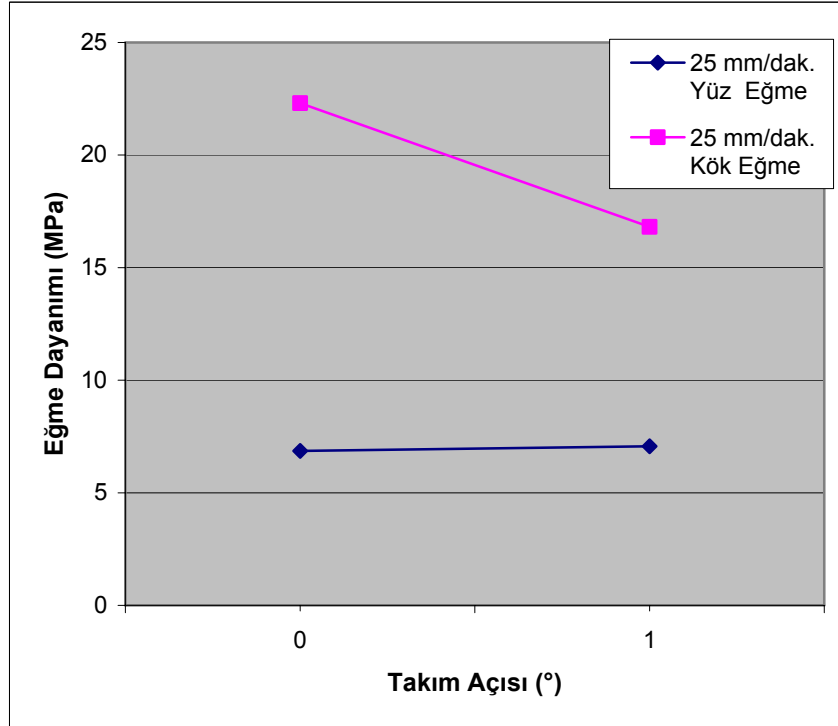
Tablo 4.3'de tek taraflı SKK uygulanan parçalara ait yüz eğme ve kök eğme dayanımı değerleri görülmektedir. Numune kodlarının yanındaki "Y" yüz eğme, "K" ise kök eğme'yi göstermektedir.

Tablo 4.3: Tek taraflı kaynak edilmiş parçaların eğme dayanımı değerleri

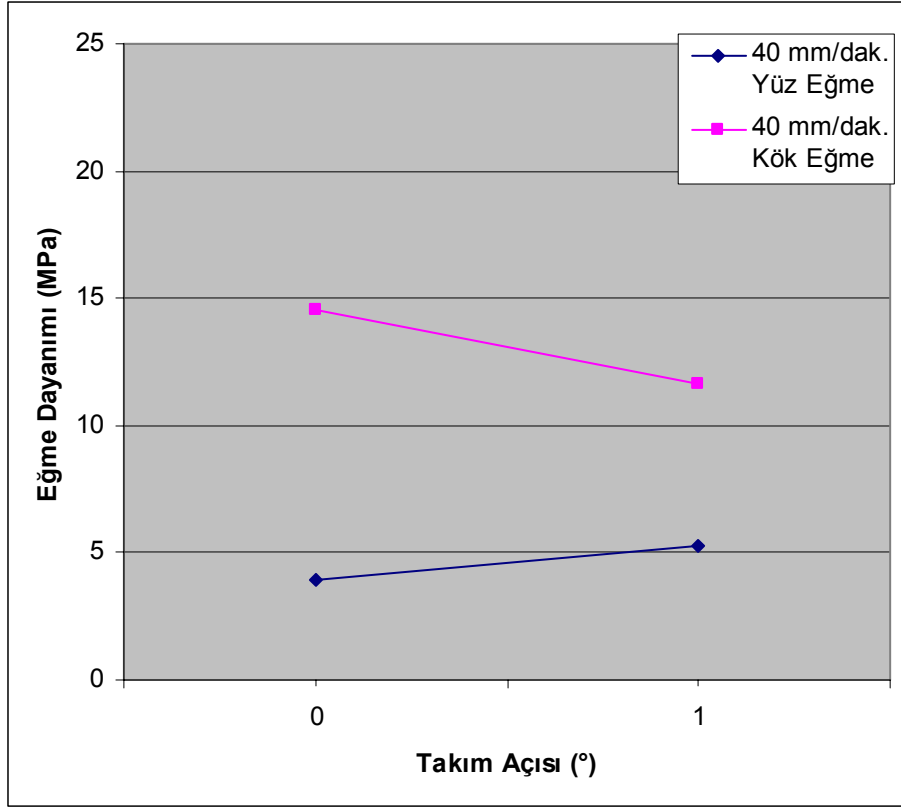
Numune kodu	Eğme şekli	Kırılma oluşumu	Eğme Dayanımı (MPa)	Sehim (mm)
T0A(Y)	Yüz Eğme	Var	4.119	1.843
T0A(K)	Kök Eğme	Var	20.153	7.103
T0B(Y)	Yüz Eğme	Var	6.856	2.313
T0B(K)	Kök Eğme	Var	22.306	11.25
T0C(Y)	Yüz Eğme	Var	3.970	4.663
T0C(K)	Kök Eğme	Var	14.533	5.757
T1A(Y)	Yüz Eğme	Var	5.496	2.323
T1A(K)	Kök Eğme	Var	21.820	10.86
T1B(Y)	Yüz Eğme	Var	7.068	2.107
T1B(K)	Kök Eğme	Var	16.813	6.070
T1C(Y)	Yüz Eğme	Var	5.239	1.317
T1C(K)	Kök Eğme	Var	11.610	4.193



Şekil 4.10: 630 d/dak. ve 12.5 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları



Şekil 4.11: 630 d/dak. ve 25 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları



Şekil 4.12: 630 d/dak. ve 40 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile tek taraflı sürtünme karıştırma kaynağı uygulanarak elde eğme dayanımı sonuçları

4.2. Çift Taraflı Kaynak Sonuçları

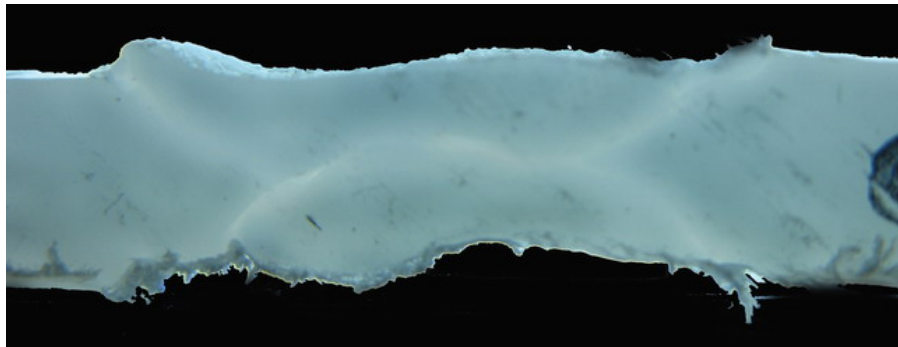
4.2.1. Görsel inceleme sonuçları

Tablo 4.2’de çift taraflı sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış polietilen levhaların kalınlıklarındaki inceleme görülmektedir.

Tablo 4.4: Çift taraflı kaynak edilmiş parçanın kaynaklı bölgedeki kalınlık değişimi

Numune kodu	Kaynak sonrası kaynaklı bölgenin minimum kalınlığı (mm)
0A	4.33
0B	4.05
0C	4.23
1A	3.88
1B	4,32
1C	4.29
2A	3.96
2B	3.68
2C	3.47
3A	3.05
3B	3.52
3C	3.46
4A	3,20
4B	3.26
4C	3.32
5A	3.65
5B	3.07
5C	3.65

Tek taraflı SKK’nın aksine çift taraflı SKK ile kaynamayan bölge oluşturmadan kaynak yapmak mümkündür. Şekil 4.7’de buna örnek bir parçanın kaynak bölgesinin resmi görülmektedir.



Şekil 4.13: Tek taraflı kaynağın aksine çift taraflı kaynakta kaynamayan bölge oluşturmadan kaynak yapmak mümkündür

Ancak uygun olmayan parametrelerle Şekil 4.14'deki gibi çift taraflı kaynak ile de kötü sonuçlar elde edilebilmektedir. Şekil 4.15'ten bu tip bir bağlantıdaki kopma durumu gözükmemektedir. de görüleceği gibi ve arka yüzeyden yapılan SKK sonrasında kaynak bölgeleri ana malzeme ve birbirleriyle yeterince birleşme sağlayamamışlardır ve kopma bu bölgelerden kolayca gerçekleşmiştir.



Şekil 4.14: Kötü bir çift taraflı SKK bağlantısı ("5C" kodlu numune)

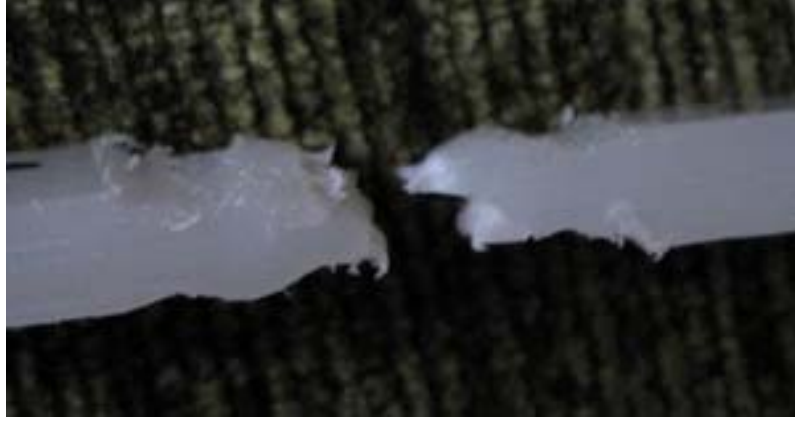


Şekil 4.15: Şekil 4.14'te verilen tipte bir bağlantı için kopma durumu ("5C" kodlu numune)



Şekil 4.16: Yine "5C" kodlu numune'de kaynak bölgesinde oluşan boşluk

Şekil 4.17 ve 4.18’de çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunelerde, çekme deneyi sonucu meydana gelen kopma örnekleri görülmektedir.



Şekil 4.17: Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede çekme deneyi sonucu oluşan kopma



Şekil 4.18: Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede çekme deneyi sonucu oluşan kopma

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de çift taraflı SKK uygulanmış numunelerden yüz eğme ve kök eğme deneylerine maruz kalmış olup kırılmayan numunelere ait örnekler görülmektedir.



Şekil 4.19: Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede yüz eğme deneyi sonucu kırılmayan numune



Şekil 4.20: Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede kök eğme deneyi sonucu kırılmayan numune

Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de ise çift taraflı SKK uygulanmış numunelerden yüz eğme ve kök eğme deneylerine maruz kalmış olup kırılan numunelere ait örnekler görülmektedir.

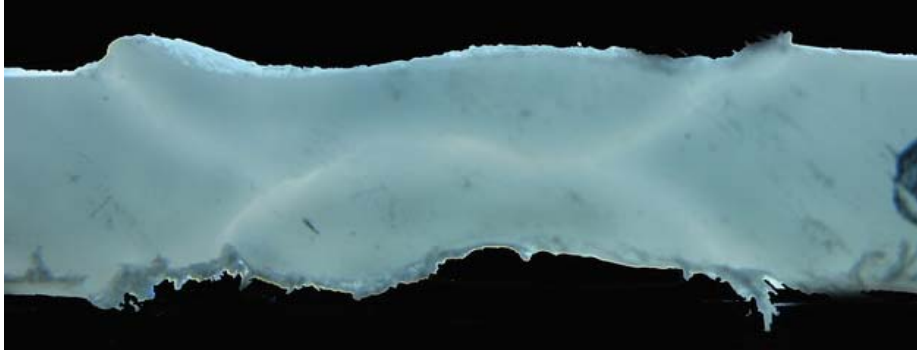


Şekil 4.21: Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede yüz eğme deneyi sonucu kırılan numune

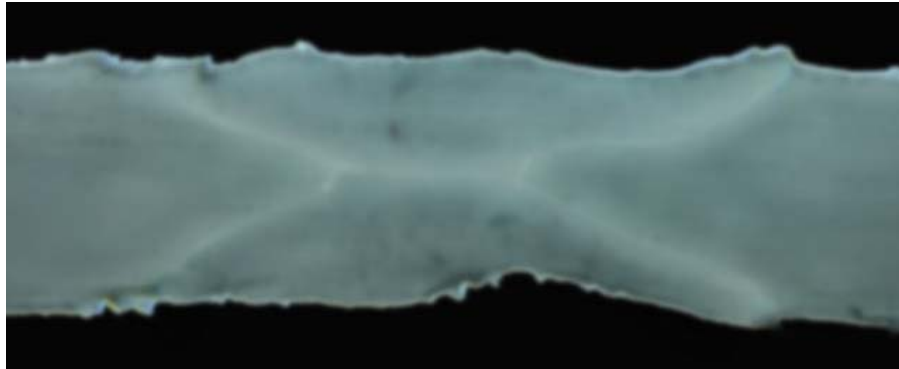


Şekil 4.22: Çift taraflı SKK ile birleştirilmiş bir numunede kök eğme deneyi sonucu kırılan numune

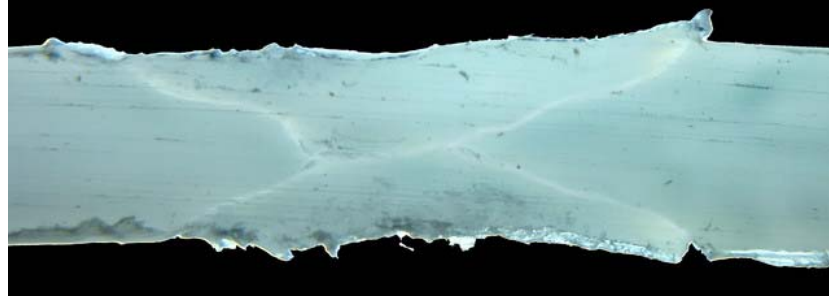
Şekil 4.23 ile Şekil 4.40 arasında çift taraflı kaynak edilmiş malzemelerin, kaynak bölgelerinin oluşum yapıları görülmektedir.



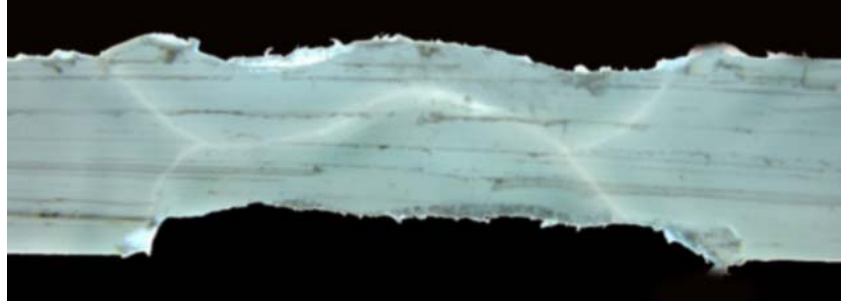
Şekil 4.23: "0A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



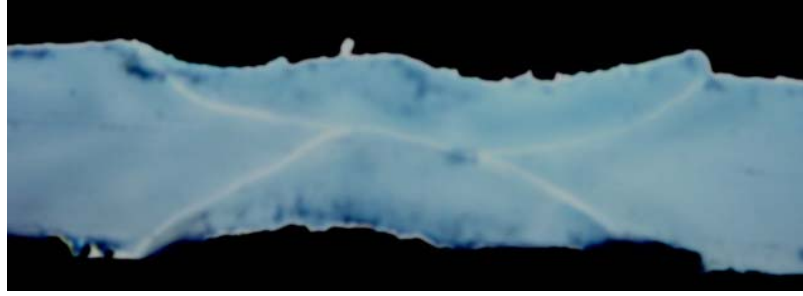
Şekil 4.24: "0B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



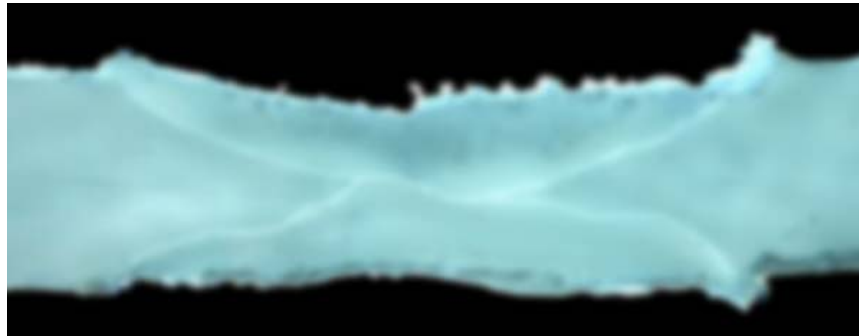
Şekil 4.25: "0C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



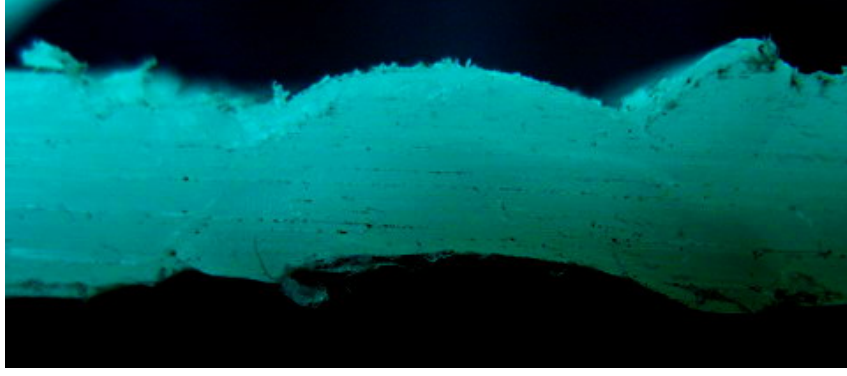
Şekil 4.26: "1A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



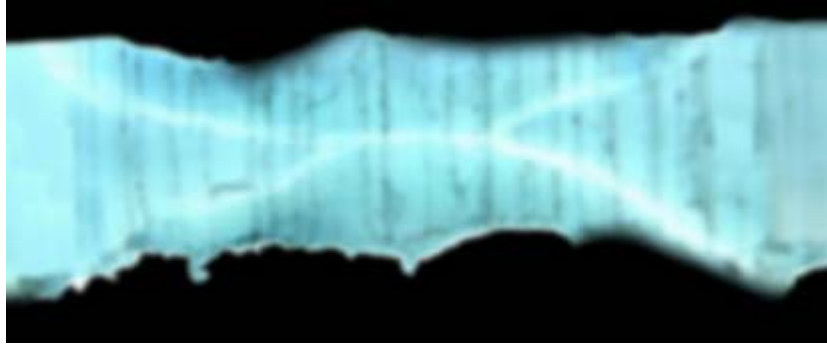
Şekil 4.27: "1B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



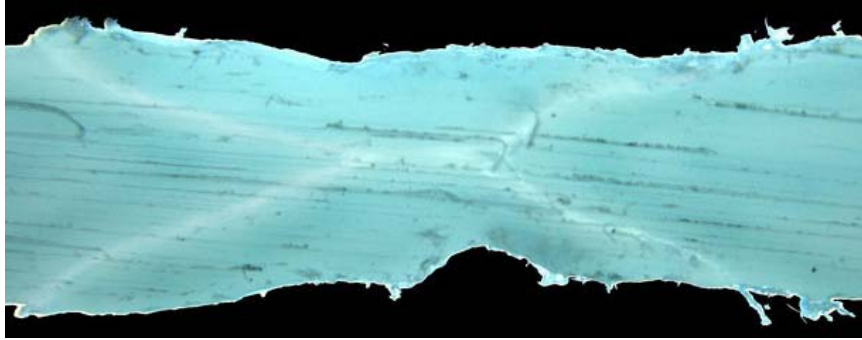
Şekil 4.28: "1C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



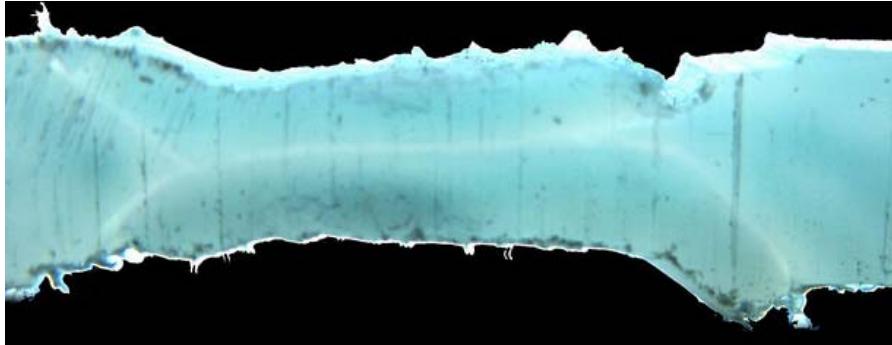
Şekil 4.29: "2A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



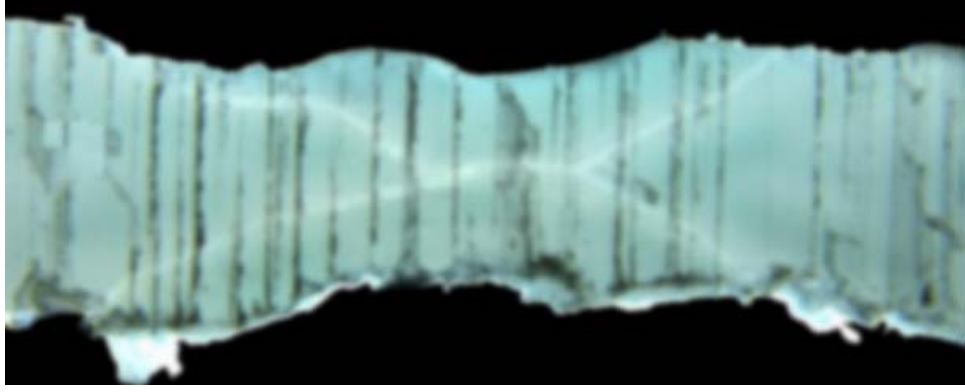
Şekil 4.30: "2B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



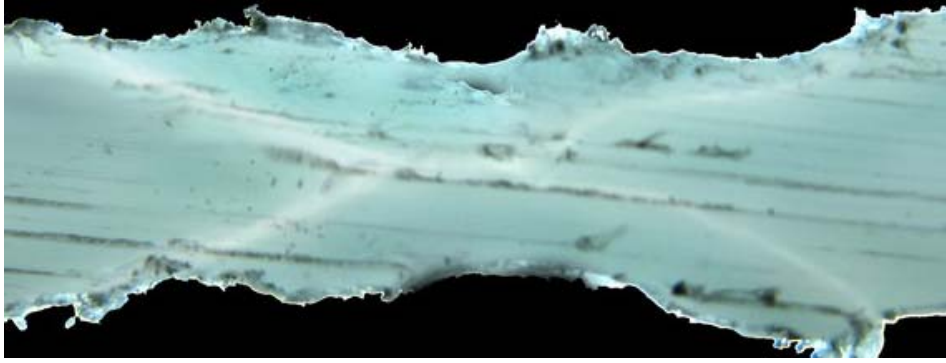
Şekil 4.31: "2C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



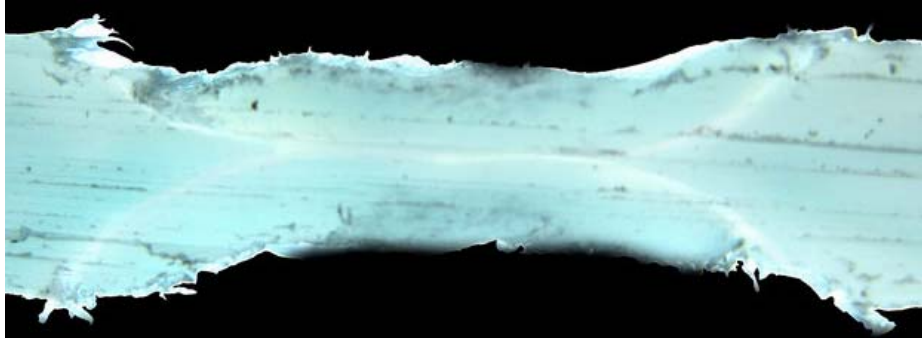
Şekil 4.32: "3A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



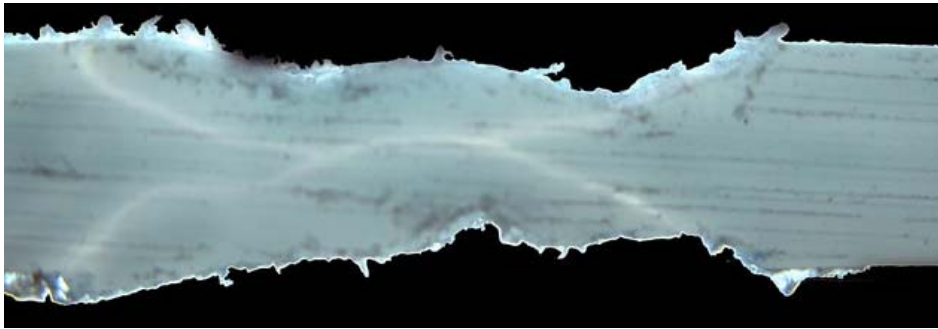
Şekil 4.33: "3B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



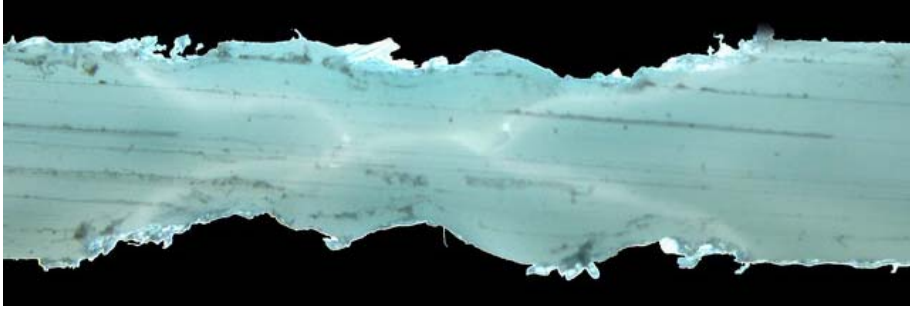
Şekil 4.34: "3C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



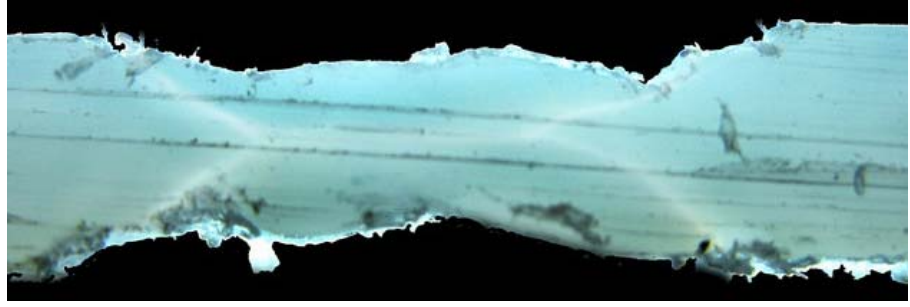
Şekil 4.35: "4A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



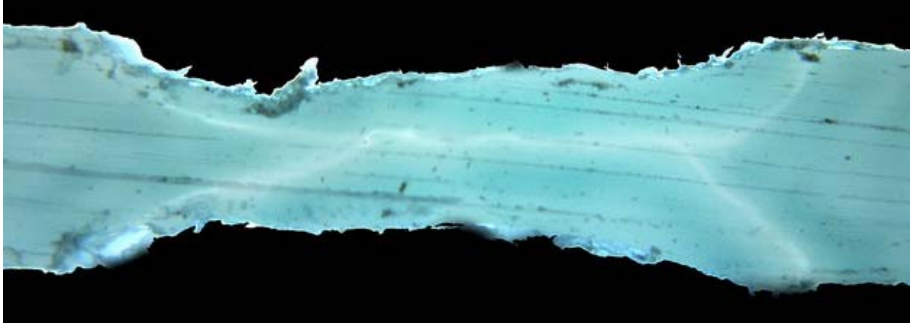
Şekil 4.36: "4B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



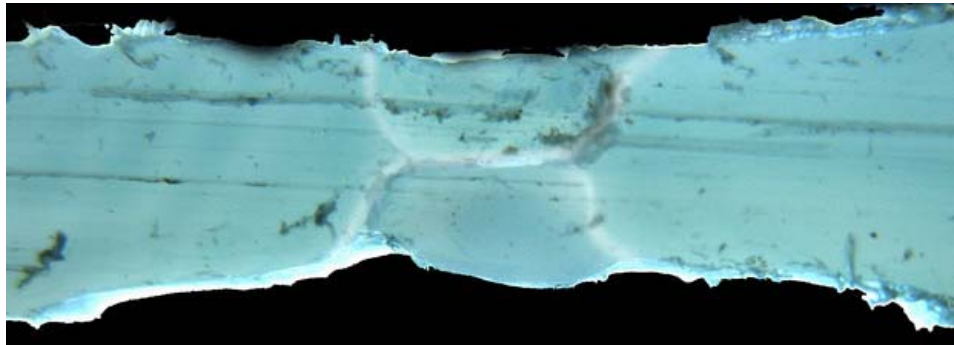
Şekil 4.37: "4C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



Şekil 4.38: "5A" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



Şekil 4.39: "5B" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü



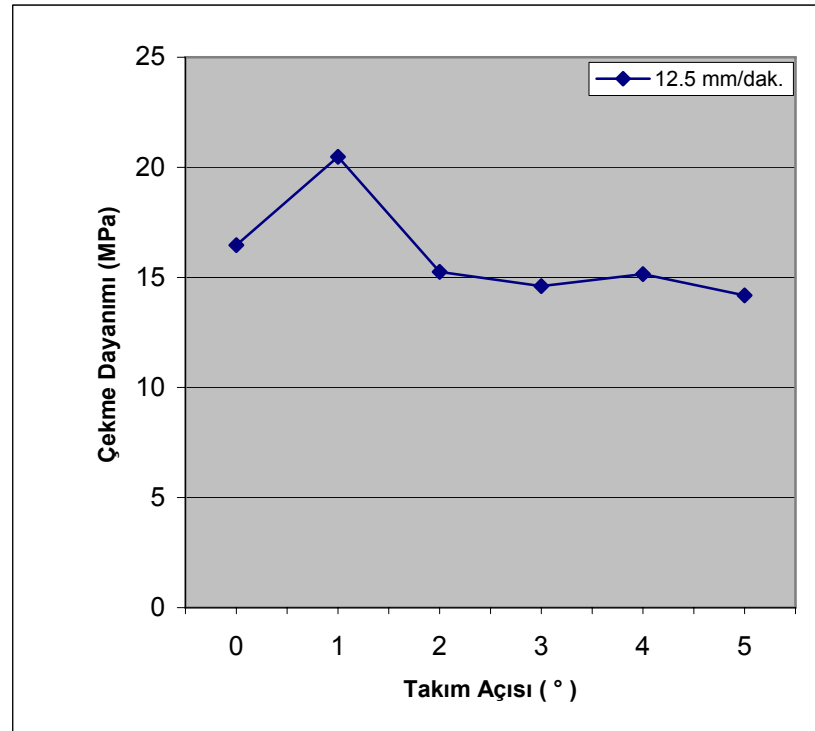
Şekil 4.40: "5C" kodlu numuneye ait kaynaklı bölge yapısının görüntüsü

4.2.2 Çekme deneyi sonuçları

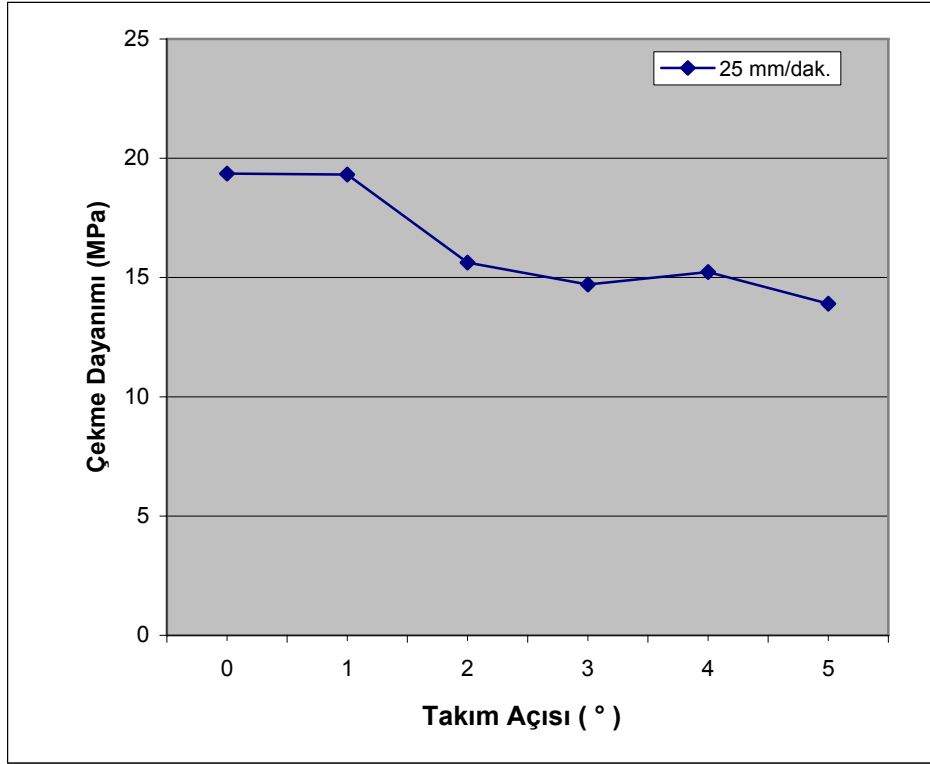
Tablo 4.5'de farklı parametreler ile çift taraflı sürtünme karıştırma kaynağı ile elde edilen çekme dayanımı değerleri görülmektedir.

Tablo 4.5: Çift taraflı kaynak edilmiş parçaların çekme dayanımı değerleri

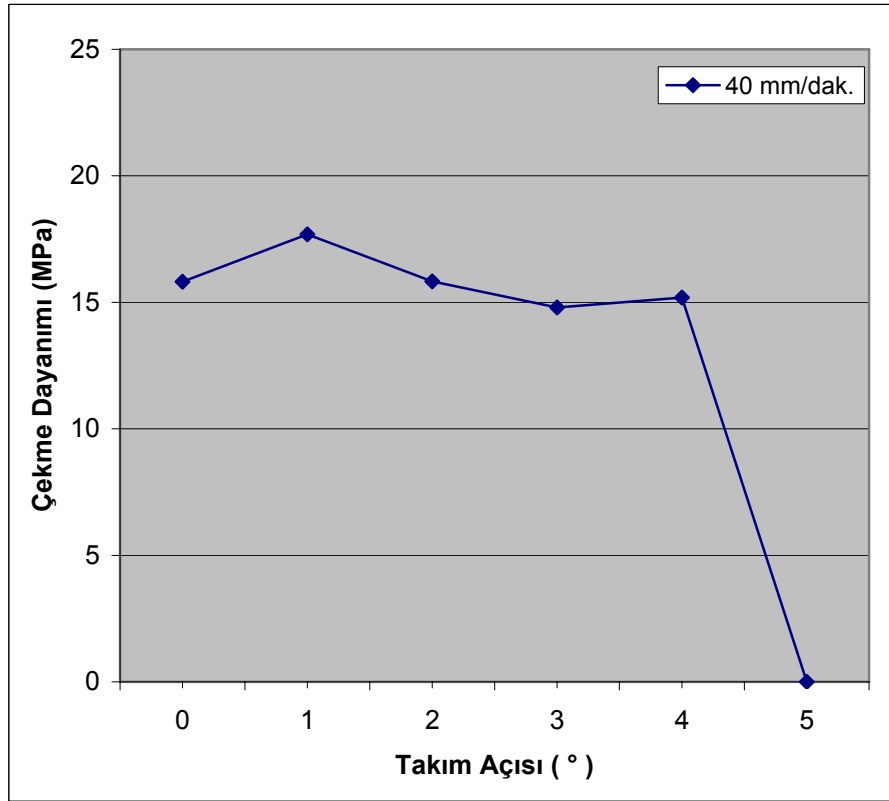
Numune kodu	Çekme dayanımı (MPa)
0A	16.465
0B	19.355
0C	15.810
1A	20.475
1B	19.315
1C	17.685
2A	15.250
2B	15.626
2C	15.827
3A	14.406
3B	14.706
3C	14.796
4A	15.153
4B	15.230
4C	15.186
5A	14.186
5B	13.910
5C	İptal



Şekil 4.41: 1000 d/dak. ve 12.5 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları



Şekil 4.42: 1000 d/dak. ve 25 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları



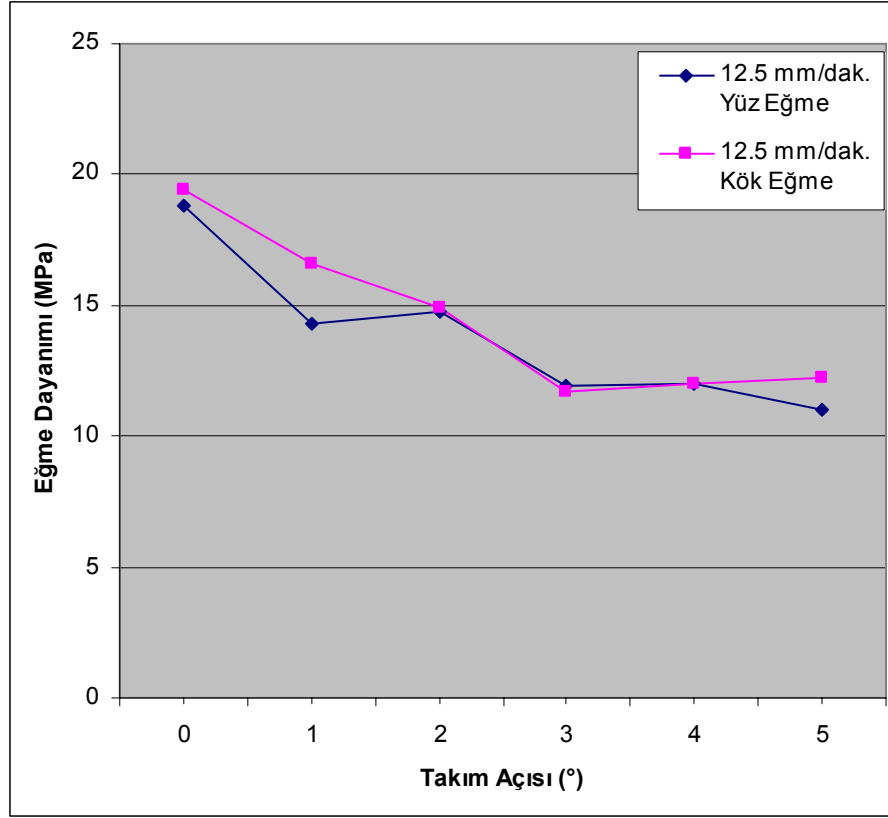
Şekil 4.43: 1000 d/dak. ve 40 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları

4.2.3. Eğme deneyi sonuçları

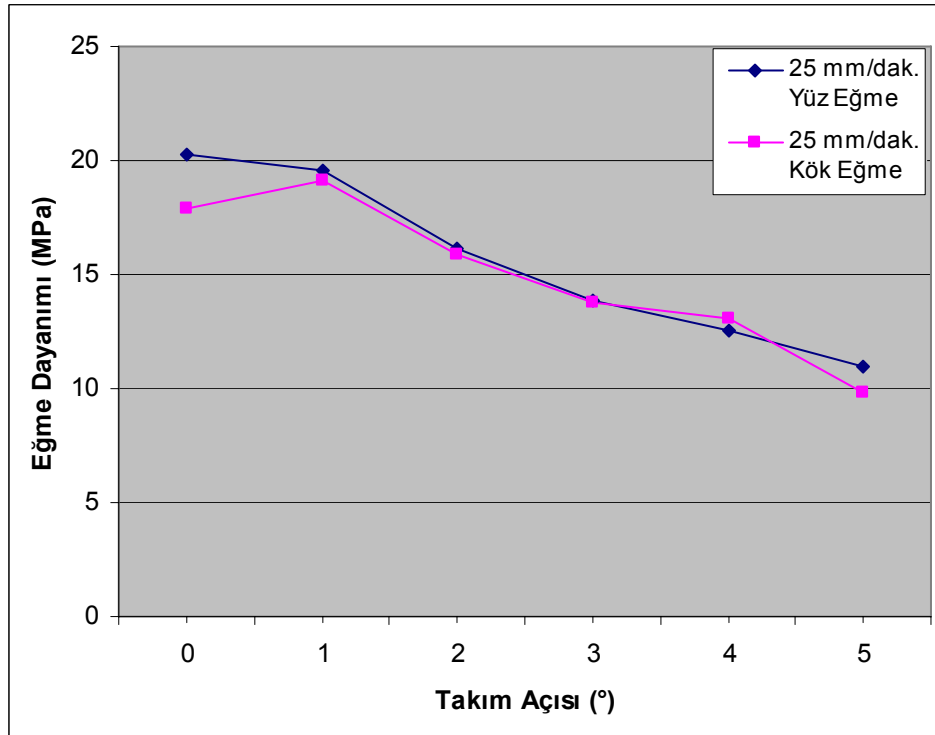
Tablo 4.6'da çift taraflı SKK uygulanan parçalara ait yüz eğme ve kök eğme dayanımı değerleri görülmektedir.

Tablo 4.6: Çift taraflı kaynak edilmiş parçaların eğme dayanımı değerleri

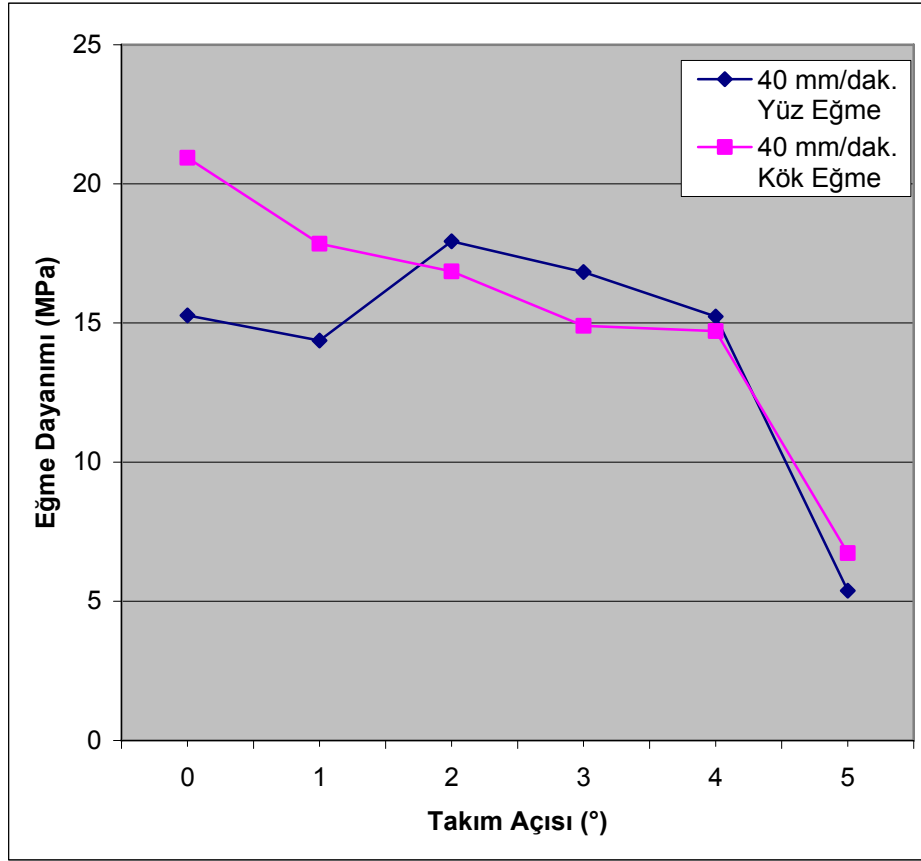
Numune kodu	Eğme şekli	Kırılma oluşumu	Eğme dayanımı (MPa)	Sehim (mm)
0A(Y)	Yüz Eğme	Var	18.82	11.51
0A(K)	Kök Eğme	Var	19.4	12.71
0B(Y)	Yüz Eğme	Yok	20.23	19.77
0B(K)	Kök Eğme	Var	17.91	18.01
0C(Y)	Yüz Eğme	Yok	15.27	17.10
0C(K)	Kök Eğme	Var	20.94	17.71
1A(Y)	Yüz Eğme	Var	14.76	14.33
1A(K)	Kök Eğme	Var	14.88	16.57
1B(Y)	Yüz Eğme	Yok	19.59	17.69
1B(K)	Kök Eğme	Yok	19.08	16.92
1C(Y)	Yüz Eğme	Yok	14.37	16.86
1C(K)	Kök Eğme	Yok	17.85	18.02
2A(Y)	Yüz Eğme	Var	13.535	12.84
2A(K)	Kök Eğme	İki durum da gözlendi	14.386	15.45
2B(Y)	Yüz Eğme	Yok	16.106	17.20
2B(K)	Kök Eğme	Yok	15.92	16.31
2C(Y)	Yüz Eğme	Yok	17.935	15.60
2C(K)	Kök Eğme	Yok	16.855	15.29
3A(Y)	Yüz Eğme	Yok	11.96	12.77
3A(K)	Kök Eğme	İki durum da gözlendi	11.665	15.40
3B(Y)	Yüz Eğme	Yok	13.86	17.10
3B(K)	Kök Eğme	Yok	13.78	16.96
3C(Y)	Yüz Eğme	Yok	16.833	15.79
3C(K)	Kök Eğme	Yok	14.896	14.60
4A(Y)	Yüz Eğme	Yok	11.993	17.32
4A(K)	Kök Eğme	Yok	11.98	17.76
4B(Y)	Yüz Eğme	Yok	12.573	18.59
4B(K)	Kök Eğme	Yok	13.05	16.54
4C(Y)	Yüz Eğme	Yok	15.233	17.52
4C(K)	Kök Eğme	Yok	14.71	16.56
5A(Y)	Yüz Eğme	Var	10.996	17.22
5A(K)	Kök Eğme	Yok	12.263	15.98
5B(Y)	Yüz Eğme	Yok	10.943	18.48
5B(K)	Kök Eğme	Yok	9.818	17.67
5C(Y)	Yüz Eğme	Var	5.381	5.24
5C(K)	Kök Eğme	Var	6.729	7.03



Şekil 4.44: 1000 d/dak. ve 12.5 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları



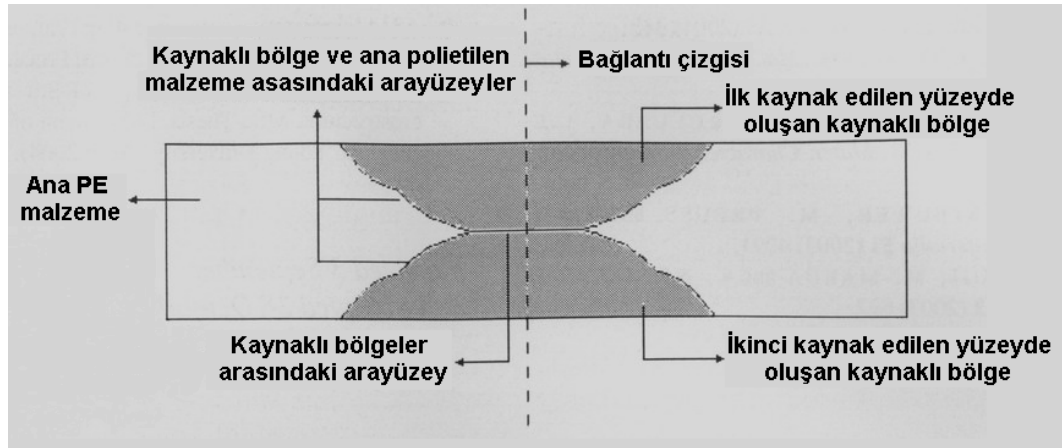
Şekil 4.45: 1000 d/dak. ve 25 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları



Şekil 4.46: 1000 d/dak. ve 40 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen eğme dayanımı sonuçları

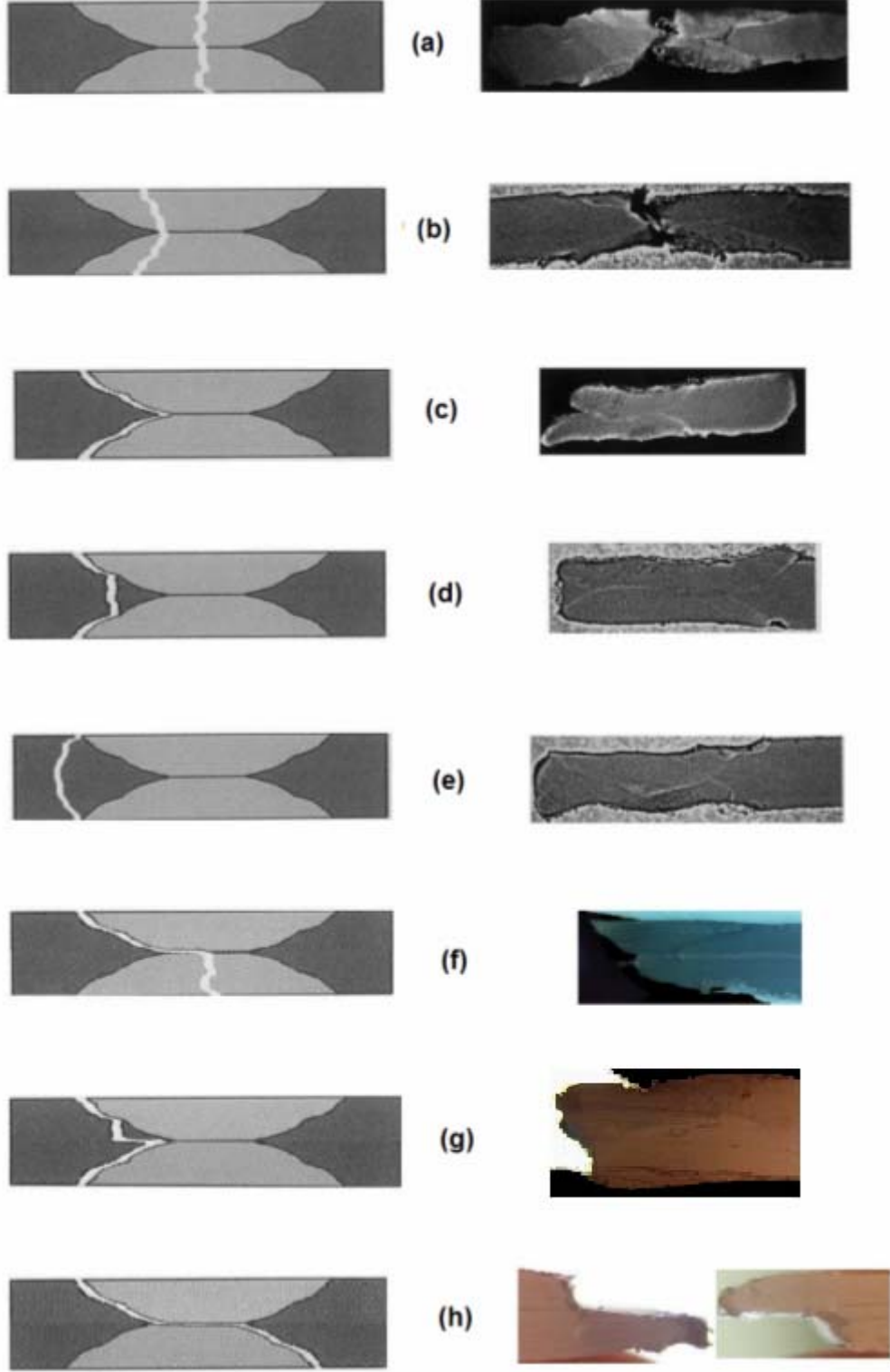
4.3. Kırılma Yüzeylerinin İncelenmesi

Şekil 4.23 ve Şekil 4.40 arasında gösterilen resimlerin sonucunda çift taraflı SKK için, Şekil 4.47'deki gibi kaynaklı bölgeye ait şematik bir gösterim elde edilmiştir.



Şekil 4.47: Çift taraflı SKK uygulamasında oluşan kaynaklı bölgelerin şematik gösterimi

Bunun sonucunda, Şekil 4.48'den görüldüğü üzere çift taraflı kaynak edilen numunelerde birçok farklı kırılma tipi belirlenmiştir.



Şekil 4.48: Çift taraflı SKK uygulamasında çekme deneyleri sırasında oluşan kaynak hasarlarının şematik ve fotoğraflanmış halde gösterimi

Tablo 4.7’de bu belirlenen kırılma tiplerinin hangi numunelerde gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 4.7: Numunelere ait kırılma yerlerinin tipleri

Numune kodu	Kırılma yerinin tipi
0A	“c” tipi
0B	“b” ve “e” tipi
0C	“a” tipi
1A	“e” tipi
1B	“b” ve “d” tipi
1C	“b” ve “d” tipi
2A	“d” ve “g” tipi
2B	“a” tipi
2C	“a”, “c” ve “f” tipi
3A	“c” ve “d” tipi
3B	“c” ve “d” tipi
3C	“b” ve “d” tipi
4A	“b” ve “c” tipi
4B	“c” ve “d” tipi
4C	“d” tipi
5A	“c” ve “d” tipi
5B	“d” tipi
5C	“h” tipi

Görüldüğü gibi kırılma kaynaklı bölgenin içinden veya kaynaklı bölge ile ana malzeme arasından gerçekleşmektedir. Bu kaynaklı bölgenin yeteri mukavemete ulaşamaması ve ana malzemeye çok iyi tutunamamasından kaynaklanmaktadır. Özellikle 5° ve 40 mm/dak. ilerleme deneylerimiz sırasında parametrelerde daha ileri gidemeyeceğimiz şekilde olumsuz sonuçlar alınmıştır. Bunun bir sebebi 40 mm/dak. ilerleme hızı ile ilerlerken parçayı yeterince ısıtıp yumuşatamadığından sağlam bir kaynak bağlantısı gerçekleştirilememesidir.

4.4. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

4.4.1. Görsel deney sonuçlarının irdelenmesi

Tek taraflı sürtünme karıştırma kaynağında, parçalar 0° ve 1°’lik takım açıları kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. 1°’den daha büyük açılarda kaynak işleminin uygun olmayışının en büyük sebebi, takımın ilerleme yönünde, takım omzunun ön kısmını malzeme yüzeyine baskı uygulamak amacı ile yeteri kadar daldırdığımızda arka kısmının malzemeye çok fazla girmesi ve kaynak edilen plakamızın zarar görmesidir. Tablo 4.1’den görüldüğü gibi, kaynaklı bölge kalınlığında meydana gelen azalmanın ilerleme hızının yükselmesine bağlı olarak

artması, yüksek ilerleme hızlarında kaynak bölgesine yeteri kadar termal enerji girdisinin sağlanamamasından dolayıdır. Gerekli termal enerji sağlanamadığı takdirde, kaynaklı bölge yeteri kadar yumuşamaz ve takımın ilerleme esnasında kopan talaş parçaları bölgede tutunmadan dışarı kaçarlar. Malzeme kaybı dolayısıyla kalınlıkta azalma meydana gelir ve bu da ilerleme hızı arttıkça fazlalaşmaktadır.

Tablo 4.4'den görüldüğü üzere ise, çift taraflı SKK uygulamasında 3°, 4° ve 5°'lik takım açısı ile gerçekleştirilen kaynaklı parçalarda kaynak bölgesindeki azalma, 0°, 1° ve 2°'lik takım açıları ile kaynak edilen parçalardakine nazaran daha fazladır. Takım açısının artmasıyla takım omzunun ön tarafı parça üzerine iyi bir şekilde baskı uygulayamamaktadır ve bundan dolayı malzemenin bu bölgesine gerektiği kadar termal enerji girdisi sağlanamadığından kaynak bölgesinde yeterince yumuşama gerçekleşmez. Bu sebeple kaynak esnasında kopan talaş parçacıkları tekrar malzeme üzerine tutunamayarak bölgeden dışarı uzaklaşırlar. Bundan dolayı da kaynaklı bölgede kalınlık azalması oluşur.

Şekil 4.1 ve 4.2'den görüldüğü gibi tek taraflı SKK uygulamalarında parçanın kaynak edilmediği tarafta, kaynak edilemeyen bir bölge oluşmaktadır ve bu da tek taraflı kaynak edilen parçaların hem eğme hem de çekme dayanımlarına oldukça olumsuz etkimektedir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.6 arasında bunlara ait örnekler gösterilmiştir. Bu kaynak edilemeyen bölgelerin kalınlığı yaklaşık olarak, kaynak edilen plaka kalınlığı ile takımın pim uzunluğu arasındaki fark kadardır. Eğer bu kaynaksız bölgenin oluşmaması isteniyorsa daha uzun bir pim kullanılması ve bu şekilde plakanın diğer yüzeyine kadar kaynak işleminin gerçekleştirilmesi sağlanabilir ancak bunun için kaynak edilecek plakaların altına altlık veya benzeri bir harcanabilir malzeme koymak ve plakaların oturtulduğu yüzeylerin zarar görmesi engellenmek gerekir.

Çift taraflı kaynak edilen parçalarda ise kaynamayan herhangi bir bölge Şekil 4.13'ten de görüldüğü üzere oluşmamaktadır. Ancak gerekli termal enerjinin parçalara ve kaynak bölgesine iletilmemesi sonucu Şekil 4.14 ve Şekil 4.16 arasında görülen "5C" kodlu parçada görüldüğü gibi oldukça kötü ve yeterli birleşmeyi sağlayamamış bir bağlantı elde edilir. Şekil 4.40'dan görüldüğü üzere "5C" kodlu numunedeki kaynak bölgesi, diğer numunelerde görülen kaynak bölgelerinden daha az alan kaplamaktadır. Bu "5C" kodlu numune de ısıdan

etkilenen bölgenin daha az olduğunu yani kaynak bölgesine daha az ısı girdisi sağlanabildiğini de göstermektedir. Bunun nedeni yüksek ilerleme hızından dolayı kaynak çizgisi boyunca her bir noktada daha az süre durularak parçaya daha az ısı iletimi sağlanması ve yüksek takım açısı nedeniyle takım omzunun parça üzerine yeterli baskı uygulayamayarak gerekli sürtünme enerjisi ve dolayısıyla termal enerjiyi oluşturamamasıdır.

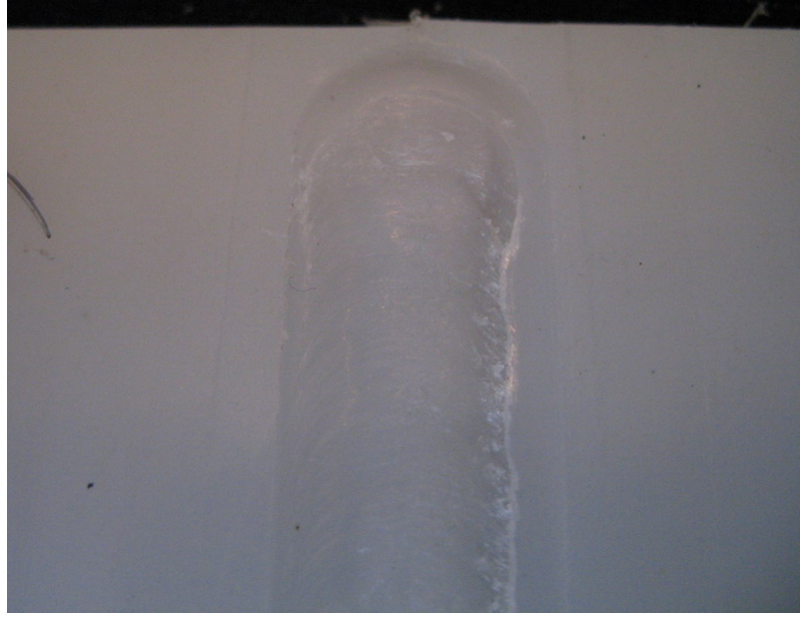


Şekil 4.49: Takım omzunun kaynak bölgesinde malzeme yığıldığı durum

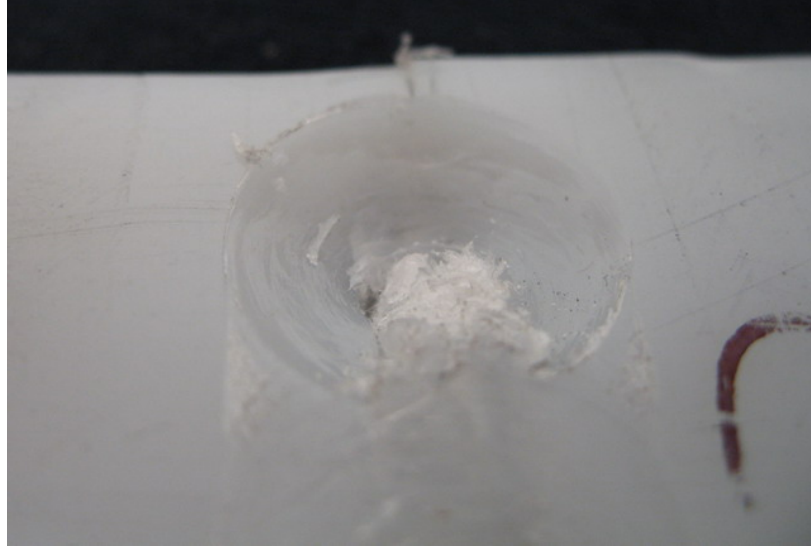
Şekil 4.49'da kaynaklı bölgenin bir tarafında malzeme yığılması olduğu görülmektedir. Bu durumun, takım omzunun parça yüzeyine çok aşırı bastırıldığı durumlarda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Omuz parça yüzeyine fazla bastırıldığı zaman, parçaya dalarak oymaya başlar ve dönüş esnasında çıkardığı malzemeyi kaynak bölgesi kenarına yığarak çapak oluşturur. Bu çapak oluşan bölge, Şekil 2.18'de gösterilen kaynağın geri çekilen kısmında meydana gelir. Bu da kaynak bölgesinde malzeme kaybı ve mukavemette düşüşe sebep verir. Bu nedenle takım omzunun malzeme üzerine yapacağı baskı iyi ayarlanmalıdır.

Şekil 4.50 ve Şekil 4.51'de takım ucunun kaynak edilecek parçalara ilk girdiği bölgeler görülmektedir. Şekil 4.50'de kaynak başlangıcı uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir ancak Şekil 4.51'de, görüldüğü gibi takım malzemeyi oymuştur. Bunun sebebi ilk başlangıçta omzun parçaya fazla bastırılması ve bölgede sürtünmeden dolayı ısı oluşumunun sağlanması için takımın ileri hareket

verilmeden gereğinden fazla süre bölgede tutulmasıdır. Bu durumda takım omzu parçadan talaş atarak oymaya başlar.



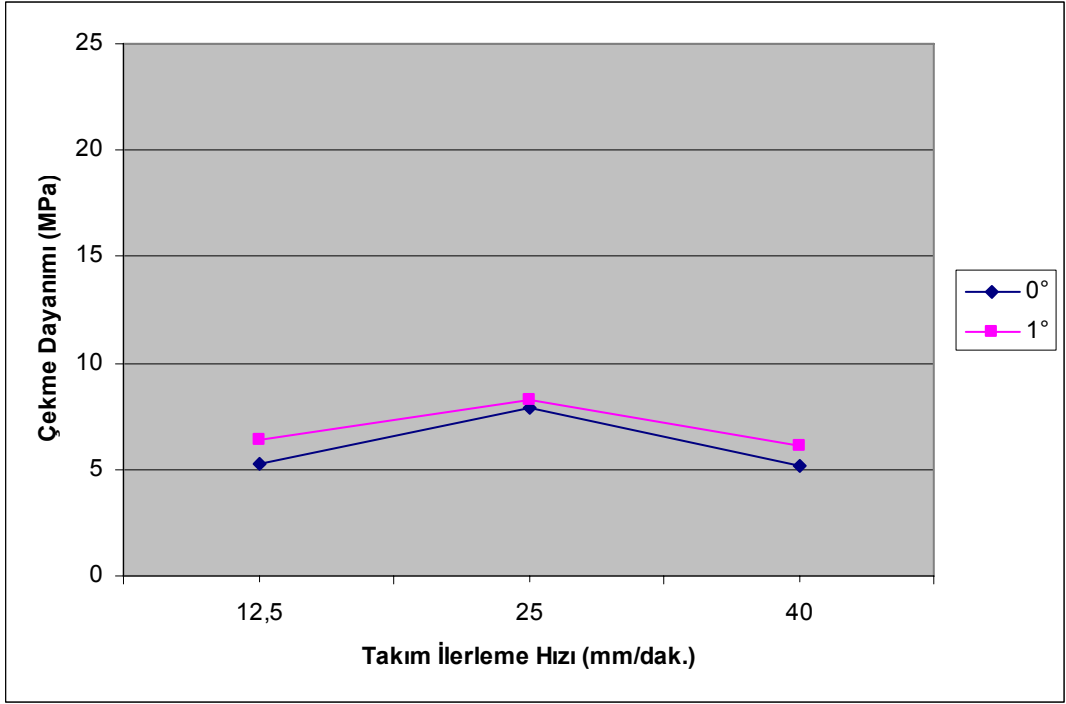
Şekil 4.50: Takımın iyi bir kaynak başlangıcı yaptığı durum



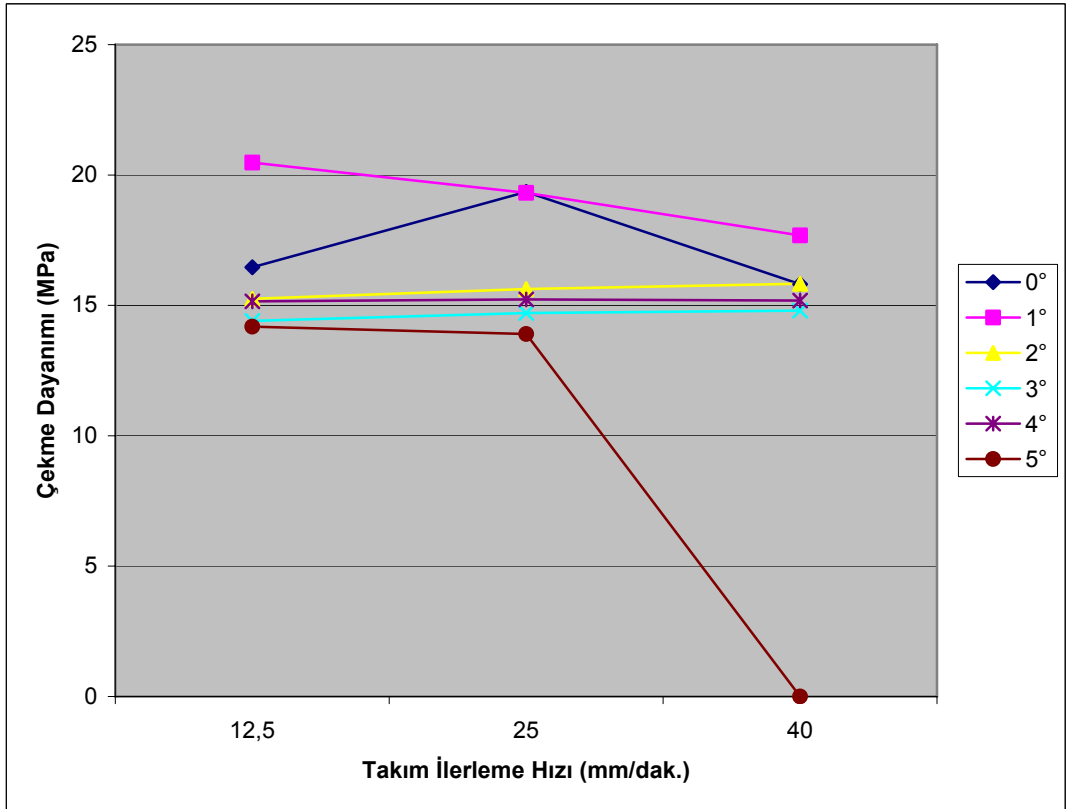
Şekil 4.51: Takımın kötü bir kaynak başlangıcı yaptığı durum

4.4.2. Çekme deneyi sonuçlarının irdelenmesi

Çekme dayanımı sonuçlarında hem tek taraflı hem de çift taraflı çekme deneylerinde, Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'den görüldü üzere genellikle düşük açı ve düşük ilerleme hızlarıyla daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.52: Tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları



Şekil 4.53: Çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları

Şekil 4.4, Şekil 4.15, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'den de görüldüğü üzere kaynaklı polietilen malzememiz kopmadan evvel herhangi bir uzama göstermeden ani bir şekilde kopmaya maruz kalır. Bu da kaynaklı parçalarda akma noktasını göremememize neden olarak direk kopma noktasındaki çekme dayanım değerlerini almamıza sebep verir. Diğer bir deyişle bu tip parçalar herhangi bir akma göstermemektedirler.

Plastik malzemeler, normalde kullanım alanlarında akma mukavemetleri baz alınarak seçilirler. Yani akma mukavemetini geçen herhangi bir noktada kullanılmaz hale gelirler. Yukarıda da belirttiğimiz gibi kaynaklı parçaların akma noktası yerine direk olarak çekme dayanımlarını elde ettiğimizden dolayı bu değerlerin ana malzemenin akma noktalarıyla karşılaştırılması uygundur.

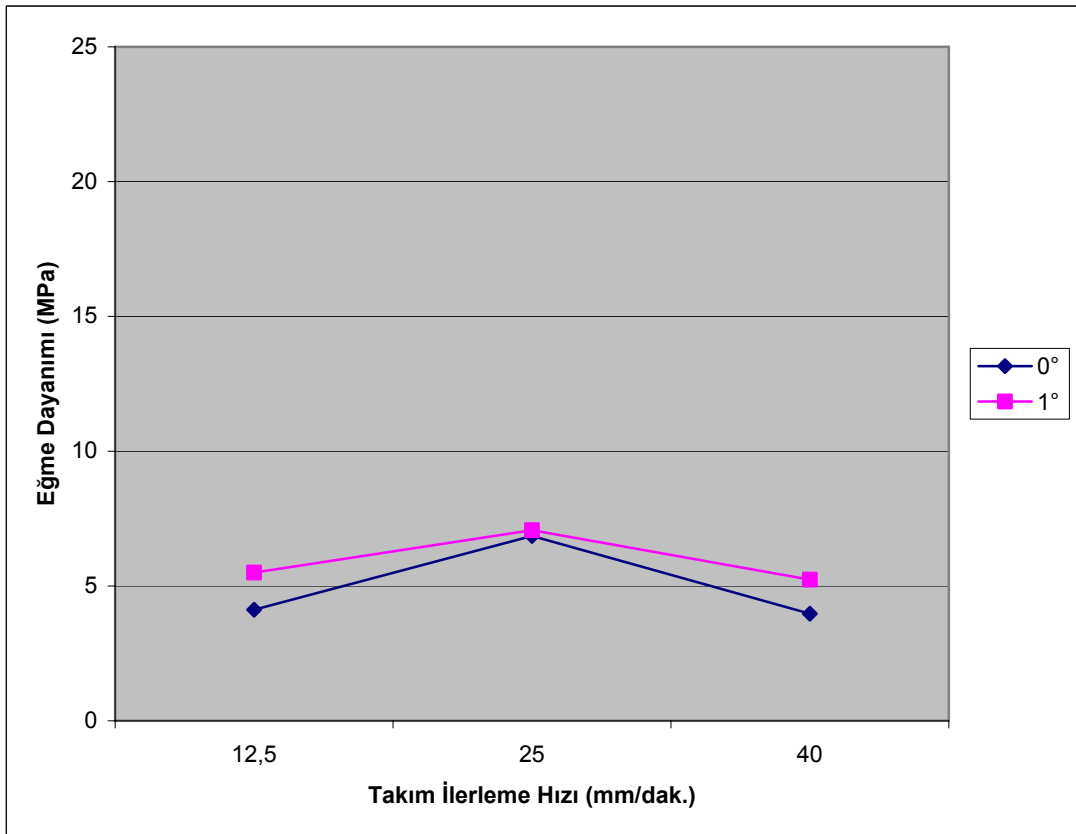
Bu şekilde elde ettiğimiz sonuçlara bakarsak, tek taraflı kaynak ile elde edilen en yüksek çekme dayanımı değerinin ana malzemenin akma dayanımı değeri olan 20 Mpa'a oranı %41.285 olarak elde edilir. Sonuç olarak bu en yüksek dayanım değeri dahi ana malzemenin %50'lik dayanım oranını yakalayamamıştır. Buna göre tek taraflı SKK ile elde edilen değerler oldukça başarısız sonuçlar vermişlerdir.

Çift taraflı SKK uygulaması ile kaynak edilen malzemelere göz attığımızda ise, 1° takım açısı ve 12.5 takım ilerleme hızı parametreleriyle elde edilen dayanım değeri, ana malzemenin dayanım değerini %100.375 gibi bir oranda sağlayarak çok iyi bir sonuç vermiştir. Eğer "5C" kodlu numuneyi saymazsak elde edilen en kötü sonuç ise %69.55 ile "5B" kodlu numunede elde edilmiştir.

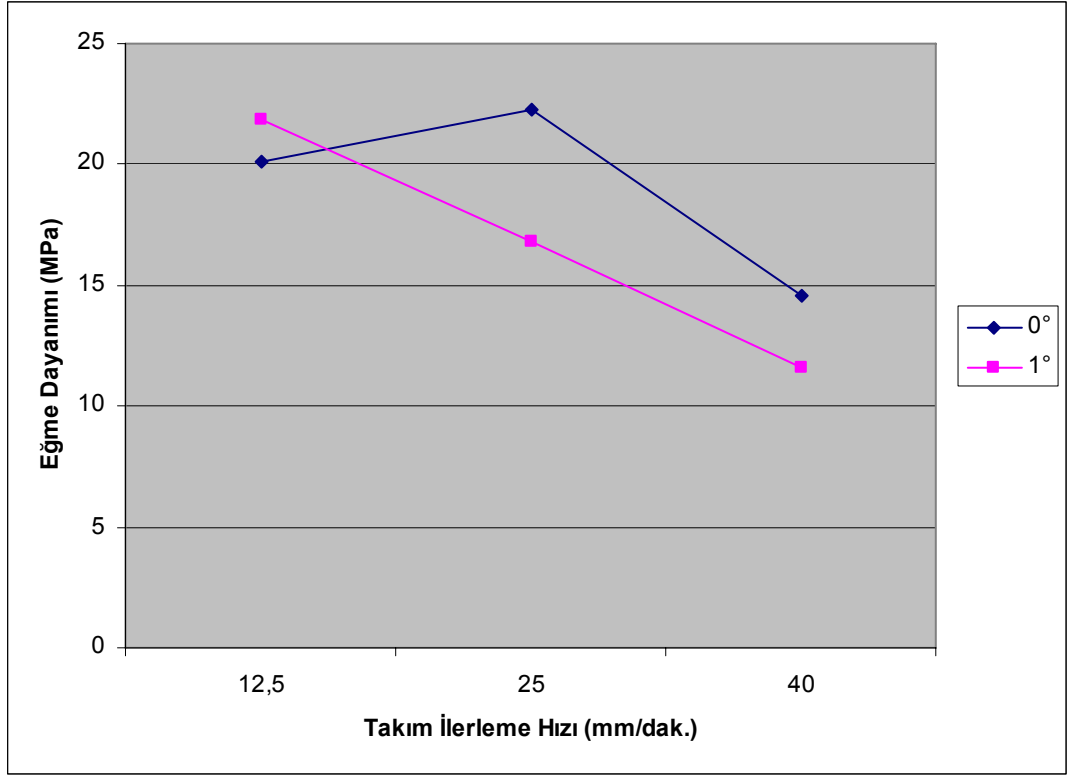
"5C" kodlu numunenin bu kadar kötü sonuçlar vermesi daha öncede bahsettiğimiz gibi 5°'lik takım açısında takım omzunun ön tarafının parça üzerinde baskı uygulayamaması nedeniyle malzemenin bu bölgede sıcaklık ile yeterince yumuşamaması ve kaynak esnasında kopan talaş parçacıklarının tekrar malzeme üzerinde tutunamayarak bölgeden dışarı uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Böylece malzeme kaybı ve dolayısıyla kaynak bölgesinin yeterince doldurulamaması sonucu, kaynak edilen plakanın kaynak bölgesinin mukavemetinde düşüş olur. Özellikle 40 mm/dak. ile malzeme içinden çok hızlı geçerek yeterince sürtünme enerjisi ve kaynak bölgesine yeterli termal enerjinin aktarılamamasından dolayı bu durum diğer 5°'lik parametrelerle kaynak edilen parçalara göre kendini daha da fazla belli etmiştir.

4.4.3. Eğme deneyi sonuçlarının irdelenmesi

Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'den görüldüğü üzere tek taraflı eğme deneylerinde kök eğme sonuçları yüz eğmeye göre oldukça iyi değerler vermişlerdir. Bunun nedeni, Şekil 4.5'ten görüldüğü üzere, yüz eğmede yük kaynamayan kök bölgesine tamamen çekme gerilmesi olarak etkimektedir ve bunun sonucu bu bölgede birbirine iyi kaynamayan kaynaklı bölge ile ana malzeme arasında kesme kuvvetleri meydana gelir ve ana malzeme ile kaynak bölgesi birbirlerinden sıyrılarak ayrılır ve kopar. Ancak Şekil 4.6'ya baktığımızda ise, kök eğmede bu kaynamayan kök bölgesine çekme yerine basma kuvveti etkir ve ana malzeme ile kaynak bölgesi arasında oluşan kayma gerilmesinin oluşumunu engeller. Bu nedenle tek taraflı kaynak edilen parçalarda parçalar kök tarafından eğmeye maruz kaldıklarında yüz eğmeye nazaran çok daha başarılı sonuçlar elde ederler.

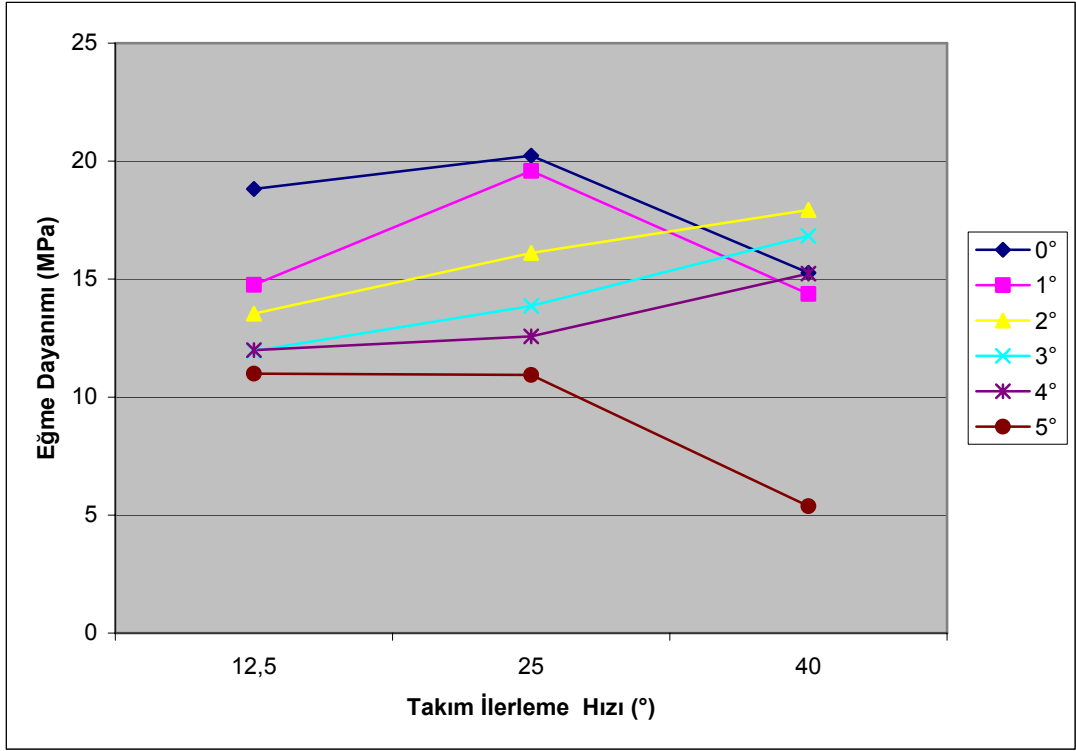


Şekil 4.54: Tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen yüz eğme dayanımı sonuçları

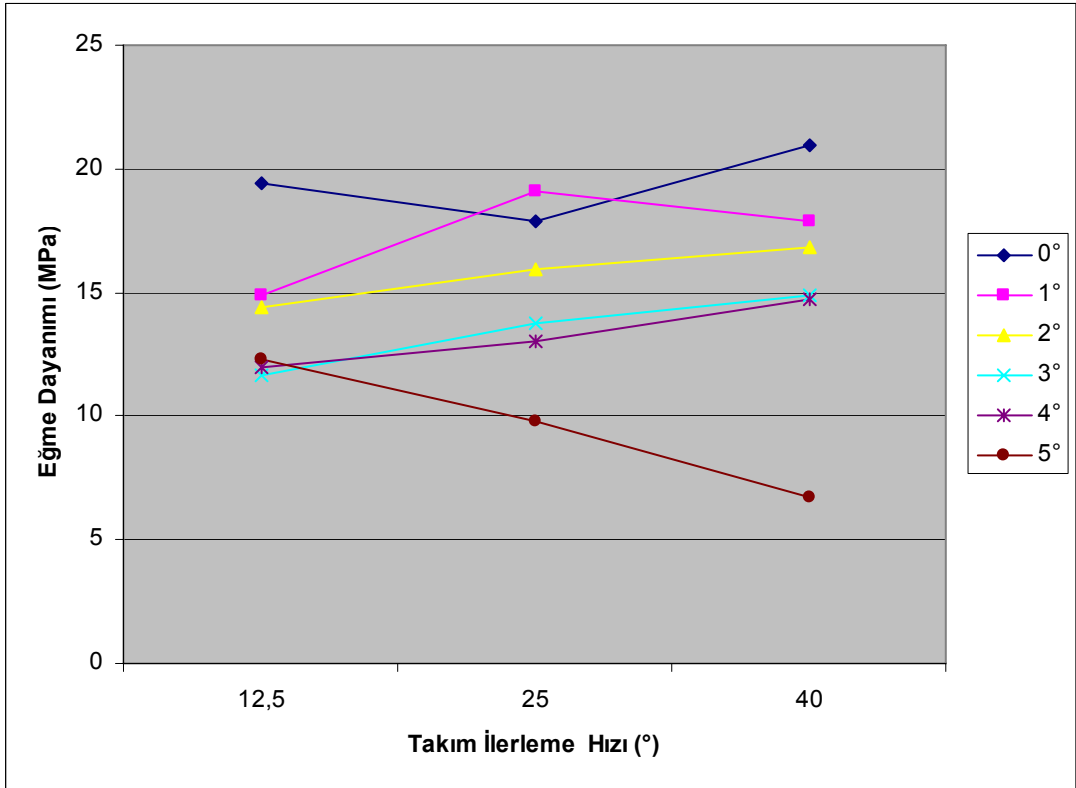


Şekil 4.55: Tek taraflı SKK uygulanarak elde edilen kök eğme dayanımı sonuçları

Şekil 4.56 ve Şekil 4.57’te ise çift taraflı SKK uygulaması ile elde edilen yüz eğme ve kök eğme dayanımları topluca gösterilmiştir. Görüldüğü gibi çift taraflı eğme dayanımlarında, kök eğme ve yüz eğme dayanımları arasında çok büyük farklılıklar yoktur. Çoğu durumda dayanımlar birbirine yakın çıkmıştır. Ayrıca çift taraflı SKK ile elde edilen sonuçlara göre, çift taraflı SKK uygulanan parçalarda eğme sırasında kırılma çok daha nadir görülmektedir. Tek taraflı SKK uygulanan tüm numuneler yüz eğme ve kök eğme fark etmeksizin kırılmışlardır. Çift taraflı kaynak edilen parçalardan yalnızca “5C” kodlu numuneler istisnasız her durumda kırılmışlardır. Bunu da nedeni bu parçada çekme deneyi sonuçlarının irdelenmesinde de değindiğimiz gibi, 5°’lik takım açısında takım omzunun ön tarafının parça üzerinde baskı uygulayamaması nedeniyle malzemenin bu bölgesi sıcaklık ile yeterince yumuşamaması ve bu şekilde kaynaklı bölgelerin ana malzeme ve kendileri arasında iyi bir bağlantı oluşturmamasından kaynaklanmaktadır. Bu şekilde, “5C” kodlu numunelerde de, aynı tek taraflı kaynak edilen parçaların kök bölgesindeki duruma benzer şekilde, eğme deneyleri esnasında kaynaklı bölgeler ve kaynaklı bölgeler ile ana malzeme arasında oluşan kuvvete karşı çıkacak şekilde birbirlerine tutunamaz ve kolayca ayrılarak kırılırlar.



Şekil 4.56: Çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen yüz eğme dayanımı sonuçları



Şekil 4.57: Çift taraflı SKK uygulanarak elde edilen kök eğme dayanımı sonuçları

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Sürtünme karıştırma kaynağı ile polietilen malzeme üzerinde yapılan deneyler sonucu çift taraflı kaynak yönteminin tek taraflı kaynağa göre bariz üstünlüğü belirlenmiştir. Buna göre;

- (1) Tek taraflı kaynak yöntemi ile yapılan SKK kaynağında kaynak parçaya tüm kesit boyunca etkiyememektedir. Bu nedenle tek taraflı kaynak yönteminde kök kısmında malzemede bağlantı sağlanamadığından özellikle yüz eğme işlemine maruz kaldığında hiç mukavemet sağlayamamaktadır.
- (2) Aynı şekilde tek taraflı kaynak bu kaynamayan kök bölgesinden dolayı çekme deneylerinde de oldukça düşük dayanım sonuçları vermiştir ve ana malzeme dayanımının %50'sini dahi yakalayamamıştır.
- (3) Çift taraflı sürtünme karıştırma kaynağı ise ana malzeme dayanımının %90'ını geçen dayanımlar elde edebilmemize olanak vermektedir. Bu nedenle şu anki sanayi için çok elverişli durumdadır. "5C" kodlu parçadan elde edilen numuneleri saymazsak en kötü sonuçlar dahi ana malzeme dayanımının yaklaşık %70'i bir dayanım sağlamaktadır.
- (4) Yine çift taraflı sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan eğme deneylerinde numuneler çekme deneylerinde olduğu gibi hem kök eğme hem de yüz eğme deneylerinde, çoğu durumda kırılma göstermeden testleri tamamlamışlardır.
- (5) 5° takım açısı ve 40 mm/dak. ilerleme kaynak parametreleri, kaynaklı parçaların dayanım özelliklerinde ani bir düşüşe sebep vermektedir ve çalışmalar sırasında her halükarda çift taraflı SKK uygulanarak yapılan en kötü kaynaklı bağlantı özelliklerini vermiştir.

- (6) Isıtma ayağı (pabuç) kullanmaksızın çift pasolu kaynak ile yüksek kaynak dayanımına sahip birleştirmeler elde edilmiştir.
- (7) Son olarak 0° ve 1° takım açıları ile çift taraflı SKK uygulanan parçalar diğer parametrelerle elde edilen kaynaklı parçalara göre genelde üstünlük sağlamışlardır, bu da yüksek takım açısının malzeme üzerine yeteri baskı oluşturmada etkisiz olmasından dolayı kaynaklanmaktadır. "5C" kodlu numuneler yüksek takım açısında elde edilen düşük dayanım özelliklerine güzel örneklerdir.

İleride tek taraflı kaynak üzerine yapılacak olumlu gelişmeler sürtünme karıştırma kaynağı için önemlidir. Bu şekilde çift taraflı kaynak edilmesi zor olan ve hızlı kaynak gerektiren parçalarda yöntemin yararlılığı sağlanmış olacaktır. Şu anki haliyle ise özellikle çift taraflı kaynak yöntemi kullanıldığında, sürtünme karıştırma kaynağı polietilen malzemeler için olumlu sonuçlar veren ve gelecek vadeden bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ANIK, S., OĞUR, A. ve KARAKAYA, Ç., “Plastik Malzeme Kaynağının Memleketimizdeki Uygulamaları ve Önemi”, **Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi**, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kocaeli, 215-223, 24-25 Ekim 2003.
- [2] BENATAR, A., “Plastics and Composites Welding Handbook”, Grewell, D., A., Benatar, A., Park, J., B., **Hanser**, 91-108, 2003
- [3] ÇAM, G., “Sürtünme Karıştırma Kaynağındaki Gelişmeler”, **Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi**, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kocaeli, 47-65, 24-25 Ekim 2003.
- [4] GREWELL, D., BENATAR, A. and PARK, J., “Plastics and Composites Welding Handbook”, Grewell, D., A., Benatar, A., Park, J., B., **Hanser**, 141-187, 2003.
- [5] HUTTON, T., “Plastics and Composites Welding Handbook”, Grewell, D., A., Benatar, A., Park, J., B., **Hanser**, 73-90, 2003.
- [6] Joshi, A. M., *Welding of Plastics* [online], B.E Mechanical, A.M.I.Prod.E, <http://www.metalwebnews.com/howto/plastics/welding-plastics.pdf> (Ziyaret tarihi: 12 Şubat 2005).
- [7] KARAHASANOĞLU, C. ve ERKUL, M., “Plastiklerin Ultrasonik Kaynağı ve Kaynakta Dizayn Esasları”, **Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi**, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İstanbul, 23-35, 19-20 Ekim 2001.
- [8] NELSON, T., W., “Friction Stir Welding Of Polymeric Materials”, **United States Patent**, US Patent US 6,811,632 B2, 0-34, (2004).
- [9] ÖZSOY, M., KALUÇ, E., 2002, *Sürtünen Eleman İle Birleştirme Kaynağının Esasları* [online], 513, Mühendis ve Makine, http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2002/ekim/makale_surtuneneleman.htm, (Ziyaret Tarihi: 10 Mart 2004).
- [10] PECHA, E. ve SAVITSKI, A., “Plastics and Composites Welding Handbook”, Grewell, D., A., Benatar, A., Park, J., B., **Hanser**, 29-71, 2003.
- [11] SINMAZÇELİK, T., ARICI, A., A., Plastiklerin Kaynaklı Birleştirme Yöntemleri, **Pagev Plastik Dergisi**, 77, 142-148, 2004.
- [12] STRAND, S. R., “Effects Of Friction Stir Welding On Polymer Microstructure”, Master of Science, **Department of Mechanical Engineering**, Utah, 1-112, 2004.
- [13] <http://plastics.bayer.com/plastics/emea/en/technology/1206/index.jsp?cid=1206>, (Ziyaret Tarihi: 7 Mayıs 2005).

- [14] <http://www.ewi.org/technologies/plastics/>, (**Ziyaret Tarihi: 2 Şubat 2004**).
- [15] <http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt6/minird2/fswmech.gif> , (**Ziyaret Tarihi: 12 Mayıs 2006**).
- [16] <http://www.mts.com/en/TechnologyShowcase/FSW/index.asp> (**Ziyaret Tarihi: 2 Mayıs 2005**).
- [17] http://www.polyplastics.com/en/support/Tecin/welding/wel_index.htm (**Ziyaret Tarihi: 7 Mayıs 2005**).

ÖZGEÇMİŞ

Serkan Şelale, 1981 İstanbul doğumlu olup ilk öğrenimini Eyüp Merkez İlkokulunda ve bunu takiben orta ve lise öğrenimini İstek Vakfı Özel Kaşgarlı Mahmut Lisesinde tamamlamıştır. 1999 senesinde mezun olduğu liseden sonra yine aynı sene içerisinde Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazanmıştır. 4 senelik lisans eğitiminin ardından 2003-2004 Güz yarıyılında tekrar Kocaeli Üniversitesinde yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.