

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE  
BİRLEŞTİRİLMİŞ PVC MALZEMELERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**BELKIS ZENGİN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE EĞİTİMİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERSİN  
EYLÜL – 2012**

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE  
BİRLEŞTİRİLMİŞ PVC MALZEMELERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**BELKIS ZENGİN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE EĞİTİMİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

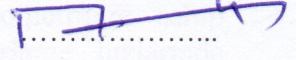
**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Uğur EŞME**

**MERSİN  
EYLÜL – 2012**

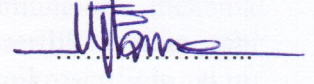
Belkıs ZENGİN tarafından Yrd. Doç. Dr. Uğur EŞME danışmanlığında hazırlanan “Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Birleştirilmiş PVC Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

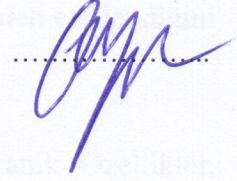
Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKCI



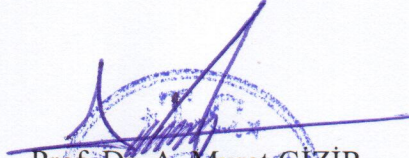
Yrd. Doç. Dr. Uğur EŞME

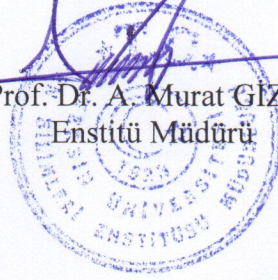


Yrd. Doç.Dr. Onur GÜVEN



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02.11.2012 tarih ve 2012-20 / 628 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
Prof. Dr. A. Murat GİZİR  
Enstitü Müdürü



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ PVC MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Belkıs ZENGİN

### ÖZ

Bu çalışmada 6 mm kalınlığındaki PVC levhalara tek taraflı sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmıştır. Kaynak işlemleri farklı geometrilere sahip karıştırıcı uçlar kullanılarak farklı takım devir sayısı ve ilerleme hızlarında yapılmıştır. Kaynaktan sonra bağlantılardan çıkarılan numuneler, mekanik özelliklerinin saptanması amacıyla çekme testine ve mikrosertlik testine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalar çekme test performansının ve mikrosertliğin takım ilerleme hızı, takım devri, uç geometrisi gibi kaynak parametrelerinden etkilendiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** PVC, Sürtünme Karıştırma Kaynağı, Mekanik Özellikler, Takım Devri, Takım İlerleme Hızı, Karıştırıcı Uç Profili

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Uğur EŞME, Mersin Üniversitesi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı

## **INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF FRICTION STIR WELDED WITH PVC MATERIAL**

**Belkis ZENGİN**

### **ABSTRACT**

In this study, 6 mm thickness of PVC sheets were welded using friction stir welding (FSW) process in order to investigate the mechanical properties. Tensile tests and microhardness tests were applied to specimens taken from welded plate. During the welding process, such variables as needle form of the stirrer tool, spindle speed, feedrate were used. Experimental studies showed that tensile test and microhardness test highly influenced by the Friction Stir Welding (FSW) parameters.

**Key Words:** PVC, Friction Stir Welding (FSW), Mechanical Properties, Spindle Speed, Feedrate, Geometry Of The Stirrer Tool

**Advisor:** Assist. Prof. Dr. Uğur EŞME, Department of Mechanical Education, University of Mersin

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında her aşamada bana yardımcı olan tez danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Uğur Eşme' ye, bilgi birikimini ve yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa Kemal Külekci' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

PVC levhaların temininde yardımcı olan Kahvecioğlu Plastik Ltd. Şti.' ne, kaynak takımlarının imalatını yapan Anadolu Torna Ltd. Şti.' ne, kaynakların yapımında emeği geçen Adana Merkez Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi öğretmenlerinden Murat Yılmaz ve Ali Avcı Bey'e, çekme deneylerinde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. İrfan Yükler' e ve Yrd. Doç. Dr. M. Kemal Bilici' ye, teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b> .....	<b>4</b>
2.1. PLASTİKLERİN TANITILMASI .....	4
2.1.1. Plastik Malzemelerin Birleştirilme Yöntemleri Ve Kaynak Prensibi .....	4
2.1.2. Termoset Plastikler .....	6
2.1.3. Termoplastikler .....	7
2.1.3.1. Vinil plastikler.....	9
2.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI .....	10
2.2.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Avantajları .....	13
2.2.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Dezavantajları .....	15
2.2.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılabilen Malzemeler .....	15
2.2.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Uygulama Alanları.....	16
2.2.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Takım Ucu Geometrileri.....	17
2.2.6. Whorl™ Serisi Pimler (Baticı Uçlar) .....	21
2.2.7. MX Triflute™ ve Flared-Triflute™ Serisi Pimler (Baticı Uçlar).....	22
2.2.8. Skew-Stir™ ve A-Skew™ Serisi Pimler (Baticı Uçlar) .....	23
2.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	25
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>34</b>
3.1. KAYNAK İŞLEMİNDE KULLANILAN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ. 34	
3.2. KAYNAK İŞLEMİNDE KULLANILAN KAYNAK TAKIMI.....	35
3.3. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ UYGULANMASI .....	36
3.4. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI .....	39
3.5. ÇEKME DENEYİ.....	41

3.6. MİKROSERTLİK TESTİ .....	41
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....</b>	<b>43</b>
4.1. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI .....	43
4.2. MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI .....	49
4.3. KAYNAK BÖLGESİNİN GÖRSEL İNCELENMESİ .....	51
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>54</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>56</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>61</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı termoplastiklerin özellikleri .....	8
Çizelge 2.2. Plastik malzemelerin kaynak yöntemlerine genel bir bakış .....	8
Çizelge 2.3. 6.35 mm kalınlığındaki PP’de alın kaynağı birleştirilmesi için polimer birleştirme tekniklerinin karşılaştırılmasında işlem gereksinimleri .....	25
Çizelge 2.4. Kaynaklı plastiklerin çekme dayanım sonuçları .....	29
Çizelge 3.1. SKK ile birleştirilen PVC malzemenin mekanik özellikleri.....	34
Çizelge 3.2. AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi .....	35
Çizelge 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan uç profilleri ve kaynak parametreleri.....	38
Çizelge 4.1. Numunelere ait ortalama çekme dayanımı sonuçları .....	43
Çizelge 4.2. Numunelere ait mikrosertlik değerleri.....	49

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Polimerlerin birleştirme yöntemlerinin sınıflandırılması .....	5
Şekil 2.2. PVC' nin bazı kullanım alanları.....	10
Şekil 2.3. Sürtünen eleman ile birleştirme kaynak yönteminin prensibi .....	11
Şekil 2.4. SKK'nda kaynak bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü .....	13
Şekil 2.5. Farklı geometrilerdeki SKK birleştirmeler.....	15
Şekil 2.6. Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı için uygun takım uçları	19
Şekil 2.7. Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı için uygun takım uçları	19
Şekil 2.8. Karıştırıcı ucun hareket yönü .....	20
Şekil 2.9. Çeşitli Whorl™ konfigürasyonları.....	21
Şekil 2.10. 75 mm kalınlığındaki AA6082T6 alaşımının kaynağında Whorl™ takımının kullanılması, kaynağın bitmiş hali ve kaynak dikişinin görüntüsü.....	21
Şekil 2.11. MX Triflute™ pimin esin kaynağı deniz kabuklarıdır. MX Triflute™ serisi pimin resim ve şematik çalışma şekli .....	22
Şekil 2.12. MX Triflute™ ve Flared-Triflute™ takım dizaynları.....	22
Şekil 2.13. Skew-Stir metodunun çalışma prensibi ve A-Skew ucu .....	23
Şekil 2.14. Whorl™ ve MX Triflute™ takımlarının omuz profilleri .....	24
Şekil 2.15. Johns'un geliştirdiği son takım tasarımı .....	26
Şekil 2.16. Alüminyum alaşımlarında kullanılan bir takım çeşidi .....	27
Şekil 2.17. Dingil omuz takım tasarımı .....	28
Şekil 2.18. Sıcak pabuç I takım tasarımı.....	28
Şekil 2.19. Sıcak pabuç II takım tasarımı .....	28
Şekil 2.20. Alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan bir omuz ve pimden oluşan takım ile yapılan SKK kaynağına ait görüntü .....	29
Şekil 2.21. Ana malzeme ve kaynaklı malzemeye ait gerilme-uzama grafiği .....	30
Şekil 2.22. Aerodinamik profilli bıçak .....	30
Şekil 2.23. TWI' nın SKK ile PVC' yi kaynaklı birleştirme çalışmaları .....	31
Şekil 3.1. Kaynak edilecek levhaların boyutları.....	34
Şekil 3.2. Farklı uç geometrilerine sahip SKK takımları.....	35
Şekil 3.3. Farklı uç geometrilerine sahip SKK takımlarının şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.4. Sürtünme karıştırma kaynağının yapıldığı CNC freze tezgahı.....	37
Şekil 3.5. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulaması .....	39
Şekil 3.6. Kaynaklı levhalardan numunelerin çıkarıldığı bölgeler .....	40
Şekil 3.7. TS 138 EN 10002-1'e uygun çekme testi numunesine ait boyutlar .....	41
Şekil 3.8. Kaynaklı numune üzerinde sertlik ölçüm noktaları .....	42
Şekil 4.1. 1600 d/dak sabit devir hızı ile yapılan kaynaklı bağlantıların ortalama çekme dayanımı değerleri.....	44
Şekil 4.2. 1750 d/dak sabit devir hızı ile yapılan kaynaklı bağlantıların ortalama çekme dayanımı değerleri.....	44
Şekil 4.3. 1600 d/dak. ve 120 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları .....	47
Şekil 4.4. 1750 d/dak. ve 120 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları .....	47

Şekil 4.5. 1600 d/dak sabit devir hızı ile yapılan kaynaklı bağlantıların % uzama değişim grafiği .....	48
Şekil 4.6. 1750 d/dak sabit devir hızı ile yapılan kaynaklı bağlantıların % uzama değişim grafiği .....	48
Şekil 4.7. En yüksek ve en düşük sertlik dağılım değerleri .....	50
Şekil 4.8. 1750 d/dak. ve 60 mm/dak. ilerleme hızında kaynaklı bağlantıda sertlik değerleri.....	51
Şekil 4.9. 1750 d/dak. ve 120 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile SKK uygulanan numunenin yüzey görüntüsü .....	52
Şekil 4.10. 1600 d/dak. ve 120 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile SKK uygulanan numunenin yüzey görüntüsü .....	52
Şekil 4.11. Kötü kaynak dikişine sahip numuneler .....	52

## SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

ABS	: Akrilonitril butadin sitren
BYU	: Brigham Young University
DEB	: Dinamik olarak etkilenen bölge
dev	: Devir
dak	: Dakika
H13	: Hot-work tool steel
ITAB	: Isı tesiri altındaki bölge
MPa	: Megapascal
mm	: Milimetre
NC	: Nümerik kontrollü
PA	: Poliamid
PC	: Polikarbon
PE	: Polietilen
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PTFE	: Politetrafloraetilen
PVC	: Polivinil klorür
SKK	: Sürtünme karıştırma kaynağı
TEB	: Termodinamik olarak etkilenen bölge
TWI	: The Welding Institute

## 1. GİRİŞ

Günümüzde endüstriyel uygulamalar için yapılan tasarımlarda kullanılan malzemelerin özellikle homojen, dayanıklı, uzun ömürlü ve ekonomik olması istenmektedir. Çalışma ortamına uygun parça, tek parça veya birkaç malzemenin birleşimi şeklinde üretilmektedir. Bu sırada aynı veya farklı malzemeleri bir araya getirerek yapılan birleştirmelerin mekanik ve metalurjik yönden yeterli düzeyde olması gerekmektedir. Kaynakla birleştirilerek üretilen bu malzemelerin kaynak bölgesi özellikleri yönünden en kritik bölge olmaktadır. Bu nedenle kaynak parametrelerinin çok hassas ve uygun seçilmesi gerekmektedir [1].

Kaynak teknolojilerindeki ve yöntemlerindeki gelişmelere bağlı olarak yakın zamana kadar birleştirilmesi zor olan malzemelerin kaynakla birleştirilmesi mümkün olmuştur. Bu geliştirilen yöntemlerden biri de sürtünme kaynağı olmuştur. Sürtünme kaynağı, parçaların ara yüzeylerinde mekanik olarak üretilen mekanik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesiyle oluşan ısıdan yararlanılarak yapılan bir katı hal kaynak tekniğidir. Kaynak süresi boyunca sürtünen yüzeyler basınç altındadır ve ısıtma fazı ya da sürtünme fazı olarak adlandırılan bu süreç yüzeylerde plastik şekil verme sıcaklığı oluşana kadar sürer [1].

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK), sürtünme kaynağı yönteminden geliştirilmiş bir başka kaynak yöntemidir. 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, daha sonra birbirlerine kaynarlar ve bu şekilde bağlantı sağlanır. Yöntemin uygulanması için çok özel bir sisteme ihtiyaç duyulmamakta ve standart bir üniversal freze tezgahı ya da nümerik kontrollü (NC) freze tezgahına yapılacak küçük değişiklikler ile tezgah SKK'yı uygulamaya hazır hale getirilebilir [2].

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 çatlak veya boşluk meydana getirmeksizin 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. V, alın ve bindirmeli alüminyum alaşım kaynakları için yeni ve başarılı bir kaynak tekniği olarak ortaya çıkmıştır [2-4].

Sürtünme karıştırma kaynağının kullanımı hızla artmaktadır. Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığı zaman maliyet çok düşük kalmaktadır. Günümüzde yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerin de (alaşımsız çelikler, paslanmaz çelikler, v.s) bu yöntemle birleştirilmesi başarılmıştır [5, 6].

Kaynak uygulandığı malzemenin cinsine göre “Metal Kaynağı” ve “Plastik Malzeme Kaynağı” olarak ikiye ayrılır. Plastik malzemelerin ilk defa üretimi 1868’ de Birleşik Devletler’de yapılmıştır. 2. Dünya Savaşından sonra plastik endüstrisinde büyük gelişmeler olmuş ve plastikler metalik malzemelerin yerine kullanılmaya başlanmıştır [7].

Günümüzde mühendisliğin her alanından tıba kadar her sahada plastikler kullanılmaktadır. Sürtünmeli yataklar, dişliler, taşıt karoserleri, uçak ve roket parçaları, pompa ve türbünlerin ana elemanları artık plastik malzemedan yapılmaktadır. Korozyona karşı yüksek dirençleri, hafif olmaları, yalıtım özellikleri, düşük maliyetleri, kolay şekil verilebilmeleri plastikleri her geçen gün daha cazip kılmaktadır [7].

Kaynak kalitesine; kaynak edilecek parçaların kaynak kabiliyeti, sıcaklık, hız, basınç gibi kaynak parametreleri, kaynak dikişinin şekli ve kaynak ağız geometrisi, malzeme yüzeyinin temizliği, kaynağın yapıldığı ortam ve operatörün

kabiliyeti etki etmektedir. İyi özelliklerde bir kaynak için bu koşullara dikkat etmek gerekir.

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde, malzemelerin karıştırılarak birleştirilmelerinin sağlanması için bir karıştırıcı takım kullanılır. Bu takım işlem esnasında ergimemeli ve aşınmamalıdır. Özel bir diş formuna sahip bu takım, birleştirme esnasında deforme olmamalı ve diş formu bozulmamalıdır. Dolayısıyla karıştırıcı takım, yüksek sıcaklıklarda iyi dinamik ve statik özelliklere sahip olmalıdır. Takımın uç tasarımı, kaynak bölgesindeki metal akış yolunu kolaylaştıracak bir şekilde yapılmalıdır. Takım helisel bir vida diş formuna sahip olup, takım profil kesiti değişik şekillerde tasarlanabilmektedir. Örneğin; oval, üç kenarlı, iki kenarlı ve dairesel helisel diş profiline sahip, karıştırıcı uçlar geliştirilmiştir. Helisel dişlerin arasındaki mesafe, diş kalınlığı ve diş açısı kaynak kalitesini etkilemektedir [8, 11].

Bu çalışmada polivinil klorür (PVC) malzemenin sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynaklanabilirliği araştırılmış takım devri, takım ilerleme hızı ve takım uç geometrisinin kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerine etkisi irdelenmiştir. Birçok yönden üstünlük sağlayan SKK özellikle alüminyum alaşımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimerik malzemeler ise günümüzde sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmeye başlanmış ve bu alanda yapılan çalışmalar günden güne artmaktadır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

### 2.1. PLASTİKLERİN TANITILMASI

Plastik malzeme karbon atomlarının meydana getirdiği makro moleküllerin zincirler şeklinde birleşmeleriyle meydana gelmiştir [7]. Bu maddeler genellikle oda sıcaklığında gaz halindedir. Plastik malzemeler yüksek moleküler bileşiklerdir; polimerler olarak da adlandırılırlar. [2, 12]. Polimerler, tekrarlanan yapısal kümelerin oluşturduğu yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Polimeri oluşturan her bir küçük molekül ise monomer olarak adlandırılır [13].

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 [2, 12].

İmalatta en yaygın kullanılan plastikler PVC ve polietilendir (PE). Bu malzemelerin kaynak yöntemleri de oldukça yaygındır. Yüksek frekans kaynağı defter kabı, cüzdan, ayakkabı imalatı, deniz yatağı ve oyuncakların imalatında oldukça büyük uygulama alanı bulmuştur. Birçok çeşidi olan plastiklerin hangi gruptan olduğunu anlamak çoğu kez 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 [2, 12].

#### 2.1.1. Plastik Malzemelerin Birleştirilme Yöntemleri Ve Kaynak Prensibi

Plastiklerin çentiğe karşı hassasiyetleri, perçin veya cıvata ile birleştirilmelerini zorlaştırır. Plastik folyelerin dikilmeleri halinde bile, dikişlerdeki oyuk yerleri, daha sonraki çatlakların başlangıçlarını oluşturabilir. Bu nedenle birleştirme yöntemi olarak yapıştırma ve kaynak ön plana çıkmıştır. Kaynak



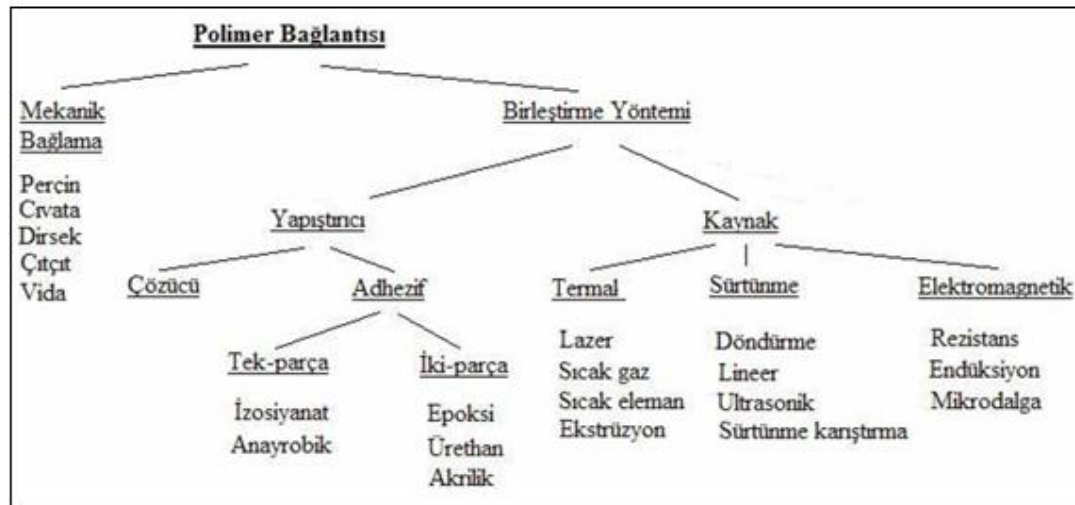
sırasında plastik malzemenin yumuşaması ve plastik bölgeden tersinir olarak tekrar katılaşması gerekir. Bundan dolayı sadece termoplastikler kaynak kabiliyetine sahiptir [12].

Kaynak yerine verilen ısıya ek olarak bir basıncın da uygulanması gerekir. Tüm bağlantı şekilleri kullanılabilir ve pek çok pozisyonda başarıyla kaynak edilmeleri mümkündür. Termoplastikler yumuşatılmış halde basınç yardımıyla kaynak edilebilirler, yani birleşen parçaların zincir molekülleri, yumak halinde birleşerek mekanik bir bağ oluştururlar. Kural olarak sadece aynı türden plastikler kaynak edilebilirler. Plastik malzemelerin kaynağı için gereken ısı, ısıtılmış gaz, sıkıştırılmış hava, koruyucu gaz ya da elektrik direnci ile sağlanır [12].

Plastiklerin kaynağının iyi olması için 4 faktör gerekir:

1. Doğru kaynak sıcaklığı
2. Kaynak çubuğuna doğru basınç
3. Kaynak çubuğuna doğru açı
4. Doğru kaynak hızı [12]

Polimer parçalarını birleştirme işlemi mekanik bağlamalı ve birleştirmeli yöntem olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Birleştirme de kendi içinde yapıştırıcı ve kaynak olarak ikiye ayrılır [2]. Şekil 2.1 bunu ayrıntılı olarak göstermektedir [2, 15].



Şekil 2.1. Polimerlerin birleştirme yöntemlerinin sınıflandırılması [2, 15]

Mekanik bağlantılar, adhesifler ve kaynak işlemlerinin hepsi mühendislik plastiklerinin aralarında bağlantı oluşumuna yönelik işlem görürler. Mekanik bağlantılar iki bileşeni hızlı bir şekilde birleştirirler, fakat bunlar boşluklu bağlantılardır ve sıkı bağlantı sağlamazlar, bu nedenle bölgesel gerilimler bunların polimerik malzemede mukavemetlerini azaltıcı etkilere neden olurlar [2].

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, yapıştırıcı birleştirmeler olarak bir ya da iki parçalı adhesifleri ve çözücülerini örnek olarak verebiliriz. Adhesif birleştirmeler iyi özellikler ve tamamen kusursuz birleşme sağlarlar, fakat bu birleştirmeyi sağlamak zordur ve onarımları uzun sürer. Bunun yanı sıra adhesif birleştirmelerde hazırlık işlemleri ve yüzey temizliğine önem verilmesi gerekmektedir [2].

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 [2, 14].

#### 2.1.2. Termoset Plastikler

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 [2, 12]. Bu yüzden kaynak edilemezler. Termoset plastikler mekanik birleştirme metodlarıyla veya yapıştırma teknikleriyle birleştirilebilirler [7]. Bu grubun belli başlı plastikleri fenolikler, amenerler, poliesterler, epoksiler ve alkidlerdir [2, 12].

### 2.1.3. Termoplastikler

Termoplastikler; ısı ve basınç uygulandığında plastik özelliklerini kaybetmeyip koruyan plastikler olup, ısı ve basınç uygulayarak, defalarca şekillendirilebilirler [13]. Isı verilisinin ne süreyle tekrar edildiği önemli değildir. Isıtma ve soğutma işlemini 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 [2, 12].

PVC, PE, polistiren (PS), poliamid (PA), polikarbon (PC), termoplastik malzemeler kolaylıkla kaynak edilebilirler ve sıcakta kalıplanabilirler. Bunlar yarı mamul olarak; levha, çubuk, boru, tüp ve çeşitli profillerde üretilmektedirler. Bu yarı mamullerin imalatındaki son işlemler bükme, ekstrüzyon ve kaynaktır [7].

Birçok termoplastik kesin bir ergime noktası göstermez. Bu plastikler ısıtıldıkları zaman kademeli olarak yüksek elastiki durumdan viskoz akışkan duruma geçerler. Kaynak, genellikle plastik malzemenin yumuşama noktasının üstünde, fakat bozulma noktasının altında dar bir sıcaklık aralığında meydana gelir [7].

Çok fazla sıcaklık veya yüksek sıcaklıkta uzun süre bekleme, malzemenin bozulmasına sebep olabilir. Kaynak sıcaklığının daha düşük olması durumunda ise, uygun kaliteli bir kaynak temin edilemeyecektir. Çünkü bu durumda moleküller yeterince hareket etme imkânı bulamayacaktır. Keza, bu durumda kısmen elastik bir deformasyon meydana gelecek ve kaynağın mukavemeti yetersiz olacaktır [7].

Kaynak genellikle viskoz akışkan durumda basınç altında meydana gelir. Plastikler ısıyı iyi iletmediklerinden dolayı viskoz akıcılık bazı kaynak teknikleriyle sadece yüzeylerde elde edilebilir. Kesin bir ergime noktasından ziyade, daha geniş bir yumuşama aralığına sahip plastikler, en iyi kaynaklanabilen plastiklerdir [7].

Çizelge 2.1' de bazı termoplastiklerin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı termoplastiklerin özellikleri [15]

Malzeme	Özgül ağırlık Mg/m <sup>3</sup>	Çekme mukavemeti Mpa	Elastisite modülü Mpa	Sıcaklık sınırı °C
Polietilen (düşük özgül ağırlık)	0.92-0.93	7-17	105-280	80
Polietilen (yüksek özgül ağırlık)	0.95-0.96	20-37	420-1260	100
Polivinilklorür (PVC)	1.50-1.58	40-60	2800-4200	110
Polipropilen (PP)	0.90-0.91	50-70	1120-1500	105
Polistiren (PS)	1.08-1.10	35-68	2660-3150	85
Akrilonitril butadin sitren(ABS)	1.05-1.07	42-50	-	75
Polimetilmetakrilat (PMMA)	1.11-1.20	50-90	2450-3150	125
Politetrafloretillen (PTFE)	2.1-2.3	17-28	420-560	120
Naylon 6.6	1.06-1.15	60-100	2000-3500	82
Selülozikler	1.2-1.3	20-50	-	60

Çizelge 2.2. Plastik malzemelerin kaynak yöntemlerine genel bir bakış [2, 12]

Kaynak Yöntemi	Yumuşatma İşlemi	En Çok Kullanılan Dikis 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  
\* Kısaltmalar:  
PVC: Polivinilklorür, PE: Polietilen, PA: Poliamid, PMMA: Polimetilmetakrilat, PS: Polistirol, PP: Polipropilen, PTFE: Politetrafloretillen

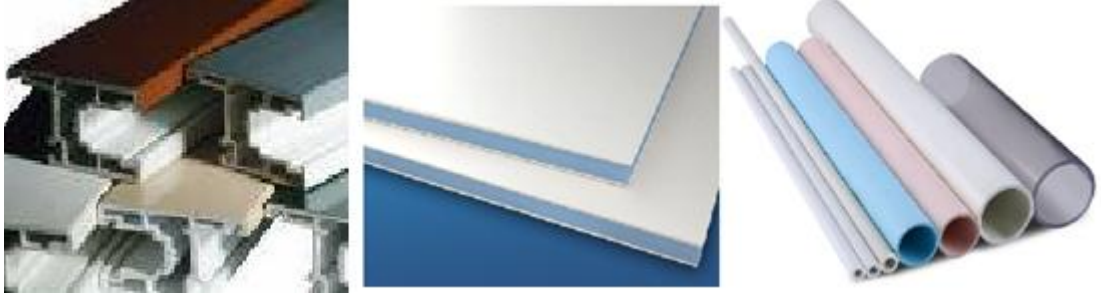
Çizelge 2.2’de plastik malzemelerin kaynağında genel olarak kullanılan kaynak yöntemleri ve bu yöntemlerin özellikleri kısaca belirtilmiştir.

#### 2.1.3.1. Vinil plastikler

PVC, yaygın kullanılan bir plastiktir. Saf PVC işlendiğinde kırılğan olan, sert PVC elde edilir. Sert PVC ısıtıldığında, 80 °C’de yumuşamaya başlar. Mekanik kuvvetlere karşı koymak için üst sıcaklığı 50 °C’dir. 170-180 °C’ye ısıtıldığında bozunur ve HCl gazı çıkarır. PVC ısıtıldığında, demirden yedi kat daha çok genleşir. Isı ve ışık tesiriyle bozunmaya başlar, onun için ham PVC koruyucu maddelerle karıştırılarak kullanılır [7].

Yumuşak PVC, sert PVC’ye yumuşatıcılar ilave edilerek elde edilir. Yumuşak PVC’nin elastikiyeti, lastikle mukayese edilebilir. Bu da 180 °C’nin üzerinde bozunur. Yumuşak PVC kötü bir ısı ve elektrik iletkenidir. Yanmama özelliği vardır. Su aşınmasına, asitlere, alkalilere, oksitlenmeye ve dış etkenlere karşı dayanıklıdır. Yumuşaktan serte, değişen mat ve şeffaf olarak tüm renkleri vardır. Tek başına kullanılmaz. PVC katkı maddeleri olarak; stabilizanlar, plastikleştiriciler, yağlar, darbe mukavemetini arttırıcılar, işleme yardımcıları, dolgu maddeleri ve boyalar sayılabilir [7].

PVC genellikle inşaat sektöründe kullanılır. Pencere çerçevesi, oluklar, kablo izolasyonu, seralar, tavan kaplaması, ses ve video teyp kasetleri, plaklar, pencere sızdırmazlık malzemeleri, oksijen çadırları, kan ve diyaliz torbaları, serum hortumları, su geçirmez yağmurluk, can yelekleri, ayakkabı, botlar, önlük, bebek giysileri, oyuncaklar, spor malzemeleri v.b. PVC’nin kullanım alanları olarak gösterilebilir [7]. Sert PVC daha çok boru, pencere profili, duvar kaplamaları vb. alanlarda kullanılır. Bunlar hava şartlarına dayanıklı, mukavemeti yüksek, sert ve kendi kendine yanmazlık özelliklerine sahiptirler. Yumuşak PVC türleri ise daha çok kablo sanayi, yer döşemeleri, oyuncak ve eldiven yapımında kullanılmaktadır [55].



Şekil 2.2. PVC' nin bazı kullanım alanları

## 2.2. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI (SKK)

Alüminyum ve alaşımlarının ergitme kaynak teknikleri ile kaynatılması hem problemlili hem de zordur. Bu problemlerin çözümü için yeni birleştirme tekniklerinin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, alüminyum alaşımlarının problemsiz ve kolay birleştirilmesi amacıyla geliştirilmiş ve endüstrideki uygulamalarına başlanmış bir birleştirme tekniğidir [8-10].

Bu metot ile yapılan birleştirmelerde, mükemmel bir birleştirme mukavemeti elde etmek mümkün olduğu gibi, oldukça düşük bir malzeme çarpılması söz konusudur [8, 17-18].

SKK yöntemi alın altına sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen kademeli bir karıştırıcı ucun daldırılarak kaynak yapılmak istenen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesinden ibarettir [8, 19].

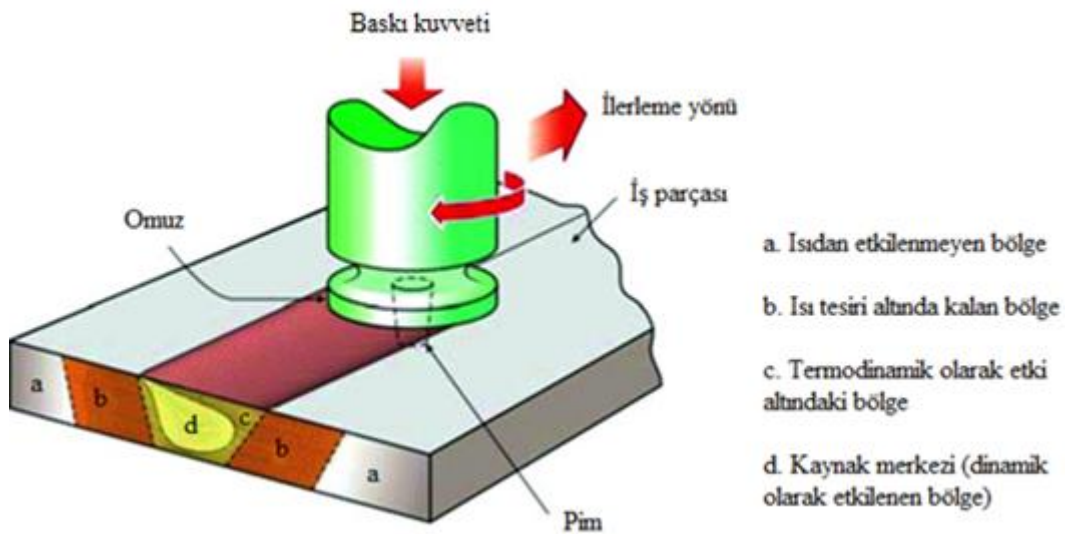
Bir sürtünme karıştırma kaynağını yapmak için birleştirilecek olan parçaların, kaynak esnasında yana, yukarıya ve ileriye doğru hareket etmelerini önlemek için, destek parçasının üzerine sıkıca bağlanması ve sabitlenmesi gerekir. Çünkü birleştirme esnasında iş parçaları yukarı doğru kalkmaya, yana doğru kaymaya ve ileriye doğru itilmeye çalışılacaktır. Bu sabitleme işlemi çeşitli hidrolik baskı pabuçları ile yapılabilir [8, 19].

Özel olarak imal edilmiş silindirik kademeli bir karıştırıcı takımın dönmekte olan ucu (pim) yavaşça birleşme hattı üzerine bastırılır. Pimin, kaynak yapılmak

istenilen yüzeye temas ettiği zaman meydana gelen sürtünme, temas edilen noktayı aniden ısıtır. Böylece malzemenin mekanik direncini azaltır. Bu işlemde dönen takımın meydana getirdiği sürtünme ısısı, takımın ucu etrafında ve omzu altında yumuşamış bir metal tabakası oluşturur. Böylece, yumuşamış metal takımın ileri hareket etmesi halinde pimin arkasından dönerek sürüklenir [8, 19].

Sonuç olarak karıştırıcı uç birleşme hattı içine girdikçe oluşan sürtünme birleşme yüzeylerini ısıtarak metali yumuşak hale çevirmekte, takiben birleşme hattını ezerek oksit filmini kırmakta, yumuşak metali karıştırarak birbirine birleştirmekte ve ileriye hareketi ile geride kalan birleşim soğuyarak katı hal kaynağı oluşturmaktadır. Tüm bunlar alaşımın ergime noktasının altında bir sıcaklıkta meydana gelir [8, 9, 11].

Geniş silindirik omuzlu, delme yapabilecek şekilde bir pim, freze tezgahı ekipmanları ve arka tutucular kullanılarak yüksek devirde döndürülerek; kaynak yapılacak parçalara daldırılır ve kaynak yapılacak uzunluk boyunca ilerletilir. Pim, malzemelere temas ettiğinde sürtünme kaynağındaki duruma benzer bir durum oluşarak temas noktasında ısı, sürtünmenin de etkisiyle hızla artar ve malzemelerin plastik değişimine neden olur. Bu değişim malzemelerin akışını sağlar [20].



Şekil 2.3. Sürtünen eleman ile birleştirme kaynak yönteminin prensibi [20, 23, 24]

SKK'nın uygulaması Şekil 2.3' te gösterilmiştir. Birleştirilecek parçalar, alın altına aralarında boşluk kalmayacak şekilde sabitlenir. Yöntemin uygulama aşaması iki farklı şekilde olabilir. Parçaların hareketi söz konusu olabileceği gibi, takımın dönme ve ilerleme hareketi de mümkün olmaktadır [20, 21].

Pimden omuza kadar olan bölgedeki kombine sürtünme ısı, gömülmüş olan takımın çevresi ile malzeme üst yüzeyi ve omuzun temas ettiği yüzeyde yumuşamış bir metal oluşturur; pim etrafındaki malzeme sürtünmeyle ısınır yumuşayarak pimin ucundan arka yüzeye doğru karıştırılır. Karıştırılan malzeme, soğuyarak katılaşır ve birleşme olayı gerçekleşir [20, 22].

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi SKK'nda oluşan simetrik olmayan kaynak dikişinin kesitindeki tipik bir içyapı şematik olarak gösterilmiştir. Kaynak bölgesi, farklı mikro yapıların oluştuğu üç belirgin bölgeden oluşmaktadır [20, 25].

Bu bölgeler dinamik olarak etkilenen bölge (DEB), termodinamik olarak etkilenen bölge (TEB) ve ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB)'nin şekli kaynak parametrelerine, birleştirilen alaşımların mekanik özelliğine ve kullanılan karıştırıcı takım uç şekline bağlı olarak değişmektedir [8, 26].

Isıdan etkilenmeyen ana metal; Kaynak bölgesinden yeterince uzakta olup, karıştırma esnasında oluşan ısıdan etkilenmez. Bu bölgede plastik şekil değiştirme olmaz. Malzemenin mikro yapı özelliklerinin değişmediği ana metal bölgesidir [8, 11].

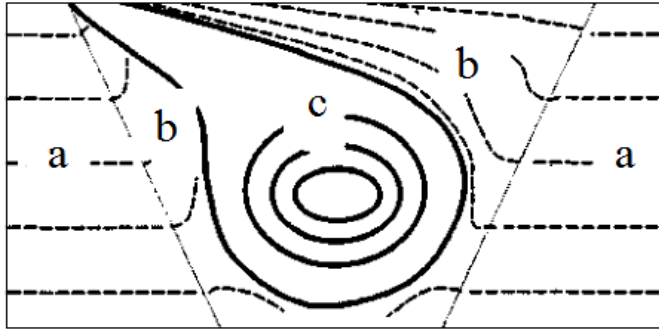
ITAB; Kaynak metaline daha yakın, ısıdan etkilenmeyen ana metale komşu olan bölgedir. Bu bölgedeki malzeme karıştırma esnasında meydana gelen ısıdan etkilenir ve malzemenin mikro yapı özellikleri değişir. Bu bölgede plastik şekil değiştirme olmaz. Karıştırma esnasında oluşan ısı değerinin yüksek olması nedeniyle, ergitme kaynak teknikleri ile karşılaştırıldığında ITAB daha dardır [8, 11].

TEB; Hem ısının etkilediği hem de plastik şekil değiştirmenin olduğu ITAB'a komşu olan bölgedir. Bu bölgede karıştırmanın etkisiyle hem plastik



deformasyon meydana gelmekte hem de oluşan ısının etkisiyle kısmi ince taneli bir yapı oluşmaktadır. Karıştırma tekniği ile birleştirilen alüminyum malzemede termodinamik etkilenen bölgesinde yeniden kristalleşme gözükmez [8, 11].

DEB; Kaynak dikişinin merkezinde oluşan ve insan midesine benzer bir şekilde bulunan bölgedir. Aşırı plastik şekil değiştirmenin ve oluşan ısı ile mikro yapı özelliklerinin değiştiği bölgedir. Metal yığına benzediği için, kaynak külçesi adı verilmiştir. Bu bölge alüminyum birleştirmelerinde çok net bir şekilde belli olur. Diğer metallerde çok net değildir. Alüminyum alaşımlarında yeniden kristalleşen bölgedir. Genellikle yapısı soğanın iç yapısına benzer. Çok dar aralıklarla birbirini takip eden halkaların dizilişi şeklinde bir kesite sahiptir [8, 11]. Bu şekil kaynak edilen malzeme türüne, kaynak işlem parametrelerine bağlıdır [20, 27]. Şekil 2.4' te SKK yapılmış alüminyum alaşımının kaynak bölgesinin kesit görünüşü bu bölgede oluşan tipik iç yapıyı göstermektedir [3, 33-37].



Şekil 2.4. SKK'nda kaynak bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü a: Isı tesiri altında kalan bölge, b: Termodinamik olarak etki altındaki bölge, c: Dinamik olarak etkilenen bölge [33]

### 2.2.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Avantajları

Bir katı hal birleştirme işlemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak konstrüksiyonu güç olan malzemelerin birleştirme işlemleri için kısa kaynak süresi,

minimum yüzey hazırlama ve otomasyon kolaylığı gibi kendine özgü avantajlarından dolayı uygun bir alternatif kaynak yöntemidir [5, 28, 29].

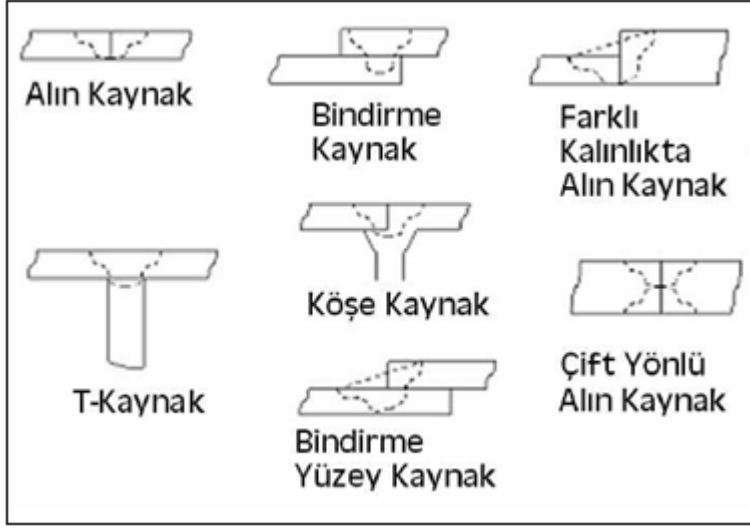
Yöntemin uygulanması sırasında duman ve ışın oluşmaması, koruyucu gaz, toz ve ilave tele gereksinim duyulmaması, kaynak ağzı hazırlığı gerekmemesi, tüm pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi olanağının bulunması ve otomasyona da yatkınlığı gibi daha birçok üstünlüğün bulunması, yöntemin uygulama alanlarını daha da genişletmektedir [5, 28, 30-33].

İş kazalarına yol açabilecek ark oluşumu, radyasyon, toksik gaz çıkışı veya insan gözüne zararlı lazer ışını gibi olumsuz hususlar bu yöntemde mevcut olmadığı için temiz ve çevreci bir yöntemdir. Ayrıca, toplam ısı girdisinin düşük olduğu bir katı hal kaynak yöntemi olduğundan ergitme kaynaklarında karşılaşılan çatlak ve porozite oluşumu söz konusu değildir. Al-alışımalarının tüm kaynak yöntemlerinde karşılaşılan kaynak bölgesindeki mukavemet kaybı bu yöntemde düşük ısı girdisinden dolayı daha düşük seviyelerdedir [3, 34-37].

Sürtünme kaynağı metodu, yeterli mukavemette birleştirmelerin yapılabilmesi, kaynak için ihtiyaç duyulan enerjinin küçük olması, kaynak prosesinin kısa olması ve işlemin tam otomatik olarak yapılabilmesi ve yeni malzemelerin mevcut kaynak yöntemleriyle kaynak edilmesi sırasında meydana gelen sorunların üstesinden gelinebilmesi gibi avantajlarından dolayı, üzerinde sürekli olarak araştırmalar yapılan bir alan olmuştur [38].

Sürtünme karıştırma kaynağı, sürtünme kaynağının bir türevidir olup kaynak sonrası herhangi bir boşluk, çatlak veya deformasyon meydana gelmeksizin güvenli bir kaynak yapmanın çok zor olduğu birçok malzemenin birleştirilmesini kolaylaştırmıştır. Birçok sanayi kuruluşu bu tekniği üretimlerinde kullanmak için pilot çalışmalar yürütmektedir [8, 9].

Bir katı hal kaynağı olan SKK yöntemi yerçekiminden etkilenmediği için bütün pozisyonlarda uygulanabilmektedir. SKK yöntemi ile birleştirilmiş farklı geometrilerdeki birleştirmeler Şekil 2.5' te gösterilmiştir [28].



Şekil 2.5. Farklı geometrilerdeki SKK birleştirmeler [28]

### 2.2.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Dezavantajları

Sürtünme karıştırma kaynağının üstünlükleri olduğu gibi bir takım dezavantajları da vardır [28, 39].

Sürtünme karıştırma kaynağının bazı dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- Düşük ergime sıcaklığına sahip malzemelerin kaynağına uygundur.
- Kaynak hızı bazı ergitme kaynak yöntemlerine göre daha yavaştır.
- Kaynaklanacak parçaların çok sıkı sabitlenmesi gereklidir.
- Birleştirilecek parçaların arkadan desteklenmeye ihtiyacı vardır.
- Tek parçalı takım kullanıldığında kaynak sonunda delik oluşmaktadır.
- Kalın parçaların kaynaklanmasında güçlü tezgâhlara ihtiyaç duyulur [28, 39].

### 2.2.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılabilen Malzemeler

Sürtünme karıştırma kaynağı ile birbirine kaynak edilebilen malzemeler şunlardır:

- Bakır, çelik ve alüminyum ve alaşımlarıyla,

- Düşük karbonlu çelikler, alaşımlı çeliklerle, paslanmaz çeliklerle, alüminyum ve alaşımlarıyla,
- Pirinç, çelik ve alüminyum ve alaşımlarıyla,
- Bronz, alüminyum ve alaşımları,
- Titanyum ve titanyum alaşımları, çelikle,
- Titanyum ve titanyum alaşımları, alüminyum ve alaşımlarıyla,
- Paslanmaz çelik, zirkonyum gibi metallerle kaynak yapılabilir.

Belirtilen bu metal ve alaşımların özellikleri birbirinden farklı olmasına rağmen, sürtünme karıştırma kaynağı ile kolaylıkla birleştirme yapılabilmektedir [9].

#### 2.2.4.Sürtünme Karıştırma Kaynağı Uygulama Alanları

SKK yöntemi birçok üstünlüğü bakımından geleneksel kaynak yöntemlerinin uygulanması sonucu yeterli verimin alınmadığı endüstriyel alanlarda başarı ile uygulanmaktadır [28].

SKK yönteminin uygulandığı alanları şu şekilde sıralayabiliriz:

Gemi ve denizcilik endüstrisinde; gemilerin yan yüzeylerde, ana gövde ve zeminde, feribotların alüminyum güverte imalatında, deniz ve taşımacılık yapılarında, helikopter iniş platformlarında kullanılan bir yöntemdir [8, 11, 16, 28].

Havacılık ve uzay endüstrisinde; uçak gövdesi, kanatlar, uzay mekiklerinde kullanılan yakıt tankı imalatında, askeri ve bilimsel roketlerin imalatında uygulanan bir yöntemdir [8, 11, 16, 28].

Kara taşımacılığında; otomobil gövde parçalarının imalatında, motor ve şasi kızaklarının imalatında, tekerlek çerçevelerinin imalatında, hidroformlanmış boruların birleştirmelerinde uygulanmaktadır [8, 11, 16, 28].

Yapı endüstrisinde; alüminyum köprüler, alüminyum bina kaplamaları, pencere çerçeveleri, alüminyum boru hatları, alüminyum reaktörler ve elektronik endüstrisi SKK yönteminin uygulandığı alanlardandır [28].

### 2.2.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Takım Ucu Geometrileri

Sürtünme karıştırma kaynağının başarılı bir şekilde gerçekleşmesinde kaynak takımının önemi büyüktür. Takım şekli ve boyutu, malzeme akışı, kaynak bölgesindeki ısı oluşumu, gibi kaynak bölgesini şekillendiren özellikleri etkilemektedir. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ilk geliştirildiği yıllarda kullanılan batıcı uçlar yüzeyine helisel diş açılmış uzunluğu kaynak edilecek levha kalınlığından biraz kısa silindirik takımlardı. Son yıllarda sürtünme sonucu açığa çıkan ısı ile akıcı kıvama gelen malzemenin kaynak bölgesinde kalması için takımlar geliştirilmiştir [28, 39, 40].

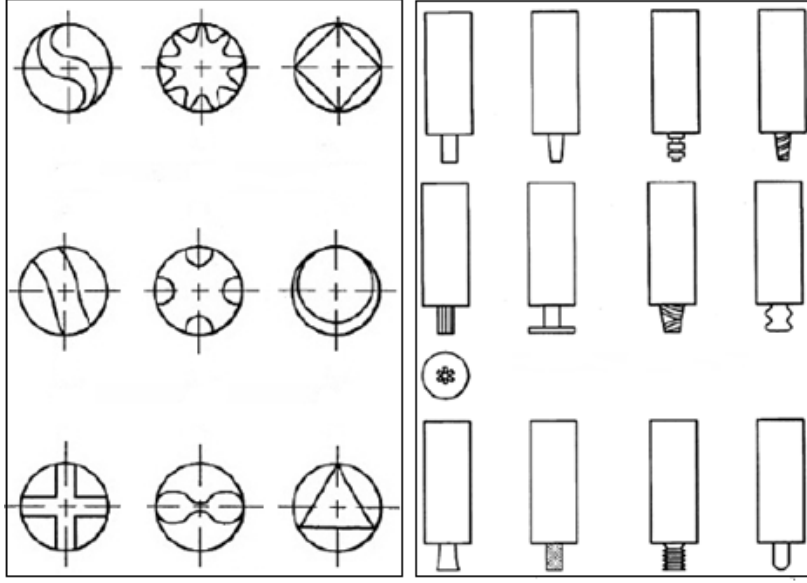
Sürtünme karıştırma kaynağında, özellikle kalın levhaların birleştirme işlemlerinde kaynak bölgesinde boşluk oluşumunu gidermek ve işlem verimliliğini yükseltmek amacıyla, ince levhalar için geliştirilmiş olan geleneksel silindirik pim yerine hacminin yaklaşık %60- 70'i boşaltılmış olan konik pim kullanılmaktadır. Bu sayede kaynak esnasında gerekli kuvvet de azaltılmış olur. Batıcı ucun geometrisi ve ebadı kaynaklanacak levhaların kalınlığına ve kaynağın türüne bağlıdır [28, 39].

Sürtünme karıştırma kaynağına ait Nelson'un [41] 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, termoplastiği uygun şekilde birleştirebilecek yeterli enerjiyi üretememektedir. 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 [41] patent çalışmalarında, burada değineceğimiz araştırmalarına göre bu problemlerin, SKK işlemine yapılacak iki değişiklikle çözülebildiği bulunmuştur; (1) omuz yüzeyini sabit tutmanın, ya da en azından pimin veya dönen elemanın bağımsız hareket etmesinin sağlanması ve (2) takımın ürettiği enerjiden bağımsız olarak ayrıca sistem tarafından enerji üretilmesi [2, 41].

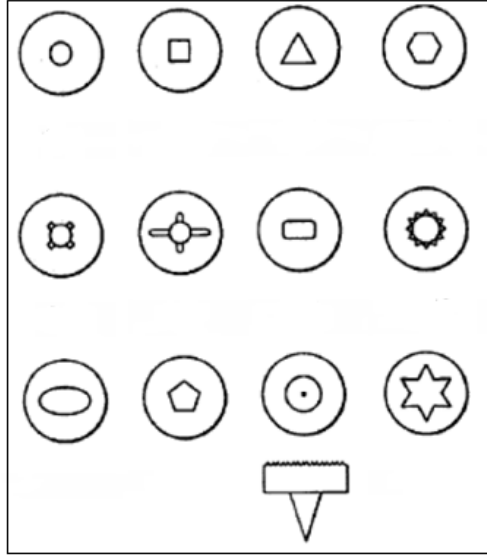
(1)'e göre ele alındığında, omuz yüzeyini sabit tutmanın, yada en azından pimin veya dönen elemanın bağımsız hareket etmesinin sağlanması gerekmektedir. Yani yukarıda anlatıldığı gibi yüzey pim ile birlikte döndüğünde, malzemeyi kaynak bölgesinde kalacak şekilde zorlamamakta ve termoplastik malzeme üzerinden malzeme kaybını engelleyememektedir. Bu nedenle malzemenin üzerinde bulunduğu yüzey, pim ile 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, 41].

(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 [2, 41].

Nelson'un [41] 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, oval, çokgen, bıçak, "s" şeklinde ya da birçok kombinasyonda kesit geometrisine sahip takımlar kullanılabilir. Kesit ve yan görünüşleriyle buna uygun dairesel takım uçları şekil 2.6 ve şekil 2.7'de gösterilmektedir [2, 41].



Şekil 2.6. Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı için uygun takım uçları [2,40]

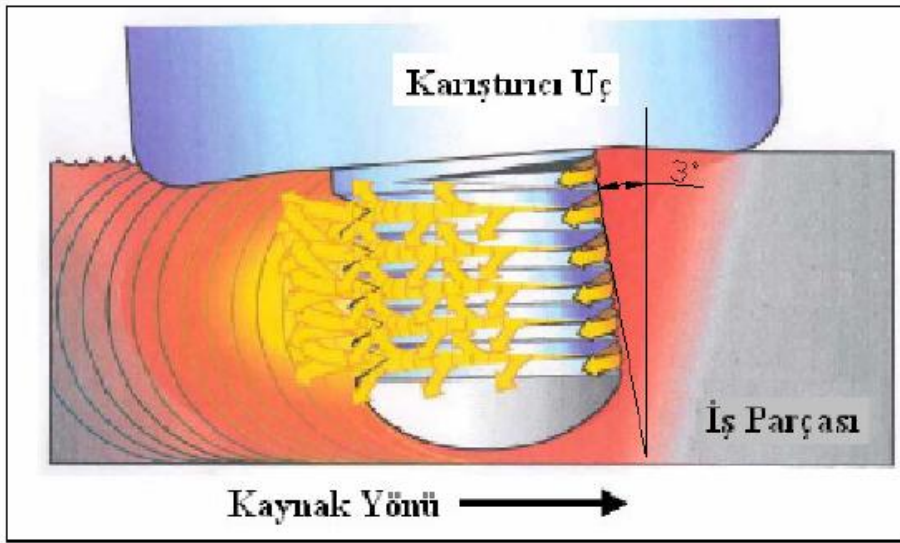


Şekil 2.7. Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı için uygun takım uçları [2, 40]

Ayrıca takımın geometrisinin yan yüzeyleri de kesici ya da 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 [41] verdiği örneğe göre, vida dişi açılmış olan bir takım uygun dönüş yönünde yumuşayan malzemeyi aşağıya doğru iter ve bu şekilde fazla malzeme kaybı önlenir. [2, 41].

Şekil 2.8'de görüldüğü gibi kaynak külçe oluşumunu kolaylaştırmak ve takımın iş parçası yüzeyinden talaş kaldırmasını engellemek amacıyla ekseninin dikey yönde birkaç derece ( $2 - 3^\circ$ ) eğik olmasına dikkat etmek gerekir [8, 28, 42].



Şekil 2.8. Karıştırıcı ucun hareket yönü [15, 42]

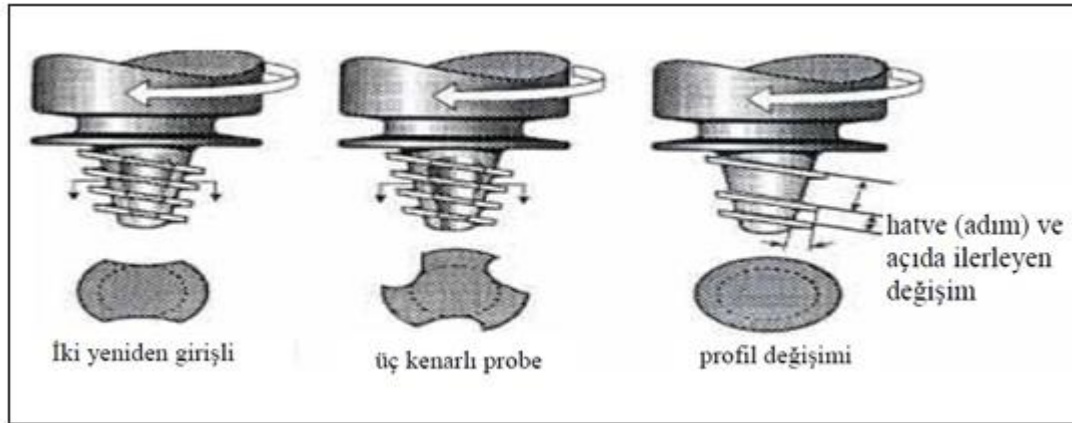
SKK'nda birleştirme kalitesini etkileyen en önemli faktör, karıştırıcı takımın tasarım profili ve diş formudur. Bu faktörlere bağlı olarak birleştirme kalitesi değişmektedir. Bu nedenle en uygun ve ideal sonuçlar verecek özelliklere sahip bir karıştırıcı takım ucunu seçmek oldukça önemlidir [8, 11].

Silindirik uç yerine üzerine spiral diş açılmış konik bir uç kullanılabileceği düşünülerek WhorlTM, TrifluteTM ve Skew-StirTM serisi özel profilli sürtünme karıştırma kaynağı takımları dizayn edilmiş ve geliştirilmiştir [3, 39, 44].



## 2.2.6. Whorl™ Serisi Pimler

Denemeler sonunda şekil 2.9'da görüldüğü gibi değişik Whorl™ konfigürasyonları belirlenmiştir. Kesik koni şeklindeki Whorl™ takım plastik akışa uğrayan malzemeyi aşağıya doğru yönlendirmek için helisel sırtlı profillere sahiptir [3, 44, 45].



Şekil 2.9. Çeşitli Whorl™ konfigürasyonları [3, 44, 45]



Şekil 2.10. 75 mm kalınlığındaki AA6082T6 alaşımının kaynağında Whorl™ takımının kullanılması, kaynağın bitmiş hali ve kaynak dikişinin görüntüsü [3, 44, 45]

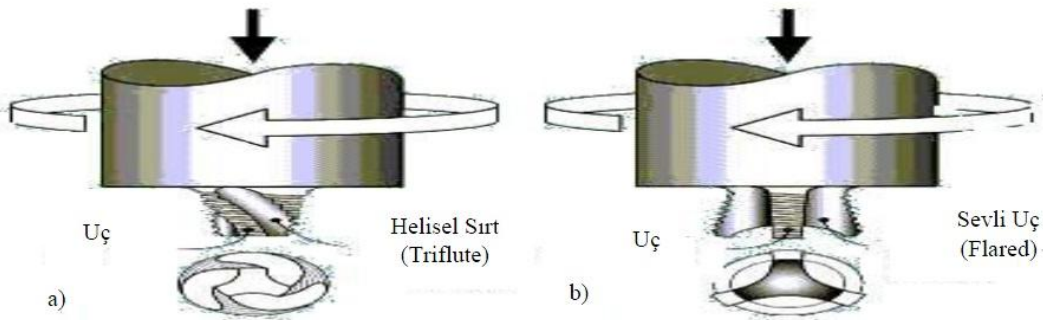
Şekil 2.10' da 75 mm kalınlığındaki AA 6082-T6 alaşımının içine geçmiş Whorl™ serisi takım görülmektedir ve buradan da TEB ile takım profilinin ilişkisi açıkça görülmektedir. Takım etrafındaki malzemenin daha etkili akması için her bir helisel sırt arasındaki uzaklığın sırt kalınlığından daha büyük olması gerekir. Takım ucunun helisel sırtlarla paralel olması kritik bir husus değildir [3, 44, 46].

### 2.2.7. MX Triflute™ ve Flared-Triflute™ Serisi Pimler

Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de görülen Multi-Helix takımların (MX Triflute™) yivlerinin çevresinde helisel sırtların bulunması takımın hacmini düşürmekle beraber malzeme akışına yardım eder ve yüzeydeki oksitleri dağıtır. Alın kaynağında kullanılan, Whorl™ ve Triflute™ uçları kesik piramit şeklindedir ve yüzeylerinde aşağıya doğru delme etkisini kolaylaştırmak maksadıyla kaba işlenmiş helisel sırtlar ve oluklar bulunmaktadır. Bu girintili köşe şekilleri ucun hacmini azaltır ve statik hacim oranı için uygun olan karıştırma hacmini sağlar. Daha iyi bir hacim oranı ile malzemenin akış yolu daha iyi olur ve böylece uç daha etkili çalışır. Ayrıca özellikle ucun etrafındaki kaba işlenmiş helisel sırtlarda bulunan girintili köşe özellikleri kaynak bölgesindeki yüzey oksitlerinin parçalanmasına ve dağıtılmasına yardımcı olur [3, 44].



Şekil 2.11. MX Triflute™ pimin esin kaynağı deniz kabuklarıdır. MX Triflute™ serisi pimin resim ve şematik çalışma şekli [3, 44, 45, 47]



Şekil 2.12. MX Triflute™ ve Flared-Triflute™ takım dizaynları [3, 44, 48]

## 2.2.8. Skew-Stir™ ve A-Skew™ Serisi Pimler

Sürtünme karıştırma kaynağı uygulaması için geliştirilen Skew-Stir™ serisi pim, pim ekseninin iş mili eksenine göre biraz eğim verilmesi ile diğer pimlerden ayrılır. Skew-Stir™ serisi pimler, dinamik süpürme hacmi ile statik hacim arasındaki oranı pimin eğik hareketi ile artırabilmektedirler. Bu oran, boşluk oluşumunu gidermede veya azaltmada ve işlem verimliliğini yükseltmede önemli bir faktördür [3, 44].

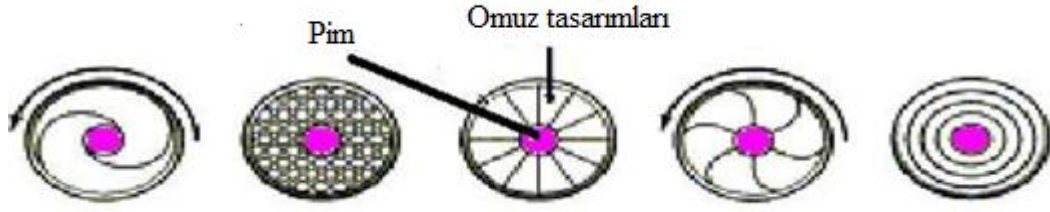
Şekil 2.13’de görüleceği üzere, omuz yüzeyi, eğik takım eksenine göre belirli bir eğim oluşturmaktadır. Omuz yüzeyi ise, plakanın üst kısmına bağlı olarak sabit durmaktadır. Omuz, iş parçası üzerinde iken dairesel hareket yapar [3, 44].

Takımın odak noktası, iş parçası yüzeyine veya iş parçasının herhangi bir noktası üzerine geldiğinde, omuzun temas yüzeyi eksen dışı bir yörüngede hareket eder. Ayrıca, omuzun bu yörünge hareketi, omuzun eğrilik açısına ve odak noktası ile levhanın üst yüzeyi arasındaki mesafeye bağlıdır. Eğrilik açısı ve aradaki mesafe arttıkça, omuzun hareket sahası da artacaktır [3, 44].



Şekil 2.13. Skew-Stir metodunun çalışma prensibi ve A-Skew ucu [3, 44]

Şekil 2.14’te görüldüğü gibi yeni jenerasyon Whorl™ ve MX Triflute™ takımlarının omuzları da özel profillere sahiptir. Omuz profilleri, omuz ile iş parçası arasında daha iyi bir temas yüzeyi sağlamak amacıyla kullanılır. Sürtünme teması ile akan malzemenin kaynak bölgesinden ayrılması önlenmektedir [3, 44].



Şekil 2.14. Whorl™ ve MX Triflute™ takımlarının omuz profilleri [3, 44, 45].

Omuzun yüzeyine açılan yivler (kanallar), kaynak sırasında dışarı çıkmaya çalışan malzemeyi tutar. Bu sırada takım bağlantı hattı boyunca yol alır. Takımın omuz kısmına açılan bu yivlerin sağladığı mekanik üstünlük ise takımın uç kısmında eriyik malzemenin sıkışmasını artırır. Bu gelişme 6 mm kalınlığındaki 5083 Al-alajımı üzerinde test edilmiş ve omuzda kanallar olmayan takımlara göre iki kat hızda yüksek kaliteli kaynaklar gerçekleştirilmiştir. Normalde 1-3° arasında takıma eğim verilirken, bu gelişme sayesinde, takımın 0°'lik eğimli pozisyonda, kullanımına olanak sağlanmıştır. Ortaya çıkan bu sadelik ve kolaylıklar, kaynağın x ve y eksenleri yönünde yapılmasını kolaylaştırmıştır [25, 44, 49].

Tek parça takım kullanıldığında kaynak sonunda ucun çekilmesi sonucunda delik kalır. Bu hata, özellikle depolama tankları ve boruların kaynağında kabul edilemez. Bu takımların bir başka dezavantajı ise farklı kalınlıklardaki levhaların kaynağı için farklı uzunluklara sahip ayrı ayrı uçlara gereksinim olmasıdır. Bu sorunu gidermek için bilgisayar ile otomatik kontrol edilebilen ve batıcı ucu geri çekilebilen özel takımlar geliştirilmiştir [33]. Örneğin, Amerikan Deniz Kuvvetleri'nde hem karada hem suda kullanılabilen aracın kaynak bağlantılarında H13 takım çeliğinden tek parça takımlar ve karıştırıcı uç MP159 malzemesinden, omuz kısmı ise H13 takım çeliğinden imal edilmiş iki parçalı takımlar kullanılmıştır. [11, 25, 33, 44, 46, 50]. Kaynak sonunda otomatik geri çekilebilir uçlar dönme hareketi devam ederken yavaş yavaş çekilerek boşluk kalmadan kaynak işlemi tamamlanır. SKK takımları takım çeliği, sıcak iş çeliği veya yüksek hız çeliklerinden imal edilmektedir [33].

### 2.3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Daha önce de belirtildiği gibi SKK alüminyum alaşımlarının geleneksel yöntemlerle yapılan kaynaklarında karşılaşılan problemleri ortadan kaldırmak amacıyla doğmuş bir kaynak yöntemidir. Bu nedenle alüminyum alaşımlarıyla çok fazla çalışma yapılmıştır.

Termoplastiklerin SKK yöntemiyle ise sınırlı sayıda çalışma vardır. Bunlar içerisinde TWI ve Brigham Young University (BYU) önemli çalışmalar yapmışlardır.

Strand [14], 6.35 mm kalınlığındaki polipropilen (PP)'in alın kaynağını farklı yöntemlerle gerçekleştirmiş ve bunları karşılaştırmıştır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. 6.35 mm kalınlığındaki PP'de alın kaynağı birleştirilmesi için polimer birleştirme tekniklerinin karşılaştırılmasında işlem gereksinimleri [14]

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

Tablodan görüldüğü gibi sıcak levha ve ultrasonik kaynak işlem zamanı ve bağlantı verimi açısından iyi özelliklere sahip olmasına rağmen pahalı bir yöntemlerdir.

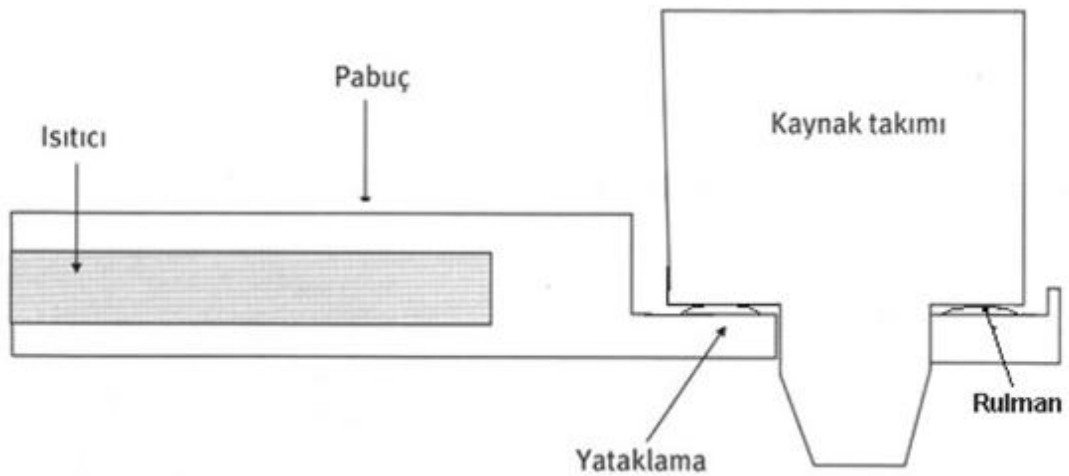
Sıcak gaz ve ekstrüzyon kaynağında performanslar benzerlik göstermiştir. Bu yöntemlerin sınırlılığı hazırlık gerektirmesi, dolayısıyla işçiliğin fazla olmasıdır.

Adhesiflerle birleştirme çok avantajlı bir yöntemdir. Sınırlılığı işlem öncesinde parçaların temiz olması gerektiğinden hazırlık aşaması vardır. Adhesiflerle hem termoplastikler hem de termosetler birleştirilebilir [2].

SKK ile birleştirmede makine ve takım maliyetleri oldukça düşüktür ve bağlantıların çekme mukavemeti ana malzemenin mukavemetinin %90-95'ini bulur. Herhangi parça hazırlığı ve tüketim gerektirmemektedir [2].

Strand [14], alüminyum malzemenin kaynağında kullanılan, bir omuz ve pimden oluşan takımla plastiklerin kaynağının yapıldığını fakat takımın malzemeyi kaynak içinde tutmaktansa, onu dışarıya sürmesi ve böylece kaynak boyunca büyük boşluklar oluştuğunu bundan dolayı düşük mekanik ve görsel özellikler gösterdiğini belirtmiştir [2, 14].

Strand [14], çalışmalarında PP' nin kaynağını Johns'un son takım tasarımı ile yapmış ve başarılı olmuştur. Bu takım, pim, rulmanlı yatak ve pabuçtan meydana gelir (Şekil 2.15). Johns takım ömrünün uzunluğu için pimin kısa olması gerektiğini savunmuştur. Pimin kısa olmasıyla takım üzerine etkiyen moment azalacak böylece dönel yüklemenin etkisi minimize edilecektir. Pabuç ise boşlukların oluşumunu engelleyerek, kaynağın soğuma süresi boyunca kaynak alanı üzerine basıncın genişçe etkimesine izin verecektir [2].



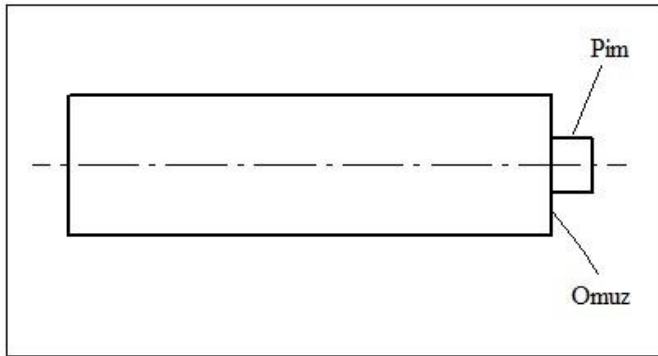
Şekil 2.15. Johns'un geliştirdiği son takım tasarımı [2, 14]

Nelson [41]' da alüminyum malzemenin kaynağında kullanılan, bir omuz ve pimden oluşan takım ile çalışmalar yapmıştır. Nelson [41], Birleşik Devletler patent araştırmasına bu takımı kullanarak başlamıştır. Şekil 2.16' da 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 [2].

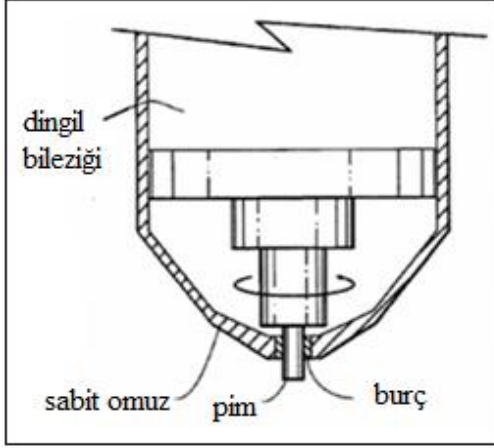
Nelson [41]'ın ikinci olarak kullandığı takım "Dingil omuz" adı verilen takımdır (Şekil 2.17). Bu takım omzu sabit tutarak pim malzemeyi yumuşattığı sırada bu bölge üzerine basarak malzeme kaybını önlemek amacıyla tasarlanmıştır. Bu amaçla sabit omuz milin dingil bileziği üzerine yerleştirilmiş, pim, bir burcun içinden geçirilmiştir. Burç, takımın kaynak sırasında gelen yüklerden korunmasını sağlar [2].

Nelson [41], üçüncü olarak şekil 2.18'de görülen "sıcak pabuç I" olarak bilinen takımı da kullanmıştır. Burada malzemeye basması için bir pabuç kullanılmıştır. Bu pabucun dönmesini engellemek amacıyla pabuç, sabitleyici plakayla birleştirilmiştir. Malzemeye harici bir ısı verilerek malzeme yumuşatılmış böylelikle yüzey kalitesi iyileştirilmiştir [2].

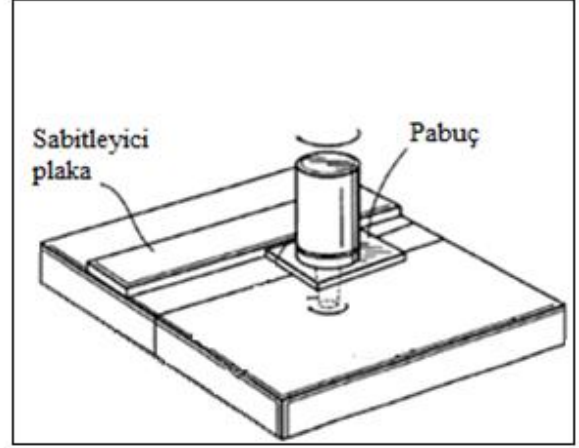
Nelson [41], son olarak şekil 2.19'da görülen "sıcak pabuç II" olarak adlandırılan takımı kullanmıştır. Bu takımda pabucu sabitlemek amacıyla rulman kullanılmış ve parça harici bir kaynakla ısıtılmıştır [2].



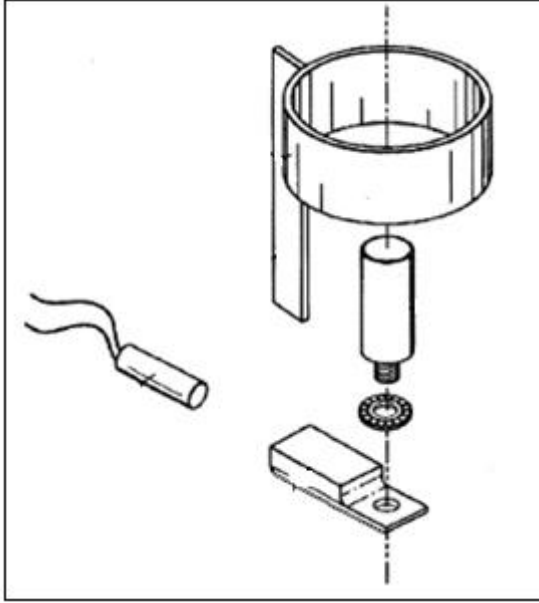
Şekil 2.16. Alüminyum alaşımlarında kullanılan bir takım çeşidi



Şekil 2.17. Dingil omuz takım tasarımı [2, 41]



Şekil 2.18. Sıcak pabuç I takım tasarımı [2, 41]



Şekil 2.19. Sıcak pabuç II takım tasarımı [2, 41]

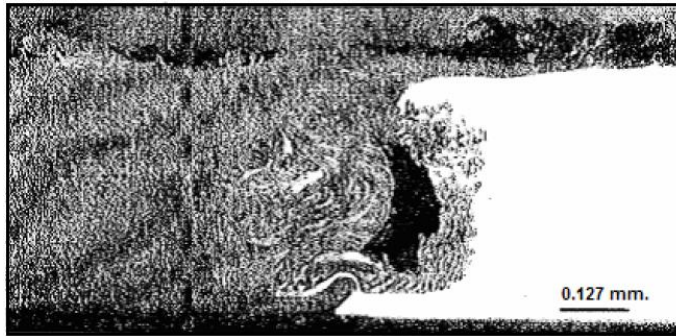
Çizelge 2.4' te Nelson [41]'in çalışmalarına ait olan çekme, eğme ve darbe test sonuçlarına ait değerler görülmektedir.



Çizelge 2.4. Kaynaklı plastiklerin çekme dayanım sonuçları [2,41]

Faktör	Derece	Çekme Dayanımı Mpa	Akma Gerilmesi Mpa	Kırılma Gerilmesi Mpa	Uzama %	Modül	Profildeki % kırılma
Hız	Düşük	26.6	25.4	26.5	1.81	1601.9	100
	Yüksek	31.8	30.6	29.5	1.97	1853.5	21
Besleme	Düşük	32.5	30.7	32.2	1.94	1797.8	96
	Yüksek	27.3	27.0	25.6	1.89	1694.3	62
Takım	Düşük	29.7	28.7	29.4	1.70	1820.5	89
	Yüksek	29.0	28.7	27.1	2.06	1668.6	64

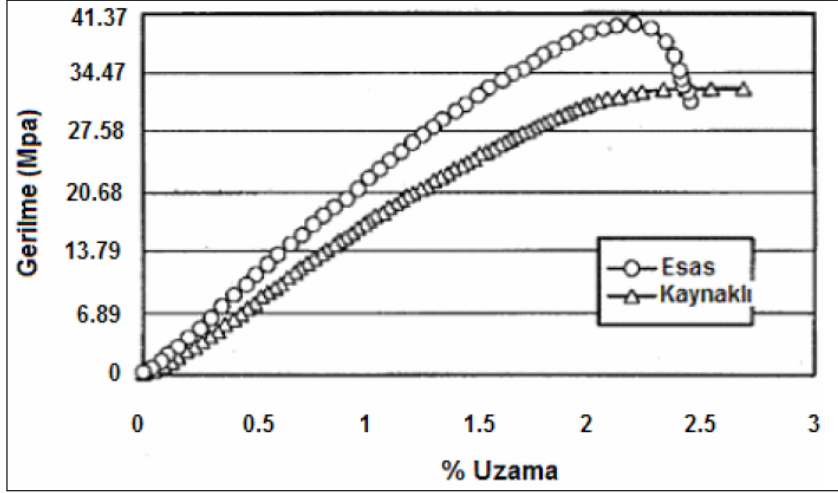
Nelson [41], ABS malzeme ile yaptığı testler sonucunda takım ucu (pim) ile birlikte dönen omuzun kaynak bölgesinden malzemeyi uzaklaştırdığını, bunun da kaynak bölgesinde boşluklar oluşmasına sebep verdiğini söylemiştir. Şekil 2.20’ de alüminyum malzemenin kaynağında kullanılan takım ile yapılan kaynağa ait kesit görüntüsü görülmektedir. Bu resimde kaynağın sağ tarafındaki beyaz kısım boşluk oluşumunu göstermektedir. Kaynak boyunca yer yer oluşan bu boşluklar kaynak mukavemetinde önemli düşüğe sebep olmaktadır [2, 41].



Şekil 2.20. Alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan bir omuz ve pimden oluşan takım ile yapılan SKK kaynağına ait görüntü [2, 41]

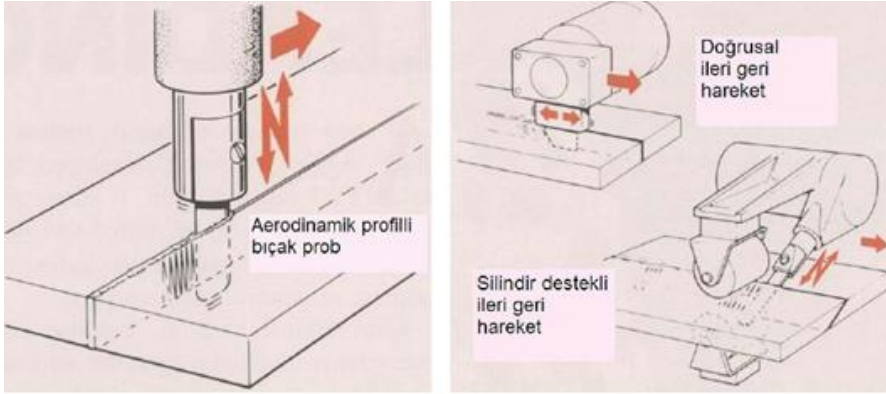
Şekil 2.21’de kaynak edilmiş ABS malzeme ve ana ABS malzeme arasındaki gerilme-uzama grafiğini göstermektedir. Bu grafikten görüleceği üzere

kaynak edilmiş ABS malzeme, ana ABS malzemeden daha düşük gerilme dayanımına sahiptir.



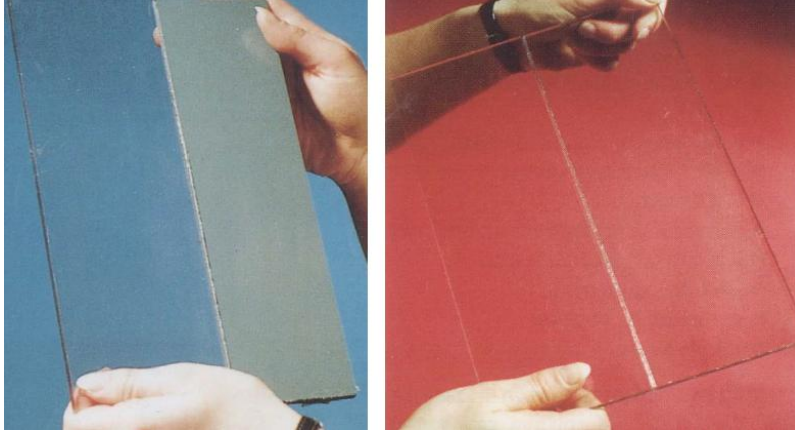
Şekil 2.21. Ana malzeme ve kaynaklı malzemeye ait gerilme-uzama grafiği [2, 41]

Şekil 2.22’de TWI’nın polimerlerin kaynağında kullandığı dikeyde ileri geri hareket eden “aerodinamik profilli bıçak” gösterilmektedir.



Şekil 2.22. Aerodinamik profilli bıçak [2]

Şekil 2.23’de gösterildiği gibi TWI, “aerodinamik profilli bıçak” ile PP’nin ve PVC’nin kaynağını başarıyla yaptıklarını açıklamıştır. Böylelikle, 6 mm’lik PVC levhalarda kaynak yapabilmışlerdir [2].



Şekil 2.23. TWI' nın SKK ile PVC' yi kaynaklı birleştirme çalışmaları [2]

Şelale [2], yüksek lisans tez çalışmasında polietilen malzemenin tek taraflı ve çift taraflı sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi ve bu birleştirme sırasında kullanılan farklı kaynak parametrelerinin, kaynaklı bağlantının mukavemet özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kaynak işlemi sırasında, takım ilerleme hızı ve takım açısı olmak üzere iki farklı parametreyi ele almıştır. Tek taraflı kaynak yöntemi ile yapılan SKK kaynağında kaynağın parçaya tüm kesit boyunca etkiyemediğini bu nedenle tek taraflı kaynak yönteminde kök kısmında malzemede bağlantı sağlanamadığından yeterli mukavemet sağlanamadığını belirtmiştir. Çift taraflı kaynakta ise daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Takım açısı açısından malzemenin mukavemetini karşılaştıracak olursak en yüksek mukavemet değerlerini takım açısının  $0^\circ$  ve  $1^\circ$  olduğu durumlarda çift taraflı kaynakta elde etmiştir.

Şık ve ark. [5], AA2024 alüminyum alaşımının SKK ile kaynağında farklı parametrelerin mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. En yüksek çekme ve eğme dayanımını devir sayısı sabit olup artan ilerleme hızlarında elde etmişlerdir. Mukavemet üzerinde devir sayısının önemli bir etkisi olmadığını belirtmişlerdir.

Öcalır [28], AA-1050 alaşımının SKK ile farklı parametrelerde ve iki farklı pim çapına sahip karıştırıcı uçlar kullanarak birleştirmesini yapmıştır. En iyi mekanik özelliklere sahip olan kaynaklı birleştirmeyi büyük pim çaplı takımla yüksek ilerleme ve düşük devir sayısında elde etmiştir.

Külekcı ve Şık [32], Al 1050 H18 alaşımının SKK' da farklı ilerleme hızı ve devir sayılarının mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Deneyle sonuçunda takım ilerleme hızı sabitken artan devirlerde kaynak bölgesinde sıcaklık artacağından kaynaklı bağlantının yorulma dayanımının düştüğünü açıklamışlardır.

Özdemir ve ark. [51], 8 mm kalınlığındaki AA 1030 alüminyum levhalarda SKK uygulamış ve sonuçları ilerleme hızı, devir sayısı ve uç profili açısından incelemişlerdir. Sonuçlar üzerinde devir sayısının önemli bir etkisi görülmediğini, artan ilerleme hızlarında mukavemetin de arttığını, kaynaklı bağlantıların birleşme hattına dik doğrultuda çıkarılan çekme numunelerinde, maksimum çekme gerilmesine, üçgen profilli karıştırıcı uç kullanılarak yapılan kaynaklı bağlantılarda ulaşılmasına rağmen, birleşme hattı üzerinde çıkarılan çekme numunelerinde en yüksek çekme gerilmesi vidalı karıştırıcı uç kullanılarak yapılan kaynaklı bağlantılarda elde edildiğini duyurmuşlardır. Bu durumu üçgen profilli uç kullanılarak yapılan kaynaklarda, bir karışmanın olmayışı, ucun önündeki malzemeyi bant şeklinde geriye doğru arka yüzeye sıvayarak ilerlemesi sonucu olduğu şeklinde açıklamışlardır.

Bilici ve ark. [52], yüksek yoğunluklu polietilen levhaların sürtünme karıştırma nokta kaynak birleştirilmesinde kullanılan takımın uç geometrisinin kaynak kopma kuvvetine etkilerini incelemişlerdir. Silindirik, konik, vida dişi açılmış ve üçgen profillere sahip takımlar kullanmışlardır. En büyük kopma kuvvetini konik uçta ve en küçük kopma kuvveti ise silindirik uçta elde etmişlerdir. Konik uç çevresindeki malzeme daha fazla sürtünme ısı oluşmaktadır. Böylece daha fazla ısı üretilmekte ve dolayısıyla malzemenin daha çabuk ve daha fazla ısınmasını sağlamaktadır. Bu nedenle konik ucun oluşturduğu dikişin genişliği silindirik uç dikişinden daha fazla olmaktadır. Ayrıca konik uçlarda koniklik açısının kopma kuvvetine tesirini incelemek amacıyla farklı koniklik açılara sahip konik uçlar kullanmışlardır. Koniklik açısı sıfırdan 15° ye kadar arttırılınca kopma kuvveti yükselmiştir.

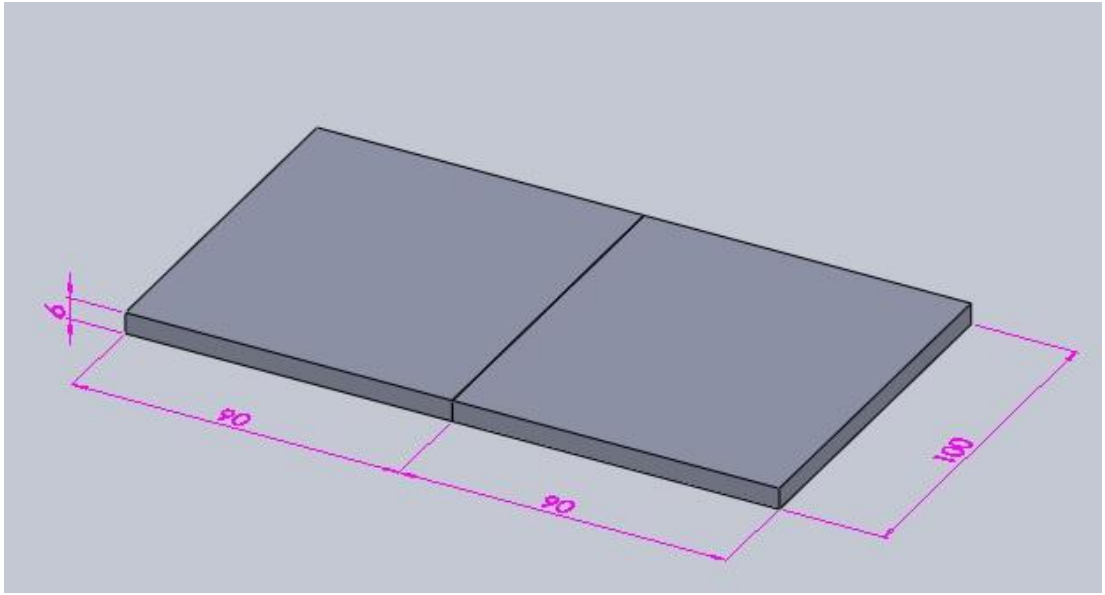
Haşçalık ve ark [53], AA5251 alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliğine uç geometrisinin etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında 5 ayrı uç (kare kesitli, üçgen kesitli, kare piramit, üçgen piramit ve koni) kullanmışlar; en mukavemetli birleşmenin kare piramit kesitli uça, en mukavemetsiz birleşmenin ise koni kesitli uça gerçekleştiği ve bütün geometrilerde numunelerin çekme dayanımı esas malzemenin altında olduğu saptanmıştır.

Kiss ve ark. [54], polipropilen malzeme ile çalışmış, mekanik özelliklere değişen parametrelerin ve takım geometrisinin etkisini incelemiştir. Çalışmasında 450-1800 dev/dak takım devri, 20-63 mm/dak arasında değişen ilerleme hızlarında ve 8 mm, 6 ve 8 kanallı 15°, 30° ve 45° eğimli takımlar kullanmıştır. Mukavemet üzerinde kaynak takım geometrisinin önemli olduğunu belirtmiştir. 15° eğimli takımların daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Oluklu takımların malzemenin akışını kolaylaştırıp daha fazla malzemenin kaynak bölgesinde kaldığını böylece mukavemetinin yükseldiğini belirtmiştir. Çekme deneyleri sonucunda gerilme mukavemetini 11,5 MPa bulmuştur. Bu zayıf sonuca rağmen levhaların kaynaklanabilirliği ortaya konmuştur.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. KAYNAK İŞLEMİNDE KULLANILAN MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada Kahvecioğlu Plastik Sanayi Ltd. Şti.'den temin edilen 6 mm kalınlığında 90x100 boyutlarında PVC levhalar kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Kaynak edilecek levhaların boyutları

Kullanılan PVC malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. SKK ile birleştirilen PVC malzemenin mekanik özellikleri

Malzeme	Mekanik Özellikler		
	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Kopma Mukavemeti (Mpa)	% Uzama
PVC	48,67	42,03	36,54

### 3.2. KAYNAK İŞLEMİNDE KULLANILAN KAYNAK TAKIMI

Deneyleerde kullanılan kaynak takımları AISI H13 sıcak iş takım çeliğinden, CNC tornada imal edilmiştir. Bu malzemenin kimyasal bileşimi çizelge 3.2’de verilmiştir.

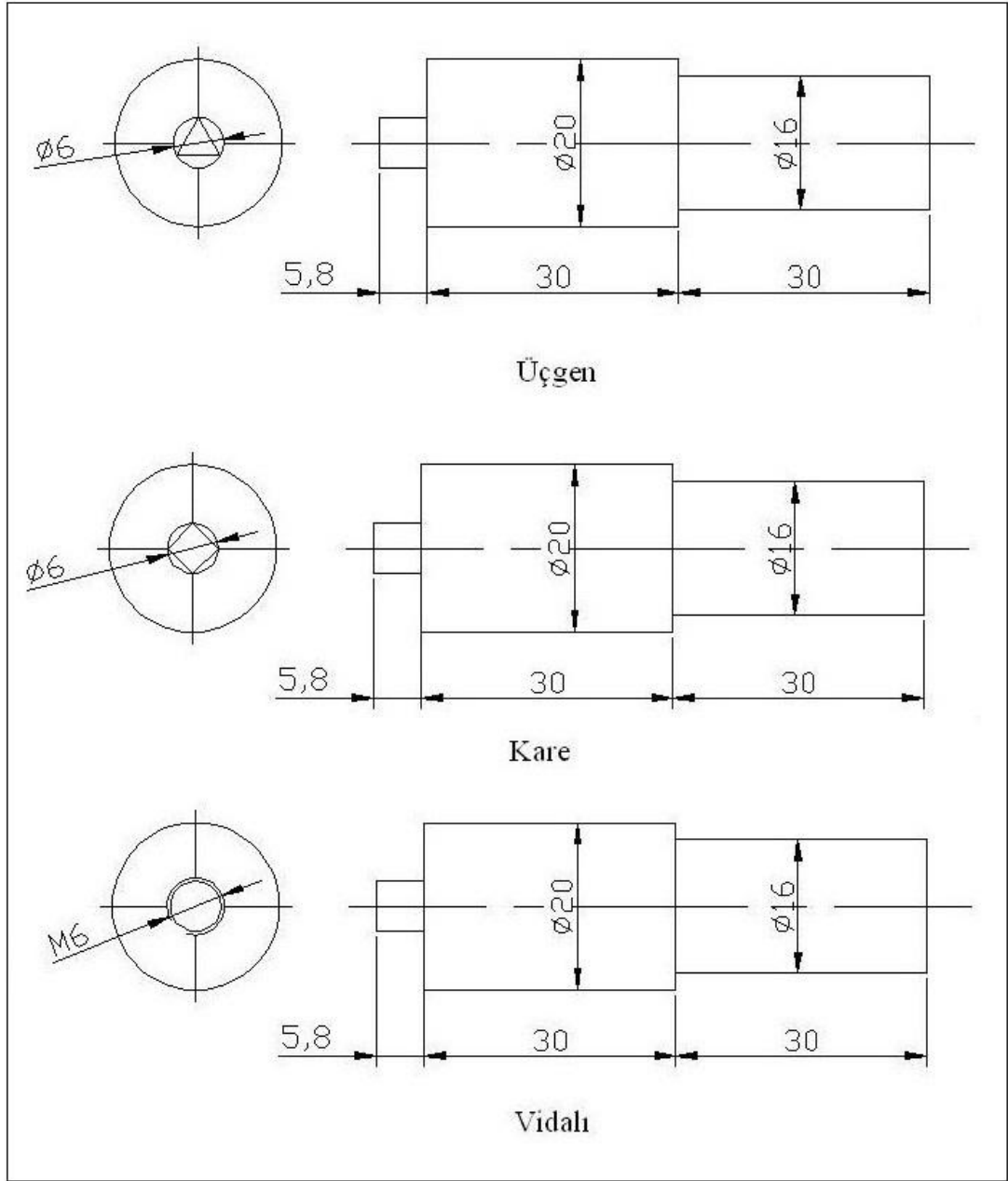
Çizelge 3.2. AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi

Malzeme	Kimyasal Bileşimi (%)							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
AISI H13	0.39	1.00	0.40	5.1	1.30	-	1.00	-

Uç profili kare, üçgen ve vida yivi açılmış olmak üzere üç farklı takım kullanılmıştır. Kaynak takımlarının uç geometrileri dışında diğer ölçüleri aynıdır. Bu ölçüler şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Farklı uç geometrilerine sahip SKK takımları



Şekil 3.3. Farklı uç geometrilerine sahip SKK takımlarının şematik gösterimi

### 3.3. SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞININ UYGULANMASI

Sürtünme karıştırma kaynağına tabi tutulacak levhalar kaynak edilecek kenarları temas edecek tarzda freze tezgahı tablasına bağlama pabuçları yardımıyla bağlanmıştır. H13 sıcak iş takım çeliği malzemeden özel olarak CNC tornada imal



edilmiş sürtünme aparatı frezenin düşey miline monte edilerek, sürtünme karıştırma kaynağı yapılmıştır.

SKK kaynağını yapmak için Adana Endüstri Meslek Lisesinde bulunan CNC dik işleme freze tezgahı kullanılmıştır. Takuma JHV-710 marka tezgah, maksimum 8000 dev/dak ve maksimum 30 m/dak ilerleme hızındadır. Freze tezgahının X ekseninde tabla hareket mesafesi 710 mm' dir.



Şekil 3.4. Sürtünme karıştırma kaynağının yapıldığı CNC freze tezgahı

Literatür incelemeleri sonucunda mekanik özellikler üzerinde önemli etkiye sahip olan devir sayısı, ilerleme hızı ve karıştırıcı uç geometrisi işlem parametreleri değiştirilerek sürtünme karıştırma kaynak bağlantıları elde edilmiştir.

Ön çalışmalarda 800, 1000 ve 1250 dev/dak' da 16, 40, 60 mm/dak ilerleme hızlarıyla kaynak çalışmaları yapılmış fakat etkili bir birleştirme sağlanamamıştır. Bu yüzden daha yüksek devir ve ilerleme hızlarında çalışılmış, kullanılan kaynak parametreleri bu çalışmalar sonucunda belirlenmiştir.

Çalışmada, devir sayısı iki farklı düzeyde (1600, 1750 dev/dak), ilerleme hızı üç farklı düzeyde (60, 90, 120 mm/dak) ve uç profili ise üç farklı geometride (üçgen, vida, kare) olmak üzere 18 farklı deney gerçekleştirilmiştir. Bu kaynak parametreleri Çizelge 3.3' de gösterilmiştir.

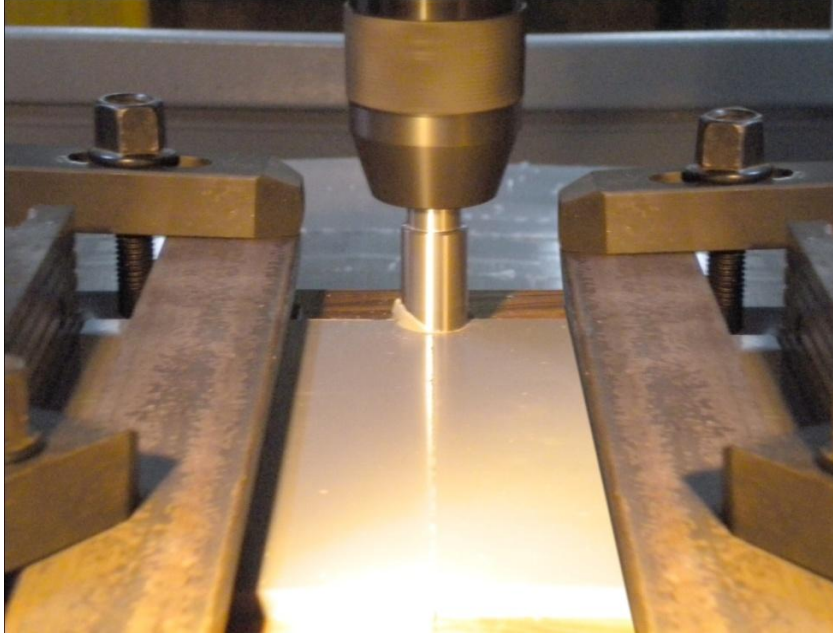
Çizelge 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan uç profilleri ve kaynak parametreleri

Malzeme	Karıştırıcı uç profili	Dönme hızı dev/dak	İlerleme hızı mm/dak
PVC	Vida	1600	60
		1750	90
			120
	Üçgen	1600	60
		1750	90
			120
	Kare	1600	60
		1750	90
			120

SKK'nın ilk aşamasında kaynak edilecek levhalar alın altına getirilmiş ve tezgaha sabitlenmiştir. SKK sırasında parçaların yana, yukarıya veya ileriye hareket etmesini önlemek amacıyla levhaları tezgaha bağlamak için uygun boyutlarda çelik lamalar ve baskı pabuçları kullanılmıştır.

Levhalar alın altına getirildikten sonra batıcı ucun levhaların birleşme çizgisini tam ortalayacak şekilde hizalanması yapılmıştır. Daha sonra tezgah çalıştırılarak tezgahın devir ve ilerleme hızları ayarlanmıştır.

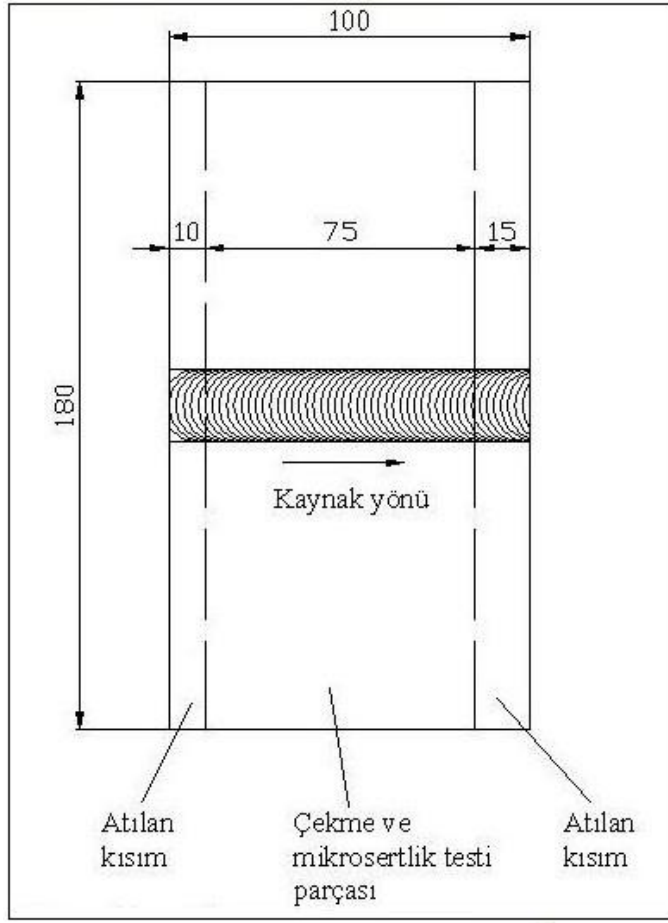
Ardından batıcı uc Z yönünde uygun olan maksimum derinliğe ulaştığında, bu şekilde yaklaşık bir dakika beklenecek omzun levhaları ısıtması sağlanmıştır. Bundan sonra karıştırıcı ucun birleşme çizgisi boyunca ilerlemesiyle kaynak işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 3.5. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulaması

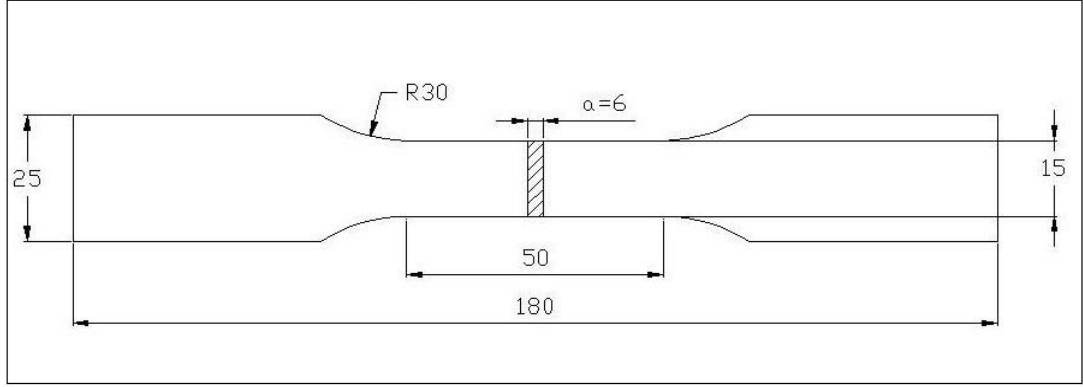
#### 3.4. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Kaynağı yapılan levhalar dikkatlice sökülerek soğumaya bırakılıp ardından numune çıkarma işlemine geçilmiştir. Kaynaklı levhalardan test numuneleri çıkarılmak üzere levha şekil 3.6' daki gibi parçalara ayrılmıştır.



Şekil 3.6. Kaynaklı levhalardan numunelerin çıkarıldığı bölgeler

Çekme testi için her parametreden üç adet numune çıkarılmış, toplamda 54 adet numune, çekme testine tabi tutulmuştur. Numuneler çıkarılırken kaynak dikişinin başlangıç ve bitiş noktasından bir miktar pay bırakılarak numune alınmamıştır. Bunun nedeni bu kısımların yetersiz birleşmeye sahip olarak görülmesidir. Kaynaklı levhalardan TS 138 EN 10002-1 standardına uygun çıkarılan numunelerin her birine numara verilmiştir. Çekme testi deney numunesine ait çizim Şekil 3.7.'de gösterilmektedir.



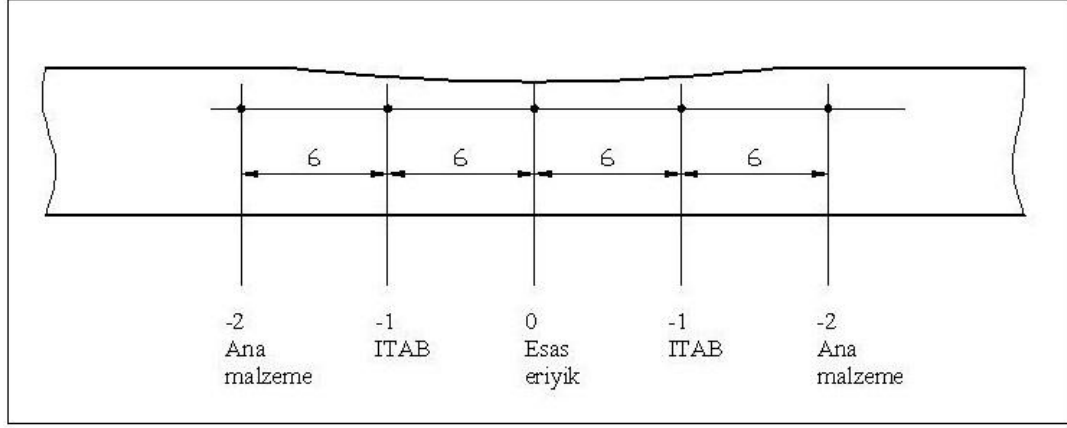
Şekil 3.7. TS 138 EN 10002-1'e uygun çekme testi numunesine ait boyutlar

### 3.5. ÇEKME DENEYİ

Çekme testleri, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi plastik laboratuvarında bulunan ZWICK 6000 marka çekme deneyi cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Test cihazının maksimum kapasitesi 1 ton'dur. Testi gerçekleştiren piston kafasının hızı 5 mm/sn' dir. Test sonucunda SKK kaynağı yapılan PVC malzemelerin maksimum gerilme değerleri bulunmuştur.

### 3.6. MİKROSERTLİK TESTİ

Kaynaklı levhaların mikrosertlik ölçümleri Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan mikrosertlik ölçüm cihazı durometre (Shore D) ile yapılmıştır. Numune yüzeyinden sertlikler 6 mm aralıklarla alınmıştır. Kaynak merkezinden başlanarak 5 noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik ölçümleri, esas metal, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), termodinamik etki altındaki bölge ve kaynak metali değerleri kaynak orta çizgisine göre çift taraflı olarak eşit aralıklarla taranarak yapılmıştır. Sertlik ölçüm numunesine ait çizim şekil 3.8' de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Kaynaklı numune üzerinde sertlik ölçüm noktaları

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

##### 4.1. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

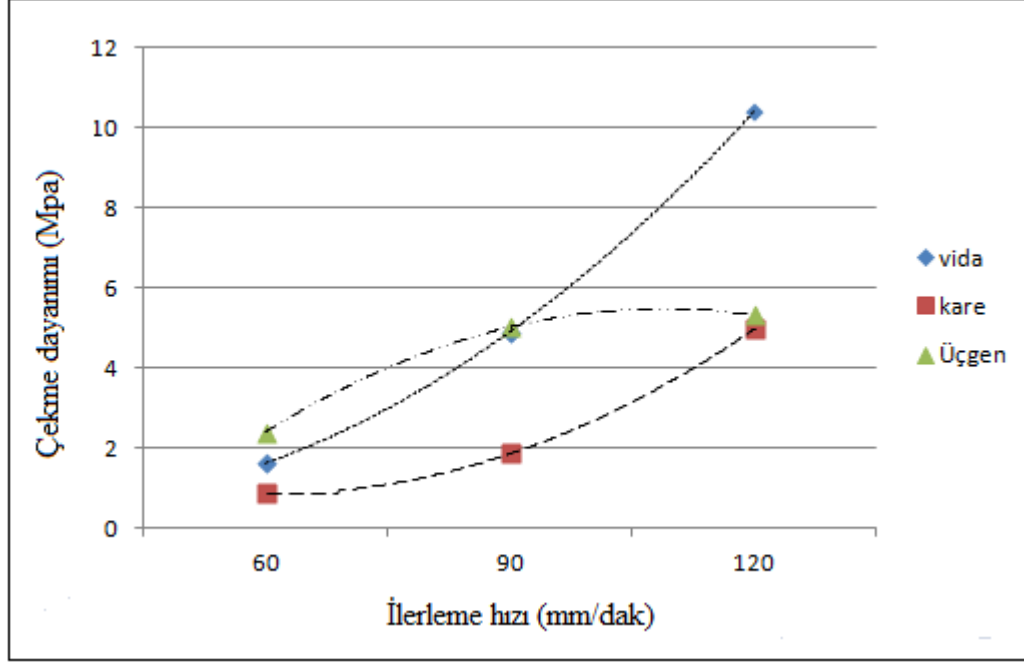
Çekme deneyi sonuçları çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelere ait ortalama çekme dayanımı sonuçları

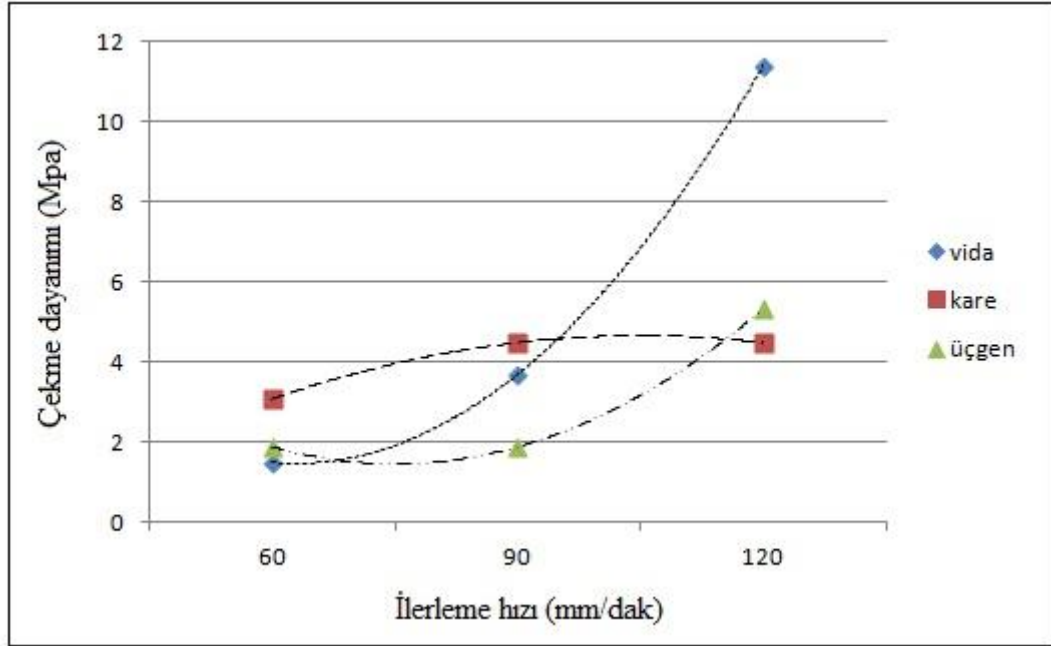
Karıştırıcı uç profili	Dönme hızı dev/ dak	İlerleme hızı mm/ dak	Çekme dayanımı Mpa	Uzama %
Vida	1600	60	1,62	5,36
		90	4,90	7,68
		120	10,39	14,03
	1750	60	1,49	4,18
		90	3,70	7,67
		120	11,39	11,59
Üçgen	1600	60	2,40	4,07
		90	5,02	8,43
		120	5,32	9,34
	1750	60	1,88	3,42
		90	1,88	4,61
		120	5,32	9,12
Kare	1600	60	0,87	2,7
		90	1,88	5,99
		120	5,00	8,09
	1750	60	3,08	4,98
		90	4,48	8,36
		120	4,48	7,04

Bu sonuçlardan en yüksek çekme dayanımı sonucunun (Çekme mukavemeti 11,39 Mpa,) vidalı uçta, takım devrinin 1750 dev/dak ve takım ilerleme hızının 120

mm/dak olduğu kaynak parametrelerinde elde edildiği açıkça görülmektedir. Sonuçlar grafik halinde şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. 1600 d/dak sabit devir hızı ile yapılan kaynaklı bağlantıların ortalama çekme dayanımı değerleri



Şekil 4.2. 1750 d/dak sabit devir hızı ile yapılan kaynaklı bağlantıların ortalama çekme dayanımı değerleri



Grafikler incelendiğinde en yüksek çekme dayanımı değerlerinin vidalı uçla yapılan birleştirmelerde elde edildiğini, vidalı uçta da 1750 dev/dak takım devir sayısı ile yapılan birleştirmelerde ilerleme hızı arttıkça mukavemetinde arttığını açıkça görebiliriz. Bunun sebebi yüksek ilerleme hızlarında vidalı uçtaki helisel dişler sayesinde kaynak esnasında karıştırılıp geriye doğru sıvanan malzemenin artmasının mukavemeti de arttırmasıdır. Çünkü yivli takımlar malzemenin akışını kolaylaştırıp daha fazla malzemenin kaynak bölgesinde kalmasını sağlar böylece mukavemetin yükselmesine neden olur.

Metallerde üçgen uçla yapılan kaynaklı bağlantılarda daha mukavemetli sonuçlara ulaşılırken PVC malzemede mukavemet açısından en iyi sonuç vidalı uçlu takımla yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir. Bu durum metaller ve plastiklerin partiküler özelliklerinin birbirlerinden çok farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Özdemir ve ark. [51], bunu üçgen profilli uç kullanılarak yapılan birleştirmede, ucun önündeki malzemeyi birbirine karıştırmak yerine devir başına aldığı malzemeyi tabaka halinde geriye ekstrüze ederek kaynaklı bağlantıyı gerçekleştirdiği, durum böyle olunca da birim zamanda birim alanda ulaşılan sıcaklık derecesi düşeceğinden dinamik olarak yeniden kristalleşen bölgede yapısal bozunumun az olacağı şeklinde açıklamışlardır. Plastiklerde ise yivsiz takımlarla yapılan kaynakta takım kaynak bölgesinde malzemeyi tutamaz, aşırı malzeme kaybı olur böylece malzemenin mukavemeti düşer. Vida yivi açılmış takımlar erimiş malzemenin pimin dönüşü esnasında kaynak bölgesinden dışarı çıkmasını engeller.

Kaynaklarda ilerleme hızını sabit tutup devir sayısını arttırdığımızda mukavemetin düştüğü görülmektedir. Bu durum için artan devirlerde malzemeye giren ısı miktarı artacağı düşünüldüğünden kaynaklı bağlantının mukavemetinin düşmüş olabileceği yorumunu yapabiliriz.

Üçgen uçla yapılan birleştirmelerde yine devir hızı sabit olmak koşuluyla ilerleme hızının arttırıldığı durumlarda mukavemetin arttığını, ilerleme hızını sabit tutup devir sayısı arttırıldığında ise bağlantının mukavemetinin düştüğünü

söyleyebiliriz. Bunun nedeni yüksek devirlerde malzemeye ısı girdisinin artacağı dolayısıyla mukavemetin düşeceği olarak düşünülebilir.

Kare uçla yapılan birleştirmelerde mukavemetin, ilerleme hızına paralel bir şekilde arttığı görülmüş, en iyi performans ise devir sayısı 1600 dev/dak, ilerleme hızının 120 mm/dak olduğu durumda elde edilmiştir (5,00 Mpa). Bunun nedeni ilerleme hızındaki artışın birleşme bölgesinde düşük sıcaklık oluşturarak ITAB'ın daralmasına neden olması böylece bağlantının mukavemetinin arttığı düşünülebilir.

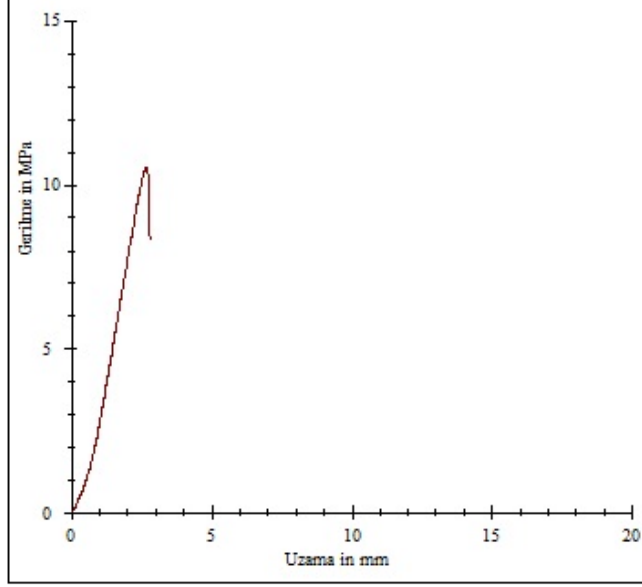
1600 d/dak ile yapılan birleştirmelerde üçgen uç kare uca göre daha iyi sonuçlar verirken 1750 d/dak ile yapılan birleştirmelerde ilerleme hızının 60 mm/dak ve 90 mm/dak olduğu durumlarda kare uçla üçgen uca göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak kare profilli uçla yapılan kaynaklarda malzeme ile temas eden yüzey alanı üçgen profilli ucun temas yüzeyinden fazla olması bunun da malzemeye ısı girdisini arttırmasına neden olduğu düşünülebilir.

SKK yönteminde ITAB'ın boyutu ve şekli, karıştırıcı elemanın uç geometrisine bağlı olduğu için takımın uç geometrisi kaynaklı bağlantının mekanik davranışları üzerine önemli bir etkiye sahip sahiptir.

Üçgen ve kare profilli uç kullanılarak yapılan kaynaklı bağlantılarda, karıştırma söz konusu olmayıp uç önündeki malzemeyi, ilerleme hızına bağlı miktarda malzemeyi geriye doğru ekstrüze ederek ilerlediği için üçgen ve kare profilli karıştırıcı uç ile yapılan kaynaklı bağlantılarda ulaşılan maksimum çekme gerilmesi vida profilli karıştırıcı uç kullanılarak yapılan kaynaklı bağlantılardan daha düşüktür. Aynı zamanda karıştırıcı uç üzerindeki vida yivi sürtünmeden dolayı malzemeye yeterli ısı girdisi sağlar ve açılan bu dişler malzemeyi kaynak bölgesinde tutmak için aşağı iter. Böylelikle fazla malzeme kaybı önlenmiş olur ve mukavemet artar.

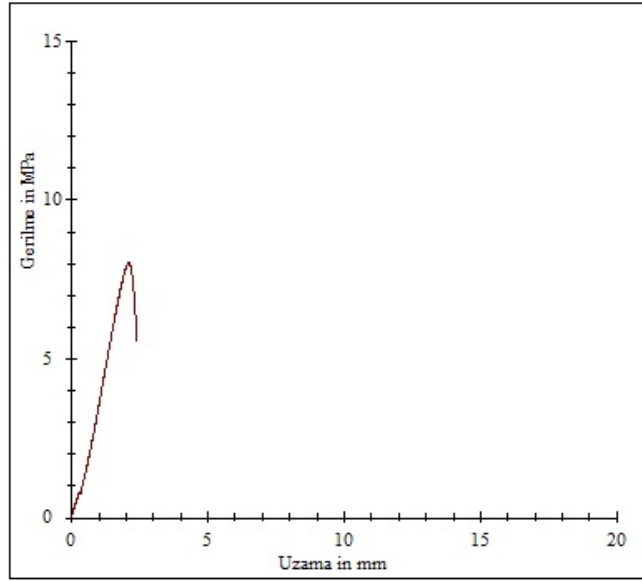
Belirtilen sonuçlardan da anlaşılacağı gibi kaynaklı bağlantının mukavemeti, karıştırıcı uç devir hızı, kaynak ilerleme hızı ve uç profili ayarlanarak kontrol edilebilmektedir. Şekil 4.3 ve şekil 4.4'te vidalı uçta çekme testi sonucunda elde edilen gerilme-uzama grafiği görülmektedir.

S0	$\sigma_M$	$\epsilon_M$	Et	$\epsilon$ Break	$\epsilon_B$	$\sigma_B$
mm <sup>2</sup>	MPa	%	MPa	mm	%	MPa
180	10,51	13,21	51,46	2,79	13,95	8,29

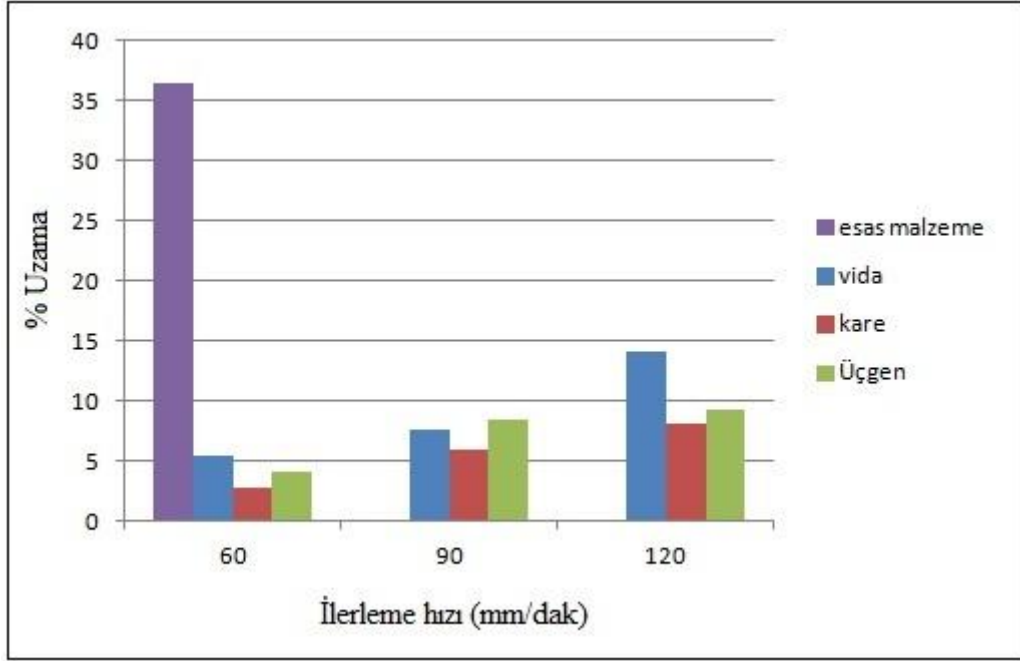


Şekil 4.3. 1600 d/dak. ve 120 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları

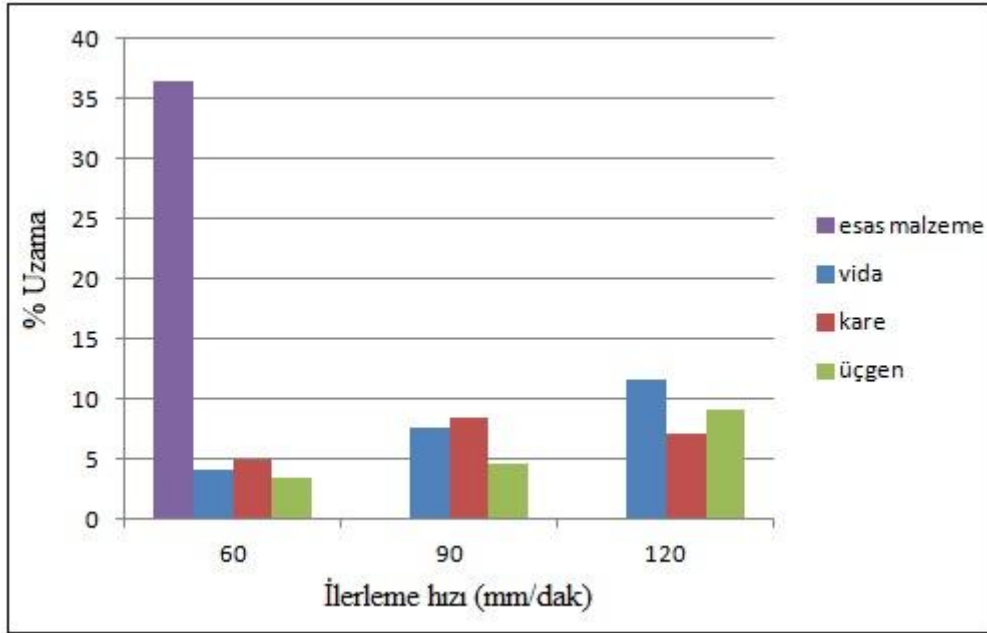
S0	$\sigma_M$	$\epsilon_M$	Et	$\epsilon$ Break	$\epsilon_B$	$\sigma_B$
mm <sup>2</sup>	MPa	%	MPa	mm	%	MPa
180	8,02	10,48	130,90	2,36	11,78	5,51



Şekil 4.4. 1750 d/dak. ve 120 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile SKK uygulanarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları



Şekil 4.5. 1600 d/dak sabit devir hızı ile yapılan kaynaklı bağlantıların % uzama değişim grafiği



Şekil 4.6. 1750 d/dak sabit devir hızı ile yapılan kaynaklı bağlantıların % uzama değişim grafiği

Yapılan kaynaklarda devir sayısı sabitken artan ilerleme hızlarında % uzama miktarlarında çekme dayanımına paralel olarak bir artış gözlenmiştir. İlerleme hızı sabit tutulup devir sayısı arttırıldığında ise % uzama miktarları düşüş göstermiştir.

Sonuçlarda görüldüğü gibi kaynak edilmiş bir numunede uzama %10-15'lere kadar ulaşabilmektedir.

#### 4.2. MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI

Kaynaklı bağlantıların mikrosertlik ölçüm sonuçları çizelge 4.2' de verilmiştir.

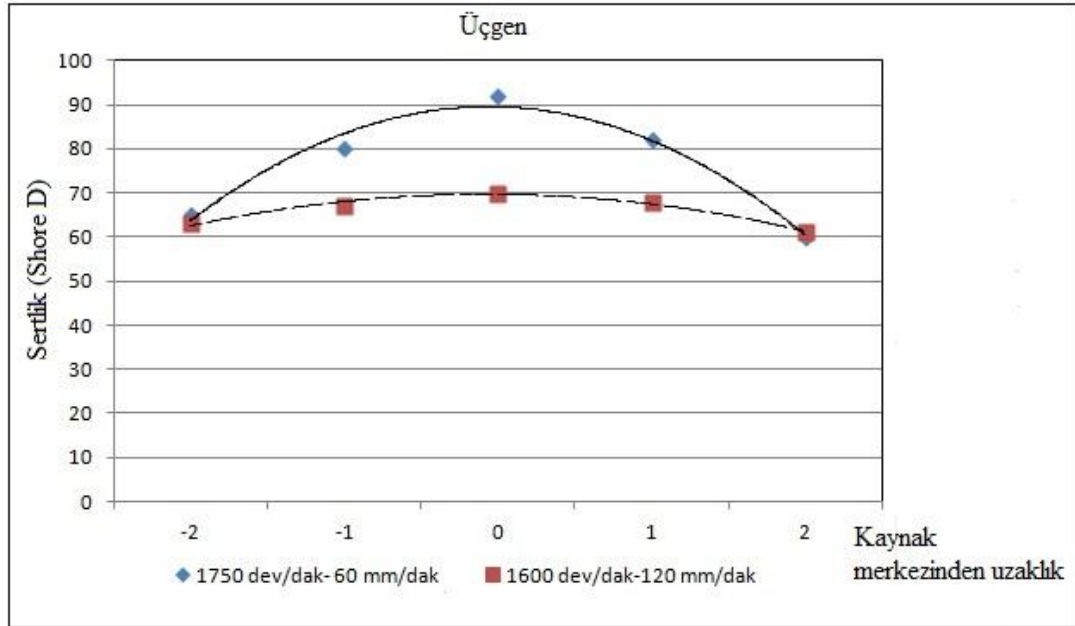
Çizelge 4.2. Numunelere ait mikrosertlik değerleri

Karıştırıcı uç profili	Dönme hızı dev/ dak	İlerleme hızı mm/ dak	Sertlik Ölçüm Bölgesi				
			-2	-1	0	1	2
			Sertlik(Shore D)				
Vida	1600	60	63	63	79	64	59
		90	60	66	75	65	58
		120	63	68	72	67	59
	1750	60	62	78	89	79	58
		90	61	75	85	76	60
		120	60	72	79	75	60
Üçgen	1600	60	60	65	78	67	62
		90	62	66	72	68	62
		120	63	67	70	68	61
	1750	60	65	80	92	82	60
		90	66	78	86	75	63
		120	60	75	80	74	59
Kare	1600	60	61	63	79	65	60
		90	62	64	75	66	58
		120	60	66	73	67	62
	1750	60	60	79	90	79	63
		90	58	78	87	75	62
		120	63	73	81	71	60

Kaynaklı bağlantılarda kaynak merkezinde sertlik değerinde artış olduğu görülmektedir. Devir sayısı sabit tutulup ilerleme miktarı arttırıldığında kaynaklı bağlantının sertliği düşmektedir. Yüksek hızla yapılan kaynaklarda soğuma çabuk olacağından bunun malzemenin sertliğini düşürdüğü düşünülmektedir.

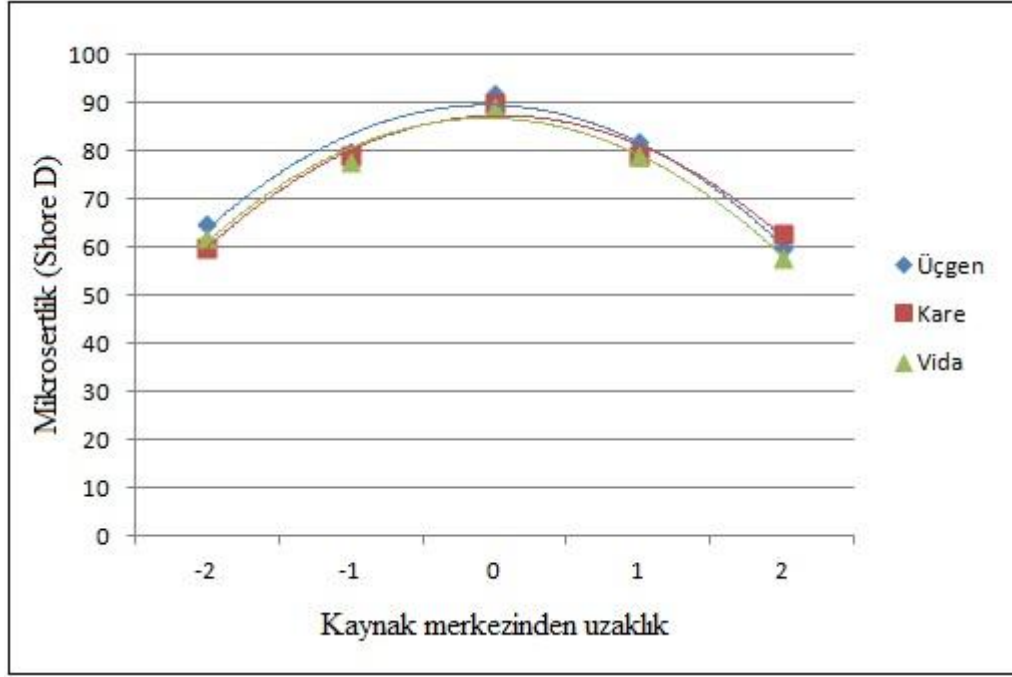
Yüksek devirde ve düşük ilerleme hızı kullanıldığında kaynak bölgesinde sertlik düşüşü daha az olmaktadır.

SKK kaynaklı bağlantıların Shore D sertlik tarama sonuçlarında en büyük değer şekil 4.7' de gösterildiği gibi üçgen uçta 1750 dev/dak' da 60 mm/dak ilerleme hızıyla, en düşük sertlik değeri ise yine üçgen uçta 1600 dev/dak' da 120 mm/dak ilerleme hızıyla elde edilmiştir. SKK ile yapılan birleştirmelerdeki sertlik değerleri esas malzemedeki kaynağa doğru artış göstermiştir.



Şekil 4.7. En yüksek ve en düşük sertlik dağılım değerleri

Üçgen, kare ve vidalı uçla yapılan birleştirmelerin tümünde 1750 dev/dak ve 60 mm/dak ilerleme hızında sertlik değerleri en fazla olmuştur. Bu parametrelerdeki sertlik değişimi şekil 4.8' de gösterilmektedir.



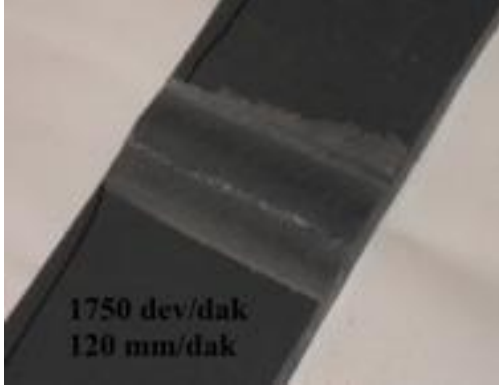
Şekil 4.8. 1750 d/dak ve 60 mm/dak ilerleme hızında kaynaklı bağlantıda sertlik değerleri

Grafikler incelendiğinde sertlik dağılım eğrilerinin, birbirine benzer profiller sergilediği görülmektedir.

#### 4.3. KAYNAK BÖLGESİNİN GÖRSEL İNCELENMESİ

SKK ile birleştirilen PVC levhaların kaynak dikişlerinin geleneksel kaynak yöntemleriyle elde edilen kaynak dikişlerine göre daha düzgün olduğu görülmüştür.

Kaynak dikiş görüntüsünün daha düzgün olduğu numunelerde çekme dayanımının da yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. 1750 d/dak. ve 120 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile SKK uygulanan numunenin yüzey görüntüsü



Şekil 4.10. 1600 d/dak. ve 120 mm/dak. takım ilerleme hızı parametreleri ile SKK uygulanan numunenin yüzey görüntüsü



a)

b)

Şekil 4.11. Kötü kaynak dikişine sahip numuneler

Şekil 4.11a'da kaynaklı malzemedeki boşluklardan söz edebiliriz. Bu, bir omuz ve pimden oluşan takımlarla yapılan kaynaklarda karşılaşılan bir durumdur.



Çünkü bu tip takımlar malzemeyi kaynak içinde tutmakta zorlanır ve malzeme kaybından dolayı kaynaklarda boşluk oluşmasına sebebiyet verir.

Şekil 4.11b' de ise omuz batma derinliği iyi ayarlanmayan takımın malzeme üzerinden talaş kaldırdığı ve yüzeye malzeme yığıldığı görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, PVC malzeme üzerinde sürtünme karıştırma kaynağı, malzemenin mukavemeti açısından irdelenmiş, devir sayısı, ilerleme hızı ve karıştırıcı takım uç profilinin kaynağın oluşumuna etkisi araştırılmıştır.

Yapılan bu çalışmada parametreler üç farklı takım, iki farklı devir sayısı ve üç farklı ilerleme hızı kullanılarak elde edilmiştir.

Elde edilen kaynaklı levhalardan çıkarılan numuneler mekanik özelliklerin araştırılması için çekme testine tabi tutulmuş ve mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır.

Kaynaklı bağlantılara uygulanan çekme deneyi ve mikrosertlik ölçüm sonuçlarından elde edilen mekanik özelliklere devir sayısının, ilerleme hızı ve karıştırıcı uç profilinin etkisi önemli derecede olmuştur.

En yüksek çekme dayanımı sonucu vidalı uçta, takım devrinin 1750 dev/dak ve takım ilerleme hızının 120 mm/dak olduğu kaynak parametresinde elde edilmiştir.

Çekme mukavemetinde 1600 d/dak ile yapılan birleştirmelerde üçgen uç kare uca göre daha iyi sonuçlar verirken 1750 d/dak ile yapılan birleştirmelerde ilerleme hızının 60 mm/dak ve 90 mm/dak olduğu durumlarda kare uç üçgen uca göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

1600 ve 1750 dev/dak. kaynak devir hızında kaynak ilerleme hızı 60 mm/dak'dan 90 mm/dak' ya ve sonra da 120 mm/dak' ya çıkartıldığında kaynaklı bağlantının çekme dayanımı kademeli olarak artmıştır.

Shore D sertlik tarama sonuçlarında en büyük değer üçgen uçta 1750 dev/dak' da 60 mm/dak ilerleme hızıyla, en düşük değer ise yine üçgen uçta 1600 dev/dak' da 120 mm/dak ilerleme hızıyla elde edilmiştir.

Bu çalışmada tek taraflı alın kaynağı yapılmıştır. Tek taraflı kaynaklarda kaynak edilmeyen bölge malzemenin mukavemetini düşürmektedir. Bu yüzden çift taraflı kaynak yöntemi denenerek bu çalışmaya devam edilebilir.

Farklı parametrelerde çalışılarak ve farklı takım tasarımları yapılarak bu çalışma ilerletilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Meriç, C., Köksal, N. S. ve Erdoğan, M. T., “Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş farklı çeliklerde kaynak bölgesinin incelenmesi”, C.B.Ü. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 2(10), (2008).
- [2] Şelale, S., “Polietilen malzemenin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi”, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102 s., (2006).
- [3] Çam, G., “Sürtünme karıştırma kaynağındaki gelişmeler”, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Kocaeli, 47-64, (2003).
- [4] Esme, U., Kulekci, M. and Kazancoğlu, Y., “The use of artificial neural networks in predicting fatigue life of friction stir welded lap joints of AA 5754”, Journal of Advanced Materials, 42 (4): 14-21, (2010).
- [5] Şık, A., Ertürk, İ. ve Önder M., “AA2024 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynağında Farklı Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi” Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 16/2, (2010).
- [6] Meran, C. ve Çolak M., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı İçin Takım Tutucu Tasarımı” Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 23 (3), (2008).
- [7] Özsoy, A., “Plastik malzemelerin kaynağı, kaynak metotları ve kaynak makineleri”, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94 s., (1985).
- [8] Bozu, M., “Sürtünme karıştırma kaynağında farklı kaynak parametrelerinin deneysel olarak incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 151 s., (2007).
- [9] Dawes, C. J. and Thomas, W. M., “Friction Stir process welds aluminium alloys”, Welding Journal., 28 (1): 41-45, (1996).
- [10] Uzun, H., Yılmaz, R. ve Fındık, F., “Alüminyum alaşımları için süper birleştirme yöntemi: Sürtünme karıştırma kaynak tekniği ve uygulamaları”, Metal Dünyası, 118: 75-82, (2003).
- [11] Nicholas, E. D. and Kallee, S.W., “Friction stir welding a decade on”, II. World Asian Pasific International Congress, Sydney, 45-50, (2000).

- [12] Anık, 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, (2003).
- [13] Aydın, H., “PVC üretimi ve katkı maddeleri”, (2004).
- [14] Strand, S. R., “Effects of friction stir welding on polymer microstructure”, Brigham Young University, Master of Science, Utah, 163 s., (2004).
- [15] Ünal, O., “Yapı Malzemeleri Ders Notları” Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 3-8, (2006).
- [16] Çam, G., Ventzke, V., Santos, J.F., Koçak, M., Jennequin, G., and Maurin, P. G., “Characterisation of Electron Beam Welded Aluminium Alloys”, Journal of Science and Technology of Welding And Joining., 4(1): 317-323, (1999).
- [17] Jata, K. V., and Semiatin, S. C., “Continious dynamic recrystallization during friction stir welding of high strength aluminium alloys”, Scripta Materialia, 43(2): 743-749, (2000).
- [18] Contreray, F., Trillo, E. A. and Murr, L., E., “Friction stir welding of a berilyum aluminium powder metallurgy alloys”, Journal of Materials Science, 37(1): 89-99, (2002).
- [19] Özdemir, M., “Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile alüminyum malzemelerin kaynaklanabilirliği”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 35 s., (2003).
- [20] Şık, A. ve Kayabaş, Ö., “Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan alüminyumun kaynağında kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, 11(12): 30-43, (2003).
- [21] Atlamaz, M., “Sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile 6××× serisi alüminyum alaşımlarının alın ve bindirme kaynağının uygulanabilirliğinin incelenmesi”, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü”, Yüksek Lisans Tezi, 33 s., (2002).
- [22] Nagasawa, T. and Otsuka, M. “Structure and mechanical properties of riction Stir Weld Joints of Magnesium Alloy AZ31”, (2004), [http : // www.mc.mat.shibaura-it.ac.jp /master/ abstract /298110. htm](http://www.mc.mat.shibaura-it.ac.jp/master/abstract/298110.htm) 06.03.2004.
- [23] Çam, G., “Al-Alaşımları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri”, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, 267–277, (2001).
- [24] Mahoney, M. W., “Science Friction”, Welding & Joining, 7-12, (1997).

- [25] Kaluç, E. ve Mert, Ş., “Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki gelişmeler”, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi”, Kocaeli, 103-114, (2003).
- [26] Dawes, C. J. and Thomas, W. M., “Friction Stir Joining Of Aluminium Alloys”, Bulletin 6, TWI, 1-10 (1995).
- [27] Jonhson, R. and Kallee S., “Friction Stir Welding”, Materials World Volume 7, 12: 751–753, (1999).
- [28] Öcalır, Ş., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı İle Yapılan Alüminyum Alaşımı Birleştirmelerde Optimum Parametrelerin Belirlenmesi”, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62 s., (2009).
- [29] Çam, G., “Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki gelişmeler”, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, Kocaeli, 47-62, (2003).
- [30] Kaluç, E. ve Bozduvan, B., “Sürtünen eleman ile birleştirme kaynak yöntemi”, Makine Magazin, 27, (1998).
- [31] Külekci, M. K. ve Şık, A. “Sürtünme karıştırma kaynağı ile alüminyum alaşımı levhaların birleştirilmesi ve elde edilen kaynaklı bağlantıların özellikleri”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(3) : 70–75, (2003).
- [32] Külekci, M. ve Şık, A. “Effects of tool rotation and traverse speed on fatigue properties of friction stir welded AA1050-H18 aluminium alloy”, Archives of Metallurgy and Materials, 51 (2): 213–216, (2006).
- [33] Çam, G., “Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK): alaşımları için geliştirilmiş yeni bir kaynak teknolojisi”, Mühendis ve Makine (46): 541, (2005).
- [34] Çam, G. ve Koçak, M., "Joining of Advanced Materials", Materials Science and Engineering, 6.36.4: Materials Processing and Manufacturing Technologies.
- [35] Yavuz, H. ve Çam, G., “Yeni Bir Kaynak Teknolojisi: Sürtünme Karıştırma Kaynağı”, Endüstri ve Otomasyon, 51: 18-202, (2001).
- [36] Çam, G., “Al-Alaşımları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri”, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, 267-277, (2001).
- [37] Çam, G., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı ve Uygulamaları”, 9. Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Denizli, 450-458, (2002).

- [38] Meriç, C., Köksal, N. S., Erdoğan, M. T. ve Okur, A., “Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş Farklı Malzemelerin Kaynak Bölgesinin incelenmesi”, C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 4(2): 135-144, (2008).
- [39] Serindağ, H. T., “Pirinç Levhaların Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemiyle Alın Kaynağı ve Mekanik Özelliklerinin incelenmesi”, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56 s., (2006).
- [40] Covington., J. L., “Experimental and Numerical Investigation of Tool Heating During Friction Stir Welding”, Faculty of Brigham Young University, M. Sc. Thesis, (2005).
- [41] Nelson, T. W., “Friction Stir Welding Of Polymeric Materials”, United States Patent, US Patent US 6,811,632 B2, 0-34, (2004).
- [42] Diego, H. S., Guillermo, L., Santiago, U., Anibal, C., and Luis A.V., “Numerical Modeling of Welded Joints by the "Friction StirWelding" Process ”, Materials Research, 7(4): 569-574 (2004).
- [43] Özkan, S., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Parçalarda Haddeme (Burnishing) ile Yüzeylerin İşlenmesi, Haddemenin Yüzey Pürüzlüğü ve Sertleşmeye Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ”, Yüksek Lisans Tezi, 50 s., (2006).
- [44] Güçlüer, S., “Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemiyle Alın Kaynağı Yapılmış Al-5086 H32 Levhaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Mustafa Kemal Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, (2007).
- [45] Smith, S. D., ve ark., “Friction Stir Welding Tool Developments”, Aluminum Joining Symposium, USA, (2001).
- [46] Kallee ve ark., “Friction Stir Welding, Invention, Innovations and Applications”, 8th International Conference on Joints in Aluminium, 16 s., Germany, (2001).
- [47] Thomas, W. M., Proc. of 7th International Conference on Joints in Aluminium, USA, (1998).
- [48] Thomas, W. M. and Dolby R. E., 6 th International Conference on Trends in Welding Research, USA. (2002).
- [49] Thomas, W. M. ve ark., “Friction Stir Welding – Tool Developments”, Aluminium Joining Symposium, TMS Annual Meeting, USA, (2001).
- [50] Colligan, K. J. ve ark., “Friction Stir Welding Demonstrated for Combat Vehicle Construction”, Welding Journal, 82: 34-40, (2003).

- [51] Özdemir, N., Büyükarıslan, S. ve Sarsılmaz, F., “Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmiş AA1030 Alaşımında Karıştırıcı Uç, Devir Sayısı Ve İlerleme Hızının Mekanik Davranışlar Üzerine Etkisi” Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(4), (2007).
- [52] Bilici, M. K., Yükler, İ. ve Kurtulmuş, M., “Yüksek Yoğunluklu Polietilen Levhaların Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında Kaynak Ucu Geometrisinin Kaynak Mukavemetine Etkisi”, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 23(3), (2011).
- [53] Haşçalık, A., Çaydaş, U., Ünal, E. Ve Karaca, F., “AA5251 Alaşımının sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirliğine uç geometrisinin etkisi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4:1-7, (2007).
- [54] Kiss, Z. and Czirány, T., “Applicability of Friction Stir Welding In Polymeric Materials”, Periodica Polytechnica, 51:1 15–18, (2007).
- [55] [http://makinecim.com/bilgi\\_1759\\_PVC-POLIVINILKLORUR](http://makinecim.com/bilgi_1759_PVC-POLIVINILKLORUR) (14.10.2011)



## ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

**Adı Soyadı:** Belkıs Zengin

**Doğum Tarihi:** 11/11/1984

**Öğrenim Durumu:** Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Tepebağ İHL		1999-2001
Lisans	Makine Eğitimi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğrt.	Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fak.	2004-2008
Yüksek Lisans	Makine Eğitimi	Mersin Üniversitesi	2009-2012

**(Varsa) Görevler:**

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Teknik Öğretmen	Şişli Mehmet Rıfat Evyap Endüstri Meslek Lisesi	2012

## ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

- 1.
- 2.
- 3.