

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİAMİD ESASLI MALZEMELERDE CAM
ELYAF KATKISININ SICAK PLAKA KAYNAĞI
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Umut Emrah KOCATÜFEK

Kasım, 2013

İZMİR

**POLİAMİD ESASLI MALZEMELERDE CAM
ELYAF KATKISININ SICAK PLAKA KAYNAĞI
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı

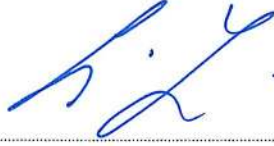
Umut Emrah KOCATÜFEK

Kasım, 2013

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

UMUT EMRAH KOCATÜFEK, tarafından DOÇ. DR. EMİNE ÇINAR YENİ yönetiminde hazırlanan “POLİAMİD ESASLI MALZEMELERDE CAM ELYAF KATKISININ SICAK PLAKA KAYNAĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



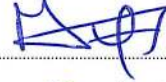
Doç. Dr. Çınar YENİ

Yönetici



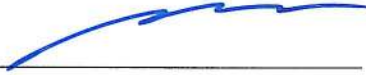
Doç. Dr. Binnur Göres Kılal

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Mustafa Toparlı

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında ve sunulmasında başından sonuna kadar yardımını ve desteğini eksik etmeyen danışman hocam Doç. Dr. Emine Çınar YENİ ve danışman hocam Doç. Dr. Sami SAYER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deney tasarımı sırasında benden desteklerini esirgemeyen Makine Yüksek Mühendisi Aydın ÜLKER'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP 2011 EMYO 001) ve Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP 2011. KB.FEN.026) tarafından desteklenmiştir. Ege ve Dokuz Eylül Üniversitelerine finansal destek için teşekkürü borç bilirim. Ayrıca SPK prosesleri Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu, Lastik ve Plastik Teknolojisi Laboratuvarı'nda, çekme deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Mekanik Laboratuvarı ve gerçekleştirilmiştir. Bu eğitim kurumlarına ve sorumlularına da yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Umut Emrah KOCATÜFEK

POLİAMİD ESASLI MALZEMELERDE CAM ELYAF KATKISININ SICAK PLAKA KAYNAĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Bu çalışmada poliamid 6 (PA 6), poliamid 6 cam elyaf oranı ağırlıkça yüzde 15 (PA 6 GF 15) ve poliamid 6 cam elyaf oranı ağırlıkça yüzde 30 (PA 6 GF 30) poliamid 66 (PA 66), poliamid 66 cam elyaf oranı ağırlıkça yüzde 15 (PA 66 GF 15) ve poliamid 66 cam elyaf oranı ağırlıkça yüzde 30 (PA 66 GF 30) olan mühendislik plastiklerinin sıcak plaka kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, dört farklı kaynak parametresinin etkisi incelenmiştir. Bu parametreler plaka sıcaklığı, ısıtma süresi, birleştirme stroğu ve kaynak süresidir. Bu dört parametrenin her birinde üç farklı değer göz önüne alınmıştır. Numunelerin sıcak plaka kaynağı ile birleştirilme prosesinde Taguchi deney tasarımı yöntemi çerçevesinde L9 ortogonal dizisi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Poliamid 6, Poliamid 66, Cam elyaf katkılı termoplastik kompozit, sıcak plaka kaynağı

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GLASS FIBER REINFORCEMENT ON HOT PLATE WELDING OF POLYAMID BASED MATERIALS

ABSTRACT

In this study, the effect of four welding parameters on hot plate welding of engineering plastics, namely, polyamide 6 (PA 6), polyamide 6 glass fiber reinforcement wt. 15 percent (PA 6 GF 15) and polyamide 6 glass fiber reinforcement wt. 30 percent (PA 6 GF 30) polyamide 66 (PA 66), polyamide 66 glass fiber reinforcement wt. 15 percent (PA 66 GF 15) and polyamide 66 glass fiber reinforcement wt. 30 percent (PA 66 GF 30) are investigated. The parameters considered are the plate temperature, heating time, plate setting stroke and welding time. There levels for each parameter were selected. For hot plate welding process of the specimens, L9 orthogonal array were used within the frame of Taguchi experimental design method.

Keywords: Polyamide 6, Polyamide 66, Fibre glass reinforced thermoplastic composite, hot plate welding

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x

BÖLÜM BİR - POLİMER MALZEMELER VE PLASTİKLERİN SİNIFLANDIRILMASI..... 1

1.1 Plastiğin Tarihçesi	1
1.2 Polimerler	1
1.3 Plastiklerin Sınıflandırılması	2
1.3.1 Elastomerler	3
1.3.2 Termoset Polimerler	3
1.3.3 Termoplastikler.....	4
1.3.3.1 Amorf Yapılı Termoplastikler	5
1.3.3.2 Kısmi Kristal Yapılı Termoplastikler	5
1.4 Poliamid.....	6
1.4.1 Poliamidlerin Genel Özellikleri.....	7

BÖLÜM İKİ - KOMPOZİT MALZEMELER VE NUMUNE ÜRETİMİ..... 9

2.1 Kompozit Malzemeler	9
2.1.1 Kompozit Malzeme Türleri	11
2.1.1.1 Polimer Kompozitler.....	11
2.1.1.2 Metal Kompozitler	12
2.1.1.3 Seramik Kompozitler	12
2.1.2 Kompozitlerin Mekanik Davranışı	12

2.1.3 Kompozit Malzemelerin Özellikleri	13
2.1.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	14
2.1.4.1 Elyafli Kompozitler	14
2.1.5 Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Temel Maddeler	15
2.1.5.1 Matris Malzemeleri	15
2.1.5.2 Elyaf Çeşitleri ve Özellikleri	15
2.1.5.2.1 Cam Elyaflar	16
2.1.6 Kompozit Malzemelerin Kullanımı	18
2.2 Plastik Enjeksiyon Makinası ve Numune Üretimi	18
BÖLÜM ÜÇ - SICAK PLAKA KAYNAĞI.....	23
3.1 Polimerlerin Kaynağı	23
3.2 Sıcak Plaka Kaynağı.....	23
3.2.1 Sıcak Plaka Kaynağı Literatür Araştırması	25
3.2.2 Sıcak Plaka Kaynağı Prosesi	26
3.2.3 İşlem Parametreleri	30
3.2.4 Sıcak Plaka Kaynak Yöntemi Uygulanabilen Malzemeler	33
3.2.5 Kaynak Mikro Yapısı	34
BÖLÜM DÖRT - TAGUCHI DENEY TASARIMI İLE SONUÇLARIN ANALİZİ.....	35
4.1 SPK Prosesi için Taguchi Deney Tasarımı	35
4.1.1 Sinyal/Gürültü (S/N) Oranı Analizi	37
4.1.2 Varyans Analizi (ANOVA)	39
4.1.3 Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi – Sonuç Tabloları	41
4.2 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	43
4.2.1 Faktörlerin Kaynak Mukavemetine Katkı Oranı	43
4.2.2 Optimum Kaynak Mukavemeti Tahmini	44
4.2.3 Tahmin Edilen Optimum Kaynak Mukavemetinin ve SPK Verimliliğinin Hesaplanması	45

4.2.4 Doğrulama Deneyleri.....	46
4.2.5 Başlangıçtaki Kaynak Mukavemetinin Hesaplanması ve SPK Verimliliğinin Hesaplanması.....	46
BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR	52
EKLER.....	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Etilenin polimer yapısı	2
Şekil 1.2 Plastiklerin sınıflandırılması	3
Şekil 1.3 Amorf termoplastiklerin gösterilişi.....	5
Şekil 1.4 Kısmi kristal termoplastiklerin gösterilişi.....	5
Şekil 1.5 Poliamid 6 ve Poliamid 6.6 moleküler yapısı	6
Şekil 1.7 Poliamidden yapılmış ürünlere ilgili örnekler	8
Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin donatılı ve pekiştirilmiş türüne göre görünüşü.....	9
Şekil 2.2 Kompozit malzeme liflerin diziliş yönünün elastisite modülüne etkisi.....	13
Şekil 2.3 Plastik enjeksiyon makinası	19
Şekil 2.3 Çekme numunesinin şekil ve boyutları (ASTM D638)	20
Şekil 2.4 Poliamid 6 malzeme çekme numunesi gerilme (σ) –uzama (ϵ) eğrisi.....	20
Şekil 2.5 Poliamid 66 malzeme çekme numunesi gerilme (σ) –uzama (ϵ) eğrisi.....	21
Şekil 2.6 Plastik enjeksiyon kalıbından çıkan ve kaynakla birleştirilecek numuneler	22
Şekil 3.1 Sıcak plaka kaynak makinası şematik gösterimi	24
Şekil 3.3 SPK'nın dört aşamasını gösteren basınç-zaman grafiği (Stokes ve Conway, 2001).....	28
Şekil 3.4 PA66 Sıcak Plaka Kaynağı Teflonsuz Uygulama	31
Şekil 3.5 Konvansiyonel sıcak plaka kaynağında kaynak parametreleri	32
Şekil 4.1 Çekme deneyi sonuçlarına göre faktör etkileri grafiği - S/N oranları	42
Şekil 4.2 Çekme deneyi sonuçlarına göre faktör etkileri grafiği – ortalamalar	43

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Pekiştirici liflerin özellikleri	11
Tablo 2.2 Lifli kompozitlerin özellikleri.....	11
Tablo 2.3 Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri.....	17
Tablo 2.4 Plastik enjeksiyon numune üretim parametreleri.....	19
Tablo 2.5 Malzeme firma ve özellikleri.....	21
Tablo 3.1 Isıtıcı plaka poliamid malzeme maksimum sıcaklık değerleri.....	31
Tablo 4.1 Poliamid 6, PA6 %15GF ve PA6 %30GF SPK proses parametreleri ve seviyeleri	35
Tablo 4.2 Poliamid 66, PA66 %15GF ve PA66%30GF SPK proses parametreleri ve seviyeleri	35
Tablo 4.3 L ₉ ortogonal dizisi.....	36
Tablo 4.4 PA6, PA6 %15GF ve PA6 %30 SPK proses parametre ve seviyeleri için L ₉ ortogonal dizisi	36
Tablo 4.6 Çekme deneyi sonuçları ve hesaplanan S/N oranları.....	38
Tablo 4.7 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 %15 varyans analizi (ANOVA)	39
Tablo 4.8 Varyans birleştirmesinden sonra çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 %15 varyans analizi (ANOVA).....	40
Tablo 4.9 Fisher testi anlamlılık düzeyleri.....	41
Tablo 4.10 SPK Parametrelerinin Anlamlılık Düzeyleri	41
Tablo 4.11 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 GF15 için S/N oranı için sonuç tablosu	42
Tablo 4.12 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 GF15 ortalamaları için sonuç tablosu	42
Tablo 4.13 PA6 GF15 için optimum kaynak parametreleri ve seviyeleri.....	44
Tablo 4.14 PA6 GF15 için başlangıçtaki kaynak parametreleri ve seviyeleri.....	46
Tablo 4.15 Doğrulama deneyleri sonuçları.....	47
Tablo 5.1 PA6, PA6 GF15, PA6 GF30 Çekme deneyi sonuçları ve hesaplanan S/N oranları	49
Tablo 5.2 PA66, PA66 GF15, PA66 GF30 Çekme deneyi sonuçları ve hesaplanan S/N oranları	49

Tablo 5.3 PA6, PA6 GF15, PA6 GF30 malzemeler için optimum kaynak parametreleri ve sonuçların tahmini.....	50
Tablo 5.4 PA66, PA66 GF15, PA66 GF30 malzemeler için optimum kaynak parametreleri ve sonuçların tahmini.....	50

BÖLÜM BİR

POLİMER MALZEMELER VE PLASTİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

1.1 Plastik Tarihçesi

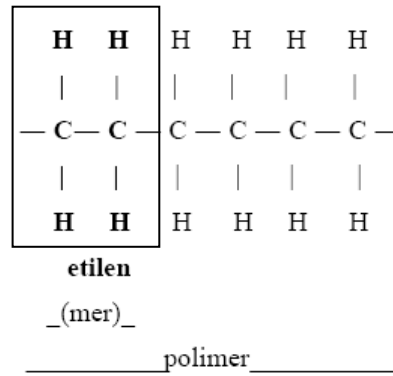
Plastik kelimesi eski Yunancada şekil vermeye elverişli anlamına gelen “plastikos” kelimesinden türemiştir. Normal sıcakta genellikle katı halde bulunan, basınç ve sıcaklık ile şekillenebilen organik polimerik maddelere plastik olarak tanımlanabilir. Plastik sanayinin nitroselüloz’un ticareti olarak üretimiyle (1868) başladığı kabul edilir. İsveçli kimyacı Christian Friedrich Schoebein (1799-1868) tarafından (1848) keşfedilmiştir. 1891 yılı yapay ipek keşfedildi. 1907 yılı bakalit, 1926 yılı PVC icat edildi. 1928’de polimetilmetakrilat 1929’da üre-formaldehit reçineleri elde edilmiştir. 1933 yılı polietilen, 1934’de naylon ticari adıyla ve poliamid, poliakrilonitril, stiren-akrilonitril ve polivinil asetat, 1937’de poliüretan, 1938 yılı teflon ticari ismiyle tanınan poli(tetrafloroetilen) keşfedildi. 1941’de polietilentereftalat, ve orlon ticari adıyla tanınan poliakrilonitril fiber. 1939 yılı naylon çorap marketlerde satılmaya başladı. Bu ve bunları izleyen diğer plastik malzemelerin temel yapı taşları ve hammaddeleri olan polimerler, 19. yüzyılın ikinci yarısındaki bazı deneme çalışmaları sırasında birçoğu tesadüfen ortaya çıkmıştır.

Ancak modern plastik endüstrisi Baekeland tarafından bakalit endüstride kullanılmasıyla başlar. Fenol formaldehit reçinesi olan bakalit telefon ahizeleri gibi plastik ürünlerin yapımında kullanılmıştır. 1924’e kadar polimer yapılarının "Koloid agregat" halinde bulunan küçük moleküllerinden oluştuğu sanılırdı. Staudinger yaptığı büyük çapta incelemelerin sonucu olarak, plastiklerin zincir şeklinde makro moleküllerden oluştuğunu ve bu moleküllerin birbiriyle kovalent bağlanan küçük ünitelerden meydana geldiğini göstermiştir.

1.2 Polimerler

Polimerler molekülleri yüksek moleküler ağırlığa sahip birbirini tekrarlayan elemanlardan meydana gelen malzemelerdir. Eski tarihlerde kullanılan polimer

malzemeler protein selüloz, nişasta, doğal kauçuk gibi doğal polimerler, işleme zorluğu fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin istenilen kalitede olmamasından dolayı yerlerini sentetik polimerlere bırakmışlardır. Günlük hayatımızda kullandığımız ucuz kullanışlı (hafif) olmasından dolayı polimer malzemeler zamanla artmaktadır. Tüm dünyada 200 milyon ton/yıl kullanılan sentetik polimerler çoğunlukla plastik olarak bilinmektedirler Polimerler genellikle petrol ürünlerinde elde edilen yapılarında C, H, O, N, S bulunan malzemelerdir. Polimeri birleştiren en küçük birimlere monomer denir. En küçük monomer etilendir. Polimer yapı elementleri çok çeşitli olmamakla birlikte çoğu polimer hidrojen ve karbondan oluşmaktadır. Diğer polimerler akrilikler(oksijen), poliamidler(nitrojen), fluoroplastikler(flor) ve silikonlardır(silisyum). Aşağıdaki Şekil 1.1’de en küçük monomer etilenden oluşan polietilen görülmektedir.



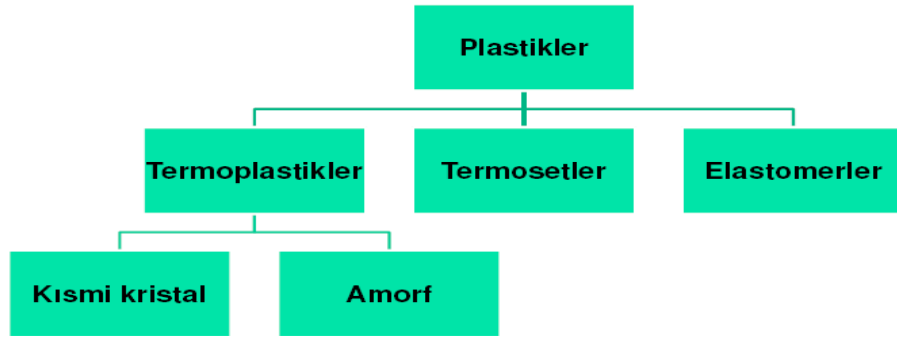
Şekil 1.1 Etilenin polimer yapısı

1.3 Plastiklerin Sınıflandırılması

Polimerler üretim tekniğine, fiziksel özelliklerine ve teknolojik kullanım alanlarına göre; yüksek performanslı mühendislik plastikleri, mühendislik plastikleri standart plastikler olarak sınıflandırılır.

Atomlar arası ve polimer zincir arasındaki bağlara göre plastikler;

- Termoplastikler,
- Termosetler
- Elastomerler olmak üzere üçe ayrılırlar.



Şekil 1.2 Plastiklerin sınıflandırılması

1.3.1 Elastomerler

Elastomerler birçok defa uzatılıp bırakıldığında ilk ölçülerine geri dönebilen kauçuk türü malzemelerdir. Bu malzemeler düşük yoğunlukta çapraz bağlara sahiptirler. Bu malzeme cinsi genellikle düşük elastikiyet modülüne sahip ve yüksek akma mukavemetine sahip bir malzemedir. Elastomer malzemelerde polimer zincirleri belli seviyede hareket serbestliğine sahiptirler, ancak çapraz bağlar sonucu oluşabilecek daimi taşınmalara karşıda korumalıdırlar. Elastomer malzemeler hareketli zincir sayısını azaltmak adına camı veya kristalimsi faza soğutulmalıdırlar. Başlıca elastomerlere; polibütadien, stiren bütadien, nitril kauçuk örnek gösterilebilir.

1.3.2 Termoset Polimerler

Termoset polimerler ısı uygulamaları sonrasında verilen şekle göre sertleşen ve katılaştıran malzemelerdir. Bu sertleşme işlemi malzemenin molekül zincirleri arasında oluşan daimi bağlantılar sonucu geri dönüşü olmayan bir işlemdir. Molekül zincirleri arasında oluşan çapraz bağlar polimere yüksek rijitlikte bir iskelet oluşturmaktadır.

Termoset malzemeler tekrardan eritilememektedir ve geri dönüşümü olmayan malzemelerdir. Termoset polimerler, termoplastik polimerlere göre mekanik özellikler, kimyasal direnç ve ısı istikrarlılık bakımından daha üstün malzemelerdir. Ancak bu özelliklerinin yanında termoset polimerler kırılgan malzemelerdir. Başlıca termoset polimerlere epoksi reçinesi, poliüretanlar, bakalit ve vulkanize kauçuk örnek verilebilir.

1.3.3 Termoplastikler

Lineer polimerler olup sıcaklık artınca yumuşarlar soğuyunca sertleşirler. Bu özelliklerinden dolayı geri dönüşümü olan bir plastiktirler. Mekanik özellikleri yükleme hızına, yükleme süresine ve sıcaklığa bağlı olarak değişirler. Oda sıcaklığında sabit gerilme altında sürekli şekil değiştirirler.

Termoplastik polimerlerinin eriyik halden soğutulurken bozulan zincir yapısını tekrardan düzenli bir yapıya sokması için dış kaynaklı yüksek bir enerjiye ihtiyacı vardır. Termoplastik polimerler lineer molekül yapısına sahiptir ve molekül zincirleri arasında kuvvetli kovalent bağlar bulunmaktadır. Moleküller arasında ise ısıya karşı duyarlı, moleküller arası zincirlerin birbirlerine göre hareketlerini durduran kuvvet vardır. Bundan dolayı bir termoplastik polimer ısıtıldığında moleküller arası bağlar zayıflar ve polimere kolayca şekil verilebilir. Malzeme soğuduğunda ise moleküller arası kuvvet büyür ve eski haline döner. Elastomerler iki yana çekilerek uzatılıp bırakıldığı zaman eski haline dönerken termoplastik malzeme belli bir noktaya kadar uzar, daha sonra kalıcı deformasyona uğrar ve kopar. Termoplastik eriyiğine plastikleştirici katkısı yaparak bu polimerlerin daha sünek bir yapıya ulaşması sağlanabilmektedir.

Termoplastik polimerler grubunda yer alan polimerlerden bazıları ise şunlardır;

- a) Polipropilen (PP)
- b) Polistiren (PS)
- c) Poliamid (PA)
- d) Polivinilklorür (PVC) ve vinil kopolimerleri
- e) Akrilonitril bütadien stiren (ABS)
- f) Stiren akrilonitril (SAN)
- g) Selülozikler (CA, CP, CAB) (Termoplastik polimerler, 2013)

1.3.3.1 Amorf Yapılı Termoplastikler

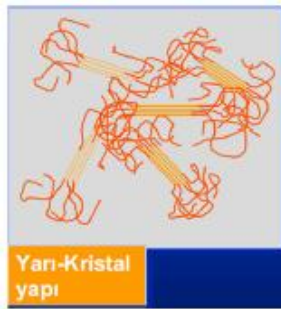
Amorf yapıdaki plastik bileşikler karmaşık bir yapıya sahiptirler ve bunlarda bir pamuk yumağı içinde elyaflara benzeyen ideal bir düzensizlik vardır. Bunlar; akrilonitril bütadien stiren (ABS), polistiren (PS), stiren akrilonitril (SAN), polivinilklorür (PVC), policarbon (PC).



Şekil 1.3 Amorf termoplastiklerin gösterilişi

1.3.3.2 Kısmi Kristal Yapılı Termoplastikler

Moleküller bölümlerin veya moleküller zincir katlarının paralel olarak birikimleridir. Bu yapıdaki plastikler kısmen kristalleşmiş polimerler olarak adlandırılır. Bunlar; polietilen (PE), polipropilen (PP), poliamid (PA), polioksimetilen (POM), polietilen (PET), polibütilentereftalat (PBT).

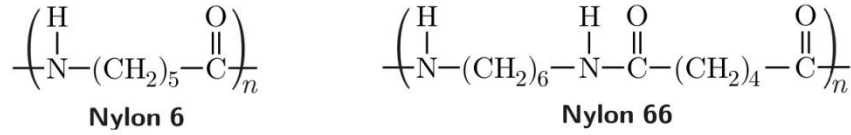


Şekil 1.4 Kısmi kristal termoplastiklerin gösterilişi

1.4 Poliamid

Naylon fiber endüstrisi 64 milyon çift naylon çorabın satıldığı 1939 yılında doğmuştur. Çoğu insan hala yaygın ismiyle naylonun fiber olduğunu zannetmektedir oysaki 1940-1950’lerde naylon (poliamid) ürünleri plastiklerde olduğu gibi enjeksiyon ve ekstrüzyon işlemleriyle üretilmeye başlamıştır.

Poliamidler lineer zincir yapılarında amid grubu içeren termoplastik malzemelerdir. Poliamid tipleri Wallace H. Carather ve onun poliamid 66 ilk sentezi çalışmalarıyla 1935 yılındaki bulunmuştur (Brydson, 2006).



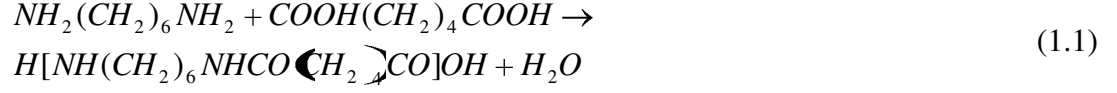
Şekil 1.5 Poliamid 6 ve Poliamid 6.6 moleküler yapısı

Genel olarak poliamidler molekül yapısına göre iki ana gruptan temsil edilir. Bir tanesi naylon XY ve diğeri ise naylon Z naylon XY grubu için (naylon 66) X diamin monomerleri içindeki karbon atomlarını temsil eder ve Y ise diasit monomerleri içindeki karbon atomlarını temsil eder. Z grubu naylonlar için (PA6) Z monomer yapıdaki karbon atomlarını temsil eder (Deopura, Alagirusamy, Joshi ve Gupta, 2008).

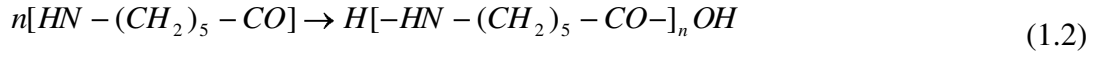
Poliamidler çok çeşitli metotlarla üretilirler. En çok bilinen ve kullanılan metotlar;

1. Diaminlerin dikarboksilik asitle reaksiyonu sonucu (naylon tuzlarının ürünleri)
2. W-amino asitlerin kendi kendine yoğunlaşması
3. Bir laktam bağının açılması sonucu
4. Diaminlerin diasitle klorlanması reaksiyonu sonucu
5. İzosiyanoürler ile karboksilik asitle reaksiyonu sonucu

Poliamid 66 diasit ve diain reaksiyonu sonucu (1. üretim metodu) sonucu oluşur. Hekzametilen diamid ve diapik asit reaksiyonu sonucu ortaya bir kimyasal tuz açığa çıkar. Bu tuzun polimerizasyonu sonucu poliamid 66 oluşur.



Poliamid 6 ise W-aminoasitlerin kendi kendine yoğunlaşması sonucu oluşan polimerizasyonda oluşur. Bu işlem için kaprolaktam kullanılır.



Poliamidlerdeki amid gurubunun (-CONH-) yüksek olması daha yüksek yoğunluk, çekme gerilmesi, rijitlik, sertlik, sürünmeye karşı dayanım ergime sıcaklığı Tg, hidrokarbonlara dayanımı ve su emilimini arttırır (Brydson, 2006).

1.4.1 Poliamidlerin Genel Özellikleri

Poliamidler amorf ve kısmi kristal yapıdadırlar molekül ağırlığı 10.000-80.000 arasında değişen yüksek kristallige sahiptir. PA12, PA11, PA6, PA46, PA612, PA610 ve PA66 kısmi kristal iken PA6-3-T(+PE) amorf yapılıdır.

Poliamidler mühendislik plastikleri içinde mekanik mukavemeti yüksek, darbe ve aşınma dayanımı iyi, sünektir. Mekanik özellikleri arttırmak için cam elyaf katkı kullanılır. Nem alma özelliği yüksek %3.5 olmasıyla mekanik özellikleri nem oranıyla birlikte farklılık gösterir. Kullanım sıcaklıkları standart tipleri için -40 °C /120 °C arasında iken özel tipleri için -70/140 °C arasında değişmektedir. PA 6 ile özellikleri birbirine çok yakın olmasına rağmen, erime noktasının daha yüksek olmasından dolayı yüksek ısı gerektiren durumlar için PA 66 kullanılır.

Hassas makine parçaları üretiminde kullanılır. Kayış, taşıma bandı, dişli, yatak, rulman kapağı, cıvata, kask, otomotivde dış ayna ön ızgara gibi yaygın kullanım sahası bulmuştur.



Şekil 1.7 Poliamidden yapılmış ürünlere ilgili örnekler

BÖLÜM İKİ

KOMPOZİT MALZEMELER VE NUMUNE ÜRETİMİ

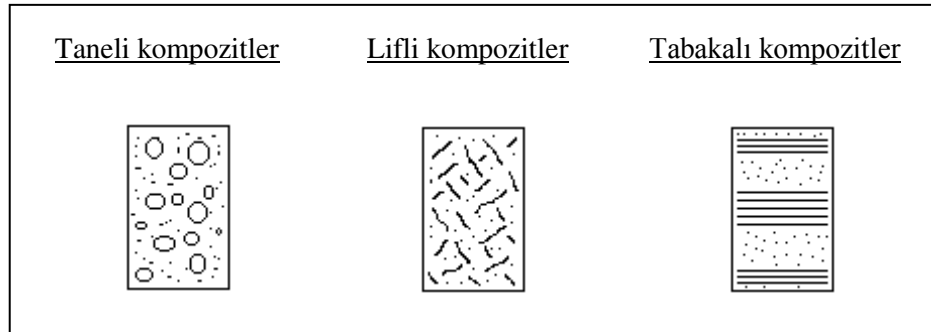
2.1 Kompozit Malzemeler

Zayıf yönleri de olabilen malzemelerin daha az maliyetli ve üstün özellikli üretim yapmak amacıyla bir araya getirilmesiyle oluşan malzeme veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Fiber(cam) elyaflı poliester levhalar, otomobil lastikleri ve çelik donatılı beton bloklar, bazı örneklerdir.

Malzemeler içyapı yönünden farklı kısımlardan meydana gelebilir. Bu kısımlara faz denir. Kompozit yapıli malzemeler çok fazlı malzemelerdir. Yapılarında sürekli bir ana faz ile onun içinde dağıtılmış destekleyici bir donatı fazı vardır. Bu faz mikroskobik ve makroskobik bileşimle sağlanabilir.

Mikroskobik bileşim örneği için ferrit ve sementitin mikroskobik düzeyde homojen karışımlarından oluşan perlit çeliğinden bahsedebiliriz. Yumuşak ve düşük mukavemetli olan ferritle, sert ve gevrek sementit birlikte ince tabakalar halinde birleşerek yüksek mukavemetli ve tok bir malzeme olan perlit çeliğini oluştururlar.

Makroskobik bileşimde ise boyutları 0,1 mm'nin üzerinde gözle görülebilen malzemelerin bir araya getirilerek üstün özelliklerdeki malzeme kütleleri oluştururlar.



Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin donatılı ve pekiştirilmiş türüne göre görünüşü

Lifli ve tabakalı kompozitlerin malzeme özelliklerine sağladığı artış taneli kompozitlere göre çok daha yüksektir. Taneli kompozitler verilebilecek en yaygın örnek betondur. Sert küçük tanelilerin sünek bir malzemeyle birleştirilip daha büyük taneli malzeme (aglomerasyon) haline getirilerek üretilen kompozitlere verilebilecek örnek de asfalt betonudur.

Asfalt düşük mukavemetli ve viskozitesi yüksektir. Taş ise sert ve gevrek, kütle halinde fazla şekil değiştirmeden çatlayarak kolayca kırılabilirler. Farklı boyutlardaki kırma taş ile asfaltın birleşerek hem sünek hem de yeterli mukavemete sahip yol kaplaması malzemesini oluştururlar.

Uygulamada en önemli olan kompozitler lifli kompozitlerdir. Liflerin çapları 0,1mm civarında olup matris denilen donatı malzemeyle birlikte kullanılırlar. Kalınlıkları arttığında üretim hata oranının artması nedeniyle mukavemetleri çok azalır. Bu lifler uygun matris malzemeyi istenen boyutta mekanik özellikleri yüksek kütlelere dönüştürürler. Bu bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Kullanılan donatı malzemelerinin çoğunluğu kuvvetli kovalent bağa sahiptir. Aynı amaçla kullanılan metal liflerin mukavemeti de soğuk çekme ile artırılmaktadır. Lifler yönlenmiş veya rastgele dağılmış olabilir. Yönlenmiş lifler doğrultusundaki mekanik özellikler yanal doğrultudan çok daha büyük olur. Pekiştirici liflerin hacimce oranı arttıkça kompozitin mekanik özellikleri artar. Yönlenmiş liflerde bu oran hacmen %80, rastgele yönlenmişlerde ise maksimum %50 olur.

Cam lifli polyesterlerin mukavemeti ve elastisite modülü düşük olmasına rağmen daha ucuz ve kolay uygulandığından deniz tekneleri, oto, spor malzemeleri ve yapı elemanları üretiminde çok yaygın olarak kullanılır.

2.1.1 Kompozit Malzeme Türleri

2.1.1.1 Polimer Kompozitler

Pekiştirici olarak cam, karbon kevlar ve boron lifleri kullanılarak üretilen Polimer kompozitler endüstride çok geniş kullanma alanına sahiptir.

Tablo 2.1 Pekiştirici liflerin özellikleri

Malzeme	Özgöl Ağırlık g / cm ³	Çekme Mukavemeti N / mm ²	Elastisite Modülü N / mm ²
Cam lifi	2,54	2410	70000
Karbon lifi	1,75	3100	220000
Kevlar lifi	1,46	3600	124000

Polimer kompozitlerde en yaygın kullanılan bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Pekiştirici liflerin hacimce miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Polimer kompozitlerin yüksek özgöl mukavemet (mukavemet/ özgöl ağırlık) ve özgöl elastisite modülüne sahip olması diğer malzemelerden üstün durumda olmasını sağlayan en önemli özelliğidir. Örneğin yüksek mukavemetli çeliklerde özgöl mukavemetin 110 Nm/g iken cam lifi – polyesterlerde 620 Nm/g, karbon lifi epoksida 700 Nm/g ve kevlar epoksida 886 Nm/g dir. Karbon liflerinin özgöl elastisite modülü alüminyumunkinin 5 katı kadardır. Bu üstün özelliklerden dolayı polimer kompozitler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına yerine tercih edilir.

Tablo 2.2 Lifli kompozitlerin özellikleri

Malzeme	Özgöl Ağırlık gr/cm ³	Çekme Mukavemeti N/mm ²	Elastisite Modülü N/mm ²
Cam lifi – polyester	1,5 – 2,1	200 – 340	55000 – 130000
Karbon lifi – epoksi	1,5 – 1,8	1860	145000
Kevlar – epoksi	2,36	2240	76000
Boron lifi - epoksi	1,4	1240	176000

2.1.1.2 Metal Kompozitler

Metal matrisli birleşik malzemeler metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak elde edilirler. Metal kompozitler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskopu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vb. yerlerde kullanılır.

2.1.1.3 Seramik Kompozitler

Seramik kompozitlerde yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN'dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da bir kaçını beraber kullanılarak seramik matrisli birleşik malzemeler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir.

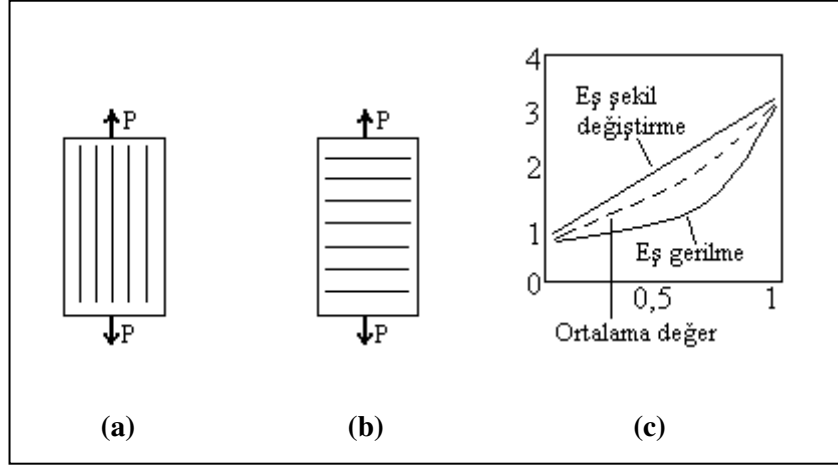
2.1.2 Kompozitlerin Mekanik Davranışı

Kompozitlerde liflerin dağılımı kuvvet yönüne paralel veya dik yönde veya rastgele üretilirler. Lifler yönlenmiş durumda iken kompozit büyük ölçüde anizotrop olur. Liflerin yönü rast gele dağıtılmış ise düzlemsel boyutta izotrop olurlar.

Liflerin diziliş yönü kuvvet yönleri birbirine paralel ise liflerle matris aynı miktarda şekil değiştirir. Buna eş şekil değiştirme hali denir. Matrisin elastisite modülü E_m , liflerini elastisite modülü E_f ve liflerin hacimsel oranı V_f ise kompozitin paralel doğrultudaki bileşke elastisite modülü ise formül (2.1) olur

$$E_k = E_f * V_f + V_f (1 - E_m) \quad (2.1)$$

- a) Eş şekil değiştirme hali (Paralel lifler)
- b) Eş gerilme hali (Dik lifler)
- c) Elastisite modülünün kompozitin bileşim oranı ile değişimi (Rastgele lifler)



Şekil 2.2 Kompozit malzeme liflerin diziliş yönünün elastisite modülüne etkisi

Kompozit malzemelerin çekme mukavemetlerinin maksimum değeri liflerin kopmasıyla hesaplanır. Kompozit yapıda en uygun mekanik özellik liflerin kuvvet doğrultusunda paralel dizildiği zamandır.

Liflerin kuvvet yönüne dik olduğu hallerde makro ile lifler aynı yükü taşımaktadır. Eş gerilme hali bilinen bu yükleme karşısında kompozitin elastisite modülü formül (2.2) deki gibidir.

$$E_k = \frac{E_m E_f}{E_m V_f + (-V_f) E_f} \quad (2.2)$$

E_f , T_f liflerin çekme mukavemeti, T_m liflerin koptuğu andaki şekil değiştirme için matristeki gerilme ve V_f liflerin hacimsel oranı ile kompozitin çekme mukavemeti. formül (2.3) olur.

$$T_k = T_f \cdot V_f + (-V_f) T_m \quad (2.3)$$

2.1.3 Kompozit Malzemelerin Özellikleri

- a) Polimer kompozitler hafiftirler. $1,5 - 2 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğundadır. Metal kompozitler, $2,5 - 4,5 \text{ g/cm}^3$ olmakla beraber özellerde sıçrama görülebilir. Seramik kompozitler ise ikisi arasındadır.

- b) Genleşme katsayıları düşük olup sert, sağlam bir yapı ve büyük bir boyut kararlılığı gösterirler.
- c) Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları yüksektir.
- d) Kompozitler birçok kimyasal maddelere, bu arada asitler, alkaliler, çözücüler ve açık hava şartlarına karşı son derece direnç gösterirler. Kimya tesisleri için çok kullanılan malzemelerdir.
- e) Kompozitlerin ısı dayanımı sıradan plastiklere göre yüksektir.
- f) Elektriksel özellikler kompozitlerde isteğe göre ayarlanabilir. Metal Matrisli kompozitler iletkenlerdir.

2.1.4 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme olduğu için malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak daha uygun olacaktır. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

- a. Elyafli kompozitler
- b. Parçacıklı kompozitler
- c. Tabakalı kompozitler
- d. Karma kompozitler

2.1.4.1 Elyafli Kompozitler

İnce elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelirler. Elyafların matris içindeki dizilişi kompozit yapıdaki mekanik özellikleri etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar diziliş yönünde yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle iki yönde de eşit mukavemet değerleri bulunur. Matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla izotrop bir yapı oluşturulur. Elyafların mekanik özellikleri kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır.

Kompozit yapının mekaniğinde önemli olan diğ er bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağıın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar varsa elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorbsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir.

2.1.5 Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Temel Maddeler

2.1.5.1 Matris Malzemeleri

Kompozit yapılarda matrisin üç temel görevi vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların bu görevi yerine getirmeleri için matrisin mekanik özelliklerinin etkisi büyüktür. Matris sayesinde yük tüm elyaflara eşit olarak dağılacaktır. Kesme kuvveti altındaki gerilme dayanımı, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti sahip olmasını gerektirmektedir. Elyaf yönünün dik doğrultusunda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağı kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirler. Matris elyafa göre daha zayıf ve daha esnek yapıdır. Bu özellik kompozit yapı tasarımında dikkat edilmesi gerekli bir husustur.

Matrisin kesme mukavemetiyle matris elyaf arası bağı kuvvetleri çok yüksek ise oluşacak bir çatlağın yön değıştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme davranışı gösterir. Kopma yüzeyi temiz ve parlak olur. Eğer bağı kuvveti çok düşükse elyaflar boşluktaki bir demet gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyeli bağı kuvveti varsa elyaf veya matrsten başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler.

2.1.5.2 Elyaf Çeşitleri ve Özellikleri

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastite modülüne

ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar teknolojiye kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile, büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır.

1. Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.
2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması.
3. Elastisite modülünün çok yüksek olması.

2.1.5.2.1 Cam Elyaflar. Sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis (SiO_2) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken 1260 °C civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir.

Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
2. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
4. Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyafli kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.

5. Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyafı kompozitlerin kullanılmasına imkân tanırılır.

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur;

a. Alkali Camı (A camı) yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir.

b. Korozyon Camı (C camı) kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir.

c. Elektrik Camı (E camı) düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır.

d. Mukavemet Camı (S camı) yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar. Poliamid 6 ve Poliamid 66'nın %15 ve %30 cam elyaf takviyeli polimerleri tiplerinde S camı kullanılarak poliamid kompozit malzemeleri oluşturulmuştur.

Tablo 2.3 Cam elyafların mekanik özellikleri ve bileşimleri

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti (MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genleşme katsayısı	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katkı Malzemeleri (%)				
SiO ₂	72.0	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	0.3
B ₂ O ₃	-	4.7	10.6	-
BaO	-	0.9	-	-

2.1.6 Kompozit Malzemelerin Kullanımı

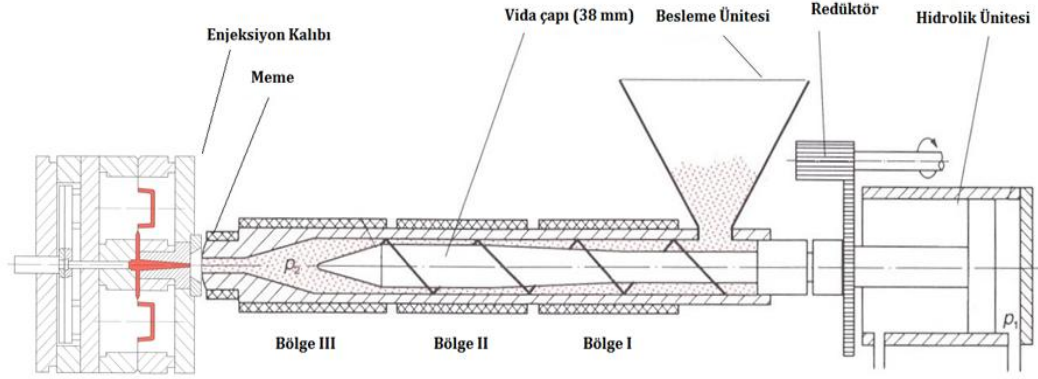
Günlük ve Ticari amaçla, yaygın şekilde cam elyafı, cam, keçe ve cam dokuma ile polyester reçineden yapılan çeşitli ürünler kullanılmaktadır. Cam elyaf oranı % 30–40 arasındır. Çay tepsisi, masa, sandalye, depo, küvet, tekne, bot ve otomotiv sanayi bu kompozitlerin uygulama örnekleridir. Ayrıca formika, baskılı devre plakası, elektrikçi fiberleri, spor malzemeleri ve araç şarjı atlama sıırıkları, kaynak takımı, tenis raketi, yarış kanoları değişik birleşik malzemelerden yapılan ürünlerdir (Ünal, 2013).

2.2 Plastik Enjeksiyon Makinesi ve Numune Üretimi

Plastik enjeksiyon yöntemi plastik tüketim malzemelerinin üretilmesindeki ekonomik ve yaygın yöntemlerden birisidir. Bu yöntemle otomotiv parçaları, bilgisayar parçaları, ev eşyaları gibi ürünler üretilebilmektedir. Yöntem plastik ham malzemenin sıcaklık yardımı ile eritilmesinin ardından bir kalıbın içine basılarak istenilen şekle getirilmesi prensibine dayanır. Ham malzeme istenilen şekle gelirken kalıp içerisinde soğur ve parça kalıptan çıkarılır.

Ham malzeme (granül) olarak tedarik edilen poliamid 6 poliamid 66 ve bunların %15 ve %30 cam elyaf takviyeli polimerleri plastik enjeksiyon yöntemi uygulanarak BOY 50T 38 mm vida çapındaki enjeksiyon makinesi ile kaynak numuneleri ve çekme numuneleri üretilmiştir. İlk olarak ham malzeme plastik enjeksiyon makinesinin besleyici kısmına dökülmüştür. Poliamid malzemenin nem tutma özelliğinin dolayı 4 saat boyunca 80°C’ de kurutulmuştur. Kuruyan granüller besleyicinin kapağı açılarak sonsuz vida yardımıyla ısıtıcı birimlere doğru ilerlemiştir. Poliamid tipine uygun olarak bölgesel olarak artan bir sıcaklık dağılımı uygulanmıştır. Bölgelerden geçerek eriyik hale gelen poliamid olan daha sonra enjeksiyon kısmının son bölgesine meme kısmına ulaşmaktadır.

Bu işlemlerin ardından ise meme kısmındaki plastikleşmiş malzeme şekillenmek üzere kalıplara basılmıştır. Burada mengene açma ve kapama basınç ayarları poliamid polimerleri ve numune için uygun değerlere getirilmiştir. Enjeksiyon işleminden kalıplar bir araya gelir, ardından erimiş malzeme kalıp içine basılmıştır.



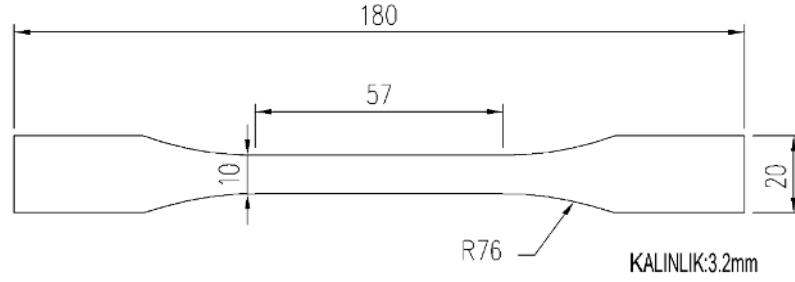
Şekil 2.3 Plastik enjeksiyon makinası

Kalıp içerisine enjekte edilen plastik malzeme burada soğumaya başlar. Bu soğumanın sonucu olarak plastik malzeme enjekte edildiği kalıbın şeklini alarak katılaşmaya başlar. Gerekli soğuma süresince kalıp açılmaz. Bu süre çeşitli plastik malzemenin et kalınlığı, termodinamik ve mekanik özelliklerine göre hesaplanabilir. Parça boyutlarımızın küçük olmasından dolayı 20 s bekleme süresi yeterli olmaktadır.

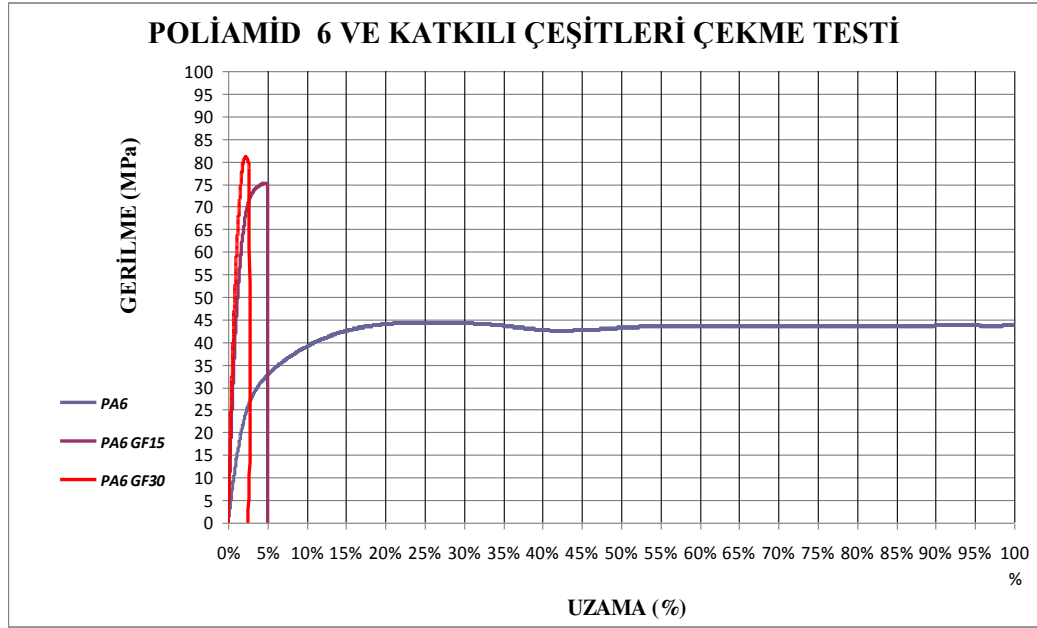
Tablo 2.4 Plastik enjeksiyon numune üretim parametreleri (Meriç, Akcan, Arcan ve Çayıt, 2011)

Malzeme Tipi	Sıcaklık (°C)				Basınç (bar)	
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Meme	P ₁	P ₂
PA6	210	220	230	240	45	410
PA6 GF15	220	230	240	250	50	450
PA6 GF30	230	240	250	260	55	500
PA66	240	250	260	270	45	410
PA66 GF15	250	260	270	280	50	450
PA66 GF30	260	270	280	290	55	500

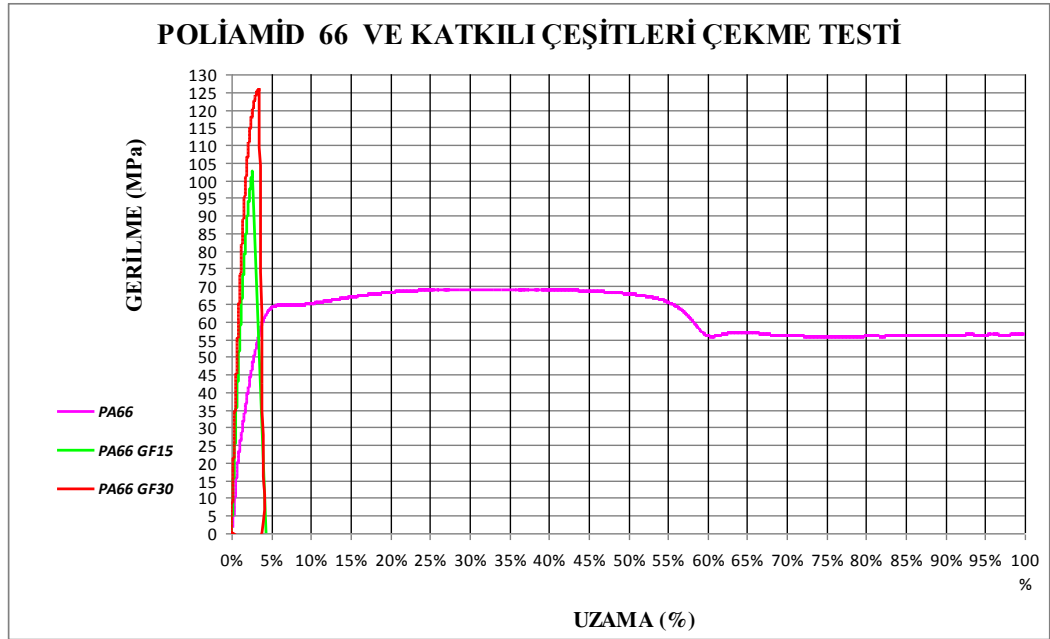
Çekme deneyleri TS EN ISO 527 standartlarına göre, 23 ± 1 °C’lik laboratuvar ortamında, 5 mm/dak çekme hızıyla Shimadzu 100 kN üniversal servo hidrolik çekme deneyi cihazında yapılmıştır. Şekil 2.3’deki çekme deneyi numunelerinin kesit alanı $A_o = 3,2 \times 10 = 32 \text{ mm}^2$ ’dir. Gerilme (σ) –Uzama (ϵ) eğrileri çizilirken numunelerin yüzde uzaması ekstansiyometre kamerasıyla $L_o = 50 \text{ mm}$ ’lik aralıkta ölçülmüştür.



Şekil 2.3 Çekme numunesinin şekil ve boyutları (ASTM D638)



Şekil 2.4 Poliamid 6 malzeme çekme numunesi gerilme (σ) –uzama (ϵ) eğrisi

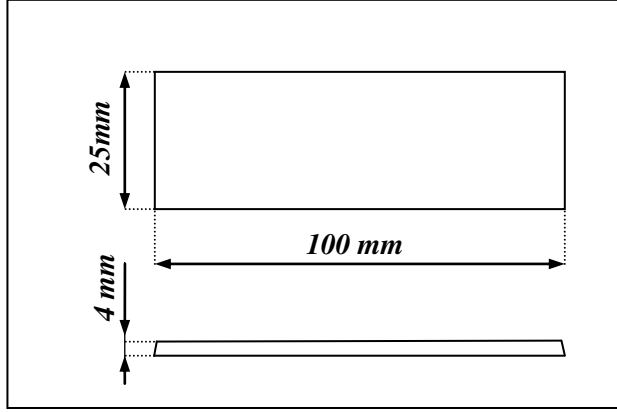
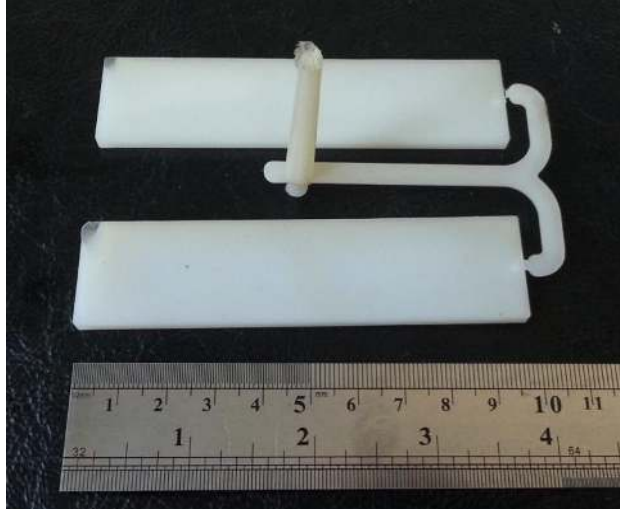


Şekil 2.5 Poliamid 66 malzeme çekme numunesi gerilme (σ) –uzama (ϵ) eğrisi

Tablo 2.5 Malzeme firma ve özellikleri

Malzeme Kodu	Firma Adı	Ürün Kodu	Yoğunluk	Maksimum Çekme Gerilmesi	% Uzama
Poliamid 6	Tecomid	NB40 NL FA50	1,18 g/cm ³	45 N/mm ²	-
PA6 GF15	Eplamid	GFI15 NC A801	1,17 g/cm ³	75N/mm ²	5
PA6 GF30	Akulon	K222-KGV6	1,35 g/cm ³	80N/mm ²	3
Poliamid 66	Tecomid	NA40 NL FA50	1,18 g/cm ³	69 N/mm ²	-
PA66 GF15	Tecomid	NA40 GR15 NL	1,23 g/cm ³	102N/mm ²	2,6
PA66 GF30	Rhodia	A216V30 Natural	1,37 g/cm ³	125N/mm ²	3,5

Enjeksiyon üretimi öncesinde granül halindeki poliamid malzemedan enjeksiyon makinesinde TS 1149-EN ISO 294 standardına uygun olarak üretilmiştir.



Şekil 2.6 Plastik enjeksiyon kalıbından çıkan ve kaynakla birleştirilecek numuneler

BÖLÜM ÜÇ

SICAK PLAKA KAYNAĞI

3.1 Polimerlerin Kaynağı

Termoplastikler molekül yapılarında çapraz bağ içermediklerinden dolayı ısı ve basınç altında plastik özelliklerini korumaktadırlar. Molekülleri arasındaki ısıtma durumunda ve basınç altında oluşan çapraz bağlar sonucu kaynaklı birleşmeye imkan vermektedir. Böylece arada kaynak dolgu malzemesiz kaynak yapılabilir. Kaynaklı birleştirme amorf yapıdaki polimerler için camlaşma sıcaklığının altında kısmi kristal yapıdaki polimerler içinse eğrime sıcaklığının altında gerçekleştirilir.

Termoset malzemelerde moleküller arası güçlü çapraz bağlar ısı artışı ile deforme olursa malzeme ergimez, direkt yanar. Bu nedenden dolayı termoset malzemenin kaynak ile birleştirilmesi mümkün değildir. Polimer kaynağının çeşitleri şunlardır;

- Sıcak Gaz Kaynağı
- Sıcak Plaka Kaynağı
- Ultrasonik Kaynak
- Rotasyon Kaynağı
- İndüksiyon Kaynağı
- Titreşimli Kaynak
- Yüksek Frekans Kaynağı
- Lazer Kaynağı
- Mikrodalga Kaynağı

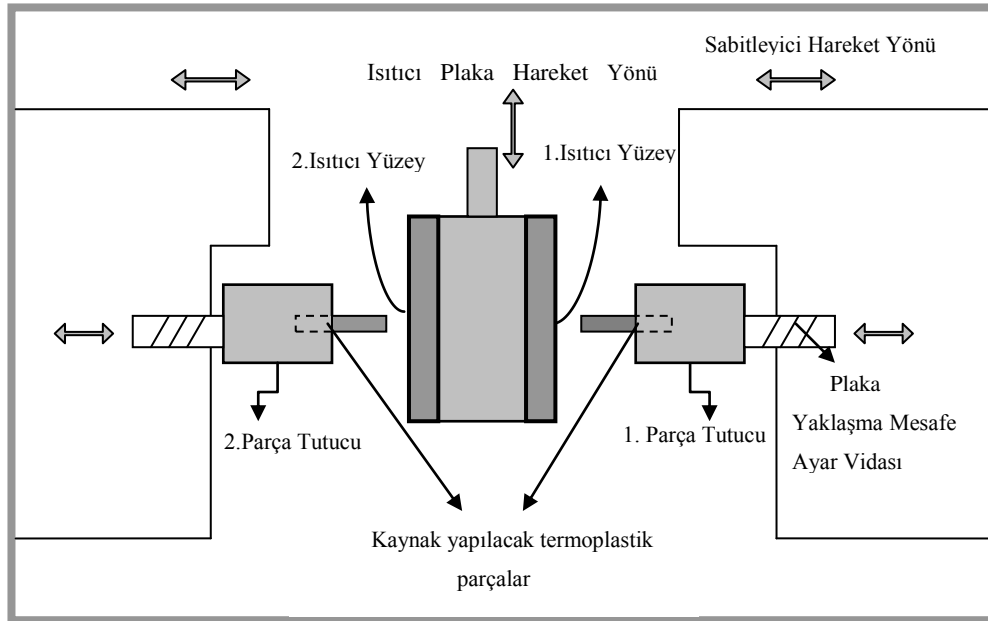
3.2 Sıcak Plaka Kaynağı

Genel olarak SPK prosesinde kaynak işlemi iki prensip ile yapılabilir. Bunlardan birincisi basınç kontrol edilerek proses gerçekleştirilir. İkincisinde ise basınç sabit tutularak, hareket ve konum kontrolü ile proses gerçekleştirilir. Bu çalışmada kullanılan kaynak makinesi, hareket ve konum kontrol prensibine göre tasarlanmıştır.

SPK makinası temel olarak üç ana üniteden oluşmaktadır. Bu üniteler ısıtıcı plaka grubu, pnömatik hareket grubu, kontrol ünitesidir. Isıtıcı plaka grubu farklı termoplastik malzemeleri de kaynakla birleştirebilmek için yüzey sıcaklıklarının birbirinden bağımsız ısıtılmasına olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Pnömatik hareket grubunda lineer hareketi sağlayan üç pistondan ikisi kaynakla birleştirilecek numuneleri sıcak plakalara yaklaştırmak, ısıtıldıktan sonra çekmek ve kaynak işlemi için numuneleri birbirine yaklaştırmak amacıyla kullanılır. Üçüncü piston ise sıcak plaka grubunun aşağı yukarı hareket ettirilmesini sağlar.

Kontrol ünitesinde ise piston hareketleri, konumlandırmalar, ısıtıcılar, sıcaklıklar, plaka ısıtma süreleri, kaynak süreleri, bekleme süreleri otomatik olarak kontrol edilir. Şekil 3.1’de SPK makinasının şekli ve çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Sıcak plaka kaynak makinası şematik gösterimi

3.2.1 Sıcak Plaka Kaynağı Literatür Araştırması

Stokes (1998) çift plakalı ve plakaların sıcaklıklarının ayrı ayrı kontrol edilebildiği sıcak plaka kaynak makinesi kullanarak üç farklı polimerin birbirleriyle kaynak edilebilirliğini incelemiştir. Bu çalışmalarda termoplastik malzeme olarak polieterimid, polikarbonat ve polibütlen tereftalat kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmalarda da ergimiş malzeme film kalınlığı ısıtma süresiyle, erime fazındaki taşan malzeme miktarı sıcak eleman üzerindeki durdurucularla, son birleşme fazındaki taşan malzeme ise kaynak makinesi üzerindeki durdurucularla kontrol edilmiştir. Alın tipi birleştirme ile kaynaklanan malzemelerin kaynak mukavemetleri, sıcak plakanın sıcaklık değeri, ısıtma süresi parametreleri değiştirilerek incelenmiştir. Ancak bu çalışmada kaynak mesafesi ve basınç sabit tutulmuştur. Bu çalışmada farklı termoplastiklerin birbirleriyle olan kaynaklarında yüksek dayanım değerlerine ulaşılabileceği gösterilmek istenmiştir.

Stokes (1999) polikarbonat malzemenin sıcak plaka kaynağı ile yapılan kaynak prosesinde polimerin kurutulup kurutulmamasının etkilerini araştırmıştır. Bu deneysel çalışmada ergimiş malzeme film kalınlığı ısıtma süresiyle, erime fazındaki taşan malzeme miktarı sıcak eleman üzerindeki durdurucularla, son birleşme fazındaki taşan malzeme ise kaynak makinesi üzerindeki durdurucularla kontrol edilmiştir. Çalışmada kaynak parametreleri olarak ise ısıtma süresi, kaynak mesafesi, sıcaklık belirlenmiştir ve üç farklı kalınlık için dayanım sonuçları incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda kurutulmamış polimer malzemelerde yüksek dayanım değerlerine ulaşılabileceği görülmüştür.

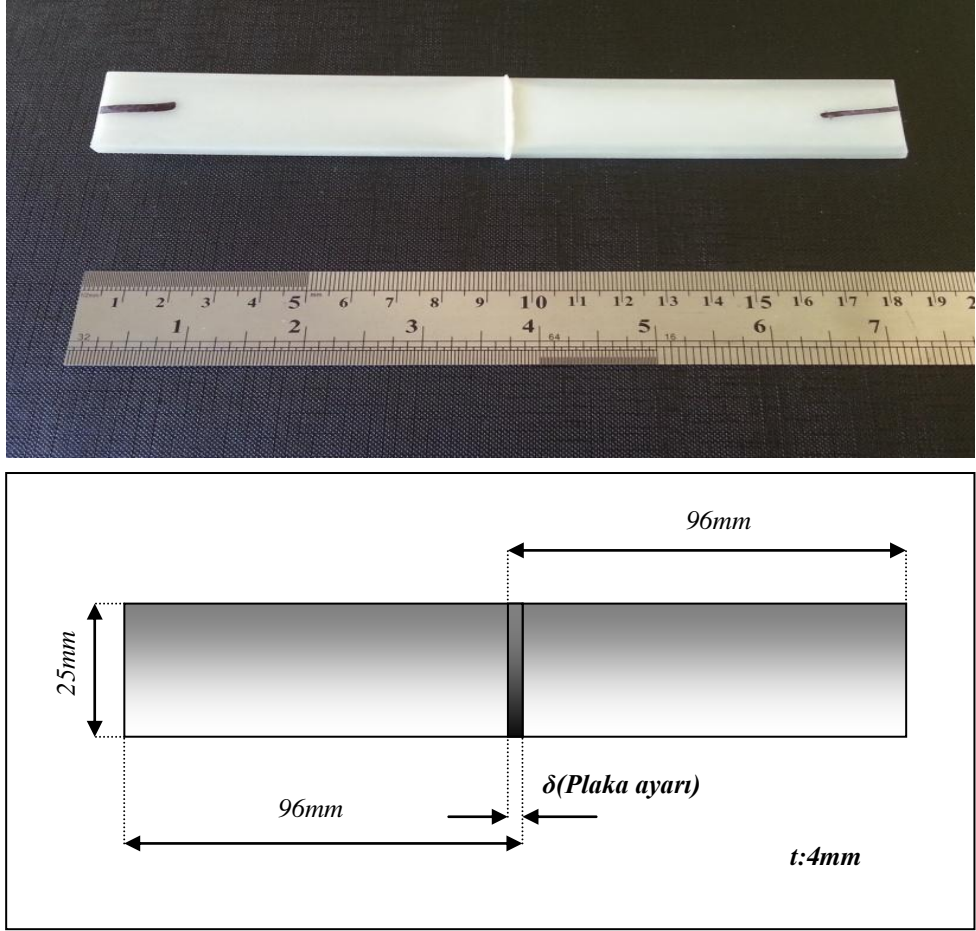
Sıcak plaka kaynağı uygulamalarında, Stokes ve Conway (2001) sıcak plaka kaynak makinesini kullanarak çeşitli ticari termoplastik malzeme karışımlarının kaynak edilebilme özelliklerini ve kaynak mukavemetlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında polikarbonat ve akrilonitril bütadien stiren (PC/ABS), polikarbonat ve polibütlen tereftalat (PC/PBT), polifenilen oksit ve poliamid (PFO/PA) termoplastikleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarında kaynak numunesi olarak kalınlığı 3,2 mm olan parçalar kullanılmıştır ve kaynak mukavemetleri bu kalınlık

değerine göre raporlanmıştır. Bu deneysel çalışmalarda ergimiş malzeme film kalınlığı ısıtma süresiyle, erime fazındaki taşan malzeme miktarı sıcak eleman üzerindeki durdurucularla, son birleşme fazındaki taşan malzeme ise kaynak makinesi üzerindeki durdurucularla kontrol edilmiştir. Alın kaynağı dayanım değerleri ısıtma süresi, kaynak sıcaklığı ve kaynak mesafesi parametrelerinin farklı değerlerine göre bulunmuştur. Kaynak makinesinin basıncı ise sabit tutulmuştur.

Bir başka çalışmada ise B.Lee, J.Kim, S.Lee ve K.Kim (2012) çift cidarlı polietilen boruları alın kaynağıyla birleştirmişler ve birleşimin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına dayanarak, güvenli bir birleşim elde etmek için proses sıcaklığı ve zamanı hesaplanmıştır. Sıcak plaka aparatı kullanılarak birleştirilen boruların kaliteleri farklı yöntemlerle test edilmiştir. Bu çalışma sıcak plaka kaynağı ile atık su borularının başarılı bir şekilde tamir edilebileceğini göstermiştir.

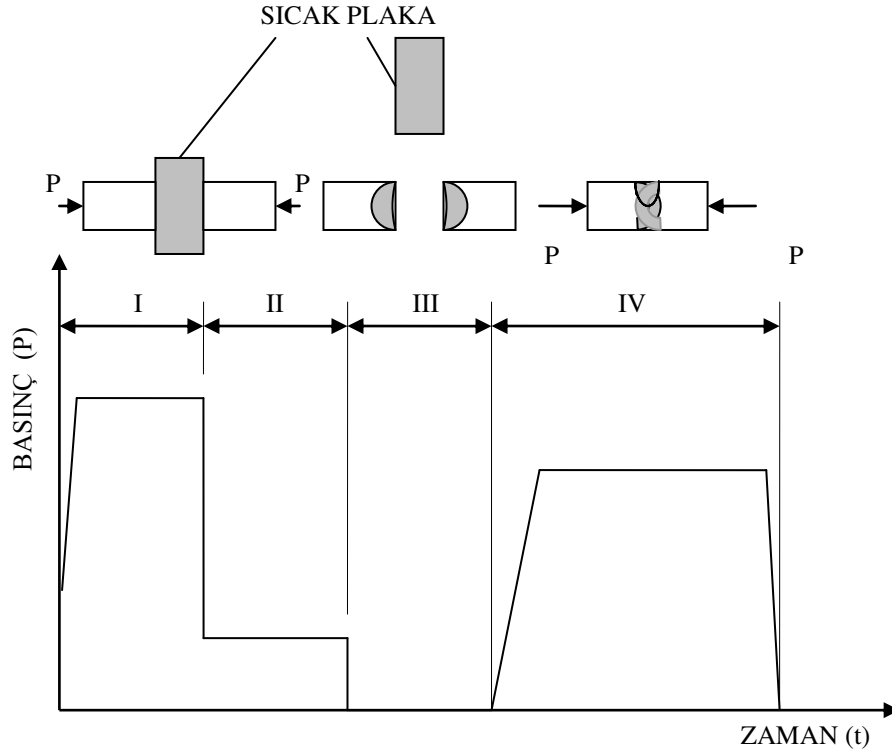
3.2.2 Sıcak Plaka Kaynağı Prosesi

1. Yüzeyleri teflonla kaplı olan ısıtıcı plakaların ayarlanan sıcaklığa gelmesi sağlanır. (Saçak oluşumuna bağlı olarak mekanik özellikleri kötüleşir.)
2. Kaynakla birleştirilecek olan numuneler aksel çalışan numune tutucularına yerleştirilir.
3. Konum ayar vidaları ile kaynak numunelerinin ısıtıcı yüzey ile teması 0,01mm'lik hassasiyet ile konumlandırılır.
4. Kaynak işlemi başlatılarak, numunelerin ısıtıcı plakaya temas etmesi ve kaynak yüzeyleri iletim yoluyla ısıtılması sağlanır.
5. Ayarlanan ısıtma süresine ulaşıldığında, yatay konumdaki pistonlar geri çekilerek numunelerin ısıtıcı plakalardan ayrılır. Aynı zamanda ısıtıcı plaka konum değiştirir.
6. Yüzeyleri ısıtılmış numuneler ayarlanan kaynak süresi ve birleştirme stroğu değerlerine ulaşıncaya kadar birbirine temas ettirilir. Daha sonra yatay konumdaki pistonlar geri çekilerek kaynak ile birleştirilmiş numune Şekil 3.2'deki kaynak makinesinden alınır. Kaynak proses adımları şematik olarak Şekil 3.3'de basınç-zaman grafiği üzerinde gösterilmiştir (Ehrenstein, 2004).



Şekil 3.2 SPK ile birleştirilmiş kaynak numunesi

Uygulamada enjeksiyon kalıbından çıkan yaklaşık 100 mm boydaki parça sıcak plakaya temas ettirilecek yüzeyleri frezede 96 mm'ye getirilir. Buradaki işlem amacı: Aynı kalıpla farklı çekme oranlarına bağlı olarak farklı numuneler üretmek; kalıp modelinden kaynaklanan yolluk girişi ve parça kalıp açısından meydana gelebilecek kaynaklı birleştirme yapılacak yüzeylerin paralel olması için; sıcak plakaya tam temas sağlanması böylelikle uniform olmayan ısı transferinin önüne geçilmesidir. Kompozit poliamidlerin kaynağında ise yolluk giriş tarafından ısıtıcı plakaya temas ettirilmelidir. Çünkü cam fiber yoğunlu malzemenin akış hızı azaldığı kalıp boşluğunda yığılacak ve fiber diziliş yönü boyuna değil enine olacaktır. Fiber katkısının mekanik mukavemete olan etkisini ölçebilmemiz için fiberleri diziliş yönü malzeme akış yönüne paralel olmalıdır.



Şekil 3.3 SPK'nın dört aşamasını gösteren basınç-zaman grafiği (Stokes ve Conway, 2001)

I. Safhada parçanın tam olarak ısıtıcı plakaya temas ettiğinden emin olunmalıdır. Belirlenen zamanda ve sıcaklıkta ısıtıcı plakadan parçaya ısı transferi olmaktadır.

II. Safhada ergime sıcaklığına gelen Poliamid parçadaki eriyik malzeme akışkan hale gelmeye başlar. Termal genişlemeye bağlı olarak ergimiş PA'nın bir kısmı sıcak plaka yüzeyinde damlacık oluşturur ve basınç sabit tutulduğu için eriyik tabaka kalınlaşır. Isıtma zamanına bağlı olarak eriyik bölge ilerler.

III. safhada parçaların arasından ısıtıcı plaka çekilerek (en fazla 3 saniye)kaynak bölgesinde erken soğuma önlenmiş olur. Eğer bu süre uzun olursa kaynak kalitesi etkilenecektir.

IV. safhada malzemeler belirlenen yaklaşma mesafesinde (2 bar) sabit basınçta birleştirilir ergiyen parçanın birleşme bölgesi çevresince soğuma ve katılaşma esnasında dışarı yönlü malzeme akışı meydana gelmektedir. Bu safhada moleküller

arası difüzyonlar polimerik zincir sarmallarını oluşturur buda bağlanma kuvveti olarak tanımlanır. Çünkü son moleküler yapı ve bütün kalıcı gerilmeler soğuma esnasında oluşur. Burada önemli olan soğuma süresi boyunca basıncın çarpılmayı önlemesidir. Aynı kristal yapıdaki polimerlerde tekrar kristalleşme davranışı soğuma oranından etkilenmektedir. Birleşme bölgesindeki mikro yapı kimyasal dayanım ve mekanik özellikler bu safha sırasında gelişir.

Kaynak sırasındaki basınç ekipmanlar tarafından kontrol edilmelidir. Basıncılı kaynak yönteminin dezavantajı kaynaklanmış parçanın son halinin ölçüsünün tam olarak kontrol edilememesidir. Kaynak bölgesindeki kalınlık ve termoplastiğin kaynak viskozitesinin hassasiyeti küçük sıcaklık değişimleri beklenmedik ölçü değişikliklerine neden olur.

Mesafe ayarlı kaynakta ya da diğer deyişle strok kontrollü kaynakta işlem ve parça ölçüleri mekanik durdurucular tarafından kontrol edilmektedir. Parçalar ısıtıcı plakaya Şekil 3.1’de basınç altında bastırılmaktadır (2 bar). Fakat I safha süresince eriyik metalin dış tarafa olan akışı önceden belirlenen mesafede ısıtıcı plaka üzerindeki (ergime durdurucusu) mekanik durdurucular ve parça tutucular üzerideki durdurucular (tutucu veya alet durdurucusu) kullanılarak sınırlandırılır. Eriyik akışı boyunca parça uzunluğu azalarak ergiyen malzeme parça etrafına akar. II. fazda taşıyıcı alet durdurucusu teması ile ergime sona erer. Parçalar eriyik ince tabakanın kalınlaşması için önceden belirlenen sürede tutulur. III safhada parçalar ısıtıcı plakadan ayrılır ve mekanik durdurucular IV. safhada parçaların hareketiyle yavaşlamak eriyik tabakanın çevresel akışla değil yalnızca ısı iletim yoluyla katılaşması sağlanır. Soğuma süresi 3 ila 6 saniyedir ve parça tutucuların durdurucuya temas ettiği anda sonlanır. Sıcak plaka kaynağı ısıtıcı yüzey sıcaklığına da bağlı olarak ısıtma süresi 90 saniyeden kısa tutulmaktadır aksi takdirde poliamid malzeme termal bozulmaya uğrayabilmektedir.

3.2.3 İşlem Parametreleri

Sıcak plaka kaynağında I.ve II safhadaki önemli parametre ısıtıcı plaka sıcaklığıdır. I. safhada basınç (boyut eşitleme veya ısıtma basıncı) ısıtma süresi, ısıtma süresince izin verilen konum değişimi (ısıtmadaki deplasman), II safhadaki ergime basıncı, geçiş zamanı, IV safhadaki basınç (kaynak birleştirme veya tutma basıncı), IV safha süresi (tutma zamanı veya kaynak zamanı).

Mesafe ayarlı kaynakta parametreler IV safhada uygulanan deplasmana (kaynak parçaların birbiri içine sokulmasına göre) göre ayarlanmaktadır. Eriyen malzemenin dışarı taşmasıyla parça boyunda kısalma olur ve bu parça boyutlarında kontrol edilebilecek kadar yeterli büyüklüktedir. Bu kaynak işleminde eriyik malzeme akışı ve eriyik tabaka kalınlaşması çok azdır. Isıtma süresinin artmasıyla akış oranı artmaktadır. Basınçlı kaynaklamada malzeme ergime oranının malzeme dışarıya akma oranına eşit olduğu noktada kararlı bir konuma gelindiğinde malzemenin birbirine girişmesi lineer şekilde artmaktadır. Deplasman durdurucu kullanıldığı zaman ise girişim eriyik deplasmanı sıcak plaka deplasmanı durdurucusunun temasına kadar ara vermeden devam eder. Durdurucular temas ettiğinde eriyik çevresel olarak akacaktır ve eriyik malzeme kalınlığı zamanla artacaktır.

Eriyik tabaka kalınlığı kaynak gerilimi için önemli bir belirleyici etkindir. Eğer ergimiş katman kalınlığı durdurucu mesafesinden küçük olursa parça ölçüleri kontrol edilemez olur ve bağlantı kalitesi moleküller arası difüzyonun az olmasından dolayı zayıf olur. Eriyik kalınlığı ısıtma süresi ile orantılı olarak artış gösterir. Eğer sıkıştırma basıncı yüksek olursa eriyik kaynak bölgesinin dışına çok fazla taşar ve böylece iyi bir bağlantı oluşturulamaz. Bu durumda kaynak bölgesi kırılgan bir yapıya sahip olur ve bağlantının kaynak kalitesi azalır.

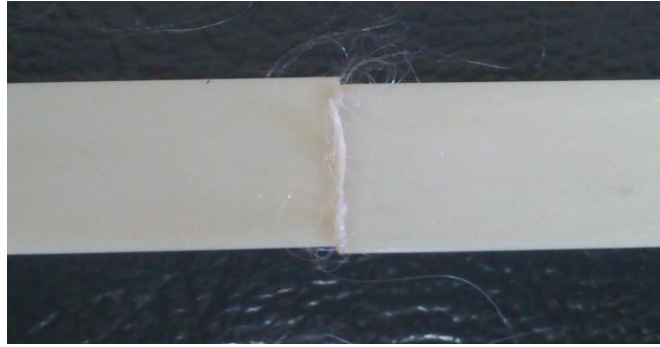
Kaynak parametrelerinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkileri tam olarak araştırılmamıştır. Poliamid malzeme için yapılan denemelerde (PA6 290 °C’de ve PA66 310°C) 30 saniye ısıtma süresi çekme gerilmesindeki artışın bariz bir şekilde olduğu görülmüş, bu değer aşıldıktan sonra ise ergimiş bölge kalınlığına ulaşılmıştır

fakat ısıtma zamanının bundan fazla arttırılmasının kaynak gerilmesi üzerinde etkisi olmadığı görülmüştür. Aşağıdaki Tablo 3.1’de BASF firmasının poliamid malzeme türleri sıcak plaka kaynağı için verdiği sıcaklık değerleri görülmektedir.

Tablo 3.1 Isıtıcı plaka poliamid malzeme maksimum sıcaklık değerleri

Polimer Tipi	Kristalleşme Sıcaklığı (T_K), °C	Isıtıcı Plaka Maksimum Sıcaklık (T_H), °C
Poliamid 6	223	270 ~ 285
Poliamid 66	261	295 ~ 320

Burada malzeme tipi özelliklerine göre belirlenmiş ısıtıcı plaka sıcaklığının T_K yanında kaynak yapılacak polimer malzemenin boyutlarına ve sınıfı (kısmi kristal veya amorf) sıcak plaka kaynağı üzerinde etkili olmaktadır



Şekil 3.4 PA66 Sıcak Plaka Kaynağı Teflonsuz Uygulama

Isıtıcı plaka yüzeyi alüminyum malzemedendir yapılmıştır ve poliamid malzemenin yüzeye yapışmaması Şekil 3.4 görüldüğü gibi saçak oluşumunun önlenmesi (Kaynak mukavemetini düşürür.) için PTFE teflon kaplanmıştır.

Kaynak Parametresi	Amorf	Kısmi Kristal
T_H	$T_G + 140^\circ\text{C}$	$T_K + 70^\circ\text{C}$
L_0	$1,14 \times (d)$	$0,34 \times (d)$

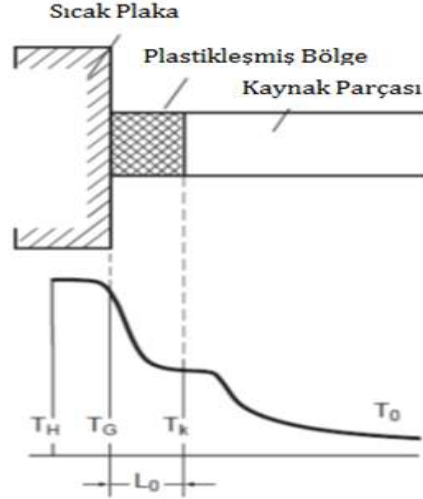
T_H : Isıtıcı Plaka Sıcaklığı

L_0 : Plastikleşme Bölge Uzunluğu

T_G : Camı Geçiş Sıcaklığı

d : Kaynak Parçası Kalınlığı

T_K : Kristal Erime Sıcaklığı



Şekil 3.5 Konvansiyonel sıcak plaka kaynağında kaynak parametreleri

Takviyeli poliamid malzemeler için silisyumun ısı iletim katsayısı düşük olduğu pratik olarak 20°C daha yüksek sıcaklıkta kaynak yapıldığı zaman daha iyi kaynak mukavemetleri elde edildiği görülmüştür. Fakat burada poliamid ve elyaf katkısının sıcak plaka kaynağı üzerindeki etkisi incelendiği için aynı tipteki malzemeler için elyaf katkılılarında eşit ısıtıcı plaka sıcaklık değerlerinde deneyler tekrarlanmıştır.

Daha yüksek sıcaklıklarda kaynak kalitesi ısıtma süresi değişimlerinde daha hassastır. PA 66 için 310°C 'de optimum ısıtma zamanı 30 saniyedir; PA6 için 290°C 'de optimum ısıtma zamanı 15 saniyedir; ısıtma süresinin her iki yöndeki değişimin kaynak gerilmesini düşürmektedir. Plaka sıcaklığının kaynak üzerindeki etkisi PA6 GF15 için %85 olarak bulunmuştur. Düşük sıcaklıklarda PA6 için 230°C 'de 15 saniye PA66 içinse 260°C 'de 30 saniye civarındaki değişimlerin kaynak gerilmesinde belirgin etki göstermemektedir ve ölçmeye değer kaynak birleşmesi olmamaktadır. Kaynak süresinin örneğin PA6 GF15 malzemede 20 saniyeyi aşmasından sonra kaynak gerilmesinde belirgin artış olmuştur. Düzgün malzemeye

göre %71 maksimum kaynak gerilmesi bulunmuştur. Deplasman genellikle artan sıcaklık ve ısıtma süresiyle artmakta iken artan değişim zamanıyla azalmaktadır.

3.2.4 Sıcak Plaka Kaynak Yöntemi Uygulanabilen Malzemeler

Sıcak plaka kaynağı hemen hemen bütün termoplastiklere uygundur. Fakat daha sıklıkla ham, aynı kristal yapıdakilerde örneğin polipropilen ve polietilen ve termoplastik poliamidler kullanılır. Genellikle uzun moleküler zincirli naylon veya diğer malzeler için uygun değildir. Eriyik tabaka sıcaklığı ısıtıcı plaka sıcaklığıyla kontrol edilebilir bu yüzden plastik parçayı kaynak edilebilir sıcaklık olan ergime sıcaklığının çok az üzerinde tutmak çok sıkıntılı bir işlemdir.

Plastiklerin kaynak edilebilme özellikleri kaynak dayanımını etkilemektedir. Polimer ailesi içindeki yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) için elde edilebilecek kaynak dayanımı polietilenin kaynağın derecesine bağlıdır ve eriyik içeriği yoğunluğu gibi yapısal parametrelere bağlı olabilir. Düşük ergime dizinli polimerler daha yüksek ergime viskoziteleri meydana getirir ve sıcak plaka üzerinde eriyik yapışması olmadan daha yüksek sıcaklıklara dayanabilir. Sonuç olarak sıcaktan zarar görmüş bölge boyutu (SZB) , daha büyük olabilir; bir SZB daha büyük bir gerilme bağlantısı ortaya çıkarır. Sabit bir ergime içeriği (indeks) için polimer yoğunluğunun artması düşük çekme gerilmeli birleşme ile sonuçlanır. Yüksek yoğunluklu polimerler daha dar bir sıcaklık sınırında daha düşük kristalleşen polimerlerden daha büyük bir kristal bölgeye sahiptirler. Sonuç olarak daha ince SZB ve daha kırılğan kaynaklar elde edilir.

Hiproskop (neme duyarlı) malzemeler için örneğin poliamid, absorbe edilen su kaynak sırasında kaynar, buhar seti oluşturur kaynak gerilmesini düşürür. Bu durum ısıtıcı plakaya temas eden poliamidin yumuşaması sırasında baloncuklar oluşumu gözle izlenebilir. Bu yüzden kaynak numuneleri hammadde paketlemede kullanılan polietilen poşetler içerisinde nem oranı kontrol edilebilir kuru ortamlarda tutulmalıdır. Ön kurutma yapılmış malzemelerde yüksek kaynak gerilmelerine ulaşılabilir, alternatif olarak; proses parametreleri absorbe edilen suyu karşılayacak biçimde ayarlanabilir. Yüksek kaynak gerilmeleri kurutulmuş poliamid için daha

geniş ısıtma aralığı 220–320 °C kurutulmamış PA 230–280°C’dekine göre. Parça kalınlığının artmasına bağlı olarak optimum sıcaklık aralığı daha yüksek olacaktır.

Sıcak plaka kaynağında farklı ergime sıcaklığındaki aynı olmayan malzemelerde kaynak edilebilmektedir; tek plaka yerine kullanılan farklı konumlu yüzeyle, her bir parçanın ergime derecesine ısıtılarak kaynaklanabilir. Parçalar için farklı ergime ve deplasman aparatları ve farklı ısıtma süreleri gerekli olabilir, ergime derecesi ve viskoziteye bağlı olarak, her bir parçanın deplasmanı farklı olacaktır. Optimum kaynak koşulları her bir malzeme için belirlenmeli bundan sonra kaynak prosesi için optimum koşullarda iki malzeme kaynaklanmalıdır. En yüksek gerilme düşük çekme gerilmesine sahip malzemenin gerilmesine eşit olarak elde edilebilir.

3.2.5 Kaynak Mikro Yapısı

Kaynağın ısı etkisi altındaki bölgenin mikroyapısı kaynak kalitesi olarak belirlenir. Kaynak arkına ek olara ısıdan etkilenen bölge üçe ayrılmaktadır. Gerilmesiz rekristalizasyon bölgesi sferülitik şekilli kristallerden oluşur bu kristalleşmenin farkı belirli bir gerilme altında olmamasıdır. Bu bölge öncelikle üst tabakanın tekrar ısınması ve yeniden kristalleşmesi ve eriyik tabakanın yanındaki birleşmiş arabirimin. Yüzey tabakası ve birleşme arayüzü yanındaki eriyik katmanın tekrar ısıtılması ve yeniden kristalleşmesinin ilk sonucudur. Sütunlu bölge akış yönünde uzunlamasına kristal dizilişlerinden oluşur, bu bölgedeki düşük sıcaklıklar eriyik viskozitesinde bir artışa yol açar ve kristaller eriyik akışı süresince akış yönüyle hizasında form oluşur. Hafif deforme olmuş bölgede, deforme sferülitikler bulunan, birleştirme basıncı altındaki tekrar kristalleşmenin sonucudur. Daha yüksek ısıtma sıcaklıkları daha büyük ısıdan etkilenen bölgelere ve daha fazla yapışma gücüne neden olur. Hâlbuki çok yüksek sıcaklıklar veya basınçlar birleşme ara yüzeyinde boşluk oluşumuna neden olur (William, 1997).

BÖLÜM DÖRT

TAGUCHI DENEY TASARIMI İLE SONUÇLARIN ANALİZİ

4.1 SPK Prosesi için Taguchi Deney Tasarımı

Bu çalışmada daha önceki deneysel çalışmalardan elde edilen veriler doğrultusunda üç farklı seviye baz alınarak dört kaynak parametresi seçilmiştir. Kaynak parametreleri seviyeleri Poliamid 6 polimeri için Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Poliamid 6, PA6 %15GF ve PA6 %30GF SPK proses parametreleri ve seviyeleri

Sembol	Kaynak Parametresi	Faktör Sembolü	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Plaka Sıcaklığı	PS	°C	250	260	270
B	Birleştirme Stroğu	BS	mm	0,50	1,00	1,50
C	Isıtma Süresi	IS	s	20	25	30
D	Kaynak Süresi	KS	s	10	15	20

Poliamid 66 malzemede erime derecesi poliamid 6’ya göre daha yüksek olduğu için sıcak plaka kaynağı ve ısıtma süresi malzeme özelliklerine uygun belirlenmiştir.

Tablo 4.2 Poliamid 66, PA66 %15GF ve PA66%30GF SPK proses parametreleri ve seviyeleri

Sembol	Kaynak Parametresi	Faktör Sembolü	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Plaka Sıcaklığı	PS	°C	280	290	300
B	Birleştirme Stroğu	BS	mm	0,50	1,00	1,50
C	Isıtma Süresi	IS	s	50	60	70
D	Kaynak Süresi	KS	s	20	25	30

Tablo 4.3 L₉ ortogonal dizisi

Deney Sırası	SPK Proses Parametreleri			
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi	Kaynak Süresi
#	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

L₉ ortogonal dizisi dört kolonlu olduğu için PA6 ve PA66 için her bir kaynak parametresi Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de bir kolona atanmıştır

Tablo 4.4 PA6, PA6 %15GF ve PA6 %30 SPK proses parametre ve seviyeleri için L₉ ortogonal dizisi

Deney Sırası	Kaynak Parametreleri			
	A	B	C	D
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi	Kaynak Süresi
	PS	PA	IS	KS
#	°C	mm	s	s
1	250	0,50	20	10
2	250	1,00	25	15
3	250	1,50	30	20
4	260	0,50	25	20
5	260	1,00	30	10
6	260	1,50	20	15
7	270	0,50	30	15
8	270	1,00	20	20
9	270	1,50	25	10

Tablo 4.5 PA66, PA66 %15GF ve PA66 %30 SPK proses parametre ve seviyeleri için L_9 ortogonal dizisi

Deney Sırası	Kaynak Parametreleri			
	A	B	C	D
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi	Kaynak Süresi
	PS	PA	IS	KS
#	°C	mm	s	s
1	280	0,50	50	20
2	280	1,00	60	25
3	280	1,50	70	30
4	290	0,50	60	30
5	290	1,00	70	20
6	290	1,50	50	25
7	300	0,50	70	25
8	300	1,00	50	30
9	300	1,50	60	20

Deneyler proses parametrelerinin etkilerini belirlemek amacıyla deney tasarımı prensiplerine göre yapılmıştır. Numunelerin sıcak plaka kaynağı ile birleştirilme prosesinde Taguchi deney tasarımı yöntemi çerçevesinde dört kolonlu ve 9 sütunlu L_9 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Tablo 4.3’de L_9 ortogonal dizisi ile oluşturulmuş deney tasarım matrisi verilmiştir (Phadke, 1989), (Roy, 1990), (Yang ve Tarn, 1998).

4.1.1 Sinyal/Gürültü (S/N) Oranı Analizi

PA6 ve PA66 için tasarlanan deneyler sonucunda elde edilen kaynak mukavemeti değerleri Tablo 4.6’da verilmiştir. Taguchi metodunda sinyal/gürültü (S/N) oranı kullanılmıştır. Tablo 4.6’deki son kolon tasarlanan deneyler için hesaplanan S/N oranını göstermektedir (Meriç, Akcan, Arcan ve Çayıt, 2011).

Taguchi deneysel tasarım metodunda “sinyal” terimi istenen çıktı karakteristiğinin ortalama değeri için “gürültü - (noise)” terimi ise istenmeyen çıktı karakteristiği için formül (4.1) kullanılmıştır. S/N oranı istatistiksel olarak ortalama değerlerin (M) sapmaların karesine (S.D.) oranı olarak tanımlanabilir.

Tablo 4.6 Çekme deneyi sonuçları ve hesaplanan S/N oranları

Deney Sırası	Kaynak Parametreleri				Ortalama Kaynak Dayanımı	Hesaplanan S/N oranı
	A	B	C	D		
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi	Kaynak Süresi		
	PS	PA	IS	KS		
#	°C	mm	s	s	MPa	dB
1	250	0,50	20	10	22,22	26,5839
2	250	1,00	25	15	26,01	26,0076
3	250	1,50	30	20	18,82	20,7646
4	260	0,50	25	20	45,98	30,2293
5	260	1,00	30	10	45,67	32,7736
6	260	1,50	20	15	33,82	28,5085
7	270	0,50	30	15	55,23	34,8403
8	270	1,00	20	20	47,09	33,4239
9	270	1,50	25	10	44,19	32,9016

Taguchi metodu kalite / proses karakteristiklerinin istenen değerden sapma oranını ölçmek için S/N oranını kullanır. S/N oranı aşağıdaki formül ile hesaplanır (Canıyılmaz, 2001).

$$\frac{S}{N} \text{ oranı} = -10 \log(MSD) \quad (4.1)$$

Formül (4.1)'deki MSD prosesteki çıktı karakteristiği için ortalama sapmanın karesidir.

SPK prosesinde kaynak mukavemetinin yüksek olması istendiğinden (Canıyılmaz, 2001) yüksek olan en iyidir kalite karakteristiği (larger is better - quality characteristic) için MSD aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (4.2)$$

Eşitlikteki n tekrarlanan deneylerin sayısını, y_i ise ölçülen kaynak mukavemeti değerlerini temsil etmektedir. Tablo 4.6, PA6 GF15 için kaynak mukavemeti değerlerini ve bu değerler için formül (4.1) ve (4.2) ile hesaplanan S/N oranları

göstermektedir. Bu değerler istatistiksel analiz programı olan Minitab v.16 kullanılarak hesaplanmıştır.

4.1.2 Varyans Analizi (ANOVA)

Çekme mukavemetine etki eden farklı kaynak parametrelerin etkilerini daha iyi ifade edebilmek için varyans analizi (ANOVA) analizi yapılır. Varyans analizinin amacı istatistiksel olarak hangi kaynak parametresinin kaynak mukavemetine etki ettiğinin belirlenmesidir (Phadke,1989). Bu analizde plaka sıcaklığı, birleştirme stroğu, ısıtma süresi ve kaynak süresi, kaynak prosesi için girdi değişkenleri, kaynak mukavemeti de çıktı değişkeni olarak alınmıştır (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 %15 varyans analizi (ANOVA)

	Faktör Sembolü	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması (Varyans)	Varyans Oranı	Kareler Toplamı	Yüzde Katkı
Faktör		DoF(t)	S	V	F	S²	P%
Plaka Sıcaklığı	A	2	1.129,96	564,98	-	-	85,76
Birleştirme Stroğu	B	2	134,57	67,28	-	-	10,21
Isıtma Süresi	C	2	50,91	25,45	-	-	3,86
Kaynak Süresi	D	2	2,09	1,04	-	-	0,16
Hata	e	0					
Toplam		8	1.317,57				100

Tablo 4.7’de hata faktörü için varyans $V_e=0$ olduğu için $F_A = V_A / V_e$ belirsizdir. Aynı şekilde Tablo 4.7’de F_B , F_C ve F_D ’de belirsizdir. Bu nedenle yeni hata varyansını bulabilmek için V_e faktörler içindeki en küçük varyans ile birleştirilmelidir (Pooling), (Yang, Tarn, 1998). Tablo 4.7 incelendiğinde en küçük

varyansa sahip olan faktör D, kaynak süresi (KS) olduğu için varyans birleştirme işlemi faktör D için yapılır. Yeni hata varyanslarını içeren ANOVA tablosu Tablo 4.8’de Minitab v.16 ile tekrar oluşturulur.

Tablo 4.8 Varyans birleştirmesinden sonra çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 %15 varyans analizi (ANOVA)

	Faktör Sembolü	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması (Varyans)	Varyans Oranı	Kareler Toplamı	Yüzde Katkı
Faktör		DoF(t)	S	V	F	S²	P%
Plaka Sıcaklığı	A	2	1.129,96	564,98	541,04	1.127,87	85,76
Birleştirme Stroğu	B	2	134,57	67,28	64,43	132,48	10,21
Isıtma Süresi	C	2	50,91	25,45	24,37	48,82	3,86
Hata	e (D)	2	2,09	1,04	1,00	-	0,16
Toplam		8	1.317,57				100

Tablo 4.8’deki varyans oranları (F), Tablo 4.9’daki Fisher testi anlamlılık düzeyleri ile beraber değerlendirildiğinde, PA6 GF15 polimer kompozitin SPK prosesini etkileyen faktörlerin Fisher testi anlamlılık düzeyleri Tablo 4.10’daki gibi özetlenebilir. SPK prosesindeki plaka sıcaklığına ait F değeri (541,04) , bu parametre için hesaplanan teorik Fisher test değeri $F_{0,005}(2,2)=199,00$ ’dan büyük olduğu için anlamlılık düzeyi % 99,5’den büyüktür. Birleştirme stroğuna ve ısıtma süresine ait F değeri $F_{0,05}(2,2)=19,00$ ’dan büyük olduğu için de % 95,0’den büyüktür (Meet Minitab 16 user manual).

Tablo 4.9 Fisher testi anlamlılık düzeyleri

$F_{\alpha}(f_1, f_2)$	Anlamlılık Düzeyi	Güven Düzeyi	Fisher Test Değeri
$F_{0.005}(2,2)$	0,5	%99,5	199,00
$F_{0.005}(2,2)$	1,00	%99,5	99,00
$F_{0.005}(2,2)$	5,00	%95	19,00

f_1 : Değişken Faktörünün serbestlik derecesi

f_2 : Hata Faktörünün serbestlik derecesi

Tablo 4.10 SPK Parametrelerinin Anlamlılık Düzeyleri

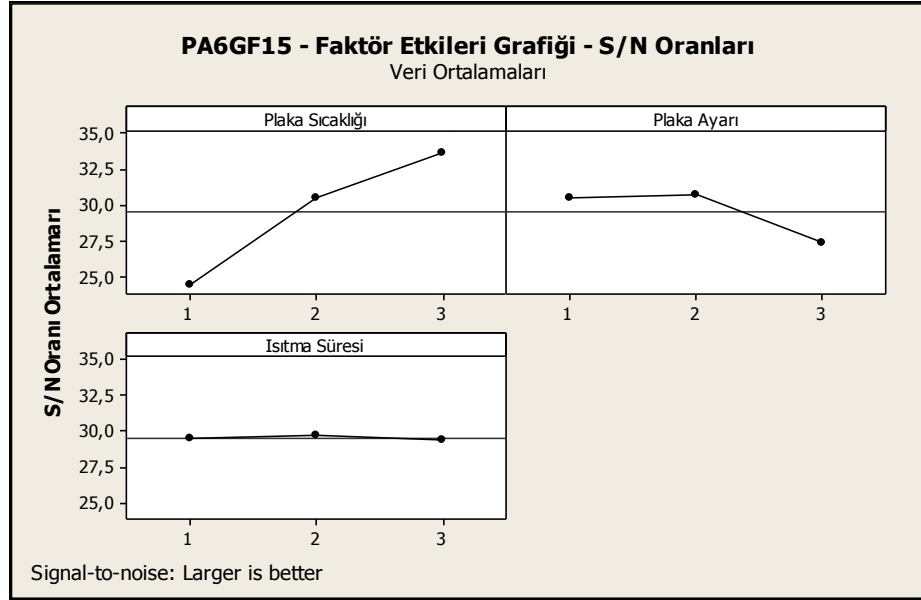
Faktör	Faktör Sembolü	Varyans Oranı(F)	F-Testi Anlamlılık Düzeyleri
Plaka Sıcaklığı (PS)	A	541,04	>%99,5
Plaka Ayarı (PA)	B	64,43	>%95,0
Isıtma Süresi (IS)	C	24,37	>%95,0

4.1.3 Faktör Etkilerinin Grafikselleştirilmesi – Sonuç Tabloları

Deneyisel tasarım ortogonal olduğu için her kaynak parametresini üç seviyeye bölmek mümkündür. Örneğin 1. 2. ve 3. seviyedeki plaka sıcaklıkları için ortalama S/N oranı sırasıyla 1-3, 4-6 ve 7-9 numaralı deneylerin sonucunda elde edilen S/N oranlarının ortalaması ile elde edilebilir. Minitab v.16 programında yapılan analizler sonucunda, PA6 GF15 için çekme deneyi sonuçlarına göre S/N oranları için sonuç tablosu Tablo 4.11’de ve faktör etkileri grafiği Şekil 4.1’de oluşturulmuştur. Aynı şekilde ortalamalar için sonuç tablosu Tablo 4.12’de ve faktör etkileri grafiği Şekil 4.2’de oluşturulmuştur.

Tablo 4.11 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 GF15 için S/N oranı için sonuç tablosu

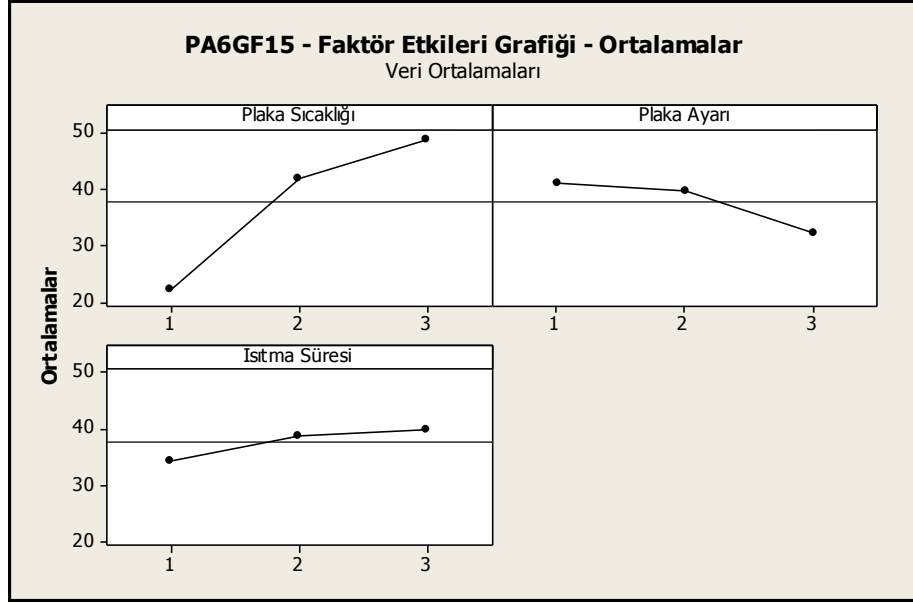
Seviye	Faktör		
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi
	A	B	C
1	24,45	30,55	29,51
2	30,50	30,74	29,71
3	33,72	27,39	29,46
Maks.	33,72	30,74	29,71
Min.	24,45	27,39	29,46
Fark	9,27	3,35	0,25
Etki Sırası	1	2	3



Şekil 4.1 Çekme deneyi sonuçlarına göre faktör etkileri grafiği - S/N oranları

Tablo 4.12 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 GF15 ortalamaları için sonuç tablosu

Seviye	Faktör		
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi
	A	B	C
1	22,35	41,15	34,38
2	41,83	39,59	38,73
3	48,84	32,28	39,91
Maks.	48,84	41,15	39,91
Min.	22,35	32,28	34,38
Fark	26,49	8,87	5,53
Etki Sırası	1	2	3



Şekil 4.2 Çekme deneyi sonuçlarına göre faktör etkileri grafiği – ortalamalar

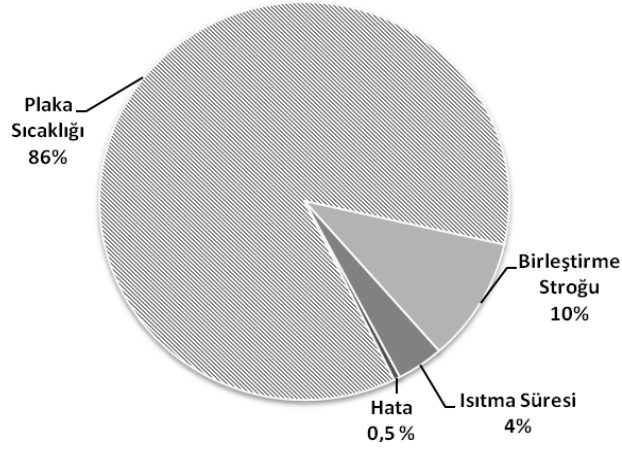
4.2 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.2.1 Faktörlerin Kaynak Mukavemetine Katkı Oranı

Katkı oranı, yüzde katkı (%P) olarak SPK prosesinde kaynak parametreleri için Minitab v.16 yardımıyla ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo 4.8'in son sütununda yüzde katkı (%P) olarak verilmiştir. Katkı oranı her bir faktör için kareler toplamının (S') toplam kareler toplamına (S_T) oranı olarak verilir (Lee ve Kim, 2012). Örneğin, plaka sıcaklığının katkı oranı (P_A) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_A = \frac{S'}{S_T} = \frac{1129,96}{1317,52} = 0,8574 \quad P_A = \%85,74$$

Bu çalışmada hesaplanan değerlere göre PA6 GF15 için SPK prosesinde etkin olan kaynak parametreleri Şekil 4.3'da gösterilmiştir. Tablo 8'deki ANOVA tablosundan ve Şekil 9'dan da anlaşılabileceği gibi PA6 GF15 için en etkin parametre plaka sıcaklığı (PS) olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3 PA6 GF15 için SPK parametrelerinin katkı oranları

4.2.2 Optimum Kaynak Mukavemeti Tahmini

PA6 GF15 için çekme deneyi sonuçlarına göre S/N oranları için sonuç tablosu Tablo 4.11 ve faktör etkileri grafiğine Şekil 4.1'e göre PA6 GF15 için optimum kaynak parametreleri en yüksek S/N oranına sahip olan seviyelerin alınması ile **A3B2C2** bulunup, Tablo 4.13'de optimum kaynak parametreleri ve seviyeleri verilmiştir. PA6 GF15 malzemede SPK verimliliği için Tablo 4.13'de, plaka sıcaklığının (A), seviye 3'e birleştirme stroğu (B) ve ısıtma süresinin (C) seviye 2'ye ayarlanması durumunda Taguchi deneysel tasarım metoduna göre optimum kaynak mukavemetine ulaşılabacaktır.

Tablo 4.13 PA6 GF15 için optimum kaynak parametreleri ve seviyeleri

Optimum Kaynak Parametreleri ve Seviyeleri			
Optimum Kaynak Parametre Seviyeleri	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi
	A	B	C
A3B2C2	270°C	1,0 mm	25 s

4.2.3 Tahmin Edilen Optimum Kaynak Mukavemetinin ve SPK Verimliliğinin Hesaplanması

PA6 GF15 için optimum kaynak parametreleri **A3B2C2** olduğu için tahmin edilen optimum kaynak mukavemeti (KM_{opt}) formül (4.3) kullanılarak hesaplanır. Formüldeki T_m Tablo 4.6'deki kaynak mukavemetlerinin ortalamasıdır (Stokes, 1989), (Lee ve Kim, 2012), (Campanelli, 2012).

$$KM_{opt.} = A_3 + B_2 + C_2 - 2T_m \quad (4.3)$$

$$KM_{opt.} = 48,84 + 39,59 + 38,73 - 2(37,67)$$

$KM_{opt.} = 51,81 MPa$ 'lık kaynak mukavemetine karşılık gelen SPK kaynak verimliliği (4.4) formülüne göre hesaplanır.

$$SPK \text{ Verimliliği } (\%) = \frac{KM_{opt.}}{\sigma_{PA6GF15}} \quad (4.4)$$

$$SPK \text{ Verimliliği } (\%) = \frac{51,81}{75} = \%71$$

Optimum kaynak mukavemeti için S/N oranı (4.1) ve (4.2) formülleri kullanılarak türetilen (4.5) formülü ile hesaplanır (Ross, 1996), (Roy, 1990).

$$\frac{S}{N} \text{ oranı} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (4.5)$$

KM_{opt} (4.4) formülünde y_i yerine konursa (4.6) formülü oluşturulur.

$$\frac{S}{N} \text{ oranı} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{KM_{opt}^2} \right) \quad (4.6)$$

S/N oranı = 34,2890 dB olarak bulunur. Hesaplanan $KM_{opt.}$ ve S/N oranları Tablo 4.15'de verilmiştir.

4.2.4 Doğrulama Deneyleri

Optimum kaynak parametreleri belirlendikten sonraki son adım, kaynak mukavemetindeki iyileştirmenin optimum kaynak parametreleri kullanılarak doğrulanması adımıdır.

Optimum kaynak parametreleri bulunurken kullanılan Şekil 4,1'deki S/N oranları için verilen faktör etkileri grafikleri, başlangıçtaki kaynak parametre seviyelerinin belirlenmesinde de kullanır. Buna göre başlangıçtaki kaynak parametre seviyeleri PA6 GF15 için Tablo 4.14'de ortalamaya en yakın seviyelerin **A2B1C1** alınması ile verilmiştir.

Tablo 4.14 PA6 GF15 için başlangıçtaki kaynak parametreleri ve seviyeleri

Başlangıçtaki Kaynak Parametreleri			
Başlangıçtaki Kaynak Parametre Seviyeleri	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi
	A	B	C
A2B1C1	260°C	0,5 mm	20 s

4.2.5 Başlangıçtaki Kaynak Mukavemetinin Hesaplanması ve SPK Verimliliğinin Hesaplanması

PA6 GF15 için başlangıçtaki kaynak parametreleri A2B1C1 olduğu için başlangıçtaki kaynak mukavemeti (KM_i) formül (4.3)'e benzeyen formül (4.7) kullanılarak hesaplanır (Phadke, 1989), (Canıyılmaz, 2001).

$$KM_i = A_2 + B_1 + C_1 - 2T_m \quad (4.7)$$

$$KM_i = 41,83 + 41,15 + 34,38 - 2(37,67)$$

$$KM_i = 42,01 MPa$$

42MPa'lık kaynak mukavemetine karşılık gelen SPK kaynak verimliliği (4.8) formülüne göre hesaplanır.

$$SPK \text{ Verimliliği } (\%) = \frac{KM_i}{\sigma_{PA6GF15}} \quad (4.8)$$

$$SPK \text{ Verimliliği } (\%) = \frac{42,01}{75} = \%56$$

KM_i için S/N oranı formül (4.5) kullanılarak 32,4662 dB olarak bulunur. Hesaplanan KM_i ve S/N oranları Tablo 4.15'de verilmiştir.

Optimum kaynak parametreleri ayarlandıktan sonra yapılan SPK prosesini, doğrulama deneylerinin güvenilirliğini sağlamak amacı ile dörder numune ile tekrarlanmış ve çekme deneyi sonucunda bulunan kaynak mukavemeti Tablo 4.15'de verilmiştir. Doğrulama deneylerin sonuçlarına bakıldığında kaynak mukavemetinde **% 27**'lik bir artış sağlanmıştır. S/N oranı incelendiğinde ise başlangıçtaki kaynak parametrelerinden optimum kaynak parametrelerine geçişte **2,0684 dB**'lik bir kazanç sağlandığı Tablo 4.15'de görülebilir.

Tablo 4.15 Doğrulama deneyleri sonuçları

	Başlangıç Karakteristiği	Optimum Kaynak Karakteristikleri		İyileştirme
	Deneysel	Tahmin	Deneysel	
Parametre Seviyeleri	A2B1C1	A3B2C2	A3B2C2	%27
Kaynak Mukavemeti [MPa]	42,01	51,08	53,30	
Hesaplanan S/N Oranı [dB]	32,4662	34,2890	34,5345	2,0684
SPK Verimliliği (%)	56	69	71	

Bu çalışmada, PA6 GF15 kompozit malzemenin SPK ile birleştirme işlemlerinde kaynak parametreleri Taguchi deney tasarımı metodu kullanılmıştır. Kaynak parametrelerinin etkinliğini incelemek için gereken deney sayısı bu metodun kullanımı sayesinde düşürülerek, deneysel çalışmada verimlilik sağlanmıştır. L₉

ortogonal dizisi kullanarak uygulanan deneyler sonucunda kaynak mukavemetlerinde iyileştirme elde edilmiş, Taguchi metodu başarılı bir şekilde uygulamıştır.

PA6 GF15 kompozit malzeme için elde edilen deneysel ve analitik bulgular;

1. SPK'da en etkin kaynak parametresi plaka sıcaklığıdır.
2. Optimum kaynak parametreleri: Plaka sıcaklığı **270 °C**, birleştirme stroğu **1,0 mm**, ısıtma süresi **25 s**'dir.
3. Doğrulama deneyleri sonucunda, başlangıçtaki kaynak parametrelerinden optimum kaynak parametrelerine geçişte, kaynak mukavemetindeki iyileştirme %27 olarak bulunmuştur.
4. SPK verimliliği %56'dan **%71**'e yükselmiştir.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Poliamid malzemelerin Taguchi deneysel tasarım metodu L_9 ortogonal matrisi kullanılarak 4 adet kaynaklı numune çekme deneyi ortalamasına sonuçlarıyla Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de gösterilen S/N oranları hesaplanır.

Tablo 5.1 PA6, PA6 GF15, PA6 GF30 Çekme deneyi sonuçları ve hesaplanan S/N oranları

Deney Sırası	Poliamid 6		Poliamid 6 GF15		Poliamid 6 GF30	
	Ortalama	S/N Oranı	Ortalama	S/N Oranı	Ortalama	S/N Oranı
	Kaynak Dayanımı		Kaynak Dayanımı		Kaynak Dayanımı	
#	MPa	dB	MPa	dB	MPa	dB
1	25,80	28,2316	22,22	26,9357	11,19	20,9733
2	30,94	29,8096	26,01	28,3022	9,16	19,2333
3	33,54	30,5122	18,82	25,4936	35,32	30,9594
4	25,10	27,9918	45,98	33,2522	13,64	22,6982
5	28,21	29,0070	45,67	33,1934	34,77	30,8253
6	26,24	28,3793	33,82	30,5829	18,41	25,3014
7	24,03	27,6156	55,23	34,8433	41,74	32,4117
8	27,48	28,7817	47,09	33,4592	16,39	24,2925
9	31,18	29,8785	44,19	32,9066	41,63	32,3874

Tablo 5.2 PA66, PA66 GF15, PA66 GF30 Çekme deneyi sonuçları ve hesaplanan S/N oranları

Deney Sırası	Poliamid 66		Poliamid 66 GF15		Poliamid 66 GF30	
	Ortalama	S/N Oranı	Ortalama	S/N Oranı	Ortalama	S/N Oranı
	Kaynak Dayanımı		Kaynak Dayanımı		Kaynak Dayanımı	
#	MPa	dB	MPa	dB	MPa	dB
1	13,10	22,34395	19,52	25,8111	12,46	28,23613
2	21,54	26,66333	49,35	28,5183	13,74	29,10247
3	24,53	27,79533	50,07	28,8794	15,59	29,21177
4	21,04	26,46241	46,23	28,4526	25,72	29,08244
5	26,70	28,52983	55,93	29,1060	32,38	29,27965
6	10,01	20,00658	39,80	26,0235	19,25	28,3073
7	11,58	21,27359	45,10	26,5568	25,18	28,48352
8	15,56	23,84127	53,76	27,5466	26,20	28,80136
9	16,73	24,468	53,18	27,7720	30,08	28,87213

Minitab programıyla sıcak plaka kaynak parametreleri bulunur. Polimer kompozit malzeme için elde edilen deneysel bulguların doğrulanması amacıyla Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'deki verilerle modelleme ve nümerik simülasyonlar yapılabilir.

Tablo 5.3 PA6, PA6 GF15, PA6 GF30 malzemeler için optimum kaynak parametreleri ve sonuçların tahmini

	Kaynak Parametreleri				Tahmin Edilen Kaynak Mukavemeti	Hesaplan S/N Oranı	Kaynak Faktörü
	Plaka Sıcaklığı	Plaka Ayarı	Isıtma Süresi	Kaynak Süresi			
Faktör	A	B	C	D			
PA6	250°C	1,0mm	25s	-	31,93MPa	30,0827dB	A1B2C2
PA6 GF15	270°C	1,0mm	25s	-	51,81MPa	34,2890dB	A3B2C2
PA6 GF30	270°C	1,5mm	30s	-	52,93MPa	34,4737dB	A3B3C3

Tablo 5.4 PA66, PA66 GF15, PA66 GF30 malzemeler için optimum kaynak parametreleri ve sonuçların tahmini

	Kaynak Parametreleri				Tahmin Edilen Kaynak Mukavemeti	Hesaplan S/N Oranı	Kaynak Faktörü
	Plaka Sıcaklığı	Plaka Ayarı	Isıtma Süresi	Kaynak Süresi			
Faktör	A	B	C	D			
PA66	-	1,0mm	70s	30s	26,85MPa	28,5797dB	B2C3D3
PA66 GF15	300°C	1,0mm	70s	-	62,29MPa	35,8884dB	A3B2C3
PA66 GF30	300°C	-	70s	20s	31,93MPa	30,0846dB	A3C3D1

Ağırlıkça elyaf katkısının artmasıyla birlikte Matris malzeme olan Cam Elyafın ısı iletim katsayısı, Poliamid malzemeye göre daha düşük olduğu için yürütülen çalışma

sonucunda, Poliamid 6 malzeme için optimum koşullar: **250°C** plaka sıcaklığı ve **25 saniye** ısıtma süresi bulunmuş, Poliamid 6 %15 cam elyaf takviyeli malzeme için ise plaka sıcaklığının **20°C** bir artışla **270°C**'ye çıktığı görülmüştür. Poliamid 6 cam elyaf katkısı %30 malzemedeki optimum koşullara ulaşmak için plaka sıcaklığındaki artış, malzemenin sıcak plaka kaynağıyla birleştirilmesinde en iyi sonucun alınması için yeterli olmamış, ergimenin tam olabilmesi için fiber oranı arttıkça ısıtma süresinin de **5 saniye** arttırılarak **30 saniyeye** çıkartılması gerektiği görülmüştür. Ayrıca fiber malzeme sert ve gevrek malzeme olduğu için ağırlıkça yüzde oranı arttıkça strok ayarlı kaynak makinemizde strok, Poliamid 6 %15 için **1,0 mm** iken **1,5 mm**'ye çıkartılarak, Poliamid malzemenin kovalent bağlarının oluşması için optimum strok değerleri bulunmuştur.

Poliamid 66 malzeme ve cam elyaf takviyeli türevlerinde ise **280°C** optimum plaka sıcaklığı ve **70 saniye** ısıtma süresi bulunmuş fakat en etkin parametre Isıtma süresi olmuştur. Poliamid 66 malzeme cam elyaf takviyeli türevlerinde, plaka sıcaklığının **300°C** olduğu ve Elyaf katkısı optimum plaka sıcaklığını **20°C** arttırmıştır. Poliamid 66 ve elyaf takviyeli türevleri için malzemedeki optimum plaka ayarı **1,0 mm**'dir. (Poliamid 66 %30 için en az etkili parametre). Poliamid 66 ağırlıkça %30 cam elyaf takviyeli malzeme için kaynak süresi ve sıcaklığı malzemedeki termal bozulmalara yol açmış ve hesaplanan kaynak mukavemeti değerleri beklenenden daha küçük çıkmıştır. Bu parametreler değerlendirilerek yeni seviyelerde Taguchi Ortogonal matrisi tasarlanırsa, ana malzeme özelliklerine daha yakın sonuçlar elde edilecektir.

KAYNAKLAR

- Brydson, J. A. (2006). *Plastic materials* (7th ed). Oxford: Butterworth Heinemann
- Campanelli, L.C. (2012). Parameters optimization for friction spot welding of AZ31 magnesium alloy by taguchi method, *Soldag Inspiration Sao Paolo*, 17(1), 26–31.
- Canıylmaz, E. (2001). *Kalite geliřtirmede Taguchi Metodu ve bir uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Deopura, B. L., Alagirusamy, R., Joshi, M. ve Gupta, B. (2008). *Polyesters and polyamides*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Ehrenstein, G.W. (2004). *Handbuch kunststoff verbindungstechnik*, München: Hanser Verlag.
- Lee, B., Kim, J. Lee, S. ve Kim, Y. K. (2012). Butt-welding technology for double walled Polyethylene pipe, *Materials and Design*, 35, 626–632.
- Meet Minitab 16 user manual (b.t.). *Taguchi designs*, 24 Mayıs 2013, <http://www.minitab.com/en-us/company/>
- Meriç, A., Akcan, A., Arcan, G. ve Çayıt, F. (2011). *Plastikler, Enjeksiyon ve Ekstruderler*, İstanbul: Enfromak.
- Peace, G.S. (1993). *Taguchi methods*, New York: Addison-Wesley.
- Phadke, M.S. (1989). *Quality engineering using robust design*, New York: Prentice-Hall.
- Ross, P.J. (1996). *Taguchi techniques for quality engineering*, Singapore: McGraw-Hill.

Roy, R.K. (1990). *A Primer on the Taguchi Method*, New York: Van Nostrand Reinhold.

Stokes, V. K. (1989). Joining methods for plastics and plastic composites: An overview. *Polymer Engineering and Science*, 20, 1310–1318.

Stokes, V. K. (1998). Experiments on the hot-tool welding of three dissimilar thermoplastics. *Polymer*, 39(12), 2469-2477.

Stokes, V. K. (1999). A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics *Polymer*, 40, 6235-6263.

Stokes, V. K. ve Conway, K. R. (2001). A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics 4. Weld strength data for several blends. *Test*, 42, 7477-7493.

Termoplastik polimerler (b.t.). 24 Mayıs 2013, <http://www.polimernedir.com/kutuphane/termoplastik-polimerler/>

Ünal, O. (b.t.). *Yapı malzemesi ders notları*, 10 Eylül 2013, <http://www.cncteknik.net/malzeme-bilgisi/1856-kompozit-malzemeler.html>.

William, A. (1997). *Handbook of plastics joining*, Chapter 1, New York: Plastics Design Library.

Yang, W.H. ve Tarng, Y.S. (1998). Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method, *Journal of Materials Processing Technology*, 84, 122–129.

EKLER

EKA-Poliamid Malzemeler İçin Sıcak Plaka Kaynağı Uygulamaları Sonuç Tabloları

Tablo A.1 Varyans birleştirmesinden sonra çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 varyans analizi (ANOVA)

	Faktör Sembölü	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması (Varyans)	Varyans Oranı	Kareler Toplamı	Yüzde Katkı
Faktör		DoF(t)	S	V	F	S²	P%
Plaka Sıcaklığı	A	2	20,30	10,15	4,47	15,76	24,72
Birleştirme Stroğu	B	2	45,91	22,95	10,11	41,37	64,89
Isıtma Süresi	C	2	11,16	5,58	2,46	6,62	10,38
Hata	e (D)	2	4,54	2,27	1,00		
Toplam		8	81,91			63,75	100

Tablo A.2 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 için S/N oranı için sonuç tablosu

Seviye	Faktör		
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi
	A	B	C
1	28,10	25,50	23,82
2	25,75	27,57	28,71
3	26,37	27,16	27,69
Maks.	28,10	27,57	28,71
Min.	25,75	25,50	23,82
Fark	2,36	2,08	4,89
Etki Sırası	2	3	1

Tablo A.3 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 ortalamaları için sonuç tablosu

Seviye	Faktör		
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi
	A	B	C
1	30,09	24,97	26,51
2	26,51	28,88	29,07
3	27,57	30,32	28,59
Maks.	30,09	30,32	29,07
Min.	26,51	24,97	26,51
Fark	3,58	5,35	2,56
Etki Sırası	2	1	3

Tablo A.4 Varyans birleştirmesinden sonra çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 GF30 varyans analizi (ANOVA)

	Faktör Sembolü	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması (Varyans)	Varyans Oranı	Kareler Toplamı	Yüzde Katkı
Faktör		DoF(t)	S	V	F	S²	P%
Plaka Sıcaklığı	A	2	350,51	175,25	3,74	256,71	23,97
Birleştirme Stroğu	B	2	232,73	116,37	2,48	138,93	12,97
Isıtma Süresi	C	2	769,24	384,62	8,20	675,44	63,06
Hata	e (D)	2	93,80	46,90	1,00		
Toplam		8	1.446,68			1.071,08	100

Tablo A.4 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 GF30 için S/N oranı için sonuç tablosu

Seviye	Faktör		
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi
	A	B	C
1	21,71	24,36	22,60
2	24,74	22,93	23,53
3	28,26	27,44	28,59
Maks.	28,26	27,44	28,59
Min.	21,71	22,93	22,60
Fark	6,55	4,51	5,99
Etki Sırası	1	3	2

Tablo A.5 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA6 GF 30 ortalamaları için sonuç tablosu (MPa)

Seviye	Faktör		
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi
	A	B	C
1	18,55	22,19	5,33
2	22,28	20,11	21,47
3	33,25	31,78	37,28
Maks.	33,25	31,78	37,28
Min.	18,55	20,11	5,33
Fark	14,70	11,68	21,95
Etki Sırası	2	3	1

Tablo A.6 Varyans birleştirmesinden sonra çekme deneyi sonuçlarına göre PA66 varyans analizi (ANOVA)

	Faktör Sembolü	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması (Varyans)	Varyans Oranı	Kareler Toplamı	Yüzde Katkı
Faktör		DoF(t)	S	V	F	S ²	P%
Birleştirme Stroğu	B	2	57,17	28,58	1,20	9,52	11,06
Isıtma Süresi	C	2	113,47	56,73	2,38	65,82	76,47
Kaynak Süresi	D	2	58,39	29,19	1,23	10,74	12,47
Hata	e (A)	2	47,65	23,82	1,00		
Toplam		8	276,67			86,07	100

Tablo A.7 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA66 için S/N oranı için sonuç tablosu

Seviye	Faktör		
	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi	Kaynak Süresi
	B	C	D
1	23,36	22,06	25,11
2	26,34	25,86	22,65
3	24,09	25,87	26,03
Maks.	26,34	25,87	26,03
Min.	23,36	22,06	22,65
Fark	2,98	3,08	3,39
Etki Sırası	3	1	2

Tablo A.8 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA66 ortalamaları için sonuç tablosu

Seviye	Faktör		
	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi	Kaynak Süresi
	B	C	D
1	15,24	12,89	18,84
2	21,27	19,77	14,37
3	17,09	20,94	20,38
Maks.	21,27	20,94	20,38
Min.	15,24	12,89	14,37
Fark	6,03	8,05	6,01
Etki Sırası	2	1	3

Tablo A.9 Varyans birleştirmesinden sonra çekme deneyi sonuçlarına göre PA66 GF15 varyans analizi

	Faktör Sembolü	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması (Varyans)	Varyans Oranı	Kareler Toplamı	Yüzde Katkı
Faktör		DoF(t)	S	V	F	S²	P%
Plaka Sıcaklığı	A	2	191,95	95,97	2,33	109,68	16,90
Birleştirme Stroğu	B	2	401,35	200,68	4,88	319,09	49,16
Isıtma Süresi	C	2	302,59	151,30	3,68	220,33	33,94
Hata	e (D)	2	82,26	41,13	1,00		
Toplam		8	978,15			649,10	100

Tablo A.10 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA66 GF15 için S/N oranı için sonuç tablosu

Seviye	Faktör		
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi
	A	B	C
1	31,22	30,37	30,81
2	33,42	34,48	33,89
3	34,07	33,50	34,01
Maks.	34,07	34,48	34,01
Min.	31,22	30,73	30,81
Fark	2,85	3,74	3,20
Etki Sırası	3	1	2

Tablo A.11 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA66 GF 15 ortalamaları için sonuç tablosu

Seviye	Faktör		
	Plaka Sıcaklığı	Birleştirme Stroğu	Isıtma Süresi
	A	B	C
1	39,65	36,95	37,69
2	47,32	53,01	49,59
3	50,68	47,68	50,36
Maks.	50,68	53,01	50,36
Min.	39,65	36,95	37,69
Fark	11,03	16,06	12,67
Etki Sırası	3	1	2

Tablo A.12 Varyans birleştirmesinden sonra çekme deneyi sonuçlarına göre PA66 GF30 varyans analizi (ANOVA)

	Faktör Sembölü	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması (Varyans)	Varyans Oranı	Kareler Toplamı	Yüzde Katkı
Faktör		DoF(t)	S	V	F	S²	P%
Plaka Sıcaklığı	A	2	317,25	158,62	20,69	301,92	83,74
Isıtma Süresi	C	2	42,28	21,14	2,76	26,95	7,47
Kaynak Süresi	D	2	47,02	23,51	3,07	31,68	8,79
Hata	e (B)	2	15,33	7,67	1,00		
Toplam		8	421,88			360,54	100

Tablo A.13 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA66 GF30 için S/N oranı için sonuç tablosu

Seviye	Faktör		
	Plaka Sıcaklığı	Isıtma Süresi	Kaynak Süresi
	A	C	D
1	22,84	25,32	27,23
2	28,03	26,84	25,49
3	28,65	27,36	26,81
Maks.	28,65	27,36	26,81
Min.	22,84	25,32	25,49
Fark	5,81	2,04	1,74
Etki Sırası	1	2	3

Tablo A.14 Çekme deneyi sonuçlarına göre PA66 GF 30 ortalamaları için sonuç tablosu

Seviye	Faktör		
	Plaka Sıcaklığı	Isıtma Süresi	Kaynak Süresi
	A	C	D
1	13,93	19,30	24,97
2	25,78	23,18	19,39
3	27,15	24,38	22,50
Maks.	27,15	24,38	24,97
Min.	13,93	19,30	19,39
Fark	13,22	5,08	5,59
Etki Sırası	1	3	2