



Termoplastik Malzemelerin Ultrasonik Kaynağı ve Kaynak Parametrelerinin Çekme Dayanımına Etkisi

Ahmet DEMİR*¹, İrfan AY

¹Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

(Alınış Tarihi/Received: 24.10.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 25.12.2019)

*İlgili yazar/Corresponding Author: 16ahmetdemir@gmail.com

Anahtar Kelimeler

Ultrasonik kaynak
Termoplastik malzemeler
Plastik malzemelerin kaynağı
Kaynak parametreleri

Özet: Bu çalışmada, polipropilen plastik malzeme (PP-TD10) farklı kaynak parametreleri belirlenerek ultrasonik kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve kaynaklanan parçaların mekanik dayanımları test edilmiştir. Ultrasonik kaynak yapılarak üretilen numunelere çekme testi uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, belirlenen parametreler dikkate alınarak incelenmiş ve yüksek kaliteli kaynaklı bir malzeme eldesi için en uygun (optimum) kaynak parametrelerin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu deneysel çalışmalar sonucunda uygun dayanımlı ürünler elde edilmiş, görsel problemler ortadan kalkmış, istenen estetik görünüm sağlanmış ve proses kararlı hale gelmiştir.

Ultrasonic Welding of Thermoplastic Materials and the Effect of Welding Parameters on Tensile Strength

Keywords

Ultrasonic welding
Thermoplastic materials
Welding of plastic materials
Welding parameters

Abstract: In this study, polypropylene plastic material (PP-TD10) was combined with ultrasonic welding method by determining different welding parameters and mechanical strength of welded parts were tested. Tensile test was applied to the samples produced by ultrasonic welding. The experimental results were examined by taking into account the determined parameters and the most suitable (optimum) welding parameters were obtained for a high quality welded material. As a result of these experimental studies, suitable durable products were obtained, visual problems were eliminated, desired aesthetic appearance was achieved and the process became stable.

1. Giriş

Endüstrideki son yıllardaki gelişmeler ile birlikte artık kolay şekillendirilebilen, hafif, uygun maliyetli, çevresel çalışma şartlarına karşı en üst seviyede dayanabilen, aşınma dirençleri yüksek olan malzemeler tercih edilmektedir. Plastik malzemelerin kullanımı bu sebeple yaygınlaşarak, metal, ahşap, seramik vb. farklı özelliklerdeki malzemelerin yerini almaktadır. Endüstride kullanılmakta olan plastik malzemeler farklı yöntemlerle üretilmektedirler. Fakat bazı parça formları mevcut yöntemlerle üretilmemekte ya da maliyet ve zaman açısından tercih edilmemektedirler. Bu tür parçaların da kaynaklı birleştirilmesi, daha verimli ve avantajlı olabilmektedir (Demir, 2019)

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılmak üzere plastik enjeksiyon yöntemiyle şekillendirildikten sonra ultrasonik kaynak yöntemiyle birleştirilen plastik parçaların kaynak parametrelerinin incelenmesi ve en uygun parametrelerin belirlenmesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda birbirinden farklı parametreler belirlenerek yapılan birleştirmelere çekme testi uygulanmış, birleştirme bölgesindeki kopma dayanımı ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar ile en iyi kalitede kaynak elde edilerek, ideal olan (optimum) kaynak parametreleri belirlenmiştir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı, ilk defa otomotiv sektöründe en büyük boyalı görsel plastik parça olan tamponun ultrasonik kaynağı üzerine ilgili ultrasonik kaynak parametreleri incelenerek hazırlanmış olmasıdır. Yapılan literatür taramalarında Türkiye’de boyalı görsel termoplastik parçaların ultrasonik kaynağı üzerine herhangi bir çalışmanın yapılmadığı görülmüştür. Boyalı yüzeylerde yapılan ultrasonik kaynak yöntemi daha hassas bir parametre ayarı gerektirmektedir. Yapılan bu çalışmada literatürdeki bu eksikliği gidermek amacıyla ultrasonik kaynak kalitesine etki eden tüm parametreler detaylı incelenmiştir.

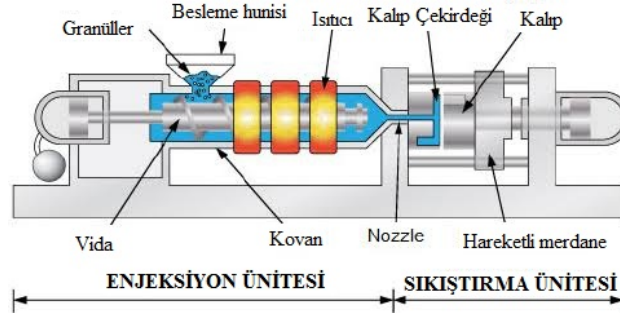
2. Plastik malzemeler

Plastikler, karbon (C)’un metal olmayan elementler olan hidrojen (H), oksijen (O), klor (Cl), azot (N) ile meydana getirdiği büyük moleküllü organik bileşiklerdir. Bunlar, elverişli sıcaklık değerinde kolayca şekillendirilen ve soğuma gerçekleştiğinde katılaştıran bir yapıya sahiptirler. Plastik malzemeler; termoplastikler, termosetler ve elastomerler olarak sınıflandırılırlar (Ay, 2008). Termoplastik malzemeler; ısı ile etkileştiğinde yumuşar ve akarlar. Soğutulması durumunda ise sertleşir ve katılaşırlar. Isıtma ve soğutma olayları termoplastikler için tekrar edilebilir bir özelliktir ve bunlar gerçekleşirken kimyasal değişim yaşamazlar. Termosetler ısıtıldıklarında katılma meydana gelir. Elastomer ya da kauçuk, elastik şekil değiştirme yeteneği fazla olan plastiklere denir (Margolis, 2005). Elastomerler, çok fazla uzatıldıktan sonra, elastik olarak yay gibi gerilerek orijinal uzunluklarına geri dönerler. Bu davranışı en iyi gösteren lastiktir (Harper, 1999).

2.1. Plastik enjeksiyon yöntemi ile imalat

Plastikler; enjeksiyon, ekstrüzyon, üfleme, basınçlı ve transfer kalıplama, haddeleme, döküm gibi imalat metotlarıyla üretilmektedirler. Bu çalışmada, deneysel çalışmalar için ham maddesi yarı kristalin yapıdaki termoplastik %10 talk dolgulu polipropilen (PP-TD10) malzeme kullanılmıştır. Malzemenin çekme mukavemeti 35-37 N/mm², çentik darbe mukavemeti 10 kJ/m² ve uzaması %10’dur. Benzer proseslerde % 5 ila %20 arası değişkenlik gösteren polipropilen malzemeler kullanılabilir. Talk dolgusu; yanma geciktirici, termal ve ışık dengeleyiciler gibi katkı maddeleri içerir. Kullanılan ham madde, enjeksiyon kalıplama amaçlı, araç tampon malzemesi olarak tasarlanmıştır. Deney numuneleri plastik enjeksiyon yöntemi ile 3.500 ton plastik enjeksiyon makinesinde üretilmiş olup, ham madde kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Plastik enjeksiyon yöntemi araç panelleri, bilgisayar parçaları, beyaz eşyalar gibi ürünlerin imalatındaki yaygın ve ucuz metotlardan biridir (Taş, 2008).

Plastik enjeksiyon yöntemi, plastik ham maddenin belirli sıcaklıkta eritilip daha sonra bir kalıba doldurularak talep edilen forma sokulması işlemidir (Noordin, 2009). Ham madde talep edilen forma gelirken kalıpta soğutulur ve işlem tamamlanınca parça kalıptan çıkartılır. Böyle bir plastik enjeksiyon makinesinin temel elemanları, Şekil 1’de görüldüğü gibi enjeksiyon ünitesi, kalıplama (sıkıştırma) ünitesidir.



Şekil 1. Plastik enjeksiyon makinesi genel görünüşü

2.2. Termoplastik malzemelerin ultrasonik kaynağı

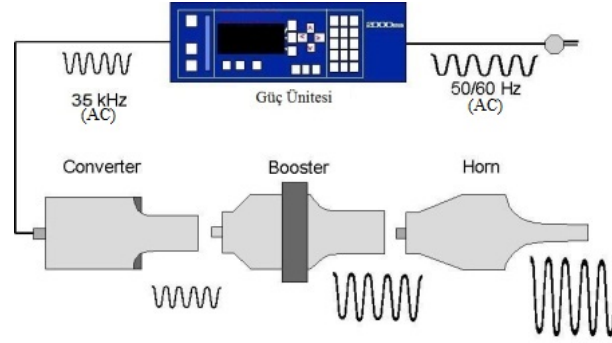
Plastik malzemelerin kaynağında; malzeme özellikleri, çalışma koşulları, zamana bağlı özelliklerdeki değişimler, kaynak sonrası sertleşme eğilimi, malzemenin kimyasal ve ısı direncinin yanı sıra işlem güvenliği ve işlem sonrası güvenilirlik, otomasyona uygunluk ve bütün bunların dışında ekonomiklik gibi parametreler göz önünde bulundurulur (Ziegler, 2004).

Plastik malzemelerden sadece termoplastiklere kaynak işlemi yapılabilir. Termosetlere kaynak işlemi uygulanamaz (Akkurt ve Ertürk, 2009). Çünkü termosetler daha önceden şekillenirken bir defa kimyasal reaksiyona girip sertleştiği için ikinci kez kaynak için ısıtıldıklarında yumuşamazlar. Eğer ısıtma işlemi

uygulanırsa yanar ya da kömürleşirler. Bu malzemelere kaynak işlemi yerine, yapıştırma veya birbirine geçme teknikleriyle birleştirme işlemi yapılabilir (O'Brien, 1991).

Termoplastikler, sıcak gaz, sıcak eleman, laser, indüksiyon, yüksek frekans, elektrik direnç, sürtünme, titreşim ve ultrasonik gibi çok değişik kaynak yöntemleri ile kaynak edilirler.

Ultrasonik kaynak yöntemi, termoplastik malzemelerin hızlı kaynak edilmesinde, üstün kaynak kalitesi, verim, uzun ekipman ömrü ve otomasyona uygunluğu sebepleriyle otomotiv, tekstil, aksesuar, oyuncak, elektronik, paketlenme ve tıp alanı başta birçok sanayi alanında yaygın olarak kullanılan bir kaynak teknolojisidir (Açar, 2013). Ayrıca bu yöntem, temiz dış görünümü, kısa bekleme süresi, az iş gücü, boyutsal olarak yüksek toleranslarda birleştirmeler, seri, verimli ve ekonomik üretim kolaylıkları sağlaması sebebiyle tercih edilmektedir (Ay ve Sakin, 2005).



Şekil 2. Ultrasonik kaynak sistemi bileşenleri (Branson,2002)

Ultrasonik kaynak makineleri, jeneratör (güç ünitesi), enerji dönüştürücüler (converter), mekanik amplifikatör - şiddet artırıcı (booster) ve kaynak kalıpları (horn) gibi elemanlardan oluşurlar (Herrmann, 2018). 35 khz frekanslı bir makinede, jeneratör kısmında şehir elektrik şebekesinden sağlanan 220 volt 50/60 hz elektrik enerjisinin frekansı 35.000 hz'e yükseltilir ve bu AC (alternatif) akım, enerji dönüştürücüye gelir. Enerji dönüştürücüler; üst üste dizilmiş piezoelektrik kristallerinden oluşurlar. Tüm düzeneği rezonans frekansına (öz frekansına) yakın bir değerinde titreştirir. Enerji dönüştürücü, elektrik enerjisinin sadece türünü değiştirerek, yine AC akım olarak mevcut olup, çıkışında 35.000 hz frekansında mekanik titreşim olarak verir. Frekans %100'de iken enerji dönüştürücüden çıkan mekanik titreşimin genliği bu kullandığımız ultrasonik kaynak makinesinde 6,5 mikrometredir. Yine bu ultrasonik kaynak makinesinde kullanılan kaynak kalıplarının arttırım oranı (1:4) ile çıkış genliği 26 mikrometreye ulaşır. Mekanik amplifikatör, titreşim düzeneğinin yataklanmasında kullanılır. Yani, mekanik amplifikatör sistemdeki hareketli ve sabit parçalar arasındaki yük iletimini ve bu parçaların birbirine göre sabit konumda olmalarını sağlar, yani yataklama görevi görür. Farklı özellikteki termoplastiklerin farklı değerlerdeki ergime sıcaklığı sebebiyle, aynı genlik değeri ile her tür termoplastiğin kalitesi uygun şekilde kaynak edilebilmesi mümkün olmamaktadır (Yükler ve Sözoğ, 1998). Ergime sıcaklıkları yüksek olan termoplastiklere yüksek genlikli titreşim, ergime sıcaklıkları düşük termoplastiklere düşük genlikte titreşim uygulamak kısa sürede en sağlıklı kaynağın yapılabilmesi için gereklidir (Welding Technology, 2006).

Ultrasonik kaynak kalıpları; horn ya da sonotrot olarak adlandırılır. Temel görevi, makinenin ürettiği titreşimi iş parçasına iletmektir. Basıncın da etkisi ile saniyede 35.000 defa birbiri ile sürtünmekte olan parçalarda, sürtünen yüzeyleri ergime sıcaklıklarına eriştiğinde, titreşim sonlandırılır. Basıncın etkisinde bir süre daha bekletilerek parçalarda soğuma sağlanır. Ultrasonik kaynak kalıpları; alüminyum, titanyum, alaşımlı çelik ve ferro titanyum malzemelerden yapılırlar ve çeşitli frekanslarda üretilirler. Frekans seçimi, yapılacak işe göre tespit edilir (Prakasan, vd. 2007). Yüzey kaynak uygulamalarında genelde 20 khz frekans, perçin başı ezme ve noktasal kaynak uygulamalarında 30 khz ve 40 khz frekanslar seçilir. Malzemesi yapılacak uygulamaya göre belirlenir. Kesme işlerinde çelik malzeme seçilirken, yüzey kaynak uygulamalarında alüminyum malzeme seçilir. Noktasal kaynak uygulamalarında titanyum malzeme kullanmak uygundur (Rani, 2013).

3. Deneysel Çalışmalar

Bu deneysel çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılmak üzere imalatı yapılan bir plastik parçanın (PP-TD10) ultrasonik kaynak prosesi incelenmiştir. Araç arka tamponunda park sensörlerinin tampona montajı sensör braketleri ile olmaktadır. Sensör braketlerinin arka tampona kaynağı ise ultrasonik kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. Ultrasonik kaynak makinesi ve arka tampon ultrasonik kaynak pozisyonu

Ultrasonik kaynak yönteminde birleşme kalitesine etki eden parametre değerleri değiştirilerek kaynak yapılmış ve değiştirilen parametre değerlerinin kopma mukavemetine etkileri gözlemlenmiştir.

Ultrasonik kaynak makinesinde, cam elyaf ve talk katkılı termoplastik malzemelerde ve boyalı yüzey kaynağında iyi sonuç verdiği tecrübe edilen CPM (curcible particle metallurgy) teknolojiyle toz metalin sıkıştırılması ile üretilmiş alaşımli çelik horn kullanılmıştır. Ardından sertleştirme işlemi yapılmış, ince ayar ve akustik optimizasyon ile imalatı tamamlanmıştır. Horn kaynak boyunca ısınmaya devam eder, aşırı ısınmasını engellemek ve soğutulmasına yardımcı olmak için hava soğutma eklenmiştir. Alaşımli çelik horn ısı iletimi, titanyum ve alüminyum olanlara göre daha iyidir. Horn'un soğuk olması özellikle boyalı tampon gibi yüksek parlaklığa ve görselliğe sahip yüzeylerde önemlidir, çünkü sıcak horn boyalı yüzeye olumsuz etkide bulunabilir. Kaynak fikstürü malzemesi de kestamit olarak seçilmiştir, ayrıca bu ultrasonik kaynak makinesinde 35 khz jeneratör kullanılmıştır.



Şekil 4. Ultrasonik kaynak öncesi ve sonrası görüntüleri

3.1. Test ekipmanları, test parametreleri ve yapılan testler

Arka tampon sensör braketlerinin ultrasonik kaynak kalitesi, çekme testi yapılarak kaynak kopma değerleri gözlemlenmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Çekme testi için çekme test cihazı ve dinamometre olarak iki ayrı test düzeneği belirlenmiştir.

Ultrasonik kaynak kalitesine etki eden birçok parametre vardır. Bir değişken belirlenirken diğer değişkenler sabit tutulmalı ve yeterli sayıda kaynak işlemi yapılmalıdır (Hidroğlu ve İzgi, 2016). Bu çalışmada, ultrasonik kaynak prosesini etkileyen en temel dört parametreye odaklanılmıştır. Bu parametreler genlik, basınç, kaynak süresi ve bekleme süresidir.

Tablo 1. Ultrasonik kaynak test parametreleri

	1	2	3	Sabit Parametreler
Basınç	2 bar	4 bar	8 bar	Genlik: 100% Kaynak süresi: 0,9 s Bekleme süresi: 1,0 s
Genlik	50%	75%	100%	Basınç: 4 bar Kaynak süresi: 0,9 s Bekleme süresi: 1,0 s
Kaynak Süresi	0,9 s	1,0 s	1,2 s	Basınç: 4 bar Genlik: 100% Bekleme süresi: 1,0 s
Bekleme Süresi	1,0 s	1,5 s	3,0 s	Basınç: 4 bar Genlik: 100% Kaynak süresi: 1,0 s

Tablo 1’de sabit ve değişken parametre değerleri görülmektedir. Numunelere, ultrasonik kaynak sonrası belirli hız ve sabit sıcaklıkta çekme testi uygulanarak değişken parametrelerin malzemenin kopma dayanımlarına etkisi gözlemlenmiştir. Numunelere ait kaynak noktalarındaki çekme testleri sonuçları Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Numunelerin kopma dayanımı sonuçları

		Numuneler										
Kaynak Parametreleri	Basınç	1	Frekans	Sabit	2	Frekans	Sabit	3	Frekans	Sabit		
			Basınç	2 bar		Basınç	4 bar		Basınç	8 bar		
			Genlik	Sabit		Genlik	Sabit		Genlik	Sabit		
			Kaynak süresi	Sabit		Kaynak süresi	Sabit		Kaynak süresi	Sabit		
			Bekleme süresi	Sabit		Bekleme süresi	Sabit		Bekleme süresi	Sabit		
	Kopma Dayanımı			325 N	Kopma Dayanımı			338 N	Kopma Dayanımı			352 N
	Genlik	4	Frekans	Sabit	5	Frekans	Sabit	6	Frekans	Sabit		
			Basınç	Sabit		Basınç	Sabit		Basınç	Sabit		
			Genlik	50%		Genlik	75%		Genlik	100%		
			Kaynak süresi	Sabit		Kaynak süresi	Sabit		Kaynak süresi	Sabit		
			Bekleme süresi	Sabit		Bekleme süresi	Sabit		Bekleme süresi	Sabit		
	Kopma Dayanımı			342 N	Kopma Dayanımı			343 N	Kopma Dayanımı			360 N
Kaynak Süresi	7	Frekans	Sabit	8	Frekans	Sabit	9	Frekans	Sabit			
		Basınç	Sabit		Basınç	Sabit		Basınç	Sabit			
		Genlik	Sabit		Genlik	Sabit		Genlik	Sabit			
		Kaynak süresi	0,9 s		Kaynak süresi	1,0 s		Kaynak süresi	1,2 s			
		Bekleme süresi	Sabit		Bekleme süresi	Sabit		Bekleme süresi	Sabit			
Kopma Dayanımı			377 N	Kopma Dayanımı			385 N	Kopma Dayanımı			395 N	
Bekleme Süresi	10	Frekans	Sabit	11	Frekans	Sabit	12	Frekans	Sabit			
		Basınç	Sabit		Basınç	Sabit		Basınç	Sabit			
		Genlik	Sabit		Genlik	Sabit		Genlik	Sabit			
		Kaynak süresi	Sabit		Kaynak süresi	Sabit		Kaynak süresi	Sabit			
		Bekleme süresi	1,0 s		Bekleme süresi	1,5 s		Bekleme süresi	3,0 s			
Kopma Dayanımı			346 N	Kopma Dayanımı			352 N	Kopma Dayanımı			353 N	

4. Deneysel Sonuçları

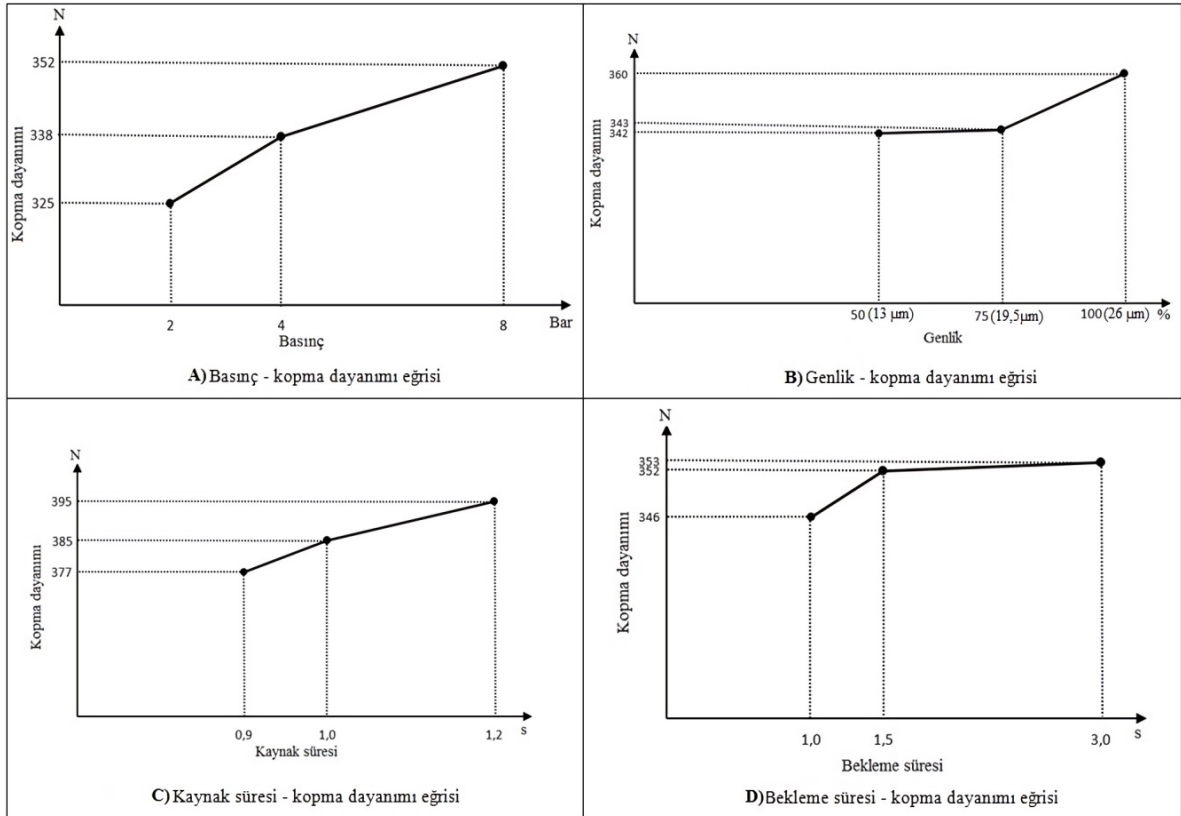
Bu deneysel çalışmalar sonucunda tek bir parametre değişken, diğerleri sabit tutulduğunda aşağıdaki optimum sonuçlar elde edilmiş, uygun dayanımlı ürünler elde edilmiş, görsel problemler ortadan kalkmış, istenen estetik görünüm sağlanmış ve proses kararlı hale gelmiştir.

1) Basıncın değişken alındığı, diğer parametrelerin sabit tutulduğu şartlarda optimum durum (Basınc:4 bar, Genlik:%100, Kaynak Süresi:1,0 s, Bekleme Süresi:1,5 s) 'dir.

Optimum basınç değerini belirlemek için basınç parametresi 2, 4 ve 8 bar olarak üç farklı değerde değiştirilerek, diğer parametreler sabit tutularak ultrasonik kaynak yapılmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi uygulanmıştır, sonuçlar Şekil 5.a'da görülmektedir.

Kaynak basıncı değerinin artmasıyla birlikte kopma dayanımı artmaktadır (Eker, 2009). Düşük basınçlarda parçalar birbirine iyi nüfuz etmediği için kaynak bölgesindeki mekaniksel dayanım yeterli olmamaktadır. Kaynak basıncı değerinin 8 bar olarak belirlendiği 3 numaralı numunedeki kaynak kopma kuvveti 352 N olduğu görülmüştür. Ancak kaynak sonrası arka tamponda yapılan görsel kontrollerde sensör çevresinde boyalı yüzeyde mikro çatlaklar gözlenmiştir (Şekil 6). Horn ve hareketli kütlelerin kendi ağırlığı (2,5 kg) da düşünüldüğünde bu basınç görsel açıdan uygun olmamıştır.

Arka tampon boyalı yüzeyinde iz olmaması görsel parça olması sebebiyle önemlidir. Araca montajı yapıldığında bu izler belirgin şekilde görüldüğünden, parça ıskarta olmaktadır. Bu sebeplerle istenilen estetik görünüm şartlarına göre ideal kaynak basınç değerinin 4 bar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. a) Basıncı - kopma dayanımı eğrisi, b) Genlik - kopma dayanımı eğrisi, c) Kaynak süresi - kopma dayanımı eğrisi, d) Bekleme süresi - kopma dayanımı eğrisi

2) Genliğin değişken alındığı, diğer parametrelerin sabit tutulduğu şartlarda optimum durum (Basınc:4 bar, Genlik:%100, Kaynak Süresi:0,9 s, Bekleme Süresi:1,0 s) 'dir.

Farklı özellikteki termoplastiklerin değişken değerlerdeki ergime sıcaklığı sebebiyle, eş genlik değerleriyle her tür termoplastığın kalitesi uygun olarak kaynak edilebilmesi olanağı yoktur (Benetar, vd., 2001). Ergime sıcaklığının yüksek olduğu termoplastik malzemelere yüksek genlikli titreşim, bununla birlikte ergime

sıcaklığının düşük olduğu termoplastiklere düşük genlikli titreşim uygulanması kısa sürede en dayanıklı kaynağın yapılabilmesi için zorunludur.

Frekans %100'de iken enerji dönüştürücüden (converter) çıkan mekanik titreşimin genliği (amplitude) bu ultrasonik kaynak makinesinde 6,5 mikrometre'dir. Yine bu ultrasonik kaynak makinesinde kullanılan kaynak kalıplarının arttırım oranı (1:4) ile çıkış genliği 26 mikrometredir. Frekans değeri %75 iken titreşim genliği 19,5 mikrometre; frekans değeri %50 iken ise titreşim genliği 13 mikrometredir.

Optimum genlik değerini belirlemek için kaynak basıncı, kaynak süresi, bekleme süresi parametreleri sabit tutulmuştur. Sabit parametreler olan kaynak basıncı 4 bar, kaynak süresi 0,9 s, bekleme süresi 1,0 s olarak belirlenmiştir. Genlik parametresi %50 (13 mikrometre), %75 (19,5 mikrometre) ve %100 (26 mikrometre), olarak üç farklı değerde değiştirilerek ultrasonik kaynak yapılmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi uygulanmıştır, sonuçlar Şekil 5. b'de görülmektedir. Genlik - kopma dayanımı eğrisi incelendiğinde; genlik değerinin kopma dayanımı ile doğru orantılı şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu sebeplerle ideal genlik değeri maksimum değer olan %100 olarak belirlenmiştir.

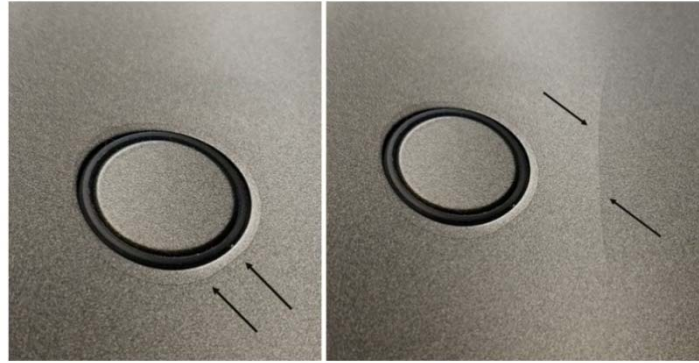
3) Kaynak süresi değişken alındığı, diğer parametrelerin sabit tutulduğu şartlarda optimum durum (Basınç:4 bar, Genlik:%100, Kaynak Süresi:1,0 s, Bekleme Süresi:1,0 s) 'dir.

Kaynak süresinin olması gerekenden az olması durumunda istenen kaynak nitelikleri sağlanamaz iken, artan kaynak derinliği ile birlikte kaynak dayanımı da artar. Ancak uzun kaynak sürelerinde malzemede tam bir ergime gerçekleşmekte ve kaynak bölgesinde deformasyonuna neden olmaktadır.

Optimum kaynak süresi değerini belirlemek için kaynak basıncı, genlik, bekleme süresi parametreleri sabit tutulmuştur. Sabit parametreler olan kaynak basıncı 4 bar, genlik %100, bekleme süresi 1,0 s olarak belirlenmiştir. Kaynak süresi parametresi 0,9 s, 1,0 s ve 1,2 s olarak üç farklı değerde değiştirilerek ultrasonik kaynak yapılmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi uygulanmıştır, sonuçlar Şekil 5.c'de görülmektedir. Kaynak süresi - kopma dayanımı eğrisi incelendiğinde; kaynak süresi değerinin artmasıyla birlikte kopma dayanımı artmıştır.

Kaynak süresi değerinin 1,2 s olarak belirlendiği 9 numaralı numunedeki kaynak kopma dayanımının 395 N olduğu görülmüştür. Ancak kaynak sonrası arka tamponda yapılan görsel kontrollerde boyalı yüzeyde iz yaptığı gözlenmiştir (Şekil 6). Araca montajı yapıldığında bu izler belirgin şekilde görüldüğünden, parça ıskarta olmaktadır.

Estetik görünüm, kaynak dayanımı göz önünde bulundurulduğunda ideal kaynak süresinin 1,0 s olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Görsel yüzeyde çatlaklar ve boyalı yüzeyde iz

4) Kaynak bekleme süresi değişken alındığı, diğer parametrelerin sabit tutulduğu şartlarda optimum durum (Basınç:4 bar, Genlik:%100, Kaynak Süresi:0,9 s, Bekleme Süresi:1,5 s) 'dir.

Bekleme süresi, parçalar kaynak edildikten sonra basınç altında parçaların katılaşması için birlikte tutuldukları süredir. Optimum bekleme süresi değerini belirlemek için kaynak basıncı, genlik, kaynak süresi parametreleri sabit tutulmuştur. Sabit parametreler olan kaynak basıncı 4 bar, genlik %100, kaynak süresi 0,9 s olarak belirlenmiştir. Bekleme süresi parametresi 1,0 s, 1,5 s ve 3,0 s olarak üç farklı değerde değiştirilerek ultrasonik kaynak yapılmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi uygulanmıştır, sonuçlar Şekil 5.d'de görülmektedir. Bekleme süresi - kopma dayanımı eğrisi incelendiğinde; bekleme süresi değerinin 1,5 s'ye kadar artmasıyla

kopma dayanımı artmıştır. 1,5 s bekleme süresi 1,0 s 'ye göre kopma dayanımı arttırırken 3,0 s bekleme süresinin kopma dayanımına etkisinin olmadığı görülmektedir. 1,5 s'den sonra bekleme süresinin arttırılmasının kopma dayanımına etkisinin olmadığını göstermektedir.

Bekleme süresinin uzunluğu, proses çevrim süresini etkiler. Bekleme süresinin artması parçaya zarar vermez. Ancak uzun bekleme süresi, proses çevrim süresini arttırdığı için en kısa bekleme süresinde elde edilen en iyi kaynak kalitesine göre ideal bekleme süresinin 1,5 s olduğu tespit edilmiştir.

5. Sonuç

Ultrasonik kaynak yöntemiyle kaynak edilen yarı kristalin yapıdaki termoplastik %10 talk dolgulu polipropilen (PP-TD10) adlı malzeme için, en uygun kaynak parametreleri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

1) Basıncı 2,4,8, bar olarak değiştirdiğimizde, diğer parametrelerin sabit alındığı şartlarda optimum durum (Basıncı: 4 bar, Genlik:%100, Kaynak Süresi:1,0 s, Bekleme Süresi:1,5 s) 'dir. Basıncı yükseldiğinde, görsel kontrollerde sensör çevresinde boyalı yüzeyde mikro çatlaklar gözlenmiştir. Parçada iz olması parçanın ıskarta olması anlamına gelir.

2) Genlik parametresini %50 (13 mikrometre), %75 (19,5 mikrometre) ve %100 (26 mikrometre) olarak değiştirdiğimizde, diğer parametrelerin sabit tutulduğu şartlarda optimum durum (Basıncı:4 bar, Genlik:%100 (26 mikrometre), Kaynak Süresi:0,9 s, Bekleme Süresi:1,0 s) 'dir. Yüksek ergime sıcaklığına sahip termoplastiklere yüksek genlik, düşük ergime sıcaklığına sahip plastiklere düşük genlikli titreşim uygulanması, kısa sürede en dayanıklı kaynağın yapılabilmesi için zorunludur.

3) Kaynak yapma süresini 0,9 s, 1,0 s ve 1,2 s olarak değişken alındığı, diğer parametrelerin sabit tutulduğu şartlarda optimum durum (Basıncı:4 bar, Genlik:%100, Kaynak Süresi:1,0 s, Bekleme Süresi:1,0 s) 'dir. Kaynak süresi kısa olursa, kaynak yeterli olmaz; süre gereğinden fazla uzun olursa da malzemenin kaynak bölgesinde deformasyon olmakta ve boyalı yüzeyde iz olarak görünmektedir.

4) Kaynakta Bekleme süresi 1,0 s, 1,5 s ve 3,0 s değişken alındığı, diğer parametrelerin sabit tutulduğu şartlarda optimum durum (Basıncı:4 bar, Genlik:%100, Kaynak Süresi:0,9 s, Bekleme Süresi:1,5 s) 'dir. Bekleme süresinin 1,5 saniyeden fazla olmasının kopma dayanımına bir etkisi yoktur. Sadece prosesin uzamasına neden olur.

5) Ultrasonik kaynak yöntemi her ne kadar yatırım maliyeti yüksek olsa da; hızlı, ilave malzeme gerektirmeyen, otomasyona uygun, az iş gücü, temiz dış görünüm sağlama, ana plastik malzeme mukavemetinin %90-98'ine ulaşan mukavemette bağlantılar yapılabilmesi ve tüm proses değişkenlerinin dinamik olarak kontrol edilmesi sebebiyle endüstride tercih edilmelidir.

Kaynaklar

Açar, İ. (2013). Termoplastik Malzemelerin Birleştirilme İşlemlerinde Kaynak Parametrelerinin Etkisi ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Akkurt, A. ,Ertürk, İ. (2009). Sıcak Elaman Alın Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen PE Doğalgaz Borularının Güvenliliklerinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16 (2), 221-233.

Ay, İ. (2008). Plastik Malzemeler Ders Notları. Balıkesir Üniversitesi Müh. Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Balıkesir.

Ay, İ., Sakin, R. (2005). Ultrasonik Yöntemle Plastiklerin Kaynağı. Pagev Plastik Dergisi. Kasım-Aralık 2005, 94-108.

Benetar A., Bonten C., Grewell D., Tuechert C., (2001). P3, (Plastic Pocket Power / Welding), Hanser Publishers, Munich.

Branson Ultrasonic Corporation. (2002). Actuator Instruction Manual.

Demir, A. (2019). Termoplastik Malzemelerin Ultrasonik Kaynağı ve Kaynak Parametrelerinin Kopma Dayanımına Etkisi ve Optimizasyonu. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.

- Eker, A. (2009). Plastiklerin Şekillendirilme Yöntemleri. 20 Nisan 2013, http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/plastikmalzeme/Plastiklerin_Sekillendirme_Yontemleri_Son.pdf (Erişim Tarihi: 10.03.2019).
- Harper C. A, (1999). Modern Plastics Handbook. 1. Baskı, Mcgraw-Hill Publications, New York.
- Herrmann Ultrasonik. (2018). Termoplastik malzemeler için ultrasonik kaynak teknolojisi.
- Hıdıroğlu, M., İzgi, G. (2016). Otomotiv Sanayinde Kullanılan Örnek Bir Ultrasonik Kaynak Uygulamasında Kaynak Kalitesini Etkileyen Temel Parametrelerin Kopma Dayanımına Etkisi. OTEKON, Bursa.
- Margolis, J. (2005).Engineering Plastic Handbook. New York: McGraw-Hill.
- Noordin, M. (2009). Sink Marks Defect On Injection Molding Using Different Raw Materials. Universiti Malaysia Pahang, Yüksek Lisans Tezi, Malaysia.
- O'Brien, R.L., (1991). Welding Handbook, v.2, 8 th. Edition, American Welding Society,
- Prakasan, K., Rani, M. R., Rudramoorthy, R., Suresh, K.S., (2007). Modeling Of Temperature Distribution İn Ultrasonic Welding Of Thermoplastics For Varios Joint Designs.
- Rani M. R., Rudramoorthy. (2013). Computational Modeling And Experimental Studies of The Dynamic Performance of Ultrasonic Horn Profiles Used in Plastic Welding, Elsevier, Ultrasonic, 53, 763-772.
- Taş, Y. (2008). Termoplastiklerin Birleştirilmesinde Kullanılan Ultrasonik Kaynak Yöntemlerinde Kaynak Kalitesini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Welding Technology Institute of Australia, (2006), Ultrasonic Welding of Plastic Used in Medical Devices.
- Yükler, A.İ., Sözüoğlu, H., G 1-RİT, O., (1998). Ultrasonik Yöntem İle Plastiklerin Kaynağı, Makine Market Dergisi, sayı 25, Ekim-Kasım.
- Ziegler, D. (2004). Welding of Termoplastics. Welding Journal, 83 (10), 45-4.