

# Ultrasonik Yöntemle Plastiklerin Kaynağı

Y. Doç. Dr. İrfan AY Öğr. Gör. Raif SAKIN\*

Termoplastik malzemelerin kaynakla birleştirme yöntemlerinden birisi de ultrasonik yöntemdir. Bu yöntemde elektrik enerjisi, titreşim enerjisine dönüştürülür. Her termoplastiğin ultrasonik yöntem ile kaynak edilebileceği düşünülmemelidir. Çünkü termoplastiklerin bu yöntem ile kaynak edilebilmesinin temel esaslarından biri "kimyasal uygunluk" şartıdır.

**P**lastik malzemeler yüksek moleküllü bileşiklerdir. Polimer olarak adlandırılırlar. Zincir veya ağ şeklindeki moleküllerine makromoleküller denir. Makromoleküller, monomer adı verilen tek molekülden oluşur. Makromoleküller kimyasal reaksiyon sonucunda meydana gelirler. Çok çeşitli ad ve şekilleri bulunan plastik, termik özellikleri bakımından termoplastikler ve duroplastikler (termosetler) olarak iki gruba

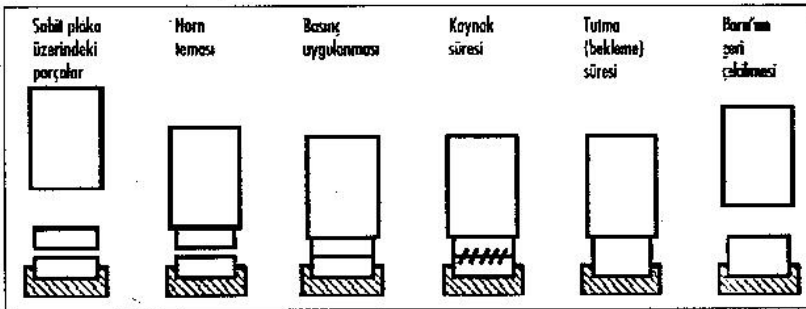
ayrılabilir. Termoplastikler ısıtılınca yumuşar, soğutulunca ise sertleşirler. Isıtma ve soğutma işlemi birkaç kez tekrarlanarak yeniden şekil verilebilir. Termoplastik, bu açıdan balmomu-na benzer. Bu gruba giren önemli plastikler, akrilikler, selülozikler, naylon, polistiren, poliesterilen, karbon florür ve viniller dir. Duroplastikler veya diğer adı ile termosetler ise, ısıtılarak bir kez istenilen şekle sokulur. Bu aşamadan sonra ikin-

ci kez tekrar ısıtılıp, eritilerek şekle sokmak mümkün değildir. Yani; sertleşme olduktan sonra, tekrar ısıtma ile yumuşama olmaz. Örneğin, yumurtanın piştikten sonra ilk haline dönememesi gibi düşünülebilir. Duroplastiklerin şekillendirilebilmesi için sıcaklığın çok fazla olması gerekmez. Şekillendirme sıcaklığı olarak 176 °C veya az üzeri yeterlidir. Bu gruba giren önemli plastikler, fenolikler, amenerler, polyesterler, epoksiler ve alkalidler dir (2, 3).

Duroplastiklerin birleştirilmesinde, genellikle geçme ve yapıştırma işlemi uygulanırken, termoplastiklerin birleştirilmesinde ise kaynakla birleştirme daha uygundur. Genel olarak termoplastiklere uygulanan yöntem ise basınç kaynağıdır (1).

Ultrasonik yöntem ile termoplastiklerin kaynağı ve bu yöntemin gelişmeleri 1963'lü yıllarda başlamıştır. Geçtiğimiz 10-15 yıl içinde ise yöntem geliştirilmiş ve hızlı bir şekilde endüstrideki yerini almıştır (6).

Bu makalede, termoplastiklere uygulanan ultrasonik kaynak yönteminin tanıtımı, kaynak sisteminin elemanları, çalışma sistemi ve ultrasonik kaynağın avantajları anlatılacaktır. Daha sonra



**Şekil 1: Ultrasonik yöntemle kaynak yapma aşamaları**

- (1) Sabit altlık üzerine kaynak yapılacak iki termoplastik parçadan biri altta, diğeri üstte duracak şekilde yerleştirilir. Horn (titreşim akustik takım - boynuz) ise üstte durmaktadır.
- (2) Üzeri niyonyum veya alüminyum ile kaplı olan horn, hareket ettirilerek üstteki plastik parçaya temas ettirilir.
- (3) İki plastik parça birleşinceye kadar, horn'a kontrollü bir basınç uygulanır.
- (4) Horn, mikron mertebesindeki aralıklarda olmak üzere, saniyede 20.000 veya 40.000 defa titreşirilir. Önceden belirlenen ve kaynak süresi denilen bir süre boyunca bu işlem devam eder. Doğru bir parça tasarımı ile titreşim sonucundaki mekanik enerji, iki plastik parça arasındaki belirlenen değme noktalarına yönelir. Bu zaman içerisinde, mekanik titreşimler, plastik parçaların içinden geçerek moleküller arası sürtünme sonucu kaynak ara yüzeyinde ısı oluşur. Bu sıcaklık plastiği erime noktasına ulaştığında, malzeme erir ve akar. Daha sonra titreşim durur. Bu durma eriyen plastiğin soğumaya başlamasına yardım eder.
- (5) Basma kuvveti, birbirine kaymayan parçaların soğuması ve katılaşmasını sağlamak için önceden belirlenmiş bir süre kadar daha uygulanır. Bu süreye tutma süresi denir. İyi bir birleşme mukavemeti, tutma süresi boyunca çift taraftan uygulanan yüksek değerde basma kuvveti ile sağlanabilir.
- (6) Kaynağın tamamlandığını simgelemektedir. Erilen plastik katılaştıktan sonra basma kuvveti bırakılır ve horn geri çekilir. İki plastik parça sanki bir biri içerisinde erimemiş gibi birleşmiştir. Sabit altlıkta kaynaklı parça çıkartılarak işlem tamamlanmış olur.

\* Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Müh. Böl.

ise birleştirme teknikleri hakkında bilgi verilecektir.

### Ultrasonik Kaynak Yöntemi

Ultrasonik yöntemle iki plastiğin kaynak edilmesi, yüksek frekanslı mekanik hareket (titreşim) enerjisi sonucu doğan ısının kullanılması ile birleşmenin yapılması anlamına gelir. Elektrik enerjisi, titreşim enerjisine dönüştürülür, titreşim sonucu sürtünme ısı doğar, bu ısı plastikleri eritir ve basınç etkisi ile plastik parçalar arasında moleküler bir bağlanma gerçekleştirilir. Bu olay şu şekilde daha iyi anlaşılabilir. Bir metale, hızlı bir şekilde çekiç vurulursa, metal ısınmaya başlar. Bu ısınma, çekiç darbe sayısının artmasıyla hızlanır. Burada meydana gelen olay, metal moleküllerinin hareket etmesi veya titreşmesidir. Bir maddedeki moleküllerin titreşim miktarı, o maddenin sıcaklığını belirtir. Fiziğin temel kanununa göre, ısı enerjinin, rasgele hareketler veya molekül titreşimleriyle bir araya gelip birleşmesi şeklinde tanımlanır. Teorik olarak yalnızca -273 °C'deki mutlak sıfırda, molekül hareketleri durmaktadır. Pratikte, varolan maddenin molekülleri sürekli olarak titreşmektedir. İşte bu yöntemde de, yüksek frekanslı ses titreşimlerini plastiğin özel bir bölgesine odaklamakla, malzemenin molekülleri sarsılır ve bu aşamada sıcaklık plastik erimeye kadar artar. Sonuçta plastik malzemelere basınç uygulayarak kaynak gerçekleştirilir. Ultrasonik yöntemle kaynak, ısı ile ilgili bir proses olduğundan, eritme kaynağı ile ilgili prensiplerin bazıları aynıdır. Başlıca fark, istenen yerde ısının nasıl ortaya çıkartılacağıdır. Bu kaynak yönteminde, ultrasonik titreşimler malzemelerin arasından geçerek istenen erime yerine odaklanır ve malzemede ısı doğar (3).

### Ultrasonik Kaynak Yapma

İki plastik parçanın ultrasonik yöntemle kaynak yapılma aş-

malarını Şekil 1'de görülmektedir (2, 3).

Ultrasonik kaynak yöntemi kullanmanın birçok avantajı vardır. Temiz, hızlı, etkili ve tekrarlanabilir bir işlemdir. Olabildiğince güçlüdür. Çok az enerji tüketir. Buna karşılık, sağlam ve tam bir bağlama yapar. Çözücü, yapıştırıcı, mekanik bağlayıcılara ve dışarıdan ısıya ihtiyaç göstermez. Kaynağı zor yapıları malzemeler bu yöntemle birleştirilebilirler. Hızlı titreşme ile çok çabuk ısı oluşur ve derhal birleşme bölgesinde toplanır. Isının hızlı bir şekilde kaybolmasından dolayı, öteki birleştirme yöntemlerine göre çok daha hızlı çalışır. Bu yöntem, diğer birleştirme yöntemlerinde bulunmayan çabucak değişebilme, çok yönlülük ve elastiklik sergiler. Ayrıca, ekipmanlarının düşük fiyatlarda oluşu, güvenilirliğin yüksek olması, uzun ömürlü olması, ekipmanlar arası uyumluluk ve tekrarlanabilir performans göstermesi, bu kaynak yöntemini diğerlerine göre tercihli duruma sokar.

Ultrasonik kaynak yöntemi ile plastik parçaların birleştirilmesi, otomotiv, elektrik-elektronik, tıp, haberleşme, takım-alet sanayi, tüketim, oyuncak, tekstil ve paketlenme endüstrisi gibi çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Ekonomik bir yöntem olan bu proses, önemli ölçüde üretimi artırabilir ve daha düşük maliyette birleştirmeler yapabilir (3).

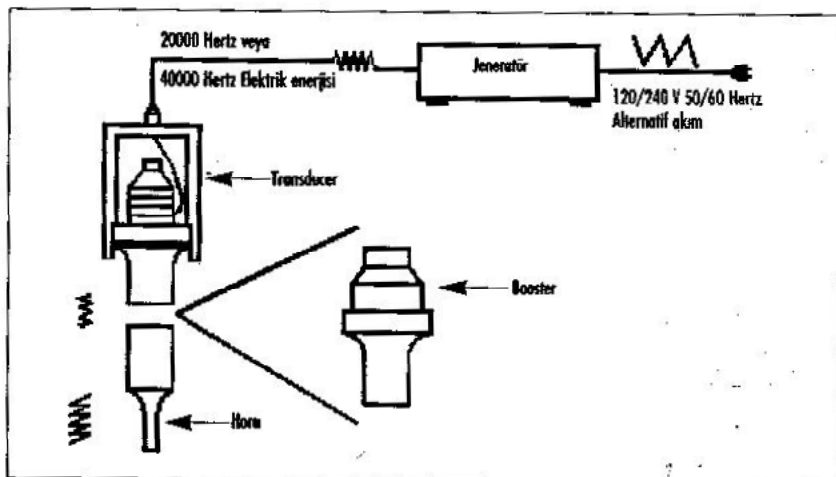
### Ultrasonik Kaynak Cihazının Elemanları ve Fonksiyonları

Ultrasonik kaynak sistemi esas olarak 4 temel elemanı bünyesinde barındırır (2,3,6). Güç kaynağı (jeneratör), algılayıcı ve dönüştürücü (transducer), yardımcı eleman (booster) ve horn (boy-nuz, titreşen akustik takım).

Güç kaynağı (jeneratör) : Standart olan şehir şebeke elektrigi 120-240 Volt ve 50-60 Hz'dir. Güç kaynağı, bu elektrigi çıkışta 20.000-40.000 Hz'lik yüksek frekanslı akıma çevirir. Dünya üzerinde çok farklı frekanslar kullanılmasına rağmen, imalat sanayinde ortak olarak, en fazla kullanılan frekanslar 20.000 Hz ve 40.000 Hz'dir. Bir çok plastik kaynağı uygulamaları da 20.000 Hz'lik frekans aralığında yapılmaktadır. Bu makalede, verilecek olan bilgilerin çoğu aksi söylenmedikçe 20.000 Hz'lik frekansla ilgili olacaktır.

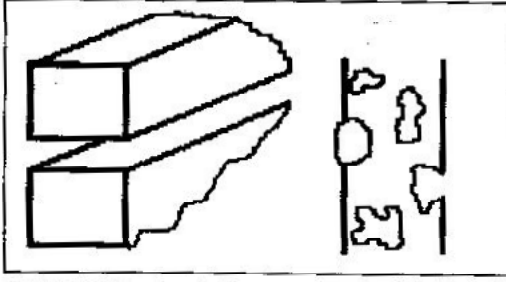
Algılayıcı ve dönüştürücü (transducer) : Güç kaynağında üretilen yüksek frekanslı elektrik enerjisi transducer tarafından alınarak, genliği (amplitüd'ü) düşük titreşim hareketine dönüştürülür.

Yardımcı eleman (booster) : Dönüştürücüden alınan titreşimler yardımcı eleman olan booster'e taşınır. Booster, bu titreşimlerin şiddetini (genliğini) azaltmak veya çoğaltmak amacıyla kullanılır. Genlik'deki artma veya azaltma miktarı kazanç olarak



Şekil 2.: Ultrasonik kaynak cihazının temel elemanları

## Kaynak Tekniği



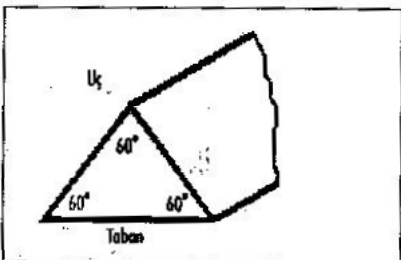
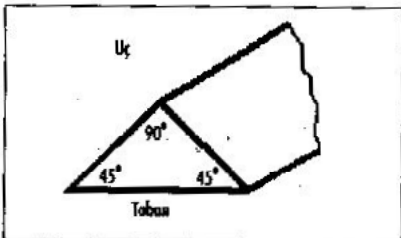
Şekil 3: Düz alın tipli birleştirme ve doğan problemler



Şekil 4: Sivri uçlu ve kalın cidarlı parçalarda doğan problemler

bilinen bir oran ile açıklanır. Kazanç=Giriş genişliği/Çıkış genişliği olarak hesaplanır. Kazanç oranı 1/2 ise, booster çıkışta titreşimlerin şiddetini 2 katına çıkartacak demektir. Kazanç oranı 1/3 ise titreşimlerin şiddeti 3 katına çıkacak demektir.

Horn (boynuz, akustik takım) : Bu titreşimler daha sonra özel boyut ve şekildeki horn'a taşınır. Horn, titreşimleri iş parçasına en iyi şekilde dağıtımını yapar. Titreşim genliklerinin artması horn'un şekline bağlıdır. Horn, ayrıca parça için gerekli basıncı uygular. Horn, malzemelerin yorulma mukavemetleri, akustik özellik-



Şekil 5: (a) Amorf reçine için enerji yolluğu (b) Yarı kristalin reçine için enerji yolluğu

leri ve yüzey sertliklerinin yüksek oluşu sebebiyle titanyum, alüminyum ve çelikten yapılabilir. Horn un şekli her uygulama için farklı olabilir. Özetle ; jeneratör, yüksek frekanslı elektrik enerjisini temin eder. Bu enerji transducer tarafından algılanır ve dönüştürücü ile ultrasonik titreşim enerjisine çevrilir. Booster ; dönüştürücü ile horn arasında titreşim enerjisinin genliğini değiştirir. Böylece çok değişik uygulamalar için bile, uygun genlikler sağlanır. Horn, kaynak yapılacak parçaya titreşim enerjisi uygular ve basınç yapar. Şekil 2, ultrasonik kaynak cihazının elemanlarını ve titreşim enerjisinin nasıl oluştuğunu ve nasıl arttırıldığını göstermektedir.

### Temel Birleştirme Tasarımları

Birbiri ile birleştirilecek parçalar bir araya geldiğinde "kaynaklı birleştirme tasarımı" doğar. Ultrasonik kaynak sonrası en iyi bağlantının elde edilmesinde, bağlantı parçalarının birleştirme tasarımı çok önemlidir. Bir parçanın ultrasonik kaynak ile birleştirme tasarımı, plastik tipi, parça geometrisi ve kaynak şartları gibi faktörlere bağlıdır. Her birinin kendine ait avantajlarının olduğu bir çok birleştirme tasarımı vardır. Genel olarak ise, birleştirme tasarımı için üç temel şart aranır ;

- Düzgün bir temas alanı,
- Küçük bir ilk temas alanı,
- Birleştirilecek parçalar aynı eksende olmalıdır (3).

Düzgün bir temas alanı; birleşecek yüzeyler, tüm birleşme bölgesi içinde tam temasta olmalıdır. Hatta, eğer mümkünse bir düzlemde olmaları gerekir. Küçük bir ilk temas alanı; birleştirilecek iki parça arasında oluşturulmalıdır. Böylece, birleşecek parçalar arasında erimeyi başlat-

mak ve bitirmek için daha az enerji, dolayısıyla daha az zaman gerekir. Parçaların aynı ekseninde olmaları ; kaynak operasyonu süresince parçaların yanlış hizaya (eksen kaçıklığı) gelmemesi için tavsiye edilir. Hizalamayı sağlamak için, hizalama pimleri, soketler, kanallar ve diller kullanılır.

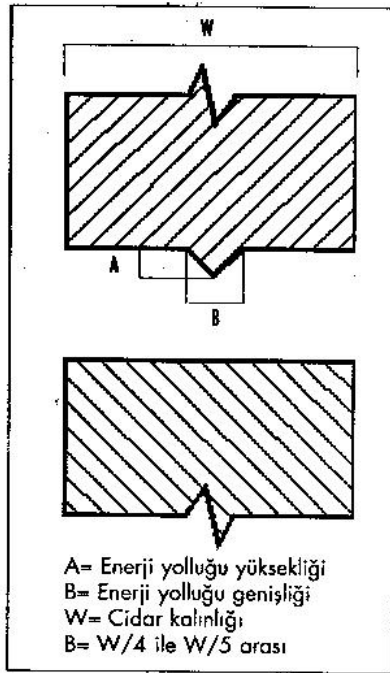
Kaynaklı birleştirme tasarımları şu şekilde sıralanabilir;

• Düz alın tipli birleştirmeler: Her kaynak için gerekli olan temel şartlar, düz alın tipli birleştirme kullanılarak sağlanabilir. Şekil 3 'de görülen düz alın tipli birleştirme tasarımı, temel şartlardan birincisini sağlar. Düzgün bir temas alanı mevcuttur. Bu tip bir birleştirmede; eğer alın yüzeyler düzgün olmazsa, yalnızca yüksek tepe noktaları iyi kaynak olur. Sonuçta, düzensiz ve kararlı bir kaynak meydana gelir. Kaynağın tam olarak gerçekleşmesi için eritmenin artırılması gerekir. Erimenin artması için uzun bir kaynak süresi ve aşırı ısınma gerekir. Aşırı ısınma ise, tepe noktalarını eriterek, Şekil 3' de görüldüğü gibi dış taraflara taşan çapaklı bölgeler oluşturur (3, 6).

Şekil 4'de görüldüğü gibi, yüzeylerden biri üzerine diğer yüzeyin noktasal kısmı getirilerek iyi görüntüye sahip bir kaynak yapılabilir. Fakat kaynak mukavemeti düşük olur. İyi kaynak mukavemeti için dışa taşan bir kaynak gerekir. Bu durumda ise kaynak görüntüsü bozulur. Şekil 4 'de bu tip kaynaklarda ortaya çıkan problemler görülmektedir.

• Enerji yolluk tipli birleştirmeler: Enerji yolluğu, iki parça ara yüzeyinde oluşturularak, eriyen ve yüzeylere temas eden küçük üçgen kesitli bir parçadır (Şekil 5a-b). Enerji yolluğu, birleşme sonrası aşırı taşmaya (çapağa) izin vermeksizin eriyen malzemedir spesifik bir hacim oluşturarak iyi bir kaynak mukavemeti elde etmek için geliştirilmiştir. Bu kaynak tasarımı genellikle amorf yapıdaki polimerler için

## Kaynak Tekniği



Şekil 6: Düz alın tipi birleştirme için enerji yolluğu

tavsiye edilir (3). Bu tip bir tasarım, temel şartlardan ikisini ; yani "düzgün ve küçük bir ilk temas alanı" şartlarını sağlar. Ancak, enerji yolluğu kendiliğinden parçaların aynı ekseninde olmasını ve malzemenin dışa taşmasını engelleyemez. Bu şartlar, ancak farklı bir parça tasarımı ile oluşturulabilir. Ultrasonik enerji, basınç altında ve uzun bir süre parça içinden geçirildiğinde; enerji, yolluğunun ucunda yoğunlaşır ve ısının hızlı bir şe-

kilde oluşmasıyla erime gerçekleşir. Eriyen plastik, karşılıklı temas eden ara yüzeyler boyunca akar ve moleküler bir bağ teşkil eder.

Amorf bir reçine için enerji yolluğu kesiti, uçta 90° kenarlar da 45° açı bulunan bir dik üçgen şeklindedir (Bkz. Şekil 5a). Bu üçgende yükseklik, tabanın yarısıdır. Yükseklik, 0.127 - 0.762 mm arası ve taban 0.254 - 1.53 mm arasında değişir. Yarı kristalin reçineler için enerji yolluğu kesiti, uç açısı 60° olan bir eşkenar üçgendir (Bkz. Şekil 5b). Bu üçgende yükseklik, tabanın 0.866 ile çarpımıdır. Taban 0.254 - 1.27 mm arasında değişir (3).

Enerji yolluklu en genel kaynak tasarımı, Şekil 6 'da gösterilen alın tipi birleştirmelerdir. Bu tip birleştirmelerde cidar kalınlığı W fazla ise, birbirine paralel iki enerji yolluğu kullanılır. Böyle bir tasarım, arakesitin tümünde kaynaklanma sağlar. Bu tip tasarımlarda "aynı ekseninde olma" şartı aranmalıdır. Bu mümkün olmuyorsa, farklı tasarım ile sabitleme yapılmalıdır. Kaynak sonrası sızdırmazlık sağlamak, amorf yapıli plastik malzemelerde, yarı kristalin malzemelere göre daha kolaydır. Eğer sızdırmazlık kesin olarak gerekli ise, eriyen yüzeylerin mümkün olduğu kadar düz ve birbirine paralel olması çok önemlidir. Enerji yolluklu alın kaynağı, amorf reçineler için çok uygundur. Çünkü amorf reçineler, eridikten sonra iyi bir akış kabiliyetine ve yavaş yavaş katılaşma özelliğine sahiptir. Ancak, yarı kristalin reçineler için bu tip bir tasarım uygun değildir. Çünkü, enerji yolluğundan çıkan malzeme hemen katılaşır. Bu durum, bağ-

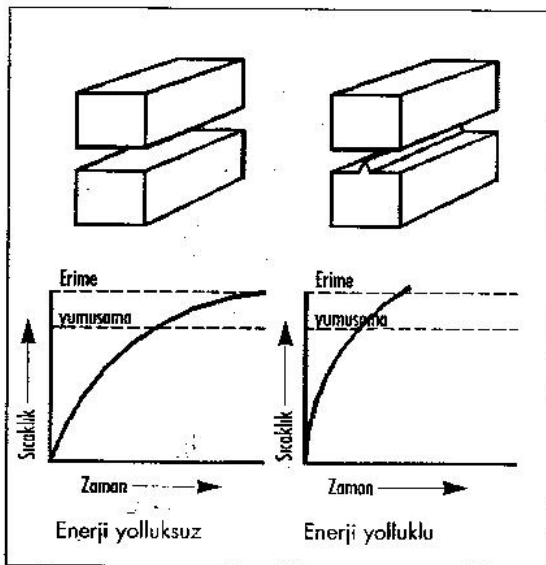
lantı mukavemetinde aşırı bir azalmaya ve sıkı bir bağlantı yapmanın zorlaşmasına neden olur. Daha büyük ve daha keskin tasarımlar, birleşme mukavemetini artırır ve sızdırmaz bir bağlantı elde etme şansını artırır. Polikarbonat ve akrilikler amorf malzemeler olarak sınıflandırılmasına rağmen ; tecrübeler, büyük ve keskin tarzda yapılan enerji yolluğu tasarımları ile birlikte, her iki malzeme ile de çalışıldığı zaman mükemmel birleştirmelerin yapıldığını göstermiştir. Şekil 7 'de enerji yolluklu alın birleştirme ile enerji yolluklu alın birleştirme tasarımları görülmektedir. Birincisinde erime sıcaklığına ulaşmak için uzun bir süre geçmesi gerekirken, diğerinde çok daha kısa sürede erime olmaktadır. İkincisinde daha güçlü bir kaynak mukavemeti sağlanır (2,3,6).

● Basamak tipli birleştirmeler: Bu tip bir tasarım, Şekil 8 'de görülmektedir. Tasarımın temel şartlarının üçünü de içermektedir.

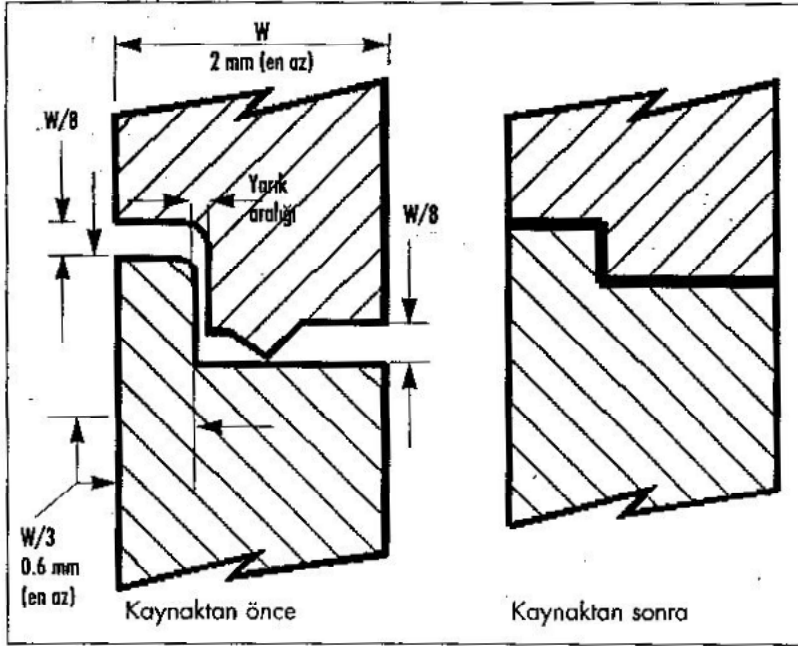
Bu tip birleştirmeler, kozmetik görünüşün öncelikli olduğu hallerde kullanılırlar. Basamak tipli birleştirmelerin kaynak mukavemeti, enerji yolluklu alın kaynağının mukavemetinden daha azdır. Çünkü tek yüzeyleri kaynak olmaktadır. Minimum cidar kalınlığı W'nin, 2.03 mm ile 2.29 mm arasında olması tavsiye edilir. Erimiş malzeme, dil ve basamak arasındaki boşluğa akar.

Böylece, basamak tipli birleştirmenin kullanımı çapak oluşumunu bertaraf edebilir. Ayrıca, dil ile basamak arasındaki boşluğa enerji yolluğunun akması sebebiyle güçlü bir bağlantı oluşabilir. Kozmetik sanayinde, eğer yüzeyler tam düz ve paralel değilse, bu çarpıklığı kapatmak için bu yöntem kullanılır. Parça kalınlığına göre olması gereken boyutlar Şekil 8'de verilmiştir (2, 3).

● Dilli ve oluk tipli birleştirmeler: Bu tip birleştirme tasarımı, enerji yolluklu tipin değişik bir



Şekil 7: Enerji yolluğunun sıcaklık ve kaynak süresine etkisi

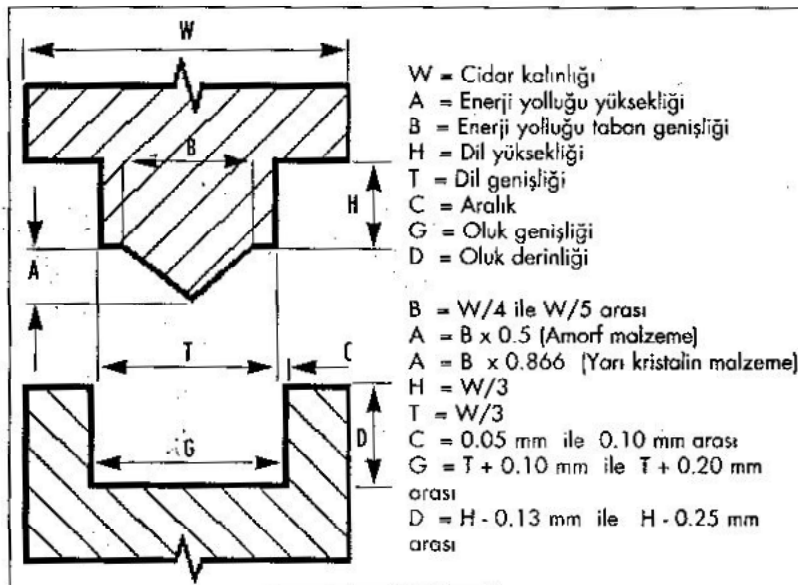


Şekil 8: Basamak tipli birleştirme

halidir. Temel tasarım şartlarının üçünü de bünyesinde barındırmaktadır. Bu tip bir tasarım eriyen malzemenin iç ve dış çapak oluşumunu önler. Çünkü ara yüzeyin her iki tarafında karşılıklı çeneler mevcuttur. Dil ve oluk tasarımı, konum belirleme ve çapak istenmeyen yerlerde çok sık kullanılır. Düşük basınç altında çalışan ve sızdırmazlık istenen uygulamalar için mükemmel bir tasarımdır. Dezavantajı ise, kaynak mukavemetinin az olma ihtimalidir. Çünkü eriyen malzeme daha az bir alanı kay-

nak etmektedir. Dil ve oluk tipli birleştirmede tavsiye edilen minimum parça genişliği (W) 3.05 mm ile 3.12 mm arasındadır. Şekil 9'da bu tip bir birleştirme için tavsiye edilen diğer boyutlar görülmektedir (3).

● Makaslama tipli birleştirmeler: Bu tip birleştirme tasarımının üç temel şartını da sağlar. Daha çok, yarı kristalin reçinelere uygulanır. Makaslama tipi birleştirme, özellikle yarı kristalin reçineler ile güçlü bir sızdırmazlığa ihtiyaç duyulduğu zaman kullanılır. Makaslama tipi birleştir-



Şekil 9: Dilli ve oluk tipli birleştirmede tavsiye edilen boyutlar

me için, parçada oluşturulan belirli bir boşluk mesafesi gerekir.

Yan cidarlardan birisi diğerini hem eritir, hem de düşey cidarlar boyunca makaslayarak kontrollü bir boşluk meydana getirir. Kaynak ara yüzeyinde, iki yüzeyin birbirine sıvanması çatlak ve boşlukları kapatırken, aynı zamanda hava temasını ve erken katılaşmayı engelleyerek oksitlenme ihtimalini azaltır. Yüzeylerin sıvanması, güçlü bir kaynak meydana getirir. Şekil 10'a bakılırsa, kaynak esnasında parça esnemesini önlemek için, rijit bir yan cidar dayatması konulmuştur. Bu dayatmanın kalınlığı kaynak edilecek parçalarla uyumlu olmalıdır (2, 3).

### Parça Tasarımları

Temel birleştirme tasarımlarının yanında, parçaların kendi aralarındaki tasarımları da göz önüne alınmalıdır.

Yakın alan ve uzak alan kaynağı: Yakın alan ve uzak alan kaynağı; ultrasonik enerjinin, horn'un parçaya temas noktasından, birleşme ara yüzeyine kadar iletilmesi sırasındaki kat ettiği mesafeyi belirlemektedir. Horn ile birleşme ara yüzeyi arasındaki mesafe 6 mm'den az ise yakın alan, 6 mm'den fazla ise uzak alan kaynağı denir (Bkz. Şekil 11).

Eğer mümkünse, yakın alan kaynağı yapmak her zaman iyidir. Uzak alan kaynağı, yakın alan kaynağı ile mukayese edilirse; uzak alan kaynağı için normal genlikten daha yüksek genlikler, daha uzun kaynak zamanı ve daha fazla basınç gerekir. Genelde uzak alan kaynağı, yalnızca amorf reçineler için tavsiye edilir. Çünkü enerji iletimi, amorf reçinelerde yarı kristalin reçineler göre daha iyidir (2, 3).

Paralel temas: Optimum bir kaynak gerçekleştirmek için, birleşme ara yüzeyinin, tek bir düzlem olması ve horn temas yüzeyine paralel olması çok önemli-

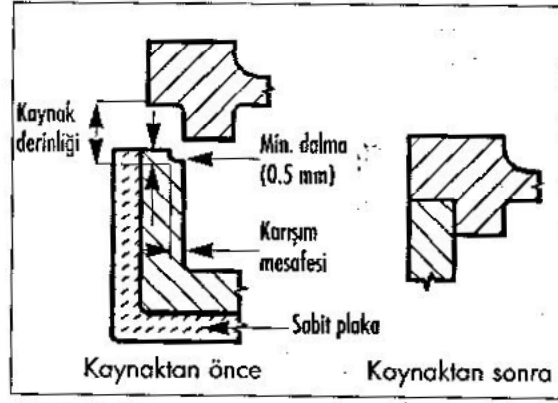
dir. Böylece, ultrasonik enerji, birleştirilecek plastik parça içinden geçerken aynı mesafeyi kat eder (Bkz. Şekil 11).

Şekil 12a'da birleşme ara yüzeyi tek bir düzlem, fakat horn'un temasta olduğu yüzeye paralel değildir. Enerji, sol taraftaki malzemeye göre, sağ taraftaki malzeme içerisinden daha uzak mesafelere gitmek zorunda kalacaktır. Dolayısıyla düzensiz ısıtma ve eritme olacaktır. Kaynaklı birleştirmelerin bir tarafında zayıf yapısal bağlar diğer tarafında ise aşırı kaynaklı bağlar oluşarak, çok değişken (kararsız) bir kaynaklı yapı meydana gelecektir. Şekil 12b'de ise parça ara yüzeyleri, horn temas yüzeyine paraleldir. Fakat, uzaklıklar farklı iki ayrı düzlem vardır. Şekil 13 a'da horn temas yüzeyi tek bir düzlem üzerinde, fakat birleşme

ara yüzeyine paralel değildir. Şekil 13b 'de ise horn temas yüzeyi, birleşme ara yüzeyine paralel olmasına rağmen, iki ayrı düzlemde farklı uzaklıklar vardır (2, 3).

**Keskin köşeler:** Keskin köşeler her zaman gerilmeyi artırırlar. Plastik parça, ultrasonik titreşim enerjisine maruz kaldığında, yüksek gerilmelerin biriktiği bölgelerden kırılabilir veya eriyebilir. Gerilme kırılmalarını azaltmak için, bütün köşelere ve kenarlara büyük yarıçapların konulması tavsiye edilir.

**Delikler ve boşluklar:** Enerji, deliklerin, boşlukların, açların ve kıvrımların etrafından iyi geçemez. Plastik malzemenin çeşi-



Şekil 10: Makaslama tipi birleştirme

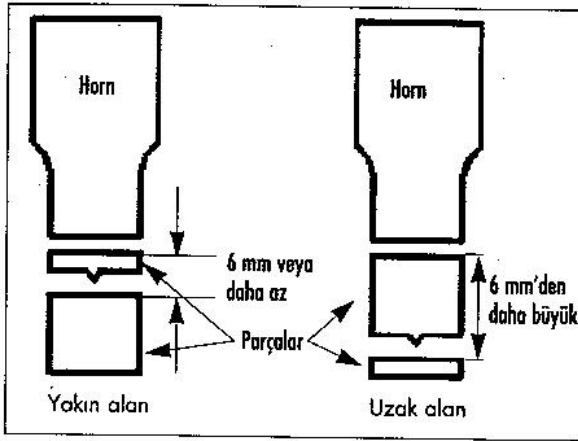
dine, delik boyutuna ve açığa bağlı olarak, bahsedilen alanların yakınında direkt olarak hemen hemen hiç kaynak olmayacaktır. Eğer mümkünse, tüm keskin açılar, kıvrımlar ve delikler azaltılmalıdır.

**İlaveler (ekler):** Plastik malzeme üzerindeki ilaveler, uçlar ve küçük çıkıntılar, titreşim enerjisinin uygulandığı anda gerilmenin

	ABS (Cycloc)	ABS/Polycarbonate (Cycoloy)	Acetal (Delrin, Celfon)	Acrylic (Plexiglass, Perspex)	Acrylic Multipolymer (XT)	Liquid Crystal Polymers (Xydar)	Nylon (Zytel)	Phenylene Oxide (Noryl)	Polycarbonate (Lexan)	Polycarbonate/Polyester (Xanoy)	Polyester PBT (Celanex, Valox)	Polyester PET (Rynite)	Polyetherether Ketone (PEEK)	Polyetherimide (Ultem)	Polyethylene P/E	Polyphenylene Ether/Oxide (Prevex)	Polyphenylene Sulfide PPS (Ryton)	Polypropylene P/P	Polystyrene	Polysulfone (Udel)	Polyvinylchloride (Rigid PVC)	SAN/NAS	Styrene Block Copolymers (K-resin)
ABS (Cycloc)	■	■																					
ABS/Polycarbonate (Cycoloy)	■	■																					
Acetal (Delrin, Celfon)			■																				
Acrylic (Plexiglass, Perspex)	■	■		■	■																		
Acrylic Multipolymer (XT)	■	■		■	■																		
Liquid Crystal Polymers (Xydar)						■																	
Nylon (Zytel)							■																
Phenylene Oxide (Noryl)								■															
Polycarbonate (Lexan)									■	■													
Polycarbonate/Polyester (Xanoy)										■	■												
Polyester PBT (Celanex, Valox)											■	■											
Polyester PET (Rynite)												■	■										
Polyetherether Ketone (PEEK)													■	■									
Polyetherimide (Ultem)														■	■								
Polyethylene P/E															■	■							
Polyphenylene Ether/Oxide (Prevex)																■	■						
Polyphenylene Sulfide PPS (Ryton)																	■	■					
Polypropylene P/P																		■	■				
Polystyrene																			■	■			
Polysulfone (Udel)																				■	■		
Polyvinylchloride (Rigid PVC)																					■	■	
SAN/NAS																						■	■
Styrene Block Copolymers (K-resin)																							■

Tablo 1: Termoplastiklerin ultrasonik kaynak için uygunluk şeması

## Kaynak Tekniği



Şekil 11: Yakın alan ve uzak alan kaynağı

yoğunlaştığı yerlerdir. Dolayısıyla, ilaveler parçayı zayıflatmaya meyillidirler. Bu durumu minimuma indirmek için, ana parçalara ilavelerin eklendiği yerlere büyük radyuslar eklemek, ilave-

eriyerek delinebilirler. Horn, böyle bir parçaya temas ettiği zaman, malzemenin şiddetli esnemesinden doğan ısı, onun erimesine veya bir delik açacak şekilde yanmasına sebep olabilir.

lere veya çıkıntılara hafif kuvvet uygulayıp bükmek, daha küçük ekler yapmak veya eğer mümkünse 40 kHz'lik ekipman kullanmak gerekir.

İnce ara parçalar: İnce kesitli, düz veya dairesel parçalar ultrasonik enerjiye maruz kaldıklarında eğilebilir veya

Kesiti daha kalın yaparak bu şekildeki etki önlenebilir.

### Ultrasonik Kaynak Yapılabilen Termoplastikler

İki termoplastik parçayı birbiri ultrasonik kaynak ile bağlamak için, malzemelerin kimyasal olarak uygun olmaları gerekir. Bir başka ifade ile, iki plastik malzeme birlikte erise bile, moleküler bir bağ oluşmayabilir. Buna en iyi örnek, polietilen ile polipropilen'dir. Her ikisi de yarı kristalin malzemedir. Görünüşleri birbirine benzerdir ve pek çok fiziksel özelliği aynıdır. Fakat kimyasal yapıları ultrasonik kaynak için uygun değildir. Bu yüzden de birbirleriyle kaynaklanamazlar. Dolayısıyla, ancak aynı kimyasal özelliğe sahip termoplastikler birbirleri ile kaynaklanabilir. Örneğin ABS parçası, başka bir ABS parçası ile kaynaklanır. Birbirine benzemeyen termoplastiklerin kaynak olabilmesi için, ergime dereceleri arasında en fazla 6°C'lik fark ve moleküler yapılarının da benzer olması gerekir. Örneğin ABS parçası, akrilik bir parça ile kimyasal özellikleri uygun olmak kaydıyla kaynaklanabilir. Genel bir ifade ile, yalnızca benzer amorf yapılı polimerler birbirleri ile mükemmel kaynaklanırlar. Her yarı kristalin bir polimerin kimyasal özellikleri dolayısıyla, yalnızca kendisi ile uyumlu bir ikili yapabilir. Termoplastiklerde ultrasonik kaynak için uygunluk şeması Tablo 1'de gösterilmektedir (3).

Ultrasonik kaynağa yapılmaya uygun olan malzemeler için, diğer bazı faktörler, parçaların kaynaklanma kabiliyetlerini etkileyebilir. Malzemelerin nem absorbe etme kabiliyeti (hygroscopicity), kalıp ayırıcı maddeler, yağlar, plastikleştiriciler, dolgu maddeleri, yanmayı geciktirici maddeler, tekrar öğütme, boya maddeleri ve reçine cinsleri gibi parametrelerin her biri kaynak kabiliyeti için önemlidir.

### Birleştirme Tekniği

	Nem almazı	Reçine tipi	Kaynak	İçe gömerek ekleme	Destekleme	Baskılama	Dekorasyon	Nokta kaynağı
ABS (Cycloc)	A	A	G	G	G	G	G	G
ABS/Polycarbonate (Cycloy)	H	A	G	G	G	G	G	G
Acetal (Delrin, Celton)	C	C	F	G	F	P	G	F
Acrylic (Plexiglass, Perspex)	H	A	G	G	G	G	G	G
Acrylic Multipolymer (XT)		A	G	G	G	G	G	G
Liquid Crystal Polymers (Xydar)		C	F	G	F	F	G	G
Nylon (Zytel)	H	C	G	G	F	F	G	G
Phenylene Oxide (Noryl)		A	G	G	G	G	G	G
Polycarbonate (Lexan)	H	A	G	G	G	G	G	G
Polycarbonate/Polyester (Xenoy)	H	A/C	G	G	G	G	G	G
Polyester PBT (Celanex, Valox)		C	G	G	F	F	G	G
Polyester PET (Rynite)		C	G	G	F	F	F	G
Polyetherether Ketone (PEEK)		C	F	G	F	F	G	F
Polyetherimide (Ultem)		C	G	G	F	F	G	G
Polyethylene P/E		C	G	F	G	G	P	G
Polyphenylene Ether/Oxide (Prevex)		C	G	G	G	G	G	G
Polyphenylene Sulfide PPS (Ryton)		C	G	G	F	F	G	F
Polypropylene P/P		C	G	G	G	G	F	G
Polystyrene		A	G	G	G	G	G	G
Polysulfone (Udel)	H	A	G	G	G	G	G	G
Polyvinylchloride (Rigid PVC)		A	G	G	G	G	G	G
SAN/MAS		A	G	G	G	G	G	G
Styrene Block Copolymers (K-resin)		A	G	G	G	G	G	G

H = Nem alır - Malzeme birleşme öncesi kuru olmalıdır

REÇİNE TİPİ

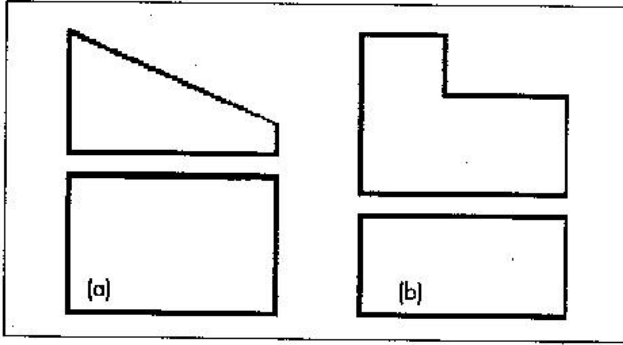
A = Amorf C = Yarı kristalin

BİRLEŞTİRME MUKAVEMETİ

G = İyi F = Orta P = Kötü

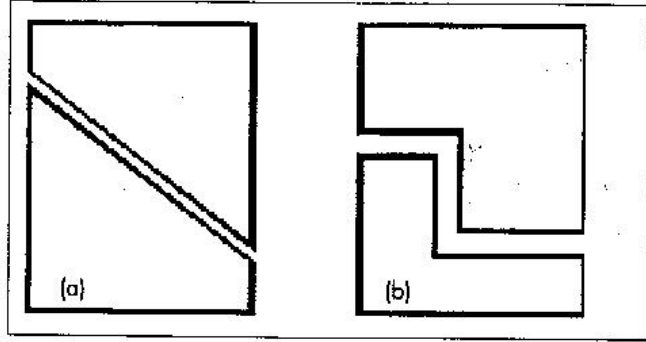
Bu tablo, yalnızca rehberlik etmek amacıyla kullanılır. Parça görünüşü, birleştirme dizaynı, genlik noktaları, reçine tipi ve malzeme kompozisyonu sonuçları etkileyebilir

Tablo 2: Termoplastiklerin ultrasonik kaynak ve diğer teknikler ile birleşme kabiliyeti



**Şekil 12** (a) Horn, temas yüzeyine paralel değil, fakat birleşme tek bir düzlemde.

(b) Birleşme yüzeyi, horn temas yüzeyine paralel, fakat tek bir düzlem üzerinde değil



**Şekil 13** (a) Horn temas yüzeyi tek bir düzlemde, fakat birleşme ara yüzeyi, paralel değil. (b) Horn temas yüzeyi birleşme ara yüzeyine paralel, fakat birleşme tek bir düzlem üzerinde değil

### Sonuç

Otomobil, elektrik ve elektronik, tıp, haberleşme, takım-alet, oyuncak, tekstil ve paketlenme endüstrilerinde, termoplastiklerin ultrasonik yöntemle kaynağı ve ultrasonik yöntem kullanılarak yapılan diğer birleştirme teknikleri çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntem temiz, hızlı ve çok az enerji tüketen bir yöntemdir. Ekipmanların düşük fiyatlarda oluşu, gü-

venilir ve uzun ömürlü olması, ekipmanlar arası uyumluluk ve tekrarlanabilir performans göstermesi bu yöntemi diğer kaynak yöntemlerine göre tercihli duruma sokmaktadır. Birleştirilecek yapının bütününde birleştirme ve parça tasarımlarında belirtilen kurallara uyulması, ultrasonik yöntemle yapılan birleştirmeleri kolaylaştıracak ve maksimum verim elde edilebilecektir.

**MM**

### Kaynaklar

1. AY, I., "Plastik Malzemeler Ders Notları", Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Böl., 1997
2. A guide to Ultrasonic Plastics Assembly, Branson Instruments, Inc., U.S.A, 1973
3. Guide to Ultrasonic Plastics Assembly, Dukane Corporation-Ultrasonic Division, U.S.A, 1995
4. Plastik Araştırma Geliştirme ve İnceleme Dergisi, Sayı 40, Eylül-Ekim, 1998
5. Plastik Araştırma Geliştirme ve İnceleme Dergisi, Sayı 36, Ocak-Şubat, 1998
6. YÜKLER, A.I., SÖZÖZ, H., G I - RİT, O., "Ultrasonik Yöntem ile Plastiklerin Kaynağı", Makine Market Dergisi, Sayı 25, Ekim-Kasım, 1998