SÜRTÜNME KAYNAĞI

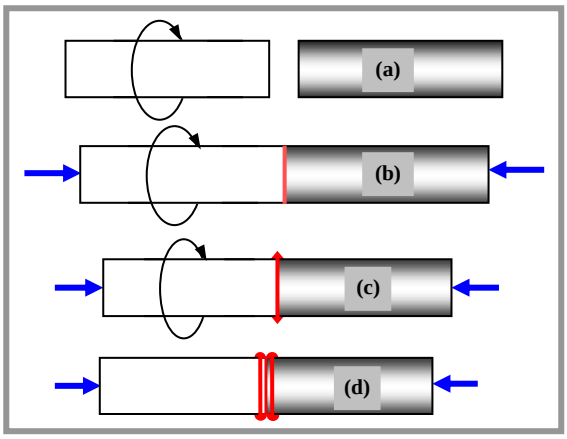
Sürtünme kaynağı (Friction welding), gelişen teknoloji ile birlikte dünyada birçok ülkede ve endüstride geniş olarak uygulama alanı bulmuş, ticari bir birleştirme yöntemidir. Sürtünme kaynağı ile kaynak yapma fikri çok eskilere dayanmaktadır. Ancak konu ile ilgili ilk patent 1891 yılında Amerikalı makinist I.H. Bevington tarafından alınmıştır. Daha sonraları konu ile ilgili 1924 yılında İngiltere ve Rusya, 1929 yılında Almanya patent almıştır. Başlangıçta boru ve plastiklerin kaynağında kullanılan bu teknikte, 1956 yılında Rus bilimci A. J. Chdicov iki metal çubuğu birleştirmeyi başarmıştır. Sürtünme kaynağı konusu ile ilgili gerçek bilimsel çalışmalar 1956 yılından sonrada devam etmiştir. Rusya'da Will ve arkadaşları; sürtünme kaynağı yöntemini önce torna makinesinde uygulamış ve çelik çubuklarda yüksek kalitede bir birleşme sağlamışlardır. Bu çalışmalar başarı ile sonuçlandıktan sonra 1961 yılından itibaren Amerikan yapımı kaynak makinesinin de piyasaya sürülmesiyle çalışmalar hız kazanmıştır. Yöntemin uygulama alanlarının geliştirilmesi doğrultusunda çalışmalar halen devam etmektedir.

Sürtünme kaynağı, uzun süredir bilinmesine rağmen, imalat sektörü tarafından yeterli desteği alamamıştır. Pek çok teknik eleman ya sürtünme kaynağı hakkında haberdar değil ya da imalat sektöründe kullanılabilirliği ispatlanmamış yeni bir teknoloji olarak bilmektedir. Son yıllarda metal ve malzeme biliminde büyük gelişmelerin sağlanması ile birlikte, metalik malzemelerin birleştirilmesi büyük önem kazanmıştır. Özellikle yeni ve özellikleri geliştirilmiş malzemelerin üretilmesi ve bu malzemelerin mevcut ergitme kaynak yöntemleri ile kaynatılmasından doğan problemler, sürtünme kaynağı için geniş bir uygulama alanı sağlamıştır. Dolayısıyla, bu malzemeler için, çatlama riskini ortadan kaldıracak ve içyapıda en az değişikliğe yol açacak birleştirme yöntemleri kullanılması zorunluluğu doğmuştur. Aynı veya farklı bileşimdeki malzemelerin birleştirilmesinde eğer boyutları ve şekilleri uygun ise, ergitme olayının olmaması ya da sınırlı oluşu, çok daha az kaynak hatası içermesi ve kaynak sonrası minimum iç gerilmeler oluşturması nedeniyle katı hal kaynak yöntemlerinden biri olan sürtünme kaynağı için büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Sürtünme kaynağı, elektrik enerjisi veya diğer kaynaklardan ısı enerjisi uygulamadan malzeme yüzeyleri arasındaki mekanik dönme hareketinin ısı enerjisine dönüşmesi ile kaynak için gerekli ısının elde edilerek yapıldığı bir katı hal kaynak yöntemidir. Sürtünme kaynağı, sabit bir iş parçasıyla, dönen bir iş parçasının, sabit veya belirli olarak artan basınç altında, ara yüzey kaynak sıcaklığına ulaşana kadar döndürülmesiyle yapılır ve sonunda dönme durdurularak işlem tamamlanır. Birbirinin ters yönüne dönen her iki parçada hareketli olan sürtünme kaynağı sistemleri de bulunmaktadır. Sürtünme ısısı, iş parçasının ara yüzey sıcaklığını hızla artırarak ergime derecesinin altında belli bir değere getirir ve plastik sıcaklık aralığında ısınan bölgeye uygulanan basıncın etkisi altında birleşme meydana gelir.

Genel prensipler

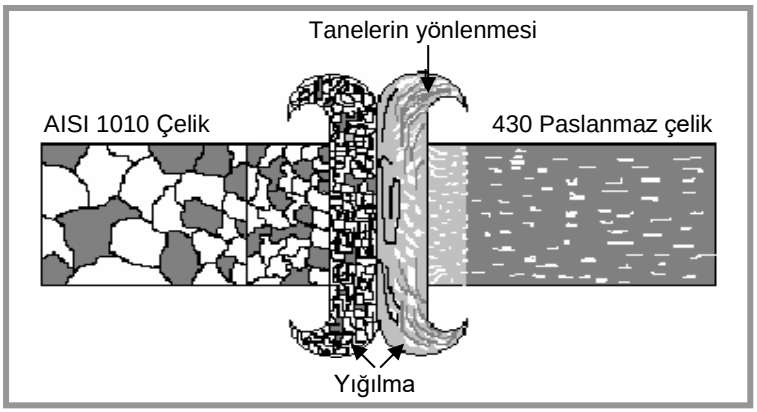
Sürtünme kaynağı, bir tür basınç kaynağıdır. Malzemenin ergitilmeden; sürtünme ısısı ile plastik deformasyona uğratılarak kaynaklandığı bir yöntemdir. Sürtünme kaynağı temelde dönen parçaların kaynağında kullanılan otomatik bir birleştirme işlemidir. Sürtünme ısısının meydana gelebilmesi için, parçalardan en az birisinin hareket ettirilmesi gerekir. Kaynak için, parçalardan biri sabit, diğeri dönmekte veya her iki parça ters yönde dönmektedir. Ayrıca, kaynaklanacak parçaların sabit olup, arada bir parçanın döndüğü ve parçalardan birisinin küçük genlikli ve alternatif hareket yaptığı sistemler de mevcuttur. Yöntemin temel adımları Şekil 17.1'de verilmiştir. Burada birinci parça dönmekte diğeri ise sabit bir şekilde durmaktadır (Şekil 17.1a). Daha sonra iki parçaya birleşme yüzeyleri bir araya gelmesi için eksenel basma kuvveti uygulanmaktadır (Şekil 17.1b). Temas yüzeylerinin sürtünmesi ile iş parçalarında bölgesel ısınma başlar ve boyca değişiklik olur (Şekil 17.1c). Dönen iş parçalarından biri durduğunda kaynak işlemi tamamlanır (Şekil 17.1d) .



Şekil 17.1. Sürtünme kaynağında temel adımlar.

Katı hal kaynak tekniklerinden biri olan sürtünme kaynağında birleştirme, ergimeye bağlı olmadan ara yüzeyde, ergimeye yakın yüksek sıcaklıkta meydana gelir. Sürtünme kaynağı üç aşamada incelenebilir. Birinci aşamada numuneler düşük yük altında temas haline getirilir ve deformasyon işlemi sürtünme aşınması ile yönlendirilir. İkinci aşamada uygulanan yükler yavaşça artırılır, sınır çizgisinde temas yüzeylerinde önemli oranda sürtünme ısısı oluşur ve gerinim sertleşmesi ve yumuşaması işlemlerinin bir değerine ulaşılır. Üçüncü aşamada ise sürtünme ısı iletimi biter, temas yüzeylerinin her iki tarafında ısınan malzemeyi yığmak için uygulanan yük biraz artırılır ve oluşan çapaklar temizlenir. Yöntemin başlangıcından bitimine kadar ara yüzey basınç altındadır. Kaynak sırasında uygulanan basınç, sabit parça, hareketli parça veya dönen her iki parça tarafından sağlanır. Sürtünme kaynağı ile birleştirilen kaynaklı bağlantılarda, ergimesiz bir bölge, ısıdan etkilenmiş dar bir bölge ve kaynak etrafında plastik olarak deforme edilmiş malzeme gözlenir (Şekil 17.2). Kaynak kalitesinin, uygun seçilmiş malzeme, birleştirme tasarımı, kaynak değişkenleri ve kaynak sonrası işlemlere bağlı olduğu

görülür. Kabul edilebilir kaynaklar geniş kaynak parametreleri aralığında (hız, kuvvet ve zaman) birçok malzemeye uygulanabilir (Örnek Şekil 17.3).



Şekil 17.2. Birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal bozunumu gösteren şematik resim.

Sürtünme kaynak mekanizmaları; sürtünme, plastik deformasyon, difüzyon ve yeniden kristalleşmedir. Bu mekanizmalar arasında, kaynak süresinin çok kısa olmasından dolayı difüzyon çok etkin değilse de, küçük taneli yüksek karbonlu çeliklerin sahip oldukları küçük tane yapısı nedeniyle, çok sayıda yüksek difüzyon kanalları bulunmasından dolayı, difüzyonun da etkin olacağını düşündürmektedir.

Şekil 17.3. Sürtünme kaynağıyla birleştirilen bir numune.

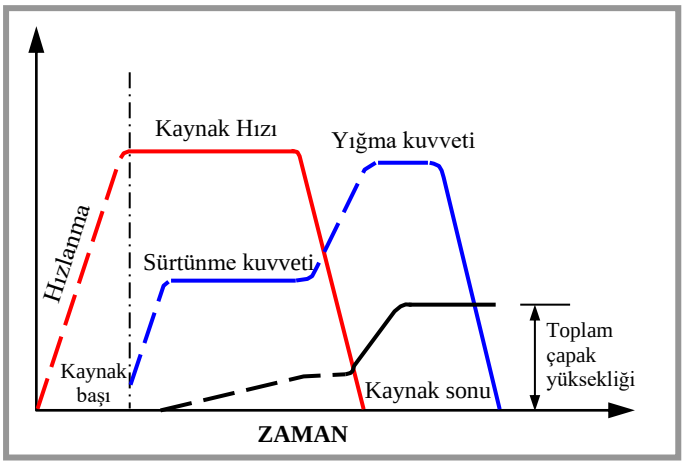
Sürtünme kaynak çeşitleri

Mühendislik malzemelerin çoğunluğunda basit ve etkili bir şekilde kullanılabilen sürtünme kaynağı işlemleri hareket ve enerji türüne göre isimlendirilebilir. Bunlar sürekli tahrikli sürtünme kaynağı, volan tahrikli sürtünme kaynağı ve kombine sürtünme kaynak yöntemidir.

Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı

Direkt sürtünme kaynağı olarak da bilinen bu teknikte, gerekli olan enerji sürekli bir tahrik grubu tarafından sağlanır. Parçalardan biri enerji kaynağı olan motor ünitesine bağlı iken önceden belirlenen sabit bir hızda döndürülür, diğer parça eksenel bir basınçla temas ettirilir. Yeterli derecede ısı girdisi sağlandığında dönme frenleme ile mümkün olan en kısa sürede durdurulur. Uygulanan kaynak kuvveti yığma yapmak amacıyla artırılır ve daha sonra numune

soğumaya bırakılır. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı özellikleri Şekil 17.4'de verilmiştir. Burada dönme hızı ve eksenel basınç zamanın fonksiyonu olarak görülmektedir. Durdurma için gerekli zaman önemli bir değişkendir. Çünkü kaynak sıcaklığının ve yığma kuvvetinin zamanlamasını (timing) etkiler. Yığma aşaması kaynak işlemi esnasında daha yüksek basınç uygulanması ile başlar. Ancak birçok zaman durdurma aşamasında da yığma aşaması başlar. Genelde durdurma aşamasında hızın azalmasıyla büyük yığma kuvveti uygulanabilir veya durdurma aşaması tamamlandıktan sonra büyük yığma kuvveti uygulanabilir.



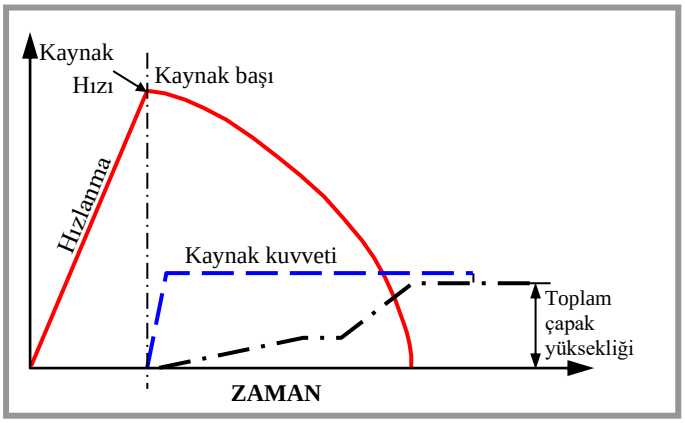
Şekil. 17.4. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı özellikleri.

Sürekli tahrikli sürtünme kaynak işleminde etkili olan parametreler vardır. Bu parametreler kaynak kalitesi üzerinde etkilidir. Kaynak kalitesinde etkili olan parametreler; yüzeye bağlı yığma kuvveti, dönme momenti devir sayısı, eksenel boy kısalması ve yüzeye bağlı sürtünme kuvvetinin etkisidir.

Volan tahrikli sürtünme kaynağı

Volan tahrikli (atalet) sürtünme kaynağında parçalardan biri volana bağlanır ve diğer parça sabit tutulur. Kaynak bölgesine enerji girişini volan kontrol eder. Burada volanın atalet momenti önemli bir değişkendir. Volanda biriktirilen enerji miktarı volanın hızı ile kontrol edilir. Volan önceden belirlenen dönme hızında döndürülür ve gerekli enerji volan üzerinde depolanır. Motor serbest bırakılarak dönen volan kütlesi ayrılır ve eksenel olarak uygulanan sürtünme kaynak kuvveti ile parçalar bir araya getirilir. Bu arada parçaların birbirlerini frenlemesiyle yük iş parçalarına iletilmiş olur. Numuneler basınç altında sürtünmeye başlar. Dönen volandaki depo edilmiş kinetik enerji, kaynak ara yüzeylerinde sürtünme vasıtasıyla ısı olarak dağılır ve volanın hızı düşer. Dönme ya durdurulduktan veya kısmen yavaşladıktan sonra yığma kuvveti uygulanır. Yığma kuvveti önceden belirlenen bir süre boyunca uygulanır. Bu teknik özellikle A.B.D'de uzay ve uçak sanayiinde kullanılmıştır. Volan tahrikli sürtünme kaynak özellikleri Şekil 17.5'de verilmiştir.

Volan tahrikli sürtünme kaynağının sürekli tahrikli sürtünme kaynağından mekanizma farkı olarak fener miline bağlı olan volan görülmektedir. Sürtünme ve yığma gibi iki aşamasıyla da sürekli tahrikli sürtünme kaynağına benzemektedir. Ancak Şekil 17.5'de görüldüğü gibi bu aşamalarda her iki kaynak yöntemi arasında farklılık vardır. Ayrıca atalet kaynağında sürtünme hızı sürtünme aşamasında sürekli düşmesine rağmen sürekli tahrikli sürtünme kaynağında sabit kalmaktadır. Volan tahrikli sürtünme kaynağında temel kaynak parametreleri, yüzeye bağlı yığma kuvveti, devir sayısı, dönme momenti, eksenel boy kısalmasıdır.



Şekil. 17.5. Volan tahrikli sürtünme kaynak özellikleri.

Kombine sürtünme kaynak yöntemi

Kombine kaynak yöntemi direkt sürtünme kaynağı ile atalet kaynağının ortaklaşa kullanıldığı bir metottur. Büyük boyutlu parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Kombine kaynak işlemiyle mükemmel kalitede katı hal birleştirmeleri elde edilir.

Ayrıca yeni gelişmelerle bilgisayarla kumanda edilebilen radyal, yörüngesel titreşimli, köşeli karşılıklı hareket eden, doğrusal karşılıklı hareket eden sürtünme kaynağı ve sürtünerek yüzey işleme yöntemleri göze çarpmaktadır.

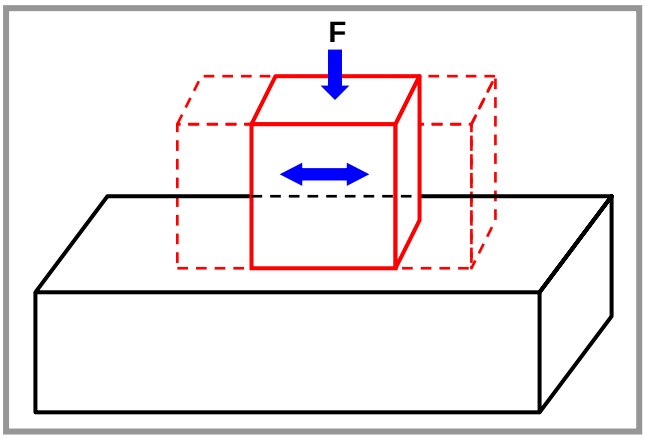
Kombine edilmiş sürtünme kaynağında temel kaynak parametreleri, devir sayısı, dönme momenti, yüzeye bağlı sürtünme kuvveti, eksenel boy kısalması ve yüzeye bağlı yığma kuvvetidir.

Yakın zamana kadar geçerliliğini koruyan sürtünme kaynağının sadece dönel simetriye sahip kesitler için kullanılma sınırlılığı günümüzde ortadan kalkmıştır. Dönen torna aynasının istenilen pozisyonda frenlenebilmesi ile yuvarlak kesitli olmayan parçaların da kaynağı mümkündür. Bu durumda merkezlenme problemi ortaya çıkmaktadır.

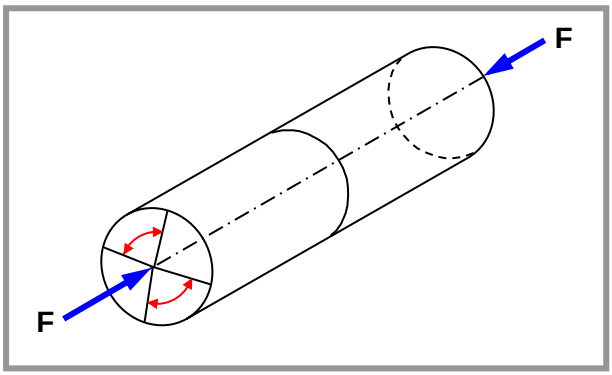
Sürtünme kaynağı hareket şekline göre:

- Dairesel hareketli sürtünme kaynağı,
- Lineer titreşim hareketli sürtünme kaynağı,
- Açısal hareketli sürtünme kaynağı,
- Radyal sürtünme kaynağı,
- Yörüngesel hareketli sürtünme kaynağı olarak sınıflandırılabilir.

Dairesel hareketli sürtünme kaynağı, geleneksel sürtünme kaynağı olarak bilinen ve uygulamalarının büyük çoğunluğunu dairesel kesitli çubukların ya da boruların kaynağının oluşturduğu birleştirme türüdür. Lineer titreşim hareketi ile parçalardan biri uygulanan basınçla birlikte ileri-geri titreşim hareketi yaparak merkezleme problemi giderilerek gerekli ısı sağlanmaktadır (Şekil 17.6). Açısal titreşim hareketinde ise parçalardan biri uygulanan basınç altında belirli bir açıyı gören yay parçası yörüngesinde hareket eder (Şekil 17.7).



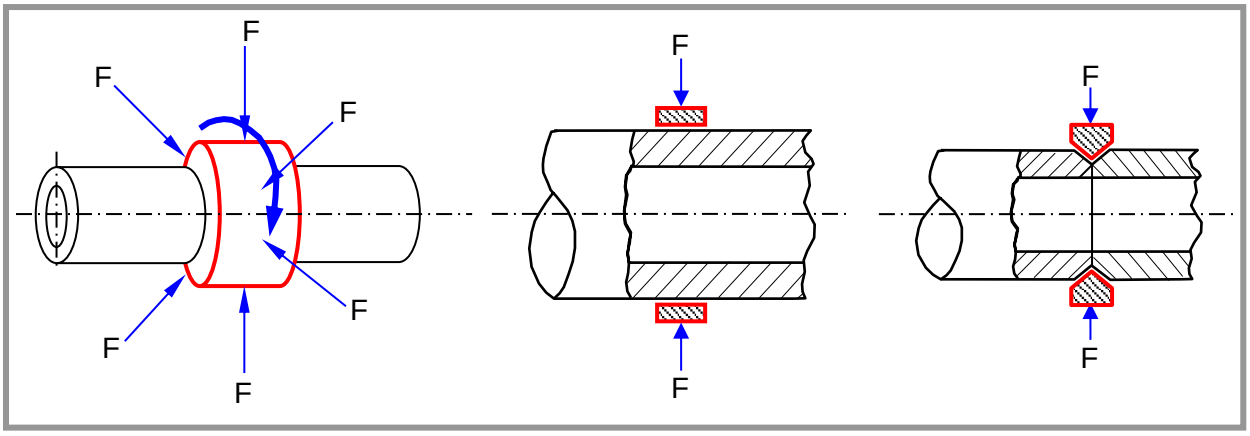
Şekil 17.6. Lineer titreşim hareketli sürtünme kaynağı.



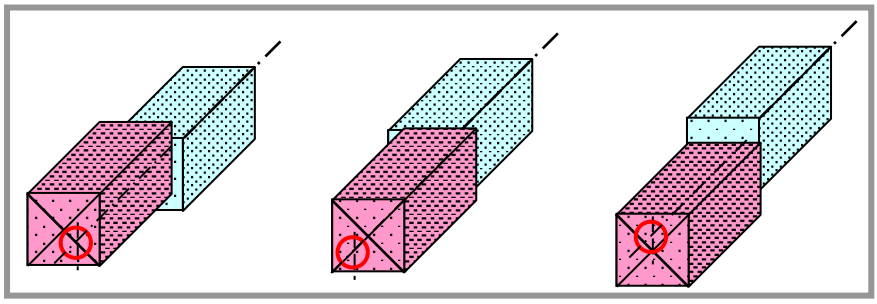
Şekil 17.7. Açısal titreşim hareketli sürtünme kaynağı.

Şekil 17.8'de boru kaynağı için geliştirilmiş ve radyal kuvvet etkisi altında dönel bir bilezikten yararlanılarak yapılan radyal sürtünme kaynağı görülmektedir. Yörüngesel hareket ise,

silindirik olmayan parçaların kaynağı içindir. Şekil 17.9'da görülen uygulamada, sabit duran parça üzerinde diğer parça, bir köşesi dairesel bir yörünge çizecek şekilde hareket ederek kaynak işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 17. 8. Radyal sürtünme kaynağı.



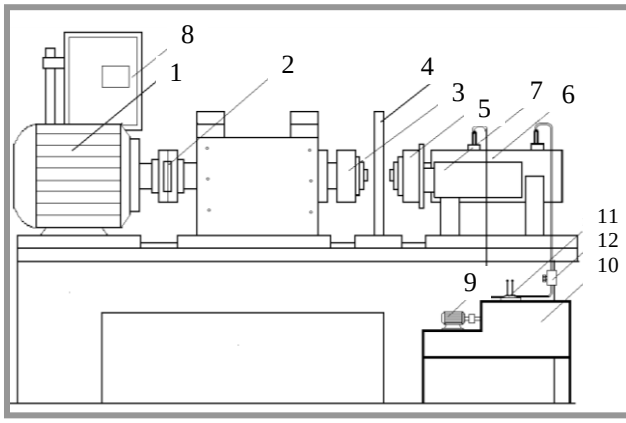
Şekil 17.9. Yörüngesel titreşim hareketli sürtünme kaynağı.

Sürtünme kaynak makineleri

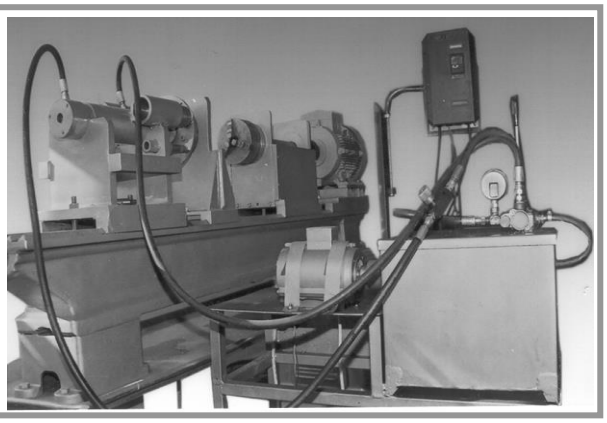
Sürtünme kaynak makineleri yatay ve düşey olabilen sabit, torna veya matkap gibi dönen kısımları bulunan temel talaşlı üretim makinelerine benzemektedir. Makine üzerinde ayna ve pens gibi numunelerin bağlanabileceği elemanlarla fren ve yük uygulamaları için hidrolik ve benzeri üniteler bulunur. Bunlara ilaveten kontrol ve kumanda elemanları mevcuttur. Ayrıca yeni teknolojiyle bilgisayar kontrol ve kumanda elemanları bulunmaktadır. Makinenin büyüklüğü kullanılan yığma basıncı miktarına göre değişmektedir. Bu makineler tam mekanize olduğundan parçaların bağlanması, boşaltılması ve çapakların kaynaktan sonra hemen alınması otomatik bir şekilde yapılabilir. Şekil 17.10'da sürekli tahrikli sürtünme kaynağı makinası şematik resmi, Şekil 17.11'de de sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi fotoğrafı verilmiştir.

Büyük sürtünme kaynak makineleri, uçak motoru (200 ton) parçaları için üretilmektedir. Ayrıca otomotiv sektörü, traktör parçaları, iş makineleri parçaları sürtünme kaynak makineleri ile

başarılı bir şekilde kaynaklanmaktadır. Deniz ve hava kuvvetleri için gerekli üretimler için de benzeri büyük kapasiteli makineler tasarlanmaktadır. Laboratuar araştırmaları, subaplar ve benzeri parçalar için ise küçük kapasiteli makine tasarımları yapılmaktadır.



Şekil 17.10. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinası şematik resmi.



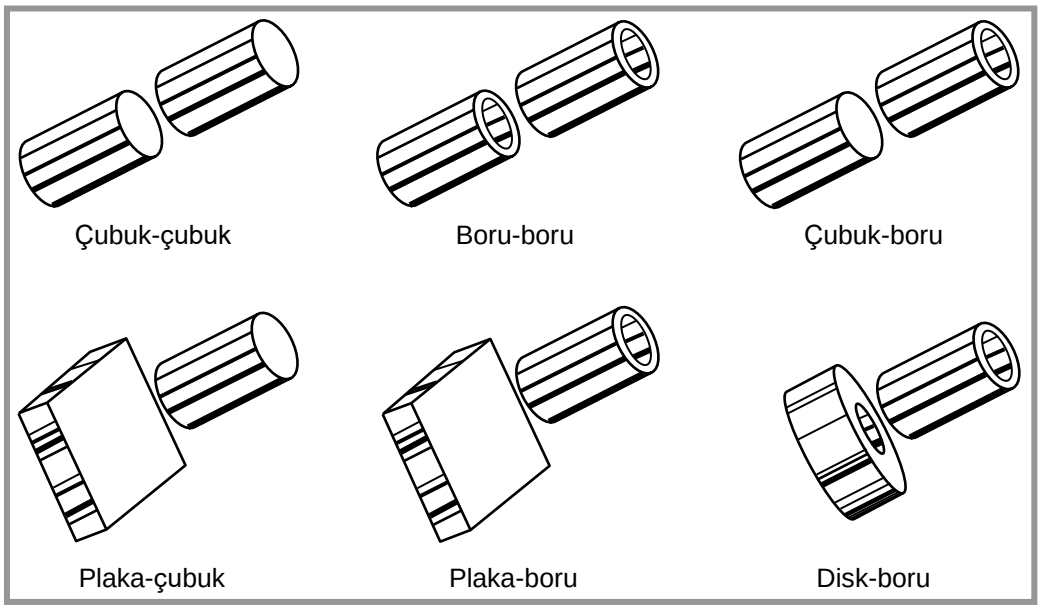
Şekil 17.11. Sürekli tahrikli sürtünme kaynak makinesi fotoğrafı.

1. Tahrik motoru	5. Sabit ayna	9. Motor ve dişli pompa
2. Kavrama	6. Çift etkili hidrolik silindir	10. Yağ tankı
3. Hareketli ayna	7. Pistonlu yatak	11. Yön kontrol valfleri
4. Denge plakası	8. Hız kontrol ünitesi	12. Hız kontrol valfı

Diğer kaynak tekniklerinde olduğu gibi sürtünme kaynağında temizlik yönünden özel bir uygulama gerekmez. Genellikle alevle kesilmiş yüzeyler, gres, boya ve diğer bulaşıklar kaynağın yapılmasını engellemez. Ayrıca yüzeyde bulunan pas ve kaplama kaynak işleminde problem oluşturmaz. Fakat kalın oksit tabakalarından, yüzeyde bulunan derin çizik ve deliklerden kaçınılmalıdır. Özellikle oksit tabakalarının sorun olduğu Al-çelik gibi farklı metallerin kaynağında yüzey temizliği önemlidir.

Sürtünme kaynağı ile endüstride aynı özellikte veya ayrı özellikte olan demir ve demir dışı malzemeler farklı uygulama biçimleri ile birleştirilebilir. Çubuk, boru ve plakaların kombinasyonları için temel bağlantı tasarımları Şekil 17.12'de gösterilmektedir. Çubuklar veya borular, plakalara kaynaklandığında, taşmaların (artıkların) çoğunluğu çubuk veya boruda meydana gelir. Küçük kesitteki kütle daha az olduğu için bu olay normaldir ve ısı bu küçük kesite daha derin nüfuz eder.

Mekanik ve fiziksel özellikleri çok farklı olan farklı metallerin bağlantılarında bu durumdan faydalanılabilir. Bu tür malzemelerin sürtünme kaynağında, birleşmenin kolaylıkla gerçekleşmesi için dayanımı veya ısıl iletkenliği daha düşük olan malzemenin kesit alanı büyük olmalıdır.



Şekil 17.12. Tipik sürtünme kaynak uygulama biçimleri.

Kaynak parametreleri

Bütün kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, bu yönteminde kaynak parametrelerinin optimum düzeyde kontrolü kaynak kalitesi üzerinde etkili olmaktadır. Sürtünme kaynak parametreleri; dönme hızı, sürtünme basıncı, yığma basıncı, sürtünme süresi, frenleme süresi ve yığma süresidir. Bu kaynak yönteminde bütün kaynak parametreleri malzeme cinsine göre değişmektedir.

Dönme hızı genellikle ısı tesiri altında kalan bölgelerin genişliğinde etkili olmaktadır. Yüksek çevresel hızlar nispeten düşük bir deformasyon hızı sağlamaktadır. Bu nedenle kaynak çevrimi uzamakta, kaynak ve çevresindeki bölge aşırı ısınmakta, buna bağlı olarak metalurjik dönüşümler meydana gelebilmektedir. Yüksek hızlarda eksenel itme ve ısıtma süresi, kaynak bölgesinin aşırı ısınmasına sebep olduğundan kontrol altında tutulmalıdır. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında çelikler için çevresel hız 1.2-1.8 m/s arasında önerilmektedir. Volan tahrikli sürtünme kaynak yönteminde kaynak, yüksek basınç ve sürtünme hızı altında kuru sürtünme-aşınma olayı ile meydana gelmektedir. Ani teğetsel hız, yarıçap ve dönüş hızı ile doğrudan ilişkilidir.

Sürtünme basıncı ara yüzeydeki oksit filmlerini elimine edebilecek, yüzeylerin atmosfer ile ilişkilerini kesebilecek ve arayüzeyde düzenli bir ısıtmayı sağlayabilecek biçimde seçilmelidir.

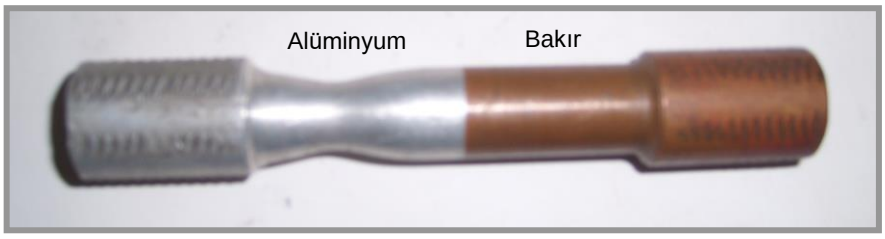
Yığma basıncı ise malzemelerin akma sınırına bağlıdır. Yüksek yığma basınçlarında aşırı sıcak şekillenmeye, düşük yığma basınçlarında ise yetersiz kaynaklanmaya neden olur. Farklı

malzemelerde yığma basıncı daha düşük mukavemetli olana göre seçilir. Genellikle yığma basıncı sürtünme basıncının 2 veya 3 katı olarak seçilir ($P_{yığma}$= 2-3 x $P_{sürtünme}$).

Sürtünme ve yığma süresi malzemeye göre değişir. Bu süre, sürtünen yüzeylerdeki kalıntı ve pislikleri uzaklaştırabilecek ve aynı zamanda kaynak bölgesinin gerekli kaynak sıcaklığına en kısa sürede ulaşmasını sağlayacak biçimde ayarlanmalıdır. Zamanın az veya çok olması malzemenin ısınmasını etkileyeceğinden kaynak kalitesine de tesir edecektir.

Kullanma alanları ve uygulanan malzemeler

Sürtünme kaynağı yaygın olarak aynı ve farklı metallerin birleştirilmelerinde kullanılmaktadır. Birçok demir ve demir dışı malzemeler sürtünme kaynağı ile birleştirilebilir. Şekil 17.13'de bu yöntemle birleştirilmiş bakır ve alüminyumun çekme testi sonrasında görüntüsü verilmiştir.



Şekil 17.13. Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş bakır ve alüminyumun çekme testi sonrasında görüntüsü.

Ayrıca sürtünme kaynağı farklı termik ve mekanik özelliklere sahip metallerin birleştirilmesinde kullanılabilir. Bu yöntemle dövülebilen ve kuru sürtünme özellikleri iyi olmayan bütün malzemeler kolaylıkla birleştirilebilirler. Demir bazlı malzemeler, düşük karbonlu çelikten yüksek alaşımlı çeliklere kadar malzemeler bu yöntemle birleştirilebilirler. Paslanmaz çelikler ve sinterlenmiş bazı diğer çelik malzemeler de uygun kaynak parametrelerinde rahatlıkla kaynaklanabilirler. Uzay sanayii malzemeleri; süper alaşımlar, bimetalikler, paslanmaz çelikler ve alüminyum malzemelerden oluşmaktadır. Bu malzemelerin bazılarının alışılmış yöntemlerle kabul edilebilir kaynakları zor veya çoğu zaman imkansızdır. Fakat sürtünme kaynağı ile kaynakları mümkündür.

Otomotiv sanayinde, sürtünme kaynak uygulamaları dengeleyici yaylar, motor valfleri, tork konventer kapları, fren kalibretörleri, su pompaları, kumanda parçaları, dingiller, eksantrik milleri, havalandırma akümülatörleri, U-birleştirmeleri ve benzeri çalışmaları kapsamaktadır. Yine bu alanda önemli bir çalışma da hava yastığı parçaları için yapılmaktadır. Sürtünme kaynağı hava yastığı patlayıcıları üretiminde anahtar bir kaynak tekniği olmuştur. Çizelge 17.1'de Benzer ve farklı metallerin sürtünme kaynak kabiliyetleri verilmiştir.

Çizelge 17.1. Benzer ve farklı metallerin sürtünme kaynak kabiliyetleri.

	Zirkonyum Alş	Otomotiv valfleri	Titanyum Alş	Titanyum	Takım çeliği	Paslanmaz çelik	Sinterlenmiş çelik	Maraging çeliği	Otomat çelikleri	Karbonlu çelik	Düşük alş. çelik	Gümüş Alş	Gümüş	Nikel Alş	Nikel	Molibden	Magnezyum Alş	Kurşun	Demir (sinterli)	Bakır Nikel Alş	Bakır	Kobalt	Sementit-	Bronz	Pirinç	Alüminyum Alş	Alüminyum
Alüminyum	♦		♦	♦		♦				♦	♦				♦		♦				♦		♦		♦	♦	♦
Alüminyum Alş.						O				O	O										O					♦	
Pirinç																									♦		
Bronz										♦														♦			
Sementit- karbür					♦					♦																	
Kobalt										♦	♦																
Bakır	♦			♦		♦				♦			♦								♦						
Bakır-Nikel Alş.						♦				♦										♦							
Demir (sinterli)										♦									♦								
Kurşun																		♦									
Magnezyum Alş.																	♦										
Molibden																♦											
Nikel					♦	♦		♦	O	♦	♦				♦												
Nikel Alş.		♦			♦	♦		♦	O	♦	♦			♦													
Gümüş																											
Gümüş Alş												O															
Düşük Alş çelik		♦			♦	♦	O	♦	O	♦	♦																
Karbonlu çelik		♦			♦	♦	O	♦	O	♦																	
Otomat çelikleri		O			O	O		O	O																		
Maraging çeliği		♦			♦	♦		♦																			
Sinterlenmiş çelik						O	O																				
Paslanmaz çelik	O	♦	O	O		♦																					
Takım çeliği					♦																						
Titanyum				♦																							
Titanyum Alş			♦																								
Otomotiv Valfleri		♦																									
Zirkonyum Alş	♦																										

♦ : Tam uygun O : Uygulamada tam bir bağlanma olmayabilir □ : Deneyimler yetersiz veya hiç yok

Bazı metal ve alaşımlarında aşağıda belirtilen metalürjik içeriklerinden dolayı başarılı bir kaynak yapılamaz. Bu sınırlamalar genelde sürtünme ısısı ve dönmeye yöneliktir.

- Bütün dökme demirlerdeki serbest grafit sürtünme sıcaklığını sınırlaması nedeniyle,
- İçerisinde % 0,3'ün üzerinde Pb (kurşun) bulunan bronz ve pirinçlerde sürtünme sıcaklığını sınırlamasından,
- % 0,13'ün üzerinde S ve Pb bulunan otomat çelikleri sürtünme sıcaklığını sınırlaması sebebiyle,
- Yüksek derecede anizotropik malzemelerin geçiş bölgesindeki kırılganlıklarından,

- Yapısında hazır olarak grafit, MnS ve serbest Pb gibi zayıflatıcı faz bulunan malzemeler metalurjik özelliklerinden,
- Kuru yağlama sağlayan alaşım elementleri, bağlantı bölgesinin kaynak sıcaklığına erişmesine engel olduğundan başarılı bir biçimde kaynak yapılamazlar.

Sürtünme kaynağının avantajları

- İşlemede ve işçilikten tasarruf,
- Yüksek üretim oranları,
- Malzeme tasarrufu,
- Düşük bakım masrafları,
- Birleşme mukavemetinin ana malzemeye eşit veya daha fazla olması,
- Kaynak sırasında kendi kendini temizleme ve yüzey hazırlama zamanı ve maliyetinin düşüklüğü,
- Güvenilir kaynaklı birleştirme bütünlüğü, yüksek kalite ve tekrarlanabilir işlemler,
- Kaynak sonrası toleransın iyi olması,
- Üretim boyunca kaynak parametrelerinin kontrolü,
- Metal-metal birleştirmelerinde ana metalle aynı akma mukavemetinin sağlanması,
- Farklı metal kombinasyonlarının birleştirilebilmesi,
- Düşük kaynak gerilmesi,
- Düşük enerji tüketimi,
- Yanma olmadan üretim,
- Oksit ve yabancı maddelerin kaynak yüzeyinden işlem sırasında uzaklaştırılabilmesi,
- Basit parça tasarımı,
- İlave metal, toz ve koruyucu gaza ihtiyaç olmaması,
- Tecrübeli işçiye gerek duyulmaması,
- Elle veya otomatik olarak yükleme yapılabilmesi.

Sürtünme kaynağının dezavantajları

- Genelde kaynatılan parçalar silindirik ve ekseni etrafında dönebilen parçalardan oluşmaktadır.
- Kaynak sonunda birleştirilen ebatlar eksenel kısalmaya uğradıkları için malzeme sarfiyatına sebep olur.
- Büyük parçalarda ısıtmanın homojen olmamasından dolayı kaynaklanabilme zordur.
- Kesit alanının artması motor gücü ve yığma basıncı değerlerinin artmasına neden olur.
- Sürtünme kaynağı makine ve donanımlarının maliyeti yüksektir.
- Bu yöntemle dövülebilen ve kuru sürtünme özellikleri iyi olan malzemeler zor birleştirilirler veya birleştirilemezler.

KAYNAKÇA

Nizamettin Kahraman, Behçet Gülenç, Modern Kaynak Teknolojisi, 4. Baskı, Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti, 2020, Ankara.

http://www.modernkaynakteknolojisi.com/