

SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİ

Akın DEDE, Uğur SOY, Salim ASLANLAR

Özet - Ark kaynak yönetimi alın yakma veya direnç kaynak yöntemi gibi eritme kaynak yöntemi ile kaynatılması güç olan metaller ile bu metallerin alaşımları kendi aralarında sürtünme kaynak yöntemi ile kolayca kaynatılabilirler. Farklı metallerin kaynağı fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonları nedeniyle eritme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmeleri hemen, hemen imkansız gibidir. Farklı metal ve alaşımlarının kaynağına mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı gidermek amacı ile yapılan çalışmalar sonucunda sürtünme kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem eritme kaynak yöntemi değildir. Kaynatma sırasında erime olmadığından katılaşmada olmamaktadır. Dolayısıyla katılaşma sırasında oluşabilecek kristal yapı farklılaşması erimiş metal içerisinde yabancı madde kalma riski ve katılaşma hızına bağlı olarak meydana gelebilecek çatlamlar sürtünme kaynak yönteminde görülmez. Sürtünme kaynağında yüzeyler arasındaki difüzyonun iyi olması için sürtünme kaynak parametrelerinin iyi tayin edilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler – Sürtünme Kaynağı

Abstract – The friction welding method can be applied to the metals and their alloys which cannot be easily welded by arc welding, butt welding and resistance welding. The different type metals cannot be welded completely by using fusion welding methods due to their different physical and chemical properties. However, the welding and joining of different type metals and alloys are required in engineering applications. The friction welding method was investigated in order to reply these necessities. Indeed, this is not a fusion welding method, not only melting, but also solidification are observed. Therefore, possible crystal structure

differentiation during solidification, impurity formation in molten metal matrix and crack formation possibility with respect to solidification rate cannot be seen in friction welding. Friction welding parameters should be well – determined in order to obtain a successful welding.

Keywords – Friction Welding

I. GİRİŞ

Kaynaklı birleştirmeler tarih boyunca insanların ihtiyacı olan araç ve gereçleri elde etme çalışmaları ile ortaya çıkmıştır. İhtiyaçların sınırsız olması teknolojiye gelişmenin başlıca sebeplerindedir. Kaynaklı birleştirmelerde başlangıçta iki metal malzemenin birbirleriyle birleştirilmesi ihtiyacından doğmuştur. Ancak daha sonraları insanlar sadece birleştirmenin yeterli olmayacağı, birleştirmenin malzeme özelliklerini etkilemeden gerçekleştirilebilmesini araştırmışlardır.

Buradan hareketle kaynak teknikleri ergitmeli ve ergitmesiz kaynak metodları olarak iki şekilde gruplandırılmışlardır. Ergitmeli kaynak yöntemlerinde birleştirilen metalik malzemelerin birleşme yüzeylerinin ergimesi ve ergiyik karışımın katılaşması sonucu metaller birleştirilirken, ergitmesiz kaynak yönteminde metalik malzemeler ergitilmeden, malzemelerin ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta malzeme katı haldeyken birleşme sağlanmaktadır.

Günümüzde, ileri teknolojilerin uygulandığı gelişmiş makine elemanlarının kaynaklı birleştirilmelerinde faz dönüşümleri ve plastik deformasyon istenmeyen bir durumdur. Bu olumsuzlukları gidermek, ancak malzemelerin mekanik ve metalurjik özelliklerini etkilemeyecek kadar düşük sıcaklıklarda yapılan birleştirme işlemleri ile mümkündür. Metal matriksli kompozitlerle seramiklerin veya metal bir malzeme ile metal olmayan bir malzemenin birleştirilmeleri bir çok durumda gerekli olmaktadır. Bir çok otomobilin motor parçalarında seramiklerle metaller bir arada birleştirilmiş şekilde kullanılmaktadır. Bu birliktelik iki ayrı tür malzemenin özel kaynak tekniklerinden birisi ile ancak

A. DEDE, Fatih Anadolu Teknik, Tek. ve End. Mes. Lisesi, Sakarya, adede54@hotmail.com

U. SOY, S. ASLANLAR, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, (<http://www.metal.sakarya.edu.tr>), Esentepe, Sakarya, ugursoy@sakarya.edu.tr, aslanlar@sakarya.edu.tr

mümkündür. Bu tekniklerin uygulanması yüksek bilgi ve teknoloji gerektiren katıhal kaynak teknikleri ile mümkündür. Bu amaçla, bu çalışmada sürtünme kaynağı konusu hakkında detaylı şekilde bilgiler verilmiştir.

II. SÜRTÜNME KAYNAK YÖNTEMİ

II.1 Tarihçesi

Sürtünme kaynağı teknolojisi sürekli gelişim gösteren dünyamızın bir çok ülkesinin endüstrisinde uygulama alanı bulmuş ticari ve ekonomik bir yöntemdir. Malzemelerin kaynak edilmesinde kullanılan enerji kaynaklarından biriside sürtünme enerjisidir. Sürtünme enerjisinin kaynak yöntemine uygulanması 15.yy. kadar gitmektedir. Sürtünme kaynağı ile ilgili ilk patent 1981 de Amerikalı makinist J .H.Bevington tarafından alınmıştır. Bevington sürtünme ısısından yararlanarak boruların kaynağını yapmıştır. 1924 yılında W .Richter İngiltere'de H.Klopstock Sovyetler Birliğinde paten almıştır.1941 yılında A.R Nealsonds ve H.Klopstock silindirik parçaların sürtünme kaynağı için birer patent almışlardır. Ayrıca II. Dünya savaşında Almanya'da ve Amerika'da plastik malzemelerin kaynağında sürtünme kaynağı kullanılmıştır. Bu yöntem halen günümüzde sıkça kullanılmakta olup, geliştirilmektedir [1,2,3,4,5]

II.2 Genel Tanımı

Sürtünme kaynağı kaynak edilecek parçaların birleşme yüzeyleri arasında, mekanik enerjinin sürtünme aracılığı ile ısı enerjisine çevrilmesi ve bu parçalara eksenleri doğrultusunda baskı kuvveti uygulanması sonucunda yapılmaktadır. Bu tanımlanmaya göre, sürtünme kaynağında hem basınç uygulanması yapılmakta, hem de sıcaklık oluşturulmamaktadır. Bunun için bu kaynak yöntemini sıcak basınç kaynağı yöntemlerinden biri olarak kabul etmek gerekir. Sürtünme kaynağı alın direnç kaynaklarının yapılışına benzer şekilde ve torna tezgahının çalışma prensibine uygun olarak özel yapılmaktadır [2,6,7,8].

II.3 Çalışma Prensibi

Kaynak edilecek parçalar, makinenin dairesel ve yatay hareket eden çenelerine bağlanır. Dairesel hareket veren aynaya bağlanmış parça yüksek bir hızla döndürülürken, ikinci parçanın yatay bir hareketle dönen parçaya dokunması ve parça arasında sürtünmenin meydana gelmesi sağlanır. Mekaniksel enerjinin sürtünmeyi, oluşturduğu bunun da kaynak ısı enerjisine dönüşerek sürtünen parçaların uç kısımlarının hamur kıvamında yumuşatıldığı bir anda, ani frenleme ile parçaların hareketi durdurulur. Parçalar eksenleri doğrultusunda bir baskı kuvveti ile birbirine yaklaştırılır. Bu durum birleşme yerinde katılma oluncaya kadar devam eder. Kaynak için gerekli basınç (baskı kuvveti) mekanik veya hidrolik sistemle yapılır [3].

III. YÖNTEMİN UYGULANMASI

III.1 Uygulama Mekanizması

Sürtünme kaynağında elektrik enerjisi kullanılır. Kullanılan elektrik enerjisi kaynatılmak istenen parçalara mekanik enerji sağlar. Mekanik enerji kaynatılacak parçaların sürtünmesi sonucunda termal enerjiye dönüşür. Elde edilen bu termal enerjinin ısısından yararlanarak yapılan kaynak tekniğine de katı hal kaynak yöntemi denilir. Dolayısıyla sürtünme kaynağı bir katı hal kaynağıdır. Kaynak süresince parçalar basınç altında ve mekanik enerjinin etkisi altında hareket halindedir. Bu duruma sürtünme fazı veya ısıtma fazı olarak adlandırılır. Isıtma fazı malzeme yüzeylerinde plastik şekil değiştirme sıcaklığı meydana gelinceye kadar devam eder. Çelikler için bağlantı bölgesinde meydana gelen sıcaklık 900-1300 °C arasındadır. Kaynak sırasında ısıtma fazı sonrasında basınç artırılarak ısınmış ara yüzey malzemesi yığılır. Böylece kaynak ögesi termomekanik işleme tabi tane yapılan birleşme bölgesinde iyileşme gösterir. Bundan dolayı diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilemeyen metaller ve metal alaşımları kolaylıkla kaynatılabilir. Kaynatılan parçalarda kaynak bağının oluşabilmesi için temiz metal yüzeylerinin temas haline gelmesi gerekir. Sürtünme kaynağında bütün temassızlıklar sürtünme yolu ile ortadan kaldırıldığından bu temas çok iyi gerçekleşir. Kaynak esnasında parçaların yüzeylerinde erime meydana gelmez. Çok az bir erime olsa bile uygulanan yığıma işlemi sonunda birleşme bölgesinden bu eriyen malzeme uzaklaşır. Kaynak yüzeyinde erimiş metale ait herhangi bir emareye rastlanmaz [1,9,10]

Kaynak bölgesinde meydana gelen yığılma parçaların ebatlarının kısılmasına neden olur. Buna göre birleşme üç aşamadan oluşmaktadır.

Kaynak işleminin başlatılması: Aynaya bağlanan parça döndürülmeye başlanır. İkinci parça hidrolik olarak bastırılır.

Sürtünme işlemi: Sabit hızı (n) ile dönen parçayı etkileyen P₁ basıncının meydana getirdiği sürtünme kuvveti ile parçaları uçları ısınır .

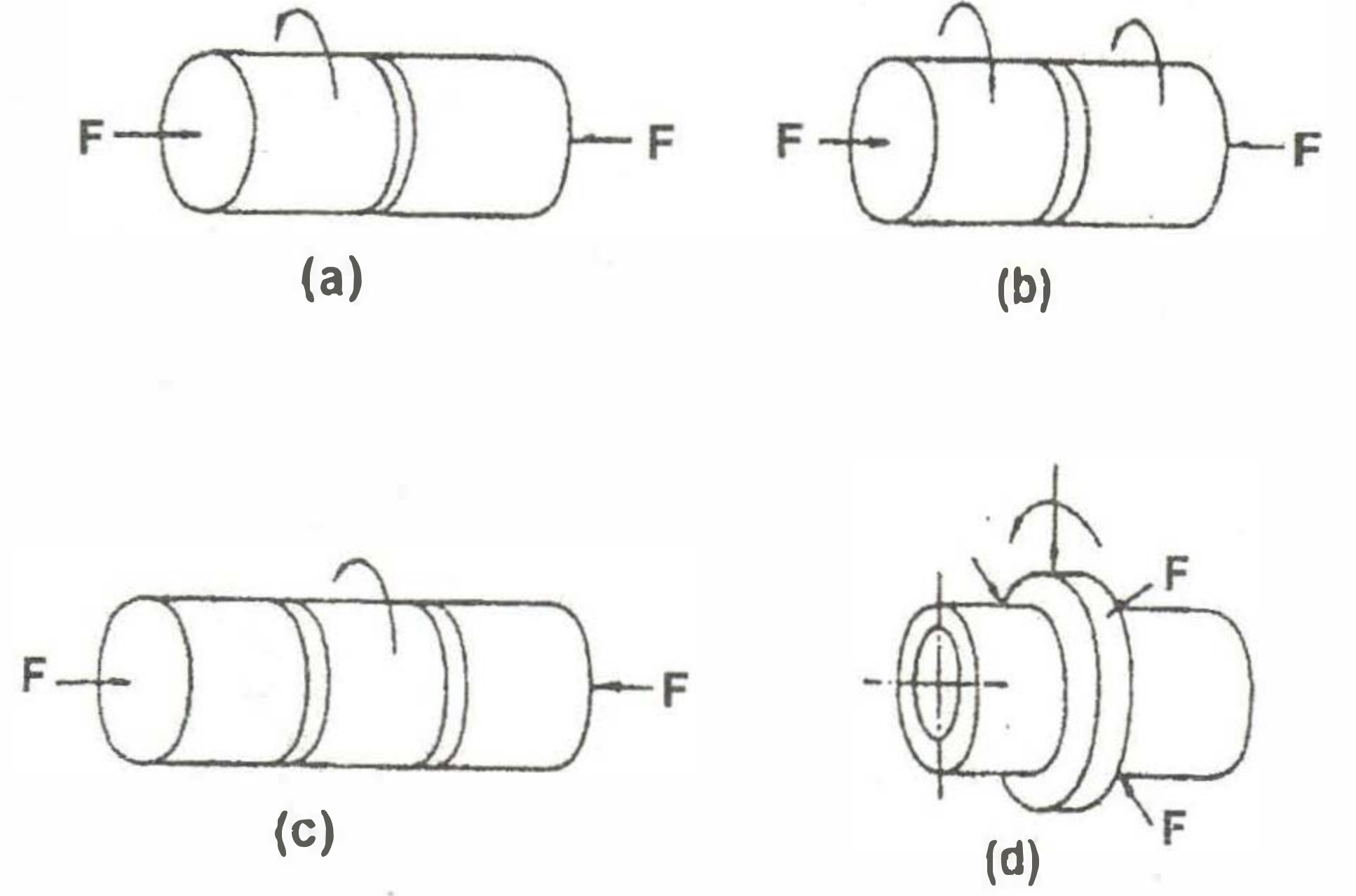
Şişirme (Yığıma) işlemi: Sabit veya dönen kısımdan uygulanan P₂ basıncıyla yığıma kuvveti ile parçalar birbirine bağlanmaktadır.

Kaynak esnasında uygulanan ikinci basınca dövme basıncı denir. Bu yöntemde başarılı bir birleşme için dönme hızının ve basma kuvvetlerinin doğru biçimde ayarlanması önemlidir.

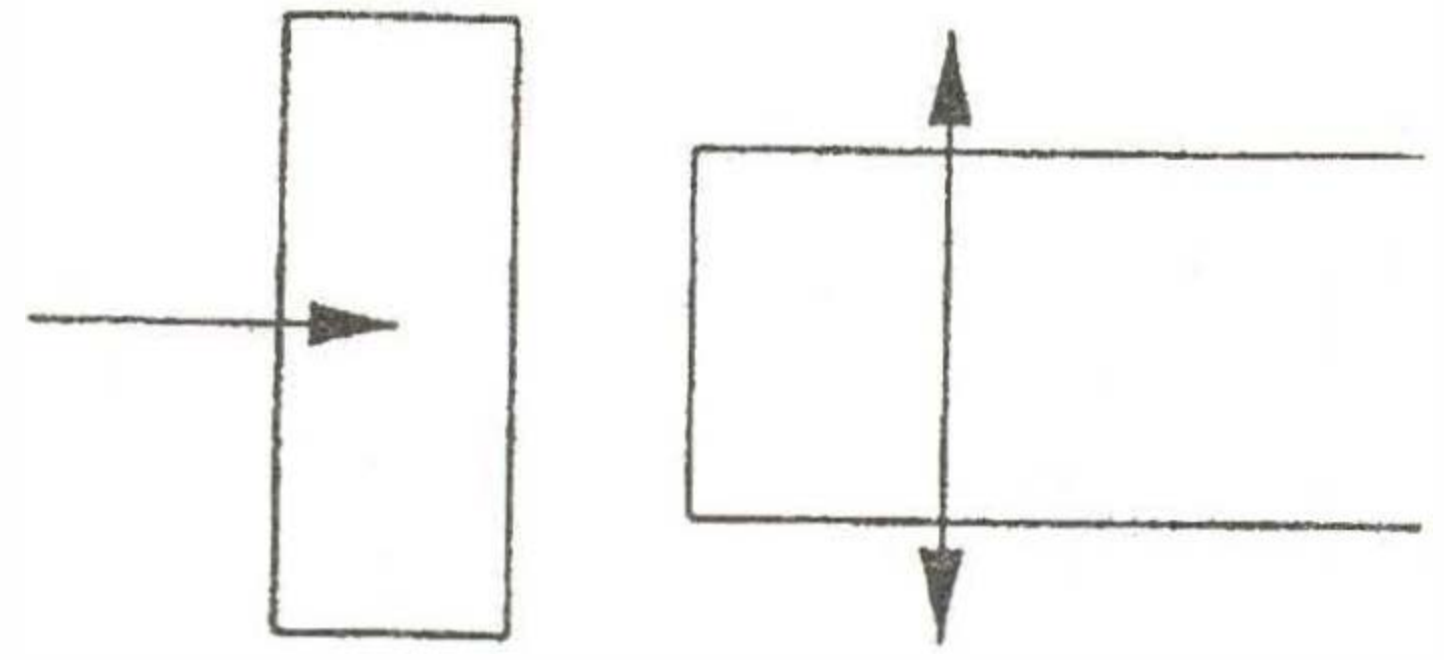
$$R_{yığıma} = 2-3 \times P_{sürtünme}$$

III.2 Uygulama Şekilleri

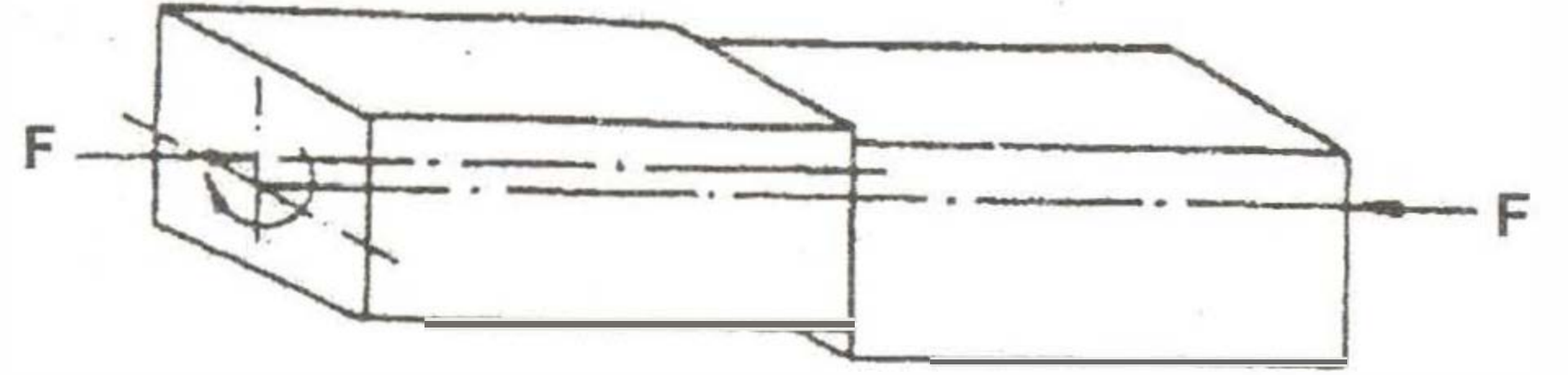
Sürtünme kaynak yönteminde, genelde parçalardan biri dönerken diğeri sabittir. Kaynak yapılış yöntemi Şekil.1.de şematik olarak görülmektedir. Dönme hızı belli bir dengeye geldiğinde iki parçanın teması sağlanarak ön temas meydana gelir. Bu temastan sonra parçaların ucundaki yabancı maddeler uzaklaşır. Ön temasın arkasından eksensel basınç uygulanarak parçaların ısınması sağlanır. Dönme hareketi durdurulduğunda eksensel basınç bir miktar arttırılarak dövme etkisi yapılır. Bu etki sonucunda kaynak yüzeyindeki çok az miktar erimiş metal dışarı doğru yığılarak çıkar. Sürtünme kaynağı genellikle dairesel kesitli parçalara uygulanmaktadır. Sürtünme kaynağında dönme hareketi birinci harekettir. İkinci hareket ise eksensel harekettir. Sürtünme kaynağının alışıla gelmiş uygulama şekilleri Şekil.2 de görülmektedir. Şekil.2.a en çok kullanılan sürtünme kaynağı yöntemidir. Şekil.2.b ise yüksek dönme hızının gerekli olduğu küçük çaplı parçalar için uygulanmaktadır. Şekil.2.c kaynatılacak parça boyutlarının uzun olması durumunda araya dönebilen ek bir malzeme ilavesi ile yapılan kaynak yöntemidir. Şekil.2d ise boru kaynakları için geliştirilmiş ve radyal kuvvet etkisi altında dönen bir bilezikten yararlanılarak yapılan kaynağı göstermektedir. Sürtünme kaynağında sürtünmeyi meydana getiren hareket dairesel dönme hareketi olduğu gibi Lineer titreşim hareketi ile de sürtünme kaynağı yapılabilir. Şekil.3 bu yöntem ilk defa Vill tarafından önerilmiştir. Silindirik olmayan parçaların sürtünme kaynağında yörüngesel hareket kullanılır. Şekil.4 bu yöntemde parçalardan bir tanesi sabittir. Dönen parçanın bir köşesi dairesel bir yörünge çizecek şekilde hareket eder [1,2,4,9].



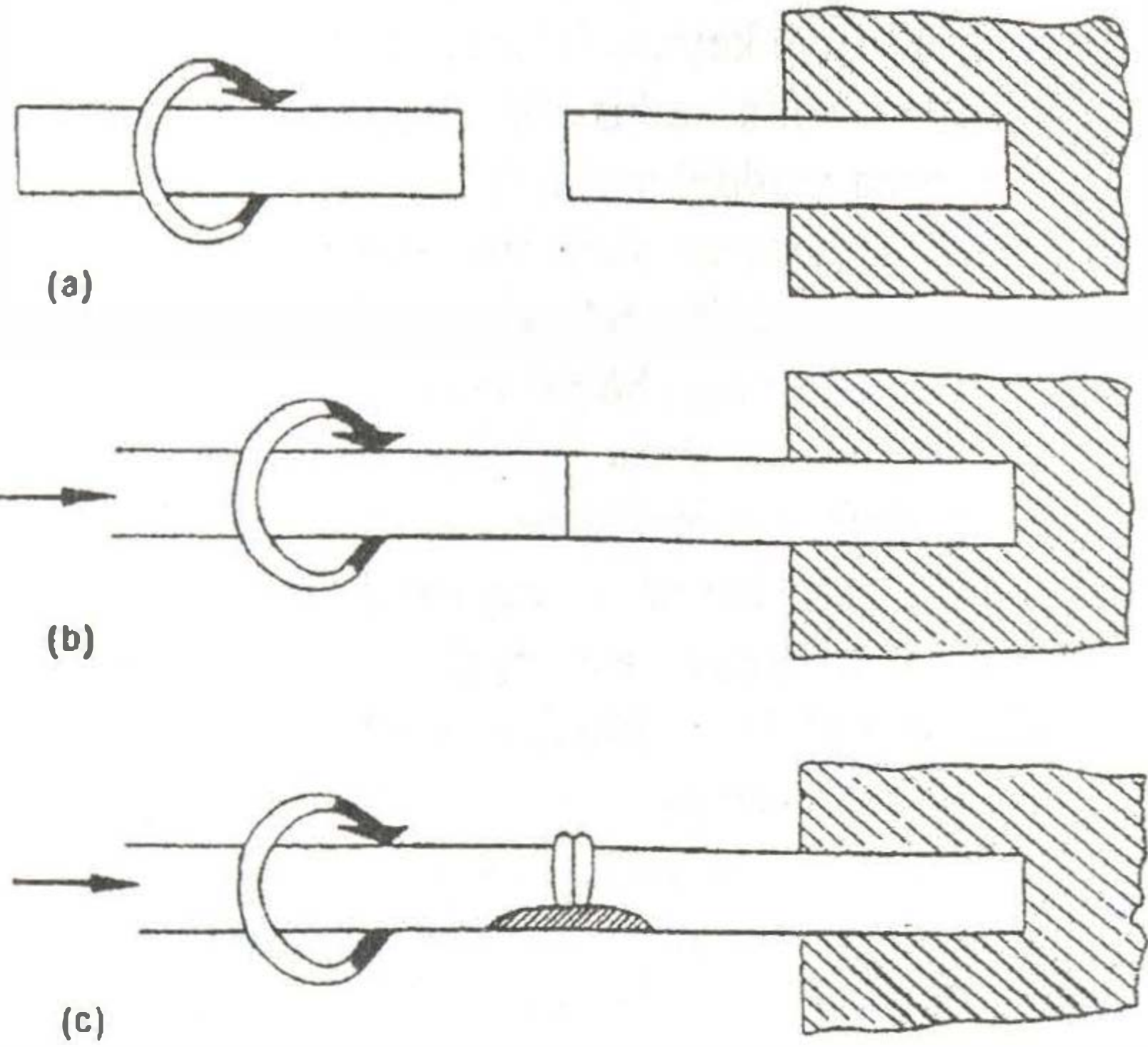
Şekil 2. Sürtünme Kaynağının Uygulama Şekilleri



Şekil 3. Lineer Titreşim Hareketi ile Sürtünme Kaynağı



Şekil 4. Yörüngesel Hareketle Sürtünme Kaynağı



Şekil 1. Sürtünme Kaynağı İşlemi

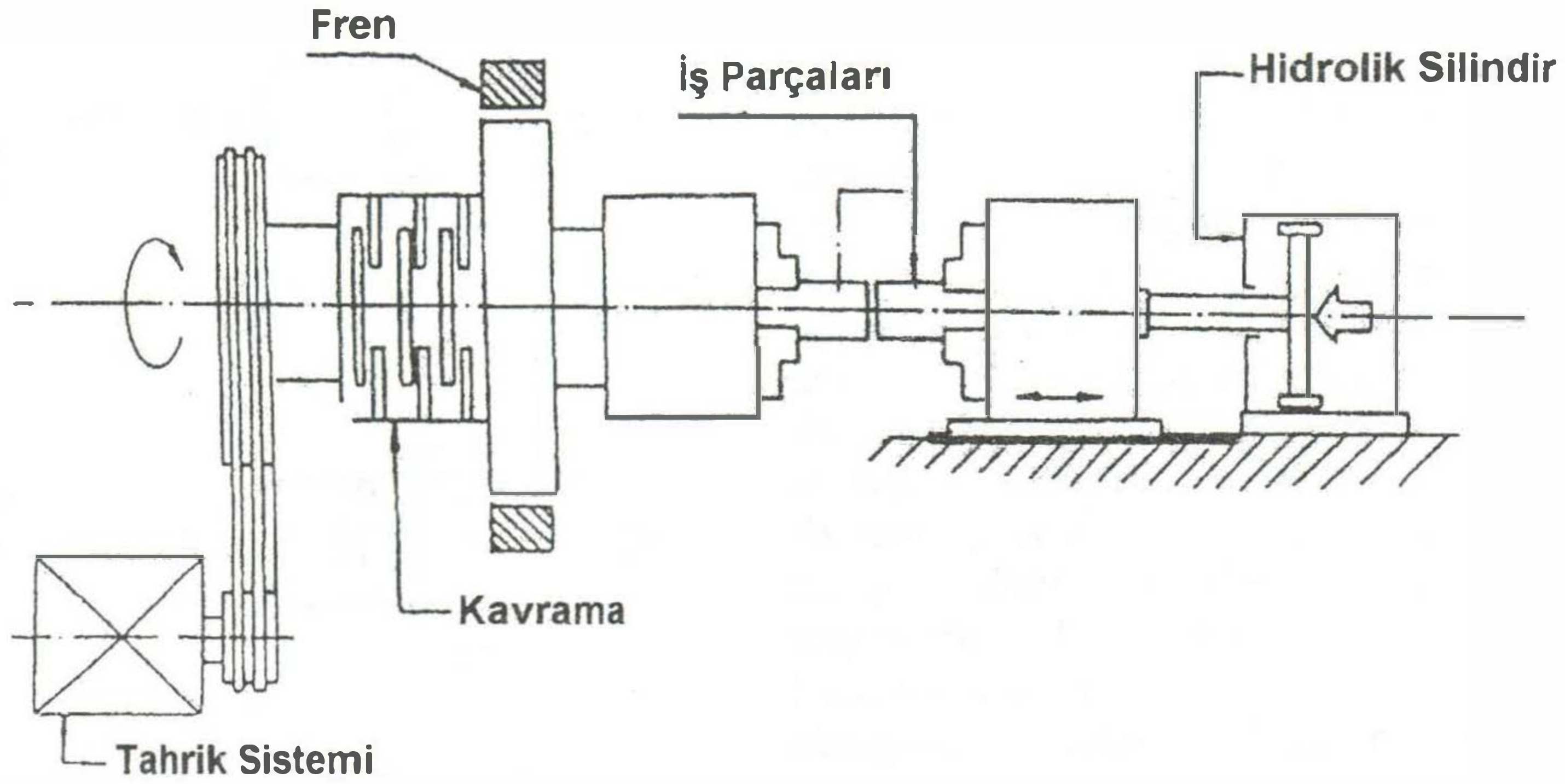
Sürtünme kaynağı iki ana safhada oluşur. Bunlar sürtünme ve yığımadır. Atalet ve sürtünme kaynaklarında moment eğrilerinin değişimi kaynak işleminin izahı için önemli değer ifade etmektedir. Sürtünmenin başlaması ile kuru sürtünmeden dolayı atalet kuvveti artmaktadır [1].

Yapısal olarak sürtünme kaynak makinaları torna matkap gibi talaşlı imalat makinalarını andırmaktadır. İlk sürtünme kaynak makinaları bu tür tezgahlardan düzenlenerek yapılmışlardır. Şekil.5 'de sürtünme kaynak makinası şematik olarak görülmektedir [1].

III.3 Kaynak Parametreleri

Sürtünme kaynağı kontrolü gereken oldukça çok sayıda parametre içerir. Bu yöntemle ilgili değişkenler dönme hızı sürtünme basıncı sürtünme süresi frenleme süresi yığıma geciktirme süresi yığıma basıncı (dövme) ve yığıma süresidir. Yapılan çalışmalarda yöntem üzerinde en etkili olan ve optimizasyonu gerektiren parametrelerin dönme hızı sürtünme basıncı sürtünme süresi yığıma basıncı ve yığıma süresi olduğunu göstermiştir .Bu değerlerin dışında kaynatılacak malzeme şartlarına bağlı parametreler de söz konusudur. Konu ile ilgili kaynak eserler incelendiğinde kaynak parametreleri ile ilgili şu genel sonuçlar çıkabilir.

Dönme hızı ITAB'ın genişliğine etkilidir. Çelikler için çevresel hız 1,2-1,8 m/s arasında önerilmektedir. 1,2 m/s altındaki hızlar çok yüksek momentler dolayısıyla uniform olmayan yığımalar meydana getirir. Bununla birlikte farklı



Şekil 5 .Sürtünme Kaynak Makinesinin Görünüşü

metal bağlantıları için düşük hızla gevrek bir intermetalik bileşiğin formlanması minimize edebilir. Yüksek hızların kullanılması durumunda ise sürtünme süresi ve basıncı çok iyi kontrol edilmelidir.

Sürtünme basıncı ve yığıma basıncı numune geometrisine ve yapıldığı malzemeye bağlıdır. Değişim dar bir aralıkta değildir. Basınç değişkeni kaynak bölgesindeki sıcaklık veya aksel kısılma ile kontrol edilebilir. Sürtünme basıncı temas eden yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek atmosfer ile ilişkisini kesebilecek ve ara yüzeylerde dengeli bir ısınmayı sağlayabilecek değerde olmalıdır. Yığıma basıncı ise malzemelerin sıcak akma sınırı derecesine bağlıdır. Aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar yüksek yetersiz kaynamaya neden olacak kadarda düşük olmamalıdır. Farklı malzemelerin kaynağında sıcak akma sınırı düşük olan malzeme esas alınarak yığıma basıncı tespit edilir

Genel olarak yumuşak çeliklerin sürtünme basıncı 30-65 MPa yığıma basıncı 75-140 MPa iken orta ve yüksek karbonlu çeliklerin kaynağında sürtünme basıncı 70-210 MPa yığıma basıncı ise 100-420 MPa arasındadır.

Sürtünme ve yığıma süreleri malzemeye bağlıdır. Sürtünme süresi malzeme yüzeylerindeki pislik ve oksitleri temizleyebilecek gerekli plastisite için uniform bir kaynak bölgesi sıcaklığını sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Uygun bir kaynak bağlantısı için ısıtma süresi iyi tespit edilmelidir. Yetersiz ısıtma süresi kaynakta uygun plastisite değeri yakalayamadığı için birleşme yetersiz olacaktır. Aşırı ısıtma zamanı ise yığıma basıncı sırasında fazla yığılmadan dolayı malzeme kaybına neden olacaktır [1,5,6,7,8].

IV. AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

IV.1 Avantajları

- Sürtünme kaynağı metoduyla birleştirilen malzemelerde sarf edilen enerji diğer metotlara göre daha azdır.
- Kaynak sırasında bölgesel ısıtma ve ergime derecelerinin altında bir sıcaklıkta kaynak yapıldığı için farklı metallerin kaynağını yapmak mümkündür.
- Sürtünme kaynağında kaynaklanan bölgenin dayanımı, birleştirilen malzemelerin dayanımına denk, bazı durumlarda da yüksek olabilmektedir. Sürtünme kaynağı bir katı hal kaynak yöntemi olduğu için kaynak bölgesi cüruf v.s. içermez.
- Sürtünmenin etkisiyle bütün oksit ve diğer yabancı maddeler yüzeyden uzaklaştırılır .
- Sürtünme sonucunda meydana gelen ısı bölgesel olduğu için kaynak dikişinin her iki tarafında ısıdan etkilenen bölge çok dardır ve herhangi bir dönüşüm meydana gelmez.
- Çok defa ana malzeme gevrekleşmez.
- Sürtünme kaynağı yapılmış parçalar çok dar toleranstadırlar. Bu nedenle çoğu kez kaynak dikişinin talaş kaldırılarak işlenmesi gerekmez.
- Kaynak süreci içersindeki yığılma kaynak dikişini havanın zararlı etkilerinden korur.
- Bağlantı bölgesi, hızlı ısıtma ve soğutma sonucunda uygulanan yüksek basınç nedeniyle ince taneli bir mikro yapıya sahiptir.

IV.2 Dezavantajları

Sürtünme kaynağına sınırlandırılan en büyük etken parçanın geometrik biçimidir. Her ne kadar günümüzde özel yöntemler geliştirilmişse de bağlantısı yapılacak parçalardan birinin bir eksene göre simetrik olması ve

çoğu kez bir eksen etrafında dönebilir olması istenir. Sürtünme kaynağına sınırlandırılan diğer önemli bir etken ise kesit alanıdır. Kesit alanının çok büyük olması, motor gücünün ve yığılma basıncı değerlerinin çok yüksek olmasına neden olur. Sürtünme kaynağı için kesit alanları 30-8000 mm² değerleri arasında sınırlandırılırken bazı araştırmacılar azami kesit alanının 10.000 mm² olarak vermişlerdir. Çubuk parçalar için uygun çap değerleri de 10-250 mm² olarak önerilmiştir.(3)]

Sürtünme kaynağı için kesit alanı 30-10000 mm² arasında sınırlandırılırken maksimum değer çelikler için 2000 mm², demir dışı malzemeler için ise 20000 mm² arasında değişmektedir [2]. Bu yöntemin genel olarak dezavantajları ise;

- Genelde kaynatılan parçalar silindirik ve eksen etrafında dönebilen parçalardan oluşmaktadır.
- Kaynak sonunda birleştirilen ebatlar aksel kısılmaya uğradıkları için malzeme sarfiyatına sebep olmaktadır.
- Büyük parçalarda ısıtmanın homojen olmamasından dolayı kaynaklanabilme zordur. Kesit alanının artması motor gücü basıncı değerlerinin artmasına neden olur.
- Sürtünme kaynağı makine ve donanımlarının maliyeti yüksektir [2].

V. UYGULAMA ALANLARI

V.1 Sürtünme Kaynağı Yapılabilen Malzemeler

Sürtünme kaynağı ile birleştirilecek gereçlerin ikisinin veya birisinin dairesel kesitli olması gerekmektedir. Aynı özellikte veya farklı özellikte olan gereçler sürtünme kaynağı ile birbirine kaynak edilebilmektedir Ancak aynı özellikteki gereçlerin sürtünme kaynağı daha kaliteli olduğundan tercih edilmelidir. Sürtünme kaynağı ile birbirine kaynak yapılabilen malzemeler şunlardır;

- Bakırın, alüminyum ve alaşımlarına,
- Düşük karbonlu çeliklerin, alaşımlı çeliklere, paslanmaz çeliklere, alüminyum ve alaşımlarına,
- Pirincin, alüminyum ve alaşımlarına,
- Bronzun, alüminyum ve alaşımlarına,
- Bakırın, çeliğe,
- Pirincin, çeliğe,
- Titanyum ve titanyum alaşımlarının çeliğe,
- Titanyum ve titanyum alaşımlarının, alüminyum ve alaşımlarına,
- Paslanmaz çeliğin, zirkonyum gibi metallere [12].

Sıralamada belirtilen metal ve alaşımlarının özellikleri birbirinden farklı olmasına rağmen, sürtünme kaynağı ile kolaylıkla birbirine kaynak yapılabilirler [1].

V.2 Endüstride Uygulama Alanları

Sürtünme kaynağı yıllardır, hızlı, çevreye zararlı olmayan ve güvenilir bir kaynak yöntemi olarak kabul edilmektedir. Sürtünme kaynağı, takım üretiminde ve otomotiv sanayiinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürtünme kaynağından; hafif yapıların elde edilmesinde de yararlanılır. Diğer uygulama alanları; elektroteknik, yapı endüstrisi ve tesisat yapımıdır.

Sürtünme kaynağı öncelikle kütle ve seri imalatta aynı veya farklı malzemelerden makine parçalarının birleştirilmesinde uygulanır. Bir çok hallerde bu yöntem küçük parça sayılarında da ekonomik olabilmektedir, özellikle diğer yöntemlerle kaynak yapılmayan veya kötü kaynak edilebilen malzeme kombinasyonları söz konusu ise bu yöntem uygulanır. Halen mevcut olan sürtünme kaynağı makineleriyle 0,6-200 mm çaplı makine parçaları kaynak yapılabilir. Günümüzde çelik borular için maksimum çap 900 mm, kalınlığı da S = 6 mm dir [11].

Sürtünme kaynağı günümüzde değişik endüstrilerde uygulama alanı bulmuştur. Sürtünme kaynağının uygulanmasına dair örnekler şu şekilde sıralanabilir.

- **Otomotiv endüstrisi:** Subaplar, kadran milleri, fren milleri, akslar, vites kolları, turbo dondurucular, ön yıkama odaları, şanzıman parçaları, ön ısıtma odaları, boru milleri, taşıyıcı aks boruları gibi.
- **Takım endüstrisi:** Helisel matkaplar, freze çakıları, raybalar, çelik kalemler, delik zımbaları.
- **Havacılık ve uzay endüstrisi:** Rotorlar, türbinler, miller, itme jetleri (memeler), yanma odaları, borular, flanşlar, fittingler.
- **Makine imalatı ve endüstrisi:** Miller, borular, flanşlar, fittingler, dişli çarklar, hidrolik silindirler, piston kolları, iğler, sonsuz vidalı miller, krank milleri, valfler, matkap uçları.
- **İş takımları:** Spiral matkaplar, freze bıçakları, delik zımbaları, çelik kalemler (murçlar), raybalar.
- **Elektronik ve elektroteknik:** Gaz analizleri alıcı kameralar, kromatografiler için ayırma sütunları, röntgen cihaz tüpleri için döner anod miller, sürekli lehim uçları, devre kontakları, geçiş parçaları [12].

VI. SONUÇ

Metallerin farklı özellikleri ve kimyasal kompozisyonları nedeniyle eritme kaynak usulleriyle birleştirme sağlanması oldukça güçtür. Bu güçlükleri gidermek amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda sürtünme kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Birleştirme esnasında erime gerçekleştirilmediği için malzemedeki sıcak çatlak riski görülmez. Bu da sürtünme kaynağının diğer yöntemlerden

üstün kılan özelliklerinden biridir. Özellikle birleştirmenin yeterli olmayacağı, birleştirmenin malzeme özelliklerini etkilemeden gerçekleştirilebilmesinin gerektiği bilinmelidir. Görüldüğü üzere bu yöntem bir çok malzemeye uygulanmakta ve bir çok endüstri alanında kendine yer bulmaktadır. Genelde sürtünme kaynağı ile birleştirme dairesel kesitli çubuklarda geniş uygulama alanı bulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz, M., "Farklı Takım Çeliklerinin Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1983
- [2] Ertuğ, A., "Sürtünme Kaynağı" Mühendis ve Makine Dergisi. C.; 21, Sayı;241, 1997
- [3] Gürleyik, M.Y., Mühendis ve Makine Dergisi, C.:16, S.; 241, 1997
- [4] Anık, S., "Kaynak Teknolojisi El Kitabı", İstanbul, 1983 β
- [5] Von Dipl.- Ing. Appel, H.G., Dip. – Ing.Böhle, P, und Prof. Dr. – Ing. Habil. Dr.+Ing h.c. Erdmann, F, "Metallografie und Festigkeitsverhalten von Reibschweißverbindungen an unterschiedlichen Werkstoffen" Materials, DVS pp: 1-17, Düsseldorf, 1968
- [6] Tensi, H.M., Welz, w. Und Schwlam, M., "Temperaturen beim Reibschweißen von Aluminiumwerkstoffen", München pp:515-517 58. Jahrg, 1982
- [7] Grunauer, H, Gürleyik, M.Y., "Döküm Parçaların Sürtünme Kaynağı", Mühendislik ve Makine Dergisi, C.;30, S.;357, 1989
- [8] Reiners, Geprge ve Kreye, Heinrich, "Mikrostruktur und Mechanische Eigenschaften von Reibschweißverbindungen aus Aluminium und Stahl" Schwei Ben und Schneiden Hamburg, 40 Helf 3, 1988
- [9] Mechsener, K., und Klock, H., "Reibschweißverbindungen an Unterschiedlichem Halbzeug aus Aluminiumwerkstoffen" Bonn, pp:59, Jahrg, 1983
- [10] Mechsener, K., und Klock, "Grenzflächengefüge von Reibschweißverbindungen aus Aluminium und stahl, Bonn, pp:59, Jahrg, 1983
- [11] Yashan, D., Tsang, S., Johns, w.l., and Doughty, M.W., "Inertia Friction Welding of 1100 Aluminium to type 316 Stainless Steel", Welding Journal, pp. 27-37, 1987
- [12] Karaman, M., "Sürtünme Kaynağı ve Uygulamaları", Sakarya Üniversitesi, 2001.