

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**MİLLERİN SÜRTÜNME KAYNAĞI İLE
BİRLEŞTİRİLMESİNDE
UÇFORMU- KAYNAK PARAMETRESİ
İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

MAKİNA MÜH. M.Levent Ziyal
F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usülleri Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI : Prof. Nurullah GÜLTEKİN

67856

İSTANBUL, 1997

İÇİNDEKİLER

ÖZET	IV
ABSTRACT	V
1. GİRİŞ	6
2. SÜRTÜNME KAYNAĞI YÖNTEMLERİ	8
2.1. Sürtünme Kaynağı Yöntemleri	8
2.1.1. Yöntemin Tanımlanması	8
3. SÜRTÜNME ENERJİSİ İLE YAPILAN BİRLEŞTİRMELERİN ESASI	13
3.1. Sürtünen Yüzeylerin Esası	13
3.1.1. Temas Eden Alanın Büyüklüğü	13
3.1.2. Temas Alanı Üzerinde Sürtünme Enerjinin Etkisi	16
3.1.3. Sürtünme Kuvvetinin Büyüklüğü	18
4. SÜRTÜNME KAYNAĞI PRENSİBİ	21
4.1. Sürtünme Kaynağının Çeşitleri	23
4.1.1. Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı	24
4.1.2. Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı	25
4.1.3. Kombine Edilmiş Hibrit Kaynağı	26
4.1.4. Sürtünme Kaynağının Diğer Yöntemleri	28
4.2. Sürtünme Kaynağına Uygunluk ve Malzeme Seçimi	28
4.2.1. Sürtünme Kaynağına Uygunluk İçin Şartları	30
4.2.2. Malzeme ve Malzeme Kombinasyonlarının Sürtünme Kaynağına Uygunluğu	30
4.3. Kaynak Parametreleri	31

4.4.	Malzemelerin Sürtünme Kaynak Kabiliyeti	32
5.	SÜRTÜNME KAYNAĞININ KAYNAK KARAKTERİSTİKLERİ	33
5.1.	Sürtünme Kaynağı İşlem Parametreleri	33
5.1.1.	Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı İçin Parametreler	33
5.1.2.	Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı İçin Parametreler	34
5.1.3.	Kombine Edilmiş Sürtünme Kaynağı İçin Parametreler	35
5.2.	Malzemenin Kaynak Karakteristikleri Üzerine Etkisi	37
6.	SÜRTÜNME KAYNAĞI BAĞLANTILARININ YAPILMASI	39
6.1.	Şartlar	39
6.1.1.	Kaynak Kontrol Personeli	39
6.1.2.	Operatorler	39
6.1.3.	İşletme Şartları	40
6.1.4.	Sürtünme Kaynağı Makinaları	40
6.2.	Metal ve Metal Alaşımlarının Metallurjik Açıdan Sürtünme Kaynağı Uygunluğu ve İlişkin Parametre Seçimi	41
6.3.	Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Dizaynı	57
6.3.1.	Kaynak Ağzının Hazırlanmasında Dikkat Edilecek Hususlar	69
6.3.2.	Kaynak Yüzeyinin Hazırlanmasında Dikkat Edilecek Hususlar	70
6.3.3.	Kaynak Yapılacak Parçanın Bağlanması	70
6.4.	Boy Fazlalılığı	71
7.	SÜRTÜNME KAYNAĞINDA MİL UÇ ÇAPININ YIĞMA PROSESİ KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ	71
8.	UÇ FORMUNDA VE YIĞMA BASINCINDAKİ ARTIŞIN KAYNAK PARAMETRELERİNE ETKİSİ	80

9. MODELSEL ÇALIŞMA	91
10. İRDELEME VE SONUÇ	110
KAYNAKÇA	115
ÖZGEÇMİŞ	119



ÖZET

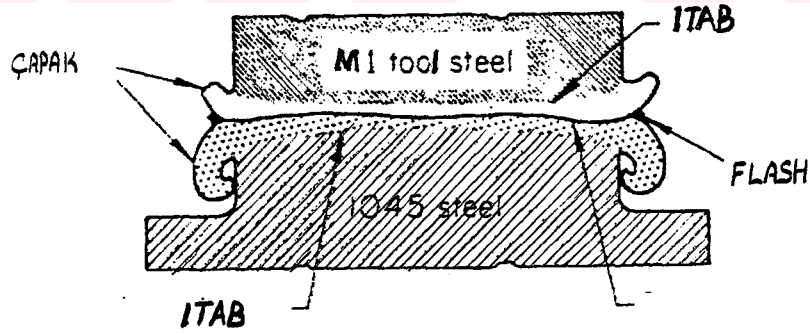
Sürtünme kaynağı elektriksel enerji veya diğer enerji kaynaklarından yararlanmaksızın, çalışma parçalarının ara yüzeylerinde mekanik olarak oluşturulan sürtünme yoluyla üretilen mekanik enerjinin ısı enerjisiye dönüştürülmesiyle elde edilen ısıdan, yararlanılarak yapılan bir katı hal tekniğidir. Sürtünme kaynağının kaynak kabiliyeti olarak bir çok demirli ve demir dışı metalin kaynağından söz edebiliriz. Birleştirilecek iki milin, farklı ısı ve mekanik özelliklere sahip olmaları durumunda, sürtünme kaynağı haricindeki yöntemlerin genelde; kaynak bölgesinin istenen uniform olmayan yapı göstermesi ve simetrik olmayan bir şekil değiştirmenin oluşması nedeniyle tercih edilmediği görülmüştür. Oysa ki sürtünme kaynağında, millerin uç formlarında yapılacak konstrüktif değişiklikler sayesinde ve kaynak parametrelerinin bunlara bağlı olarak ayarlanmasıyla, farklı ısı ve mekanik özellik gösteren millerin kaynağında simetrik olmayan oluşumların önüne geçerek, ideal kaynak mukavemetine ulaşabiliriz. Bu bağlamda, sürtünme yasalarını ve kaynak parametrelerini açıklayan literatür çalışmalarından sonra, uygun mil uç formu ve parametre ilişkisini tespit edebilmek amacıyla tez bünyesinde modelsel bir çalışma yapılmıştır. Modelsel çalışma itibarıyla, farklı erime noktalarında ve farklı ısı iletkenlikte, C45 karbon çeliği ve X12CrNi188 paslanmaz çeliklerinden yapıldığı düşünülen, 9 ayrı uç formunda model tasarlanmıştır. 9 ayrı uç formundaki modellerin eşit sürtünme zamanında, ve $n=1400$ d/dak, $n=800$ d/dak'lık devir sayılarında, ideal sürtünme için gerekli olan enerji miktarları ve ısı değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, her iki farklı özellikteki mil malzemesine ait eş değer mil çapları hesaplanarak, bu değerlere karşı gelen, sürtünme için verilmesi gerekli ısı miktarı ve enerji değerleri çıkartılmıştır. Hesaplanan bu değerler ışığında, uygun mil uç formundaki modeller belirlenerek, simetrik bir kaynak bağı oluşumu için bu modellerin bazıları tavsiye edilmiştir.

ABSTRACT

Friction welding is a solid - state process in which the heat for welding is produced by direct conversion of mechanical energy to thermal energy at the interface of the work pieces without the application of electrical energy or heat from other sources to the workpieces. As process capabilities of friction welding, we can say that many ferrous and non-ferrous alloys can be friction welded. Friction welding also can be used to join two bars made by metals of widely differing thermal and mechanical properties. Often combinations that can be friction welded cannot be joined by other welding processes because of dissimilar connection forms and the formation of brittle phases that would make such joints unserviceable. But, the submelting temperatures and short weld times of friction welding allow many combinations of work metals to be joined. However, by constructing the joining surfaces of shafts and adjusting the weld parameters, we are able to weld the bars made by metals of widely differing thermal and mechanical properties. Hence, in order to find proper joint surfaces of shafts, we've designed 9 shaft models in different cross section. The materials of the shafts are assumed to be made by C45-carbon steel and X12CrNi188 - stainless steel, metals of widely differing thermal and mechanical properties. In modelling working, we've calculated the value of friction and heating energy for two different rotational speed, $n_1=1400$ 1/sn, and $n_2= 800$ 1/sn. And also, we've calculated the radius of shafts in balanced with the values of heat and friction energy. Using those calculated values, we are able to design proper shafts models in order to help balance the forging between the two materials of significantly different strengths at welding temperatures.

I.GİRİŞ

Sürtünme ısısından yararlanılarak yapılan kaynak işlemi ile eş ve farklı malzemeleri kaynak etmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca sürtünme kaynağı farklı ısı ve mekanik özellikleri sahip metallerin kaynağında da kullanılır ki, bu malzemeler genellikle diğer kaynak yöntemleriyle kaynak edilemezler. Erime sıcaklığı altındaki sıcaklıklar ve kısa kaynak süresi sürtünme kaynağına bu olanağı vermektedir. Ancak, farklı malzemelerin birleştirilmesinde, gerekli konstruktif önlemler alınmaması durumunda, fiziksel özelliklerden meydana gelen zorluklar meydana gelmektedir. Örneğin, Cu ve Al birleştirilmesinde ısı iletkenlik ve biçim değiştirme kabiliyetlerinin farklılıkları kaynak bölgesinde simetrik olmayan oluşumlar ortaya çıkacaktır. Şekil 1.1'de, C100W1 takım çeliği ile C45 karbonlu çeliğinden yapılmış iki farklı malzemenin, sürtünme kaynağı ile yapılmış birleşiminin kesiti görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, yığılma çapakları, şekil değiştirme kabiliyeti fazla olan C45 alaşımsız karbon çeliğinin bölgesinde yoğunluk göstererek, simetrik olmayan şekil değiştirmeyi ifade etmektedir. /5,32/.



Şekil 1.1 - Farklı iki malzemenin birleşme bölgesinin kesiti

Şekil 1.1'de aynı türden veya birbirlerine metallurjik açıdan yakın iki malzeme kullanılsadı, metal yığılma miktarları her iki parça tarafında da eşit miktarda olacaktır. / 5,32/.

Farklı ısıl ve mekanik özelliklere sahip metallerin sürtünme kaynağının simetrik olmayan deformasyonlara yol açmasını önlemek amacıyla; parçaların uç formlarında yapılacak çeşitli konstruktif değişiklikler sayesinde yüksek bir kaynak mukavemetini sağlayabiliriz.

Malzeme etkisi esasen mukavemet, sıcak mukavemet, deformasyon kabiliyeti, ısı iletkenliği ile belirlenir. Kaynak parametreleri, kaynak yüzeyinin uç formunun değişmesi halinde aynı enerji dönüşümünü ve deformasyonu sağlamak üzere malzemeye uygun olmalıdır.

2. SÜRTÜNME KAYNAĞI YÖNTEMLERİ

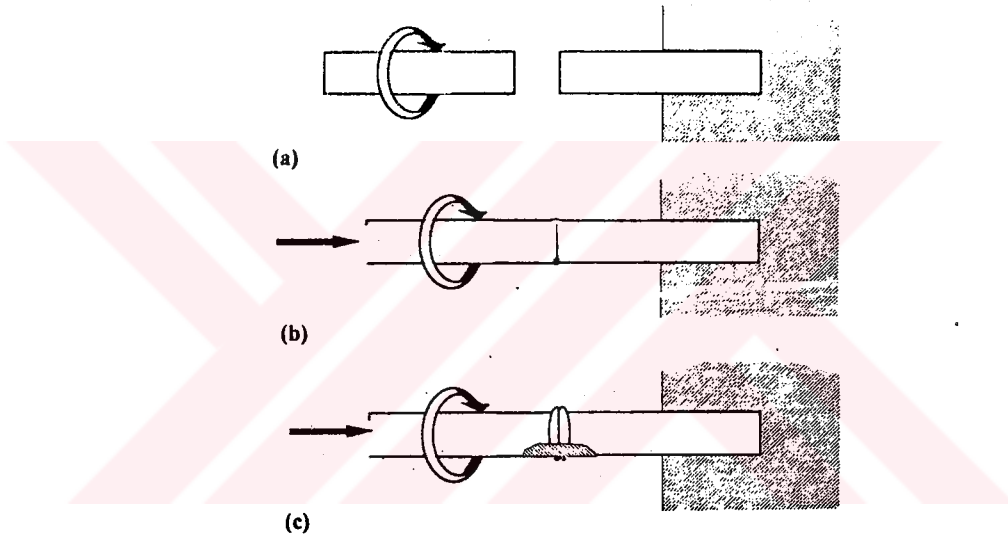
2.1 Sürtünme Kaynağı Yöntemleri

2.1.1 Yöntemin Tanımlanması

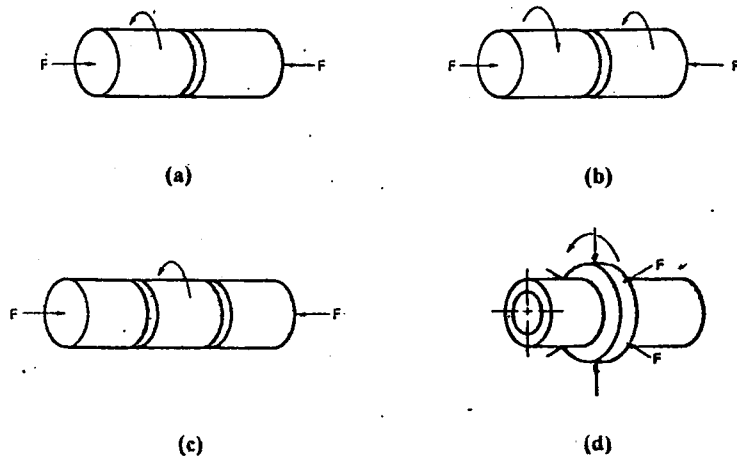
Sürtünme kaynağı elektriksel enerji veya diğer enerji kaynaklarından yararlanmaksızın, çalışma parçalarının ara yüzeylerinde mekanik olarak oluşturulan sürtünme yoluyla üretilen mekanik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen ısıdan yararlanılarak yapılan bir katı hal kaynak tekniğidir./2,3,5/.

Kaynak süresi boyunca sürtünen yüzeyler basınç altındadır ve ısıtma fazı ya da sürtünme fazı olarak adlandırılan bu süreç yüzeylerde plastik şekil verme sıcaklığı oluşuncaya kadar sürer. Çelikler için bağlantı bölgesinde oluşan sıcaklık 900°-1300° derece arasındadır. Çoğu durumda ısıtma fazı sonrasında basınç artırılarak ara yüzeydeki ısıtılmış metal yığılır. Böylelikle kaynak bölgesi bir tür termomekanik işleme tabi tutulmuş olur, ve dolayısıyla bu bölge iyi bir tane yapısı gösterir. Bundan dolayıdır ki diğer yöntemlerle kaynaklanmayan metaller ve metal alışımları rahatlıkla kaynatılabilir. Bilindiği gibi parçalar arasında bağ oluşabilmesi için çıplak yüzeylerin temas haline gelmesi gerekir. Sürtünme kaynağında bütün temassızlıklar sürtünme yolu ile giderildiği için bu temas çok iyi gerçekleşir. Normal şartlar altında sürtünen yüzeylerde bir erime olayı oluşmaz. Şayet çok küçük miktarda bir erime oluşmuşsa da kaynak sonrasında uygulanan yığma işleminden dolayı erimiş metale ait bir delil bulunmaz. (Şekil 1)'de sürtünme kaynağının yapılışı şematik olarak görülmektedir. Başlangıçta parçalardan biri dönerken diğeri sabittir (Şekil 2.1a). Dönem hızı belirli bir hıza eriştiğinde iki parça bir araya getirilip aksenal bir basınç uygulanır ve ara yüzeydeki parçalar bölgesel olarak ısınır (Şekil 2.1b). Dönme hareketi durdurulduğunda aksenal basınç artırılarak parçalara komple yığma uygulanır (Şekil 2.1c)/ 2,3,5,15,32/.

Sürtünme kaynağı uygulamalarının büyük çoğunluğunu dairesel kesitli çubukların ya da boruların kaynağı oluşturmaktadır. Bu tür uygulamalarda sürtünmeyi oluşturan temel hareket dönme hareketidir ve proses konvansiyonel sürtünme kaynağı olarak adlandırılır. Şekil 2.2'de alışlagelmiş sürtünme kaynağının sürtünme şekilleri görünmektedir. Şekil 2.2a en çok kullanılan ve en basit uygulama şeklidir. Şekil 2.2b'deki durum yüksek dönme hızlarının gerekli olduğu küçük çaplı numuneler için uygundur. Şekil 2.2c çok uzun iki parçanın birleştirilmesi için uygun bir yöntemdir. Şekil 2.2d ise boruların kaynağı için geliştirilmiş ve radyal kuvvet etkisi altında dönel bir bilezikten yararlanılarak yapılan kaynağı göstermektedir.

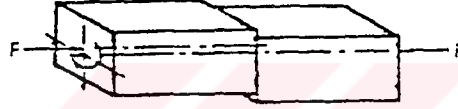


Şekil 2.1- Sürtünme kaynağı işlemi

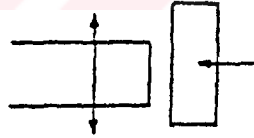


Şekil.2.2- Sürtünme kaynağının uygulama şekilleri.

Sürtünme kaynağında sürtünme için kullanılan dönme hareketi yanında yörüngesel hareket lineer titreşim hareketi ve açısal titreşim hareketi de uygulanabilir. Yörüngesel hareket silindirik olmayan parçaların kaynağı içindir. Bu uygulamada sabit duran parça üzerinde diğer parça bir köşesi dairesel bir yörünge çizecek şekilde hareket eder (Şekil 2.3). Lineer titreşim hareketinde parçalardan biri uygulanan basınç altında ileri geri titreşim hareketi yapar. Bu yöntem ilk defa Vill /32/ tarafından önerilmiştir (Şekil 2.4). Açısal titreşim hareketinde ise parçalardan biri uygulanan basınç altında belirli bir açıyı gören yay parçası yörüngesinde hareket eder.



Şekil.2.3- Yörüngesel hareketle sürtünme kaynağı.



Şekil.2.4- Lineer titreşim hareketi ile sürtünme kaynağı

Daha önce de belirtildiği gibi sürtünme kaynağı gerekli mekanik enerjiyi sağlayan kaynağa göre iki ayrı yöntemle uygulanabilir. Günümüzde bu iki yöntemin bileşimi olan kombine kaynak yöntemleri de gelişmiştir.

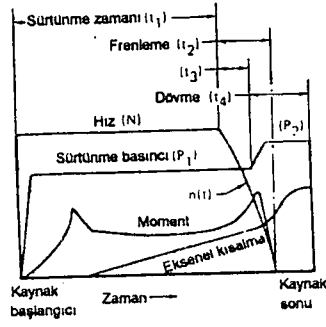
- a) Sürekli Tahrikle Sürtünme Kaynağı: Bu yöntem literatürde direkt sürtünme kaynağı olarak gerekmektedir. Şekil 2.5'te tipik bir sürtünme kaynağı prosesinin

esaları görülmektedir. Bu yöntemle parçalardan biri bir motor hareket ünitesine bağlıdır ve sabit bir hız altında döner. Bu sırada da sabit bir eksenel kuvvet uygulanır. Çalışma parçaları önceden belirlenen bir kaynak süresince veya belirlenen bir eksenel kısılma (yanma) oluşuncaya kadar sürtünür ve sonrasında frenlenerek durudurulur. Kaynak kuvveti yığılma amacıyla artırılır ve kaynak soğuyuncaya kadar tutulur.

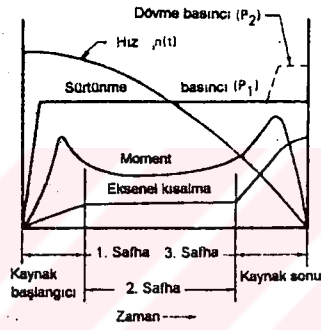
b) Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı: Bu yöntem literatürde atalet kaynağı olarak geçmektedir. Şekil 2.6'da tipik bir atalet kaynağı prosesinin şematik şekli ve esasları görülmektedir. Bu yöntemde parçalardan biri bir volana bağlıdır. Volan belirlenen hızla incelenmelidir. Böylelikle, mekanik enerji bir volanda depolanmış olur. Daha sonra iki parça temas ettirilir ve bir kaynak basıncı uygulanır. Parçalar bu basınç altında sürtünür ve volan enerjisi ara yüzeydeki sürtünmeye harcanır. Volanın hızı azalırken kaynak bölgesi ısınır. Volan tamamen durmadan bazı durumlarda basınç artırılır ve volan durduktan sonra da bir müddet etki ettirilir. Konu ile ilgili yapılan literatür taraması atalet kaynağının sürtünme kaynağına nazaran aşağıdaki avantajları sağladığı görülmüştür:

- Daha dar bir ITAB dolayısıyla daha kaliteli bir kaynak dikişi
- Daha seri bir üretim
- Daha düşük güç ihtiyacı
- Daha basit teçizat

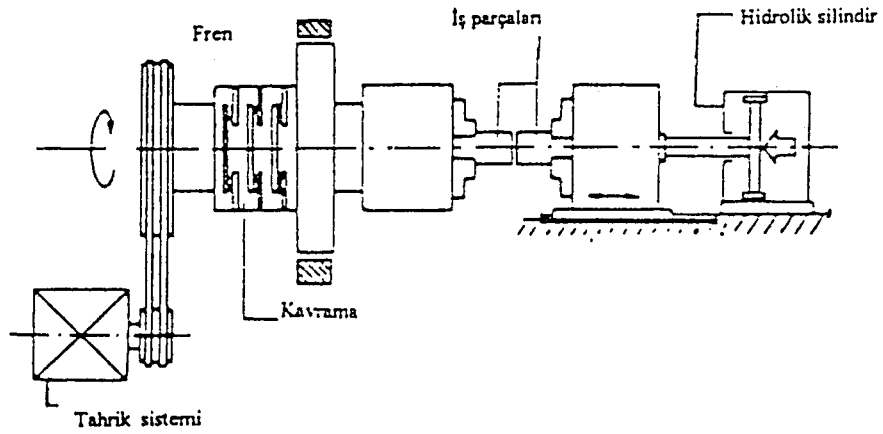
c) Kombine Kaynak Yöntemi: Bu yöntem literatürde volan kaynağıyla, sürekli tahrikli sürtünme kaynağının birleşimi olarak bilinir. Büyük kapasiteli parçaların birleştirilmesinde avantajlı olmaktadır.



Şekil 2.5- Sürtünme kaynağı esasları



Şekil 2.6- Atalet kaynağı esasları



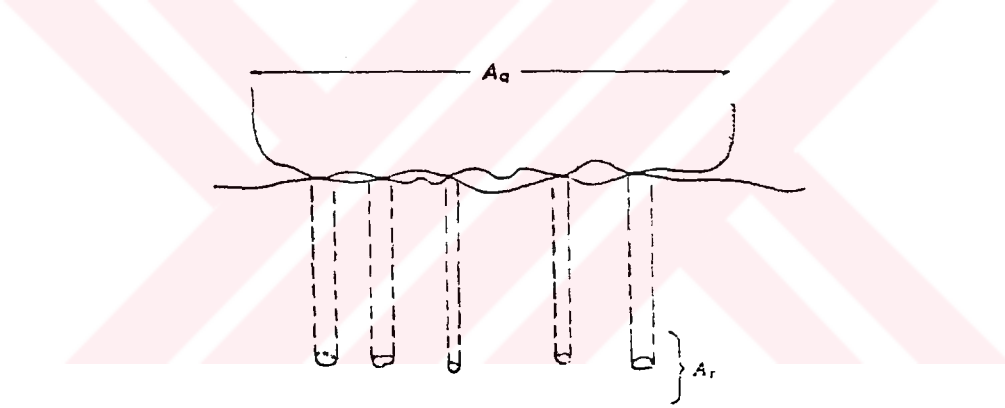
Şekil.2.7- Sürtünme kaynağı makinası

3.-SÜRTÜNME ENERJİSİ İLE YAPILAN BİRLEŞTİRMELERİN ESASI

3.1- Sürtünen Yüzeylerin Esası

İki katı malzemenin Şekil 1'deki gibi temasta olduğunu varsayarak yüzeylerdeki bazı bölgeler birbirine çok yakın bazıları ise uzak olacaktır. Karşılıklı etkileşim atomdan atoma temas eden bölgelerde oluşur. Bu bölgeler birleşme noktalarını birleşimlerin toplamı da gerçek temas alanını yani A_r 'i oluşturmaktadır.

Yüzeylerarası toplam olan gerçek temas alanını ve aynı zamanda temas yapılabilir gibi görünen bölgeler zahiri temas alanı (A_a) olarak ifade edilmektedir. Zahiri alandaki temasta olmayan bölgeler gerçek temas alanından daha büyük te olsalar etkileşim sağlanmasında önemli rol oynamazlar.

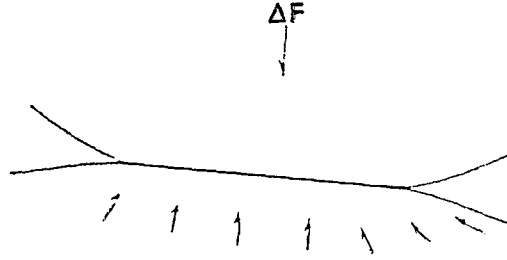


Şekil 3.1: Zahiri ve gerçek temas alanlarını gösteren yüzeyler arasının şematik görüntüsü

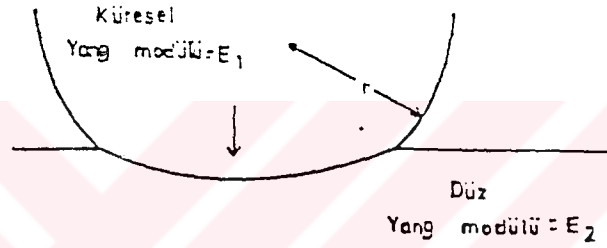
3.1.1 Temas Eden Alanın Büyüklüğü

Sürtünme etkileşim derecesi gerçek temas alanının büyüklüğüyle saptanır ve gerçek temas alanı hakkında mümkün olduğunca bilgiye ihtiyaç vardır. İlk olarak gerçek temas alanının büyüklüğünün bilinmesi gereklidir. Yüzeyler birbirine normal L kuvvetiyle bastırıldığında

ΔF 'nin ve zahiri alanın büyüklüğü her iki metalin yüzey pürüzlüğü ve birleşme şekli bilinmeden bir yorumda bulunmak imkansız görülebilir.



Şekil 3.2 Tek bir bileşimdeki kuvvetler



Şekil 3.3 Elastik bir temas

Minimum A_r 'i hesaplamak için normal pürüzlükteki temasta olan yüzeylerin tipik birleşmesi Şekil 3.2'de şematize edilmiştir ve gerçekten görüldüğü gibi ara yüzey üç eksenli sınırlama durumundadır. En büyük gerilim nüfuziyeti (P) olarak düşünülür.

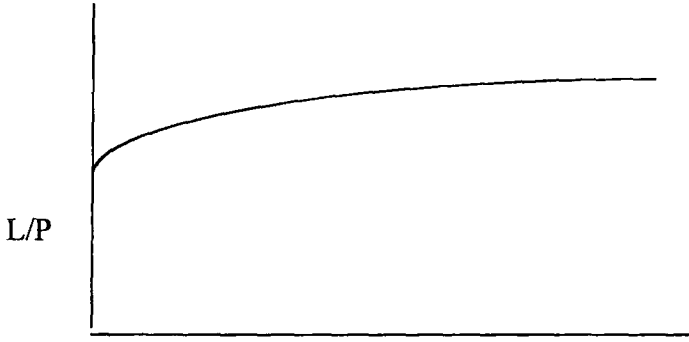
Burada gerçek temas alanı;

$$A_r \gg \frac{E}{P} \quad \text{ile bulunur.} \quad (3.1)$$

Bir çok durumlarda A_r 'nin eşit olduğu üzerine bir çok tartışma vardır. İlk önce, olasılık tartışması vardır. Kolaylıkla görülebilir ki bir çok yüzey teknik olarak kabarıklıklara, oyuklara sahiptir ve iki yüzey birbirine bastırıldığında geometri sertlik testinde üstün olana benzerdir. Buradan iki yüzey birbirine bastırıldığında önce üç nokta sonra da birçok

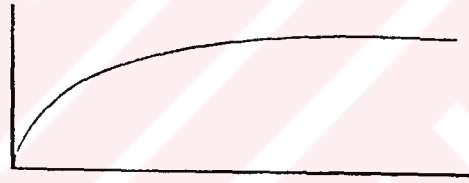
alandaki plastik deformasyonlu temas olur ve toplam gerçek temas alanı $A_r = L/P$ olana (3.2) kadar devam eder. Bu aşamada deformasyon oluşur.

Gerçek Temas Alanı



Kayma Mesafesi

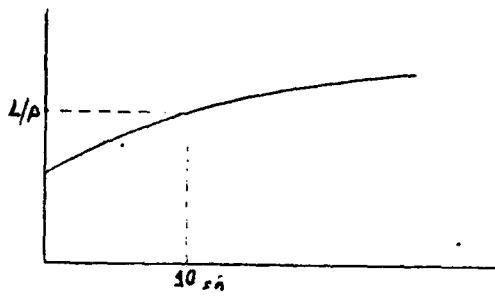
Kesme kuvveti



Kayma mesafesi

Şekil 3.4 A_r 'in Kayma Mesafesi ile Kesme Mukavemetinin Değişmesi

Gerçek temas alanı



ZAMAN

Şekil 3.5: Akan, sünen malzemeler için yükün zamana göre uygulanması durumunda A_r 'in değişimi

3.1.2 Temas Alanı Üzerinde Sürtünme Enerjisinin Tesiri

Gerçek temas alanının büyüklüğünü saptanan faktörlerde alındığında hacim özellikleri, elastisite, plastiklik, sünme ve kayma etkileri yanısıra yüzey özellikleri de önemli yer tutar.

Sert ve konik bir baskı aletine sahip olduğumuzu ve bunu ΔL yüküyle P sertliğindeki yumuşak bir malzemeye bastırduğumuzu farz edelim. O zaman ezilme esnasındaki enerjiyi yumuşak malzemedeki hacim deformasyonunun sonucu hesaplayabiliriz.

Burada pozisyon dengesini saptamak için minimum enerji prensibini kullanabiliriz. Eğer koni x mesafesine kadar nüfuz ederse yük ΔLx miktarda enerji üretir. Malzeme

$$\int_0^x \pi r^2 p \, dx \text{ miktarda enerji kullanılır}$$

Yüzey:

$$\pi \cdot r^2 \cdot a \cdot b \quad (3.3)$$

miktarda enerji kullanır. Bundan tüm enerji kazanımı E_g 'yi hesaplamak istersek,

$$E = \Delta L \cdot x - \int_0^x \pi \cdot r^2 \cdot p \cdot dx + W_{ab} \cdot \pi \cdot r^2 \quad (3.4)$$

$r = x \cdot \cot \theta$ konursa,

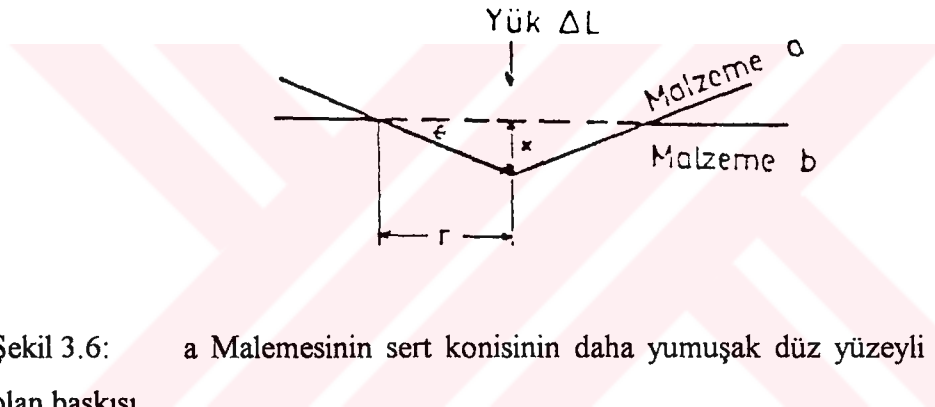
$$\frac{dE_g}{dx} = \Delta L - \pi \cdot r^2 \cdot p + 2\pi r \cdot W_{ab} \cdot \cot \theta \quad (3.5)$$

Denge için;

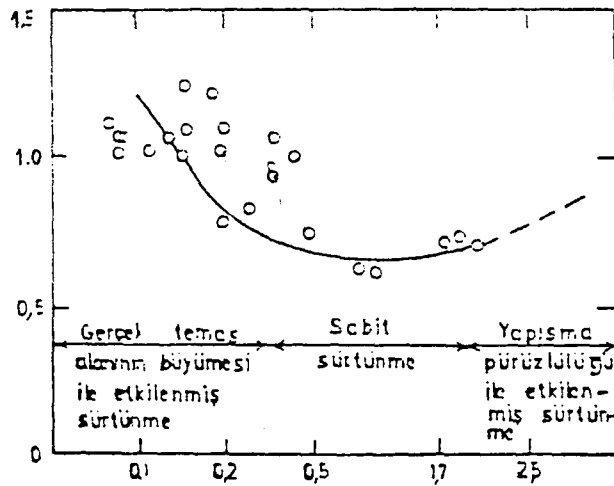
$$\frac{dE_g}{dx} = 0 \text{ dır.}$$

$$\Delta L = \pi r 2p + 2 \pi r Wab \cdot \cot \theta \quad (3.6)$$

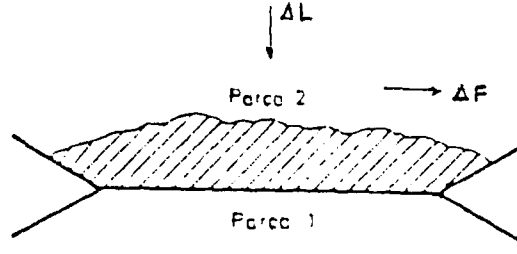
Eğer yüzey enerji şartını ihmal edersek ($Wab=0$ kabul edilirse) (3.6) denklemi (3.2)'ye eşittir. Yüzey enerji olduğunda ΔL (3.2)'de gösterilenden büyük olacaktır. Bu etki özellikle yüzey enerjisi Wab büyük olduğunda veya yüzey pürüzlüğü çok küçük olduğunda belirgindir.



Şekil 3.6: a Malzemesinin sert konisinin daha yumuşak düz yüzeyli b malzemesine olan baskısı



Şekil 3.7: Pürüzlüğe karşı sürtünme çizgisi



Şekil 3.8. Birleşmenin kesme mukavemeti malzmeden büyükse kopyasının 2 no'lu parçada meydana gelmesi hali.

3.1.3 Sürtünme Kuvvetinin Büyüklüğü

Bu bölümde (3.2) denklemini iki malzemede beraberce pres edildiğinde mevcut olan gerçek kontakt alanı içine çıkarılmıştır. Bu hesaplandığında yüzeylerin birbirine L yükü ile bastırıldığı ve kaymanın F sürtünme kuvvetiyle ortaya çıktığı göz önüne alınarak gerçekleştirilbilir. Eğer kayma olduğunda gerçek temas alanı üzerindeki ortalama kesme kuvveti $\gamma \cdot \Delta V$ değerine sahip olduğunu varsayarsak toplam sürtünme kuvveti (F) için bir denklem yazılabilir.

$$F = \gamma \cdot A_v \cdot A_r \quad (3.7)$$

Burada sürtünme katsayısı:

$$F_k = F = \frac{\gamma \cdot A_v \cdot A_r}{L \cdot P \cdot A_r} = \frac{A_v}{P} \quad (3.8)$$

Limit analizi kullanarak makaslama mukavemetinin γ y'i önemli derecede geçmediği çıkartılabilir. " γ " değerini, burda yumuşak malzeme sınıfını "S" olarak gösterecek şekilde değiştiriyoruz. Bu durumda, birleşme yumuşak metalde kesme kuvveti uygulandığı an kesilecektir. Bu sert malzeme yüzeyine zayıf malzemenin bir partikülünün yumuşamasına sebep olur (şekil 3.8).

Gerçek temas alanı L/P değerinden daha büyük olmaya eğilimlidir. A_r 'nin gerçek değerinden 2-3 kez büyük lduğundan dolayı kesme mukavemeti önemli bir değere sahiptir ve sürtünme katsayısı $1/6$ teorik değerinden büyüktür. A_r 'deki artış nedeniyle çok temiz yüzeylerde yüksek sürtünme katsayısı gözlenmiştir. Eğer (1.6) denkleminde kesme mukavemetini dairesel bir birleşimde birleştirecek;

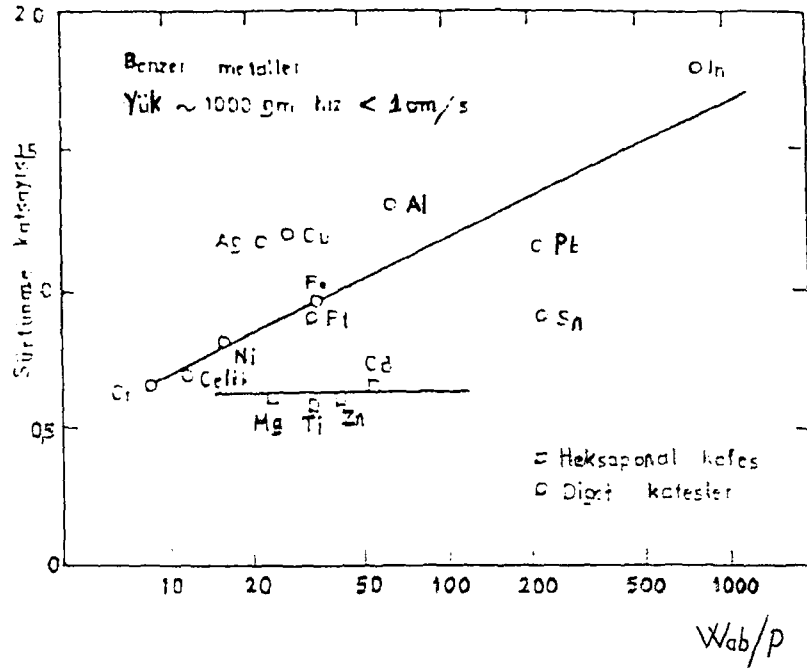
$$\Delta F = \pi \cdot s \cdot r^2 \quad (3.9)$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \frac{S}{P} = \frac{1}{1-2Wab \cdot \cotg \theta / r_p} \quad (3.10)$$

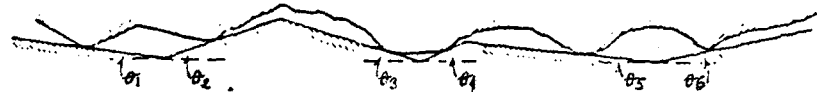
bulunur.

(3.10) denklemini, " θ " ortalama yüzey pürüzlüğü açısı ve " r "yi ortalama birleşme radyüsü olarak kabul edersek sürtünme katsayısıyla ilgili hale getirmiş oluruz.

Yapışma yüzey enerjisinin (Wab), sertliğe (P) oranı, yüzey pürüzlük açısı θ küçük olduğunda sürtünme katsayısının yüksek olduğu görülür (Şekil 3.9, şekil 3.10).



Şekil 3.9 - Temiz metaller için sürtünme katsayısı hegzagonal kafesli metaller dışında sürtünme katsayısı ve Wab/P oranı beraberce artar.



Şekil.3.10 -Sürtünen iki pürüzlü yüzeyin şematik gösterilişi.

4. SÜRTÜNME KAYNAĞI PRENSİPLERİ

Sürtünme kaynağı, katı fazda iş parçalarının birbirine sürtünmesi sonucu dışarı ısı etkisiyle yapılmaktadır. Sürtünme kaynağı, bir parçanın döndürülüp diğerinin ötelenmesiyle ya da iki parçanın dönen ya da sabit duran bir ara parçasının kullanımıyla gerçekleştirilir. Ayrıca, sürtünme hareketi olarak dönme hareketi yerine vibrasyon veya dönme vibrasyonu hareketleri de yaptırılabilir./2,3,5,6,32/.

Sürtünme kaynağının genellikle dönel kesitli malzemelere uygulanmasına karşın son zamanlarda dönel kesitli olmayan parçaların birleştirilmesi, yüzey kaplama kaynağı yapılması ve ayrıca ilave malzeme kullanarak da kaynak yapabilmek için yöntemlerde geliştirilmiştir./7/

Parçaların temas yüzeyleri arasında genellikle parçalardan en az birinin döndürülmesi sonucu etkin bir basınç altında oluşan göreceli hareketler den ötürü parçaların alın yüzeylerinde ısınma başlar ve malzeme yumuşar. Göreceli hareketin durdurulmasından sonra basınç yükseltilir ve plastik hale gelen malzemede radyal doğrultuda bir fişırma çapağı oluşur ve doğal olarak da birleştirilen parçalar aksel yönde kısılır. Kaynak esnasında uygulanan bu ikinci basınca yığma basıncı denir./5,7/.

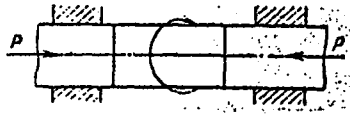
Göreceli hareketler sonrasındaki durdurma pozisyonunda ara yüzdeki sıcaklık radyasyon ve konveksiyon yoluyla oluşan ısı kayıplarından dolayı düşmeye başlar. Bu nedenle durdurma zamanı mümkün olduğu kadar kısa tutularak yığma basıncı uygulanmalı ve parçalar soğumadan kaynak bağı oluşturulmalıdır. Bu olay özellikle küçük kaynak alanında hızlı ısı transferi nedeniyle çok önemlidir.

Sürtünme kaynağının uygulanabilirliği yalnızca iş parçalarının biçimi ve boyutlarıyla sınırlandırılmıştır. Döndürme kaynağında ancak bir iş parçasının bir çubuk, kolon veya tüp) akselinin dönüş akseni ile çalışması ve diğer iş parçasının düz bir yüzeye sahip

olması halinde tatmin edici sonuçlar elde edilir. Sürtünme kaynağının uygulanabilirliğini sınırlayan başka bir faktör de bağlantı noktasında iş parçalarının sahip olduğu kesit alanlarıdır.

Hesaplamalar bu sürecin 200mm'den daha büyük çaplı çubuk ve kolonlara uygulanamayacağını gözlenmiştir. Kesit alanları 30,000mm² 'den büyük parçaları kaynatmak için kaynak makinasının dakikada 100-150 devir yapabilecek 500 KW güçte bir motor ve 300 tonu aşkın bir eksenel kuvvet uygulayacak güçte bir mekanizma ile donatılması gerekmektedir. Böyle bir makinanın imal ve bakım maliyetleri yapılmasını engelleyecek kadar yüksektir. Sürtünme kaynağının alt sınırı ise 6 mm'den küçük çaplı iş malzemelerini kapsar. Sürtünme kaynağında avantajlı kaynak için yeterli kesit alan 30-8,000 mm² arasındaki değerlerdir./ 15,21/.

Döndürmekte ve kaynak sonunda durdurmakta zorluk çıkarılabilecek büyük parçaların kaynağında bu iki büyük parçayı sabit tutarak aralarına konulacak üçüncü bir parçanın döndürülmesi yoluna gidilir (Şekil 4.1). Ayrıca büyük çaplı parçalarda küresel ve kesik koni şeklinde bir ağızla sürtünmeye yardımcı olunabilir./2,15/.



Şekil 4.1- İki sabit parça arasına konan bir hareketli parça vasıtasıyla sürtünme kaynağı.



Şekil 4.2- Titreşimli sürtünme kaynağı

Şekil (4.2)'de parçalardan birinin sürtünme düzleminde küçük genlikte ileri geri hareket ettiği sürtünme kaynak tekniği görülmektedir. Bu teknik iş parçasının kesit alanındaki biçimini önemsiz kılmakta ve kaynak yapılmasını olası kılmaktadır. Sürtünme kaynağının hızı kaynak bağlantısının dayanımı ve ekipmanın performansı süreç esnasındaki temel şartlara bağlıdır. Araştırmalar sürtünme kaynağında maksimum sıcaklığın sürtünme yüzeyinin çevresinde açığa çıktığını halbuki bu esnada dönem ekseninde ısı üretiminin sıfır olduğunu göstermiştir./2,6,29,32/.

Sürtünme kaynağında kapatılmış metalin fiziksel özellikleri üzerinde yapılan araştırmalar uygun seçilmiş kaynak koşulları altında metalde süreksizlik, kalınlıklar, lunke veya diğer makroskopik hataların bulunmadığını göstermiştir. Statik yük altında yapılan çekme deneylerinde numuneler genellikle kaynak bağlantısının uzağında ve tane değişiklikleri alanının dışında, kopma göstermiştir. Kaynak bölgenin darbe dayanımı ana metalde yakın değerdedir. Sürtünme kaynağı ile gerçekleştirilmiş bağlantıların bu üstün mekanik özellikleri bağlantı yapıldığı şartlardan kaynaklanmaktadır. Sürtünme kaynağında metal parçalar birleştirilerek yüzeylerdeki lokal alanda aniden ortaya yüksek sıcaklığı takiben büyük miktarda plastik deformasyona uğratarak yüzeylerdeki ince oksit tabakaları ve artık maddeler dışarı sürülür ve kaynak alanı bu süreç esnasında atmosferik azot ve oksijen etkileşmesinden korunur./13/.

Sürtünme kaynağı ile birleştirilecek malzemelerde verilecek boy fazlalığı malzemeye ve kaynak karakteristiklerine kuvvetle bağlıdır. En önemli kaynak karakteristiği sürtünme kuvveti, yığılma kuvveti, sürtünme süresi ve devir sayısıdır. Bu değerler malzemede kaynak için yeterli sıcaklığı sağlayacak deformasyona imkan verecek şekilde seçilmelidir.

4.1 Sürtünme Kaynağının Çeşitleri

Genel olarak sürtünme kaynağının çeşitlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı
2. Volan tahrikli sürtünme kaynağı

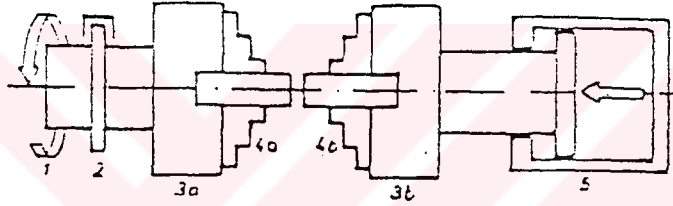
3. Kombine edilmiş (hibrit) kaynağı
4. Diğer yöntemler

4.1.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Rotasyon (dönme) enerjisi sürekli bir tahrik grubuyla sağlanır, bir frenleme ile sona erer.

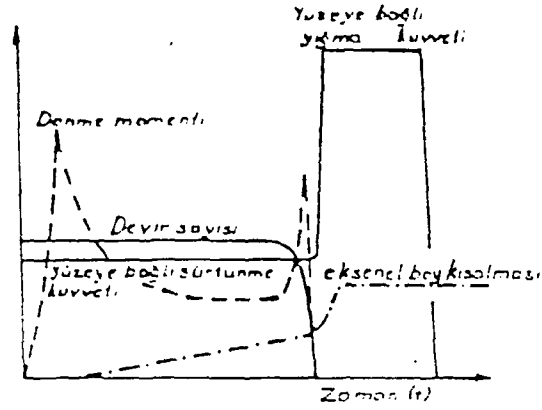
Temel kaynak parametreleri

- Devir sayısı
- Yüzeğe bağılı sürtünme kuvveti ve sürtünme süresi/ sürtünme mesafesi
- Yüzeğe bağılı yığılma kuvveti ve yığılma süresi/ yığılma mesafesi



Şekil 4.3 a Sürekli tahrikli sürütünme kaynağının şematik gösterilişi

1. Tahrik Motoru
2. Fren
- 3a. Dönen iş parçasının bağlandığı ayna
- 3.b Sabit iş parçasının bağlandığı ayna
- 4a. Dönen iş parçası
- 4b. Sabit iş parçası
5. Yığılma silindiri



Şekil 4.3 b Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri

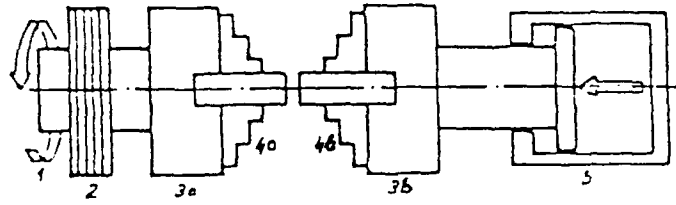
4.1.2 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı

Dönen bir volanda toplanmış rotasyon enerjisi, sürtünme kaynağında, işlemin kendi kendine frenlemesiyle parçaya iletilir. Temel kaynak parametreleri ;

Kaynak işleminin başındaki devir sayısı

Volanın kütlesi

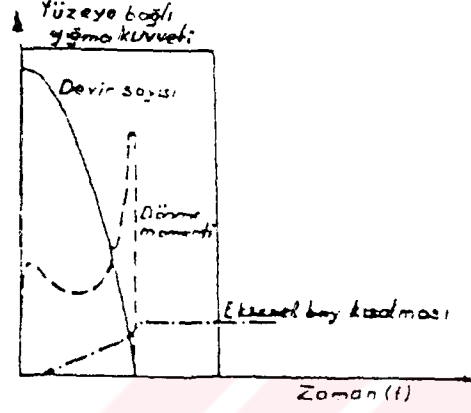
Yığılma basıncı (kademeli program mümkündür) ve yığılma süresi



Şekil 4.4.a : Volan tahrikli sürtünme kaynağının şematik gösterilişi

1. Tahrik motoru
2. Değiştirilebilir volan
- 3 a. Dönen iş parçasının bağlandığı ayna

- 3 b. Sabit iş parçasının bağlandığı ayna
- 4 a. Dönen iş parçası
- 4b. Sabit iş parçası
- 5. Yığılma silindiri

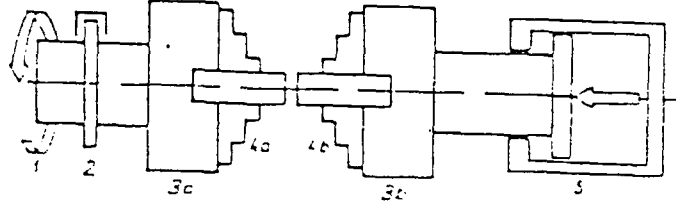


Şekil 4.4.b : Volan tahrikli sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri

4.1.3 - Kombine Edilmiş Hibrit Sürtünme Kaynağı

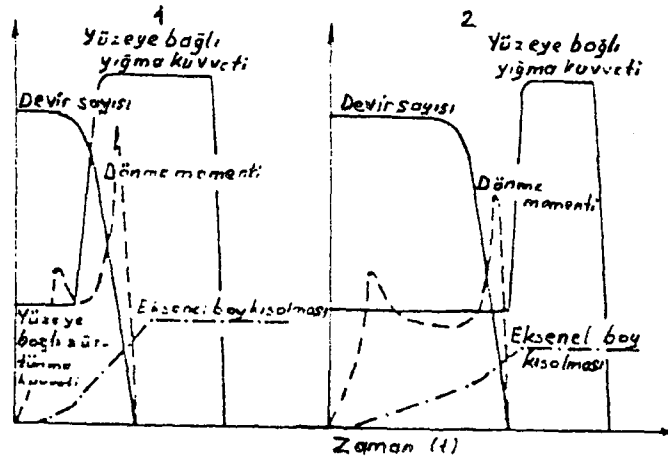
Bu yöntem sürekli kaynağı ile volan tahrikli sürtünme kaynağı yöntemlerinin kombinasyonundan oluşur. Yöntemin temel kaynak parametreleri :

1. Devir sayısı
2. Yüzeğe bağlı sürtünme kuvveti ve sürtünme süresi/sürtünme mesafesi
3. Frenlemeye başlama anı
4. Yığılmaya başlama anı
5. Yüzeğe bağlı yığılma kuvveti, ve yığılma süresi



Şekil 4.5.a : Kombine edilmiş sürtünme kaynağının şematik gösterilişi

1. Tahrik motoru
2. Fren
- 3a. Dönen iş parçasının bağlandığı ayna
- 3b. Sabit iş parçasının bağlandığı ayna
- 4a. Dönen iş parçası
- 4b. Sabit iş parçası
5. Yığma silindiri



Şekil 4.5.b : Kombine edilmiş sürtünme kaynağında zamana bağlı işlem büyüklükleri

1. Dönen iş parçasındaki yığma
2. Frenlenmiş iş parçasındaki yığma

4.1.4 Sürtünme Kaynağının Diğer Yöntemleri

Bilgisayarla kumanda edilen sürtünme kaynağı, radyal sürtünme kaynağı, yörüngesel (orbital) sürtünme kaynağı, titreşimli (osilasyonlu) sürtünme kaynağı yöntemleri henüz laboratuvar çalışması safhasındadır./14/.

Sürtünme kaynağı makinaları tam mekanize makinalardır ve yükleme (bağlama) tertibatları, boşaltma tertibatları, çapağın giderilmesi için sıyırma tertibat ile atomize edilebilir. Farklı malzemelerden makina parçalarının birleşmesinde uygulanır. Bir çok hallerde bu yöntem küçük parça sayılarında da ekonomik olabilmektedir. Özellikle diğer yöntemlerle kaynak yapılamayan ve kötü kaynak edilen malzeme kombinasyonları söz konusu ise bu yöntem uygulanır. /14,34/.

Halen mevcut olan sürtünme kaynağı makinalarıyla 0.6-200 mm çaplı makina parçaları kaynak yapılabilir. Günümüzde çelik borular için max. çap 900mm et kalınlığında S=10mm'dir.

4.2 Sürtünme Kaynağına Uygunluk ve Malzeme Seçimi

Malzeme karakteristikleri hakkındaki bilgiler, metalik malzemenin ve malzeme kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygun olup olmadığı için kesin değildir. Metalik malzemenin veya kombinasyonların sürtünme kaynağına uygunluğuna hakkındaki deneysel değerler pratikten ve deneylerden ortaya çıkmaktadır. (Tablo 4.1).

4.2.1 Sürtünme Kaynağına Uygunluk İçin Şartlar

Malzemenin Mukavemeti:

Malzemenin mukavemeti, sürtünme kaynağı sırasında aksenal basınç ve dönme momentleri aşırı bir deformasyonun oluşumunu önleyecek kadar yüksek olmalıdır.

Sıcak Şekil Değiştirme Yeteneği:

Birleştirilecek parçaların malzemeler eğer bağlantıların yeterli kalitede olmaları gerekiyorsa yeterli düzeyde sıcak şekil değiştirebilir olmalıdır.

4.2.2 Malzeme ve Malzeme Kombinasyonlarının Sürtünme Kaynağına Uygunluğu:

Tablo 4.1, malzeme ve malzeme kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygunluğu hakkında veriler:

- Sürtünme Kaynağına uygun
- Sürtünme kaynağı şartlarına uygun
- Sürtünme kaynağına uygun değil, şeklinde sınırlandırılmıştır.

Düzenleme şimdiki duruma göre yapılan deneylerde kazanılmış tecrübelerle dayanmaktadır.

Aşağıdaki hata veya nedenleri çeşitli malzemeler için sürtünme kaynağına uygunluğun sınırlanmasına yol açar.

- Metalik olmayan impuritelere (yabancı maddelerin) miktar ve dağılım, örneğin gazı alınmamış çeliklerde veya otomat çeliklerde
- Düşük sıcaklıkta eriyen fazların veya metodlar arası fazların meydana gelmesi

- Oksijene karşı büyük ilgi (koruyucu gaz atmosferinde kaynak)
- Diğer metallerde (ör- Ta, Nb) gazlara karşı büyük ilgi (Gevrekleşme etkisi)
- Su verilmiş veya suyu alınmış malzemelerde mukavemet düşmesi
- Özellikle yüksek karbonlu çeliklerde sertleşme (sonradan bir ısıtma işlemiyle giderilebilir)

4.3. Kaynak Parametreleri

Sürtünme kaynağı kontrolü gereken oldukça fazla sayıda parametre içermektedir. Bu yöntemle ilgili değişkenler çevre hızı, sürtünme basıncı, yığma basıncı, sürtünme süresi, frenleme süresi, yığma geciktirmesi süresi ve yığma süresidir. Bunun dışında numune geometrisi ve numunenin yapıldığı malzemedeki kaynaklanan diğer parametreler de söz konusudur. Ancak yapılan çalışmalar yöntem üzerinde en etkili olan ve optimizasyonu gereken parametrelerin dönem hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığma basıncı ve yığma süresi olduğunu göstermiştir. Konu ile ilgili temel eserler incelendiğinde kaynak parametreleri ile ilgili şu genel sonuçlar çıkarılabilir; /5,6,22,25,32/

- Çevre hızı özellikle ITAB'ın genişliğinde etkilidir. Çelikler için çevresel hız 1.2-1.8m/s arasında önerilmektedir. 1.2 m/S'nin altındaki hızlar çok yüksek momentler, dolayısıyla üniform olmayan bir yığma üretir. Bununla birlikte, farklı metal bağlantıları için düşük hızlar, gevrek bir intermetalik bileşiğin formlanması minimize edilebilir. Yüksek hızların kullanılması durumunda ise kaynak bölgesindeki aşırı ısınmayı önlemek için sürtünme basıncı ve sürtünme süresi çok dikkatli kontrol edilmelidir. /32/.
- Sürtünme basıncı ve yığma basıncı numune geometrisi ve yapıldığı malzemeye bağlıdır. Değişimi dar bir aralıkta değildir. Basınç değişkeni kaynak bölgesindeki sıcaklık derecesi ve aksel kılma miktarı ile kontrol edilebilir. Sürtünme basıncı, temas eden yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek, yüzeylerin atmosfer ile ilişkisini kesebilecek ve ara yüzeylerde üniform bir ısıtma sağlayabilecek

düzeyde olmalıdır. Sürtünme periyodu sonrasında özellikle çelikler için bir yığma basıncının uygulanması bağlantı kalitesini artırır. Yığma basıncı malzemenin sıcak akma sınırına bağlıdır; aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar yüksek ve elverişsiz sıcak şekillendirmeye dolayısıyla, yetersiz kaynaklanmaya sebep olacak kadar düşük olmamalıdır. Farklı malzemelerin kaynağında ise daha düşük mukavemetli malzeme esas alınarak yığma basıncı elde edilir. Genel anlamda yumuşak çelikler için sürtünme basıncı 30-65mpa, yığma basıncı 70-210 Mpa, yığma basıncı 100-420 Mpa arasındadır./6,25/.

- Sürtünme ve yığma süreleri malzemeye bağlıdır. Sürtünme süresi, sürtünen yüzeylerdeki olası mümkün kalıntı ve pislikleri temizleyebilecek ve gerekli plastisite için üniform bir kaynak bölgesi sıcaklığına ulaşmayı sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Tatminkar bir kaynak bağlantısı için belirli minimum bir ısıtma süresi değeri aşılmalıdır. Elverişsiz bir ısıtma bağlantıda yetersiz plastisiteye, yetersiz kaynaklanmaya sebep olacaktır. Buna karşın aşırı süre aşırı derinlikte bir ısıtmaya ve malzeme sarfiyatına neden olacaktır.

4.4 Malzemelerin Sürtünme Kaynak Kabiliyeti

Bir çok demirli ve demir dışı metaller sürtünme ile kaynaklanabilir. Ayrıca sürtünme kaynağı farklı termik ve mekanik özelliklere sahip metallerin kaynağında da kullanılır ki bu malzemeler ekseriya diğer kaynak yöntemleriyle kaynaklanamaz. Erime sıcaklığı altındaki sıcaklıklar ve kısa kaynak süresi sürtünme kaynağına bu imkanı vermektedir. Farklı termik ve mekanik özelliklere sahip metallerin sürtünme kaynağı simetrik olmayan deformasyon miktarlarına yol açar. Yüksek bir kaynak mukavemeti ise relatif olarak simetrik plastik deformasyon veren farklı malzemelerin kaynağında elde edilebilir. Bu durumu sağlayabilmek için Vill, kaynağı oluşturan parçalardan daha sünek olanının çapının %15-%25 oranında daha büyük yapılmasını önermiştir. /5,32/.

5. SÜRTÜNME KAYNAĞININ KAYNAK KARAKTERİSTİKLERİ

Kaynak karakteristikleri, sürtünme kaynağı yöntemine, malzemeye ve kaynak yapılacak parçanın boyutlarına bağlıdır.

5.1 Sürtünme Kaynağı İşlem Parametreleri

Sürtünme kaynağı kontrolü gereken oldukça fazla parametre içermektedir. Bu yöntemle ilgili değişimler dönem hızı, sürtünme süresi, frenleme süresi, yığma geciktirmesi süresi ve yığma süresidir. Bunun dışında numune geometrisi ve numunenin yapıldığı malzemeden kaynaklanan diğer parametreler de söz konusudur.

5.1.1 Sürekli Tahrikli Sürtünme Kaynağı için Parametreler

Esas olarak sürtünme değerini ve genişliğini devir sayısı belirler. Devir sayısı bir çok uygulama alanlarında sürtünen kaynağı bağlantısının önemli ölçüde etkilemez. Devir sayısı aynı malzeme veya malzeme kombinasyonları için farklı dış çaplar söz konusu olursa, aynı çevre hızı sağlayacak şekilde seçilmelidir. /2/.

Yüzeye bağlı sürtünme kuvveti ($N/mm^2;FR$) ısınma ve sürtünme periyodunda şekil değişimini belirler. Artan sürtünme kuvvetleriyle gerekli deformasyon ise daha kısa sürede sağlanır.

Yüzeye bağlı sürtünme kuvveti ($N/mm^2; Fs$), kaynağı ve kaynak bağlantısının mukavemetine tesir eder. Yığılma kuvveti malzemenin akma sınırı/ sıcak akma sınırına bağlı olarak belirlenir. Malzeme kombinasyonlarında ise daha düşük mukavemetli malzeme parametreyi belirler.

Sürtünme süresi ($s_n;t$) esasen malzemeye kaynak ağzının hazırlanmasına ve kaynak yapılacak parçalardaki gerekli sıcaklık dağılımına bağlıdır. Sürtünme süresi yeterli deformasyonu sağlayabilmelidir.

Küçük boy toleranslarında zaman kontrolü yerine mesafe kontrolü, genellikle yığılma süresi değiştirilmeden kullanılmalıdır. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağının önerilen değerleri Tablo 5.1’de yer almıştır. Söz konusu edilen yüzeye bağlı kuvvetlerin sürtünme süresinin ve çevre hızlarının ($m/s_n; V_o$) geniş toleransları kaynak yapılacak parçanın kesitine bağlıdır. Malzeme kombinasyonlarında kaynak karakteristikleri sıcak mukavemeti daha düşük malzeme tarafından belirlenir./2,5,32/.

5.1.2 Volan Tahrikli Sürtünme Kaynağı için Parametreler

Makina imalatçıları tarafından kaynak ağzının boyut ve şekli ve çeşitli malzeme veya malzeme grupları için aşağıda sabit ve değişken faktörler verilmiştir.

Sabit faktörler:

- a) Kesit enerji faktörü (QEF-KEF)
- b) Kesit basınç faktörü (QDF-KBF)
- c) Geometri enerji faktörü (GEF-GEF)
- d) Geometri basınç faktörü (GDF-GBF)

Değişken faktörler:

- a) Malzeme enerji faktörü (MEF-MEF)
- b) Malzeme basınç faktörü (MDF-MBF)
- c) Çevre hızı (V_o) /2/

(Alman Kaynak Tekniği Birliği, Kaynak Enerjisi ve Yığılma Kuvveti)

Bu değerler, kaynak enerjisinin (j/mm^2 ; E) ve yüzeye bağlı sürtünme ve yığılma kuvvetinin (N/mm^2 ; F) n hesabında kullanılır. Daha sonra hesaplanan değerler kaynak parametreleri olan volan atalet momenti ($kg.m^2$; J) başlangıç devir sayısı (s^{-1} ; n_0) ve yüzeye bağlı sürtünme ve yığılma kuvvetine (N/mm^2 ; P) dönüştürülür ve ilk kaynaktaki optimizasyon amacıyla kullanılır. Esasen malzemenin sürtünme deformasyon ve teknik davranışlarından dolayı hesaplanan kaynak parametrelerinin değişken faktörler olan MEF, MBF ve V_0 'ın tassisıyla değiştirilmesi gerekir.

Optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi malzeme veya malzeme kombinasyonlarına kaynak yüzeyinin boyutlarına ve bağlantının gerekli kalitesine bağlıdır. kaynak parametrelerinin efektif dönme momenti, kaynak süresi, yığılma mesafesi, ITAB'ın genişliği, sertlik dağılılımı ve bağlantının mukavemeti üzerine önemli bir etkisi vardır..

5.1.3 Kombine Kaynak Yöntemi için Kaynak Parametreleri

Devir sayısı ve yüzeye bağlı sürtünme ve yığılma kuvveti sürekli tahrikli sürtünme kaynağında bahsedilen konular bu bölüm için de geçerlidir. Yığılan kuvvetinin başlama anına bağlı olarak yığılma kuvveti sürekli tahrikli sürtünme kaynağındakinden küçük seçilebilir

Yüzeye bağlı yığılma kuvvetinin başlama anına bağlı olarak sürtünme süresi daha kısa seçilebilir.

Yüzeye bağlı yığılma kuvveti ne kadar erken tatbik edilirse boy toleransları o kadar büyük olur. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında olduğu gibi bu kaynak yöntemi için de tavsiye edilen değerler kullanılabilir. Fakat yüzeye bağlı yığılma kuvveti ve sürtünme süresi azalır

Tablo.5.1- Sürekli tahrikli sürtünme kaynağında aynı masif kesitli ve aynı malzemedeki parçalar için tavsiye edilen değerler.

Malzeme	Çap	Yüzeğe Bağlı		Sürtünme Süresi (sn)	Yığıma Süresi (sn)	Çevre Hızı
		Sürtünme Kuvveti (N/mm ²)	Yığıma Kuvveti (N/mm ²)			
Alaşımız ve düşük alaşımlı çelikler C60 42CrMo 4		20-80	80-200	1-100	250	0.5-5.0
	20	50-80	150-250	3-6	2-3	3.5-3.0
	20	50-80	150-250	3-6	2-3	1.5-3.0
Yüksek alaşımlı çelikler x5CrNi18 8 S6-5-3		40-100	120-400	3-120	2-10	0.5-5.0
	20	60-80	250-300	6-10	2-3	1.5-3.0
	20	60-100	190-250	10-15	2-3	1.5-3.0
Yüksek Sıcaklığa dayanıklı alaşımlar Nimonic 80 Inconel 713 C		60-180	180-600	5-150	2-15	0.5-5.0
	20	60-100	180-400	5-10	2-3	1.5-3.0
	20	60-100	400-500	5-10	2-3	1.5-3.0
Hafif ve ağır metaller E-Cu TiAl6V4 Al 99.5 AlMgSi0.5 Pb		10-80	20-250	1-8	2-5	0.5-4.0
	20	10	20-60	1-6	2-5	4.0
	20	20-30	60-80	2-8	2-5	1.0-4.0
	20	10-30	30-80	0.1-4	2-5	2.0-4.0
	20	30-80	50-150	0.1-6	2-5	0.5-2.0
	20	50-70	70-100	2-4	2-5	1.5-2.0

Tablo 5.2- Volan tahrikli sürtünme kaynağında aynı malzeme grubundaki et kalınlığı,(S);6-10mm olan içi boş miller için tavsiye değerleri.(kaynak süresi 0,5-10 sn.)

Malzeme	Yzeyeye Bağlı		evre Hızı
	Kaynak Enerjisi J/mm ²	Eksenel Kuvvet N/mm ²	
Alaşımsız ve Düşük Alaşımlı elikler	50/380	100/200	2.5/15.0
Yüksek Alaşımlı elikler	70/220	150/300	2.5/15.0
Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Alaşımlar	100/300	200/700	1.5/7.5
Demir Olmayan Metaller	25/300	40/300	3.0/15.0
Demir Olmayan Metaller Cu	150/350	50/70	3.0/5.0
Demir Olmaya. Metaller Al	100/180	10/70	1.0/3.5

5.2 Malzemenin Kaynak Karakteristikleri zerine Etkisi

Malzeme etkisi, esasen mukavemeti, sıcak mukavemet, deformasyon kabiliyeti, ısı iletkenliği ile belirlenir. Kaynak parametreleri, kaynak yüzeyinde değişmesi halinde aynı enerji değerimini ve deformasyonu sağlamak üzere malzemeye uygun olmalıdır. Alaşımlı ve düşük alaşımlı çelikler için artan sıcaklık mukavemetinden dolayı yzeyeye bağlı büyük kuvvetler ve uzun sürtünme süresi gerekir. Ortaya çıkan sertlik dağlımı uçları uzun sürtünme süreleriyle giderilir /2,32/.

Yüksek alaşımlı çelikler için düşük deformasyon kabiliyetlerinden dolayı yüzeye bağlı büyük kuvvetler ve uzun sürtünme süreleri gerekir. Özellikle “havada su alan çelikler”de kaynak bölgesinin soğuma hızını mümkün olduğu kadar küçük tutmak amacıyla yeterli genişlikte bir ısının tesiri altında kalan bölge tesir edilmelidir.

Östenitik çelikler yüksek süneklik, büyük sürtünme değerleri ve üstün sıcaklık deformasyonu kabiliyeti gösterirler. Bu nedenle küçük sürtünme süreleri ve yüzeye bağlı kuvvetler seçilebilir.

Yüksek sıcaklıkta mukavemetli alaşımlar yüzeye bağlı küçük kuvvetler ve yüksek çevre hızları gerektirir. Artan mukavemetle birlik yüzeye bağlı kuvvetlerde büyür..

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de söz konusu edilen tavsiye değerleri geniş toleranslarda kaynak yüzeyi ile olan ilişkiden dolayı ortaya çıkmıştır.

Malzeme kombinasyonları iki büyük gruba ayrılmıştır:

- Hemen hemen aynı termik davranışlı malzemeler: Bunlar aynı cinsten malzemeler gibi kabul edilerek kaynak edilir.
- Çok farklı sıcak mukavemetli ve erime sıcaklığı farklı malzemeler: Burada kaynak parametreleri ve kaynak yüzeyleri daha yüksek mukavemetli parça mümkün olduğu kadar yeterli miktarda deformasyon yapacak şekilde seçilmelidir.

Metallerarası gevrek fazların oluşumu amaca uygun malzeme kombinasyonlarının seçimiyle mümkün olduğu kadar giderilebilir. Bu söz konusu olmazsa meydana gelen fazların mümkün olduğu kadar fazla miktarda çapağa geçmesini sağlayacak şekilde uygun kaynak parametreleri seçilmelidir. (DVS- Merkblatt DVS 2909 Teil 1 und 2, 1980)

6 SÜRTÜNME KAYNAĞI BAĞLANTILARININ YAPILMASI

6.1 Şartlar

Alın sürtünme kaynağı, ağız formlarının hazırlanması bakımından özel şartlar gerektirmez. Yüksek kaliteli veya önemli bağlantılarda aşağıdaki özel şartlara dikkat etmek gerekir.

6.1.1 Kaynak Kontrol Personeli

Önemli makina elemanlarının sürtünme kaynağı için sorumlu kaynak kontrol elemanları işletme tarafından seçilmelidir. Sürtünme kaynağı için kontrol personeli olarak teknik elemanlar yeni özel şekilde yetiştirilmiş ve sınava tabi tutulmuş kaynak mühendisleri, kaynak teknikerleri ve teknisyenleri görevlendirilir. Bu personel, sürtünme kaynağı konusunda tecrübe ve kullanılan malzemeler hakkında da geniş bilgi sahibi olmalıdır.

Kaynak kontrol personeli, kaynak sırasında karşılaşılan problemlerin tartışmasında konstrüksiyon, imalat ve kalite kontrol bakımından söz sahibi olmalıdır.

Kullanılan malzeme konstrüksiyonlarda çalışma sistemindeki her değişiklik ve makinadaki her yeni durum bu personele bildirilmelidir.

6.1.2 Operatörler

Sürtünme kaynağı makinalarının operatörleri bu konuda etraflı bilgiye sahip olmalıdır. Üretimde sadece güvenilir operatörler görevlendirilmelidir.

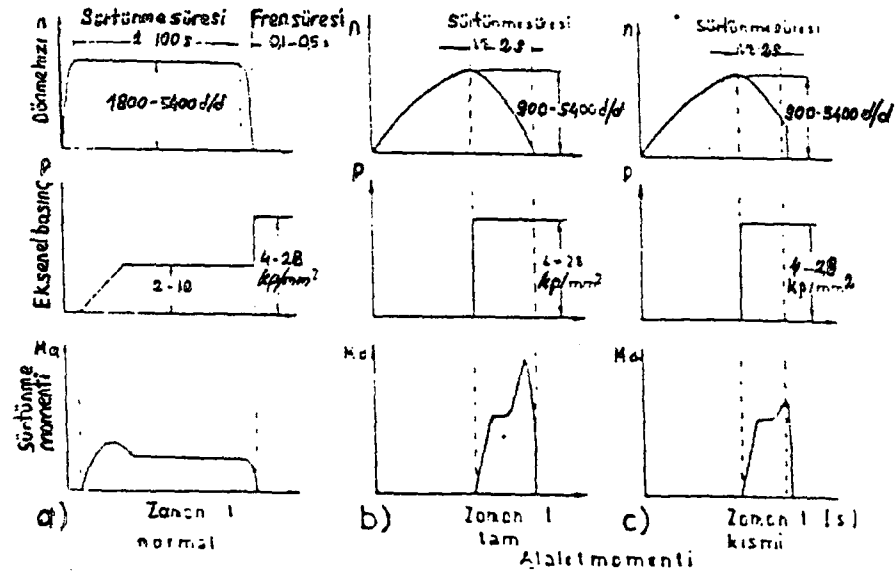
6.1.3 İşletme Şartları

Sürtünme kaynağı makinası, kaynak işleminin veya makinasının iş akışı değer üretim makinalarından veya çevre şartlarından etkilenmeyecek şekilde yerleştirilir. Makina gerilim dalgalanmaları $\pm 10\%$ 'u geçmeyen bir şebekeden beslenmelidir.

6.1.4 Sürtünme Kaynağı Makinası

Sürtünme kaynağı için kullanılan kaynak makinaları Avrupa'da ve Amerika'da birbirinden farklıdır. Avrupa'da imal edilen normal (konvansiyonel) kaynak makinaları torna tezgahına aksenal basınç silindiri, kuvvetlendirilmiş aksenal yataklar, kavrama ve fren tertibatı ilavesiyle yapılan üniversal tezgahlardır.

Amerika'da sürtünme kaynağı yapımında hızlandırılmı kütlelerin frenlenmesindeki atalet momenti enerjisinin tanımından veya bir kısmından istifade edilir. Her iki sistemi karşılaştırsak normal ve atalet momenti -sürtünme kaynağı metodlarında çevre hızı- aksenal basınç ve sürtünme momentinin zaman değişimi mukayeseli bir şekilde aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.1- Sürtünme kaynağı metodlarının karşılaştırılması.

Atalet momenti metodunun şebekeden çekilen akım ve kısa kaynak süresi bakımından normal metodunda hız, basınç, ve sürtünme süresi parametrelerinin istenildiği gibi değiştirilebilmesi yönünden birbirinden üstün oldukları taraflar vardır.

Devir sayısı, eksenel kuvvet, kaynak süresi, gibi makinanın karakteristikleri makinanın özelliklerine ve yapacağı işe göre elenmiş olmamalıdır. Bu karakteristikler yani her bir makina tipine göre sürtünme anında atalet momenti yığılma anı ve mesafesi uygun şekilde çoğaltılabilir. Makina, işletme sıcaklığında karakteristikleri, verimliliği tarafından denenmelidir.

Her parametre ortalama değerinden \pm %5 sapabilir. Belli bazı uygulama alanları kaynak parametresinin verimliliği bakımından dar (sınırlı) toleranslar gerektiriler.

6.2 Metal ve Metal Alaşımalarının Metalurjik Açıdan Sürtünme Kaynağına Uygunluğu ve İlişkin Parametre Seçimi

Daha önce Bölüm 4.2’de bir çok malzeme ve kombinasyonlarının sürtünme kaynağına uygunluğundan bahsedilmişti. Sürtünme kaynağı birleştirmeleri özelliklerinin yüksek verimlilik avantajlarının sağlanması amacıyla , birbirinden farklı malzemelerinin birbirleriyle gösterdikleri kimyasal bileşim,iç yapı durumu,mukavemet ve sertlik özellikleri ve boyut sapmalarının imalat ve konstruksiyonda göz önünde bulundurulması gereklidir.

G.H.C Begg ve B.A Humphreys tarafından metal ve alaşımları metalurjik açıdan 5 ana gruba ayrılmıştır./7,/.

a-) Bu grup, yumuşak çelik , bütün östenitik paslanmaz çelikler, ticari saflıkta metaller ve katı çözeltileri içerir. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) sıcak dövme sonucu incelmış tane yapısındadır.

b-) Bu grup, sertleşebilir çelikler ve çökeltme sertleşmeli alaşımları içerir. Bu gruba giren mikro alaşımlı çeliklerde, mikro alaşımlandırmanın tane inceltmeye olan etkisinden dolayı kaynak kabiliyeti oldukça iyidir. Bu alaşımların kaynağında iyi bir kaynak yapısı için genellikle kaynak sonrası bir ısıtma işlemi gerekir.

c-) Bu grup, kaynak ara yüzeyinde, gevrek alaşımlar ya da intermetalik bileşikler oluşturan kombinasyonları içermektedir. Bu bölgenin kalınlığı birkaç mikrondan ibarettir.

Bu tür kombinasyonlara , Al-Cu , Al-Çelik , Paslanmaz çelik - Karbonlu çelik çiftini verebiliriz.

d-) Bu grup, ısıtma işlemi veya servisteki yüksek sıcaklıklar sırasında difüzyon etkileri gösteren kombinasyonlardır.

e-) Bu grup genellikle grafit, kükürt, kurşun gibi kaynağı başarısız kılan elementeri içeren alaşımları içerir. Bu tür alaşımların kaynağında kaynak bölgesi aşırı inklüzyon içerir.

J.G Young sürtünme kaynaklı parçaların tahribatsız muayene yöntemlerini incelemiştir. Bu incelemede J.G Young aşağıdaki genel sonuçları çıkarmıştır./23/

Radyografi yöntemi ile olası hatalardan sadece iri boşluklar ve metalik olmayan inklüzyonlar tespit edilebilir. Ultrasonik yöntemlerde ise yığılma çatlakları ve merkezi çatlaklarda , iri boşluklar ve inklüzyonların yanısıra tespit edilebilir. Eğer bağlantıda farklı metaller kullanılmışsa bu durum hataların tespitinde ayrıca bir zorluk oluşturacaktır. Özellikle radyografi yöntemi ele alındığında bu gibi bir bağlantıda, iki metalin radyografik ışın yoğunluklarının farklılıklarından dolayı , yoğunluk değişiminin (bağlantı hattının) bulunduğu noktada bölgede oluşabilecek ve ilgili bölge ile çakışacak olası bir hatanın karakteristiklerini zayıflatacaktır.

İç hataların tespitinde uygulayacak ultrasonik yöntemde, boyuna dalgalar kullanılarak kesit veya milin sonundan elde edilen verilerle hata tespiti daha başarılı olmaktadır. Ancak böyle bir uygulamada , yüzeyden itibaren milin kesidi boyunca ultrases dalgalarının parçaları kaplaması mümkün değildir. Yüzey dalgası problemleri ise ancak çok dikkatli işlenmiş yüzeylerde kullanılabilir.

Magnetik partiküller ve penetrant sıvılarla herhangi bir şekilde yüzeyde oluşmuş çentiklerde tespit edilebilir, parçanın iç kalitesi veya yüzeyin derinlikleri hakkında herhangi bir bilgi edinilemez. Eğer dışa taşmış yığılma yüzeyden dikkatlice alınırsa bu işlem sonrasında bazı durumlarda bu iki yöntem kullanılabilir. Eğer bağlantıda farklı metaller kullanılmışsa bu tür durumlarda magnetik partiküller yöntemi kullanılamaz ancak girici penetrant sıvılar yöntemi kullanılabilir.

Aluminyum ve Bakırın Sürtünme Kaynağında Metalürjik Analiz ve Parametre Seçimi

Aluminyum ve bakır parçalar arasındaki intermetalik faz atomları arasındaki karşılıklı difüzyonla meydana gelir. Bu fazlar 650 - 850 HV (Vickers sertliği) arasında sert ve kırılgandır. Hatta sürtünme kaynağı proseslerinde bu tip fazlar sürtünmeden sonra mikro-yapı radyografik analizinde düz yüzeyler meydana gelir. Bu tür intermetalik tabakanın derinliği sürtünme zamanının müddeti ile artar , güç uygulaması ile azalır. Kısa sürtünme zamanının kullanımı ve yüksek baskı kuvvetiyle intermetalik tabaka kaynak edilebilir.

Aluminyum ile Çelik Sürtünme Kaynağı Birleşmede Metalurjik Analiz ve Parametre Seçimi

Çelik ve alüminyum atomlarının karşılıklı difüzyonları gevrek intermetalik fazların meydana gelişini sağlar. Burada bu fazların derinliği öyle derindir ki kaynak birleştirmesinin mukavemeti üzerine bir karşı tesir söz konusu değildir.

Çelik ile Çeliğin Sürtünme Kaynağı Birleşiminde Metalurjik Analizi ve Parameter Seçimi

V.P. Voinex sürtünme kaynaklı C20/C60 çelik çiftinden elde edilen tam ortada çepçevre U şeklinde çentik içeren numuneler yorulma deneyi uygulanmıştır. Ayrıca, V.P. Voinox bu numunelerde kaynak öncesi ve sonrası ısı işlemlerin etkisini de araştırmıştır. Deneyler sonrasında daha yüksek dönme hızlarında daha iyi yorulma mukavemeti elde edildiği sürtünme ve yığıma basınçlarının yorulma mukavemeti üzerinde pek etkili olmadığı kaynak öncesi ısı işlemlerin etkisinin az olmasına karşın kaynak sonrası ısı işlemlerin yorulma mukavemeti üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir./33/

V.P. Voinox yaptığı bir başka çalışmada 16mm çaplı St20 ve 40 RH çeliği çifti için “P1=50mPa, P2=100mPa, t1=3sn ve t2=1.3sn” sabit parametrelerinin de elde ettiği sürtünme kaynaklı numunelere çentik darbe ve yorulma deneyleri uygulayarak değişken tutulan çevre hızının (n=1200-4200d/d) optimizasyonunu yapmıştır. Çentik darbe deneyinde yüksek dönme hızları daha iyi sonuç verirken yorulma deneyinde hem yüksek dönem hızlarının ve hem de düşük dönem hızlarının iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu numuneler üzerinde yapılan ışık mikroskobu incelemelerinde St 40KH tarafının martenzit ve troosto martenzit bir yapıdan ana malzemeye doğru perlit ve feritten ibaret olup ana malzemeye doğru ferrit perlit yapısına dönüştüğü tespit edilmiştir./33/

J. Fritz ve H. Staudinger yaptıkları bir çalışmada sürtünme kaynaklı yüksek hız çeliği (HSS)- Karbonlu çelik çiftinin yakma alın kaynağı ile mukayese ederek mikroyapılarını incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada kaynak sonrası numunelere uygulama ısı işlemlerin mikroyapıya olan etkileri ayrı ayrı incelenmiştir./17/.

Kaynak sonrası ara bölgenin hemen HSS tarafında yaklaşık 1mm genişliğinde ve 800 HV'nin üzerinde bir sertliğe sahip martenzit yapıli bölge tespit edilmiştir. Karbonlu çelik tarafında ise maksimum sertlik 360 HV civarında olup ara bölgenin C45 çeliği tarafında karbona fakir ve kaba taneli bir bölge bulunmaktadır.

Numuneler 2 saat süre ile 550 C'de gerilme giderme ısıli işlemi uygulandığında bağlantının HSS tarafında bir yaşlanma sertleşmesi görülmüştür. Yapıda ince karbürler çökelmiş artık ostenit martenzite dönüşmüştür. Bunun sonucu olarak ta HSS tarafındaki maksimum sertlikte ve ara bölgedeki sertlik farkında önemli artışlar gözlenmiştir.

Numunelerdeki gerilme işleminin olumsuz etkisi üzerine daha yüksek sıcaklıklarda (820^o-860^oC) izotermal yumuşatma tavlamaşı uygulanmıştır. Bu işlem sonrasında HSS tarafındaki maksimum sertlik 300HV1'e düşerken karbonlu çelik tarafında ise sertlik değeri 100 HV1 olarak ölçülmüştür. Bu işlem sırasında HSS tarafına doğru bir karbon difuzyonu olduğu da araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

A.N. Dobrovidov ve arkadaşları HSS karbonlu çelik çiftinin mikroyapısı üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada HSS yönüne doğru bir karbon difuzyonu olduğu dolayısı ile C45 çeliği tarafında bir dekarbürize bölge oluştuğu ve kaynak sonrası ısıli işlem şartlarının bu dekarbürize bölgenin genişliği üzerinde çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Oluşan dekarbürizasyon tabakasının kalınlığı 0.1 mm civarındadır ve bu bölge sadece rekristalize olmuş ferrit taneleri içerir (Şekil 6.2). Araştırmacılar karbon difuzyonunu HSS tarafındaki kuvvetli karbür yapıcı elementlere atıf etmektedirler. Dekarbürizasyon olayı 550^oC-800^oC sıcaklıkları arasında oluşmakta ve maksimum dekarbürizasyon ise 760^oC civarında meydana gelmektedir. Yapılan bu çalışmada araştırmacılar 830^o-860^oC sıcaklıkları arasındaki bir ısıli işlemin dekarbürizasyonu elimine ettiğini belirlemişleridir. Bu sıcaklıklar arasındaki yaklaşık 15 dakikalık bir ısıli işlem ile karbon difuzyonu yön değiştirmektedir. Bu durum da HSS'nin ostenit fazındaki karbon konsantrasyonunun karbonlu çeliktekenden daha geniş olmasına atfedilmektedir. A.N. Dobrovidov ve arkadaşları tarafından karbon difuzyonunun önlenmesinde eğer çalışma şartları

etkilemeyecek ise üçlü metalik bağlantı önerilmiştir; örneğin paslanmaz çelik-karbonlu çelik çifti arasındaki Ni alaşımları tavsiye edilmektedir./9,10/.



Şekil.6.2- R6M5-C45 çelik çifti için mukayeseli olarak kaynak iç yapısı.

S.S. Seregin ve S.B. Sabantsev 14.1 mm çaplı kaynak öncesi çeşitli derecelerde deformasyona uğramış St 20 çeliklerini kullanarak diğer parameterler sabit kalmak şartı ile “ $n=1200-1400d/d$ ” gibi iki ayrı çevre hızında elde edilen sürtünme kaynaklı bağlantılara çentik darbe deneyi uygulamışlardır. Deneylerde yüksek dönem hızlarının daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir./29,30/.

A.N. Dobrovidov tarafından yapılan bir çalışmada 21 mm çaplı HSS-C45 çelik çifti için pratik datalardan yola çıkılarak istatistiki bir çalışma sonrasında elde edilen “ $P=8-280$ Mpa) $P_2=138-300$ Mpa, $t_1=8-18s$, $t_2=0.6-5.4s$, $v=0.5-2.65m/s$ ” parameterleri kullanılarak üretilmiş sürtünme bağlantılara burulma deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışmada C45 çeliğinin burulma mukavemeti olan 350 Mpa değeri sınır alınarak bu değerlerin %70’inden büyük değerler veren numuneler kaliteli varsayılmış ve regression analizi yardımı ile parametre optimizasyonu yapılmıştır./9,10/.

C.R.G. Ellis kendi yaptığı çalışmalar ve literatüre dayanarak kaynak bağlantısının kalite verimliliğinin çevre hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi ve yığıma basıncına bağlı olduğunu, ara yüzey sıcaklığı ve bağlantı kailtesi üzerine en etkili paramtrenin çevresel hız olduğunu öne sürmüştür. C.R.G. Ellis yaptığı araştırmalarda aşağıdaki sonucu elde etmiştir.

Yüksek çevresel hız yüksek ara yüzey sıcaklığı üretirken verilen bir yanma mesafesi için daha uzun kaynak süresi gerektirir, dolayısıyla arzu edilmeyen aşırı ısınmış yapı oluşabilir. Buna karşın düşük çevresel hız basıncı elverişsiz ısıtma sonucu yetersiz birleşme görülen bağlantılara sebep olabilir. Düşük çevresel hız veya yüksek sürtünme basıncı yüksek deformasyon oranları verdiği için kısa kaynak süreleri sağlar. Kısa süre verimlilik için arzu edilir, fakat bu durum kaynak bölgesinde yüksek sertlik üretir (özellikle yüksek karbonlu çeliklerde). Çoğu malzemedeki geniş bir aralıkta çevre hızı- sürtünme basıncı önerilmektedir./14,15,16/.

C.R.G. Ellis ile G.H.C. Begg ve B.A. Humphreys, yukarıda anılan parameterelerin yanında çap büyüklüğünün önemine de değinmişlerdir. Isıtma süresinin sürtünme ile sürtünen yüzeyler temizlenebilecek ve katı hal kaynağı için gerekli plastisiteye ulaştırılabilecek düzeyde olması gerektiğini ifade eden C.R.G. Ellis, yığılma için gerekli süreyi ampirik olarak aşağıdaki gibi ifade etmiştir. Bu formül karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler için iyi sonuç verirken, yüksek alaşımlı çelikler , paslanmaz çelikler , sertleştirilmiş çelikler ve yüzey işlemi görmüş çelikler için iyi sonuç vermemektedir./7,14/.

$$t = 82.55 d (s); t = \text{yanma için gerekli zaman (s)}, d = \text{Numune çapı (mm)} \quad (6.1)$$

Yapılan bu çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre , yığılma basıncı, malzemelerin kaynaklanabilmesi için bu malzemelerin sıcak dövme mukavemetlerinin altında olmamalıdır. Buna karşın yığılma basıncı çok yüksek alınırsa aşırı metal deformasyonu oluşur ve bu aşırı yığılma sırasında metalik olmayan inklüzyonlar kaynak bölgesinde arzu edilmeyen enine bir akış göstererek yeniden şekillenirler. Bu durum kaynağın kırılma tokluğunu ve yorulma dayanımını olumsuz etkiler .

H.Kreye sürtünme kaynaklı 42CrMo4-C45 çelik çiftinin mikroyapısını incelemiştir. Bu bağlantıda ITAB C45 tarafı için perlitik bir yapı oluştururken 42CrMo4 için bir ara kademe yapısı oluşturmaktadır. Ana malzemeye doğru östenit sıcaklığına erişmemiş

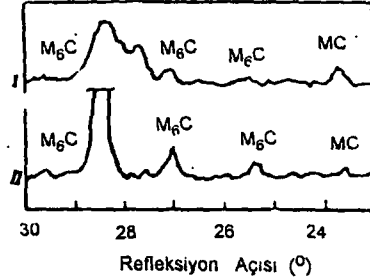
bölgelerde rekristalize ince tane oluşumu gözlenmektedir. Her iki tarafta 10 mm mesafeli bir bölge bağlantının en zayıf kesitini oluşturmaktadır./20/.

Akira İshibashi ise yaptığı çalışmada alaşımlı çelikler ve karbonlu çelikleri baz almıştır. Yapılan çalışmada alaşımlı çelik olarak ostenitik paslanmaz çelik (SUS304), martenzitik paslanmaz çelik (SUS440), yüksek hız çeliği (SKH9) ve karbonlu çelik olarak ta C45 kullanılmıştır. SKH9/C45 çelik çifti için “ $d=15-20\text{mm}$), $v=2.6-3.5\text{m/s}$, $P1= 78-157\text{mpa}$, $P2=78-157 \text{ MPA}$, $t1=12-24\text{s}$ ve $t2=5\text{s}$ ” parametrelerinde kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Değişik sürtünme kaynaklı malzeme kombinasyonlarına dönel durumda eğmeli yorulma deneyi uygulanmıştır. SUS304/S45 çelik için daha yüksek dönme hızları daha iyi yorulma mukavemeti değerleri vermiştir. SKH9/C45 çelik çifti için yorulma kırılması daha çok SKH9 tarafında olmuştur. Bu çalışma sonuçlarına göre, yazarlar tarafından genelde paslanmaz çelikler için $P2=P1+0.3P1$ önerilmiştir./18/.

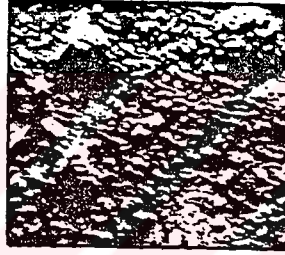
A. İshibashi ve arkadaşları elverişli yorulma mukavemetine sahip sürtünme kaynaklı ostenitik paslanmaz çelik (SUS440C) karbonlu çelik (S45C) çiftinde dönem ekseninde üç farklı mesafede Fe ve Cr için hat analizleri yapılarak bölge genişliğinin 0.1-0.13mm civarında olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda SUS440-S45C çifti için çoğu durumda ara yumuşak bölge erime sıcaklığı daha düşük olan SUS 440C çeliğinde oluşurken SUS304-S45C çifti için ara geçiş bölgesi (yumuşak bölge) pozisyonu değişimi daha şiddetli olduğu tespit edilmiştir./18/.

A.N. Popandopulo ve G.D. Tkachevskaya yaptıkları çalışmada HSS ve C45 arasında yapılmış sürtünme kaynaklı numuneleri incelemiş ve parlak şerit olarak nitelendirilen karbür fazı miktarına Mcve M6C hatları difraksiyon zirvelerinin relatif yüksekliklerinden karar vermişlerdir. Artık ostenit miktarına ise X ışınları ve elektronoptical analiz metodu ile karar verilmiştir. Şekil 6.3 kaynak öncesi ve sonrası R6M3 çeliği için çizgi profili difraksiyonunu göstermektedir. Yapılan bu incelemeler sonrasında parlak şerit bölgesinin yüksek karbonlu martenzit (%0.5-0.55C) yüksek miktarlarda artık ostenit ve daha ziyade tespit edilmiştir. Kaynak öncesi MC/M6C oranı 0.3 iken kaynak sonrası bu oran 1.1

civarına çıkmıştır. Bu bölgedeki vanadyum miktarındaki keskin artış plastik deformasyona çözünen M₇C₃ ve M₆C karbürleri ile C45'den difüze olan karbon miktarına bağlıdır. Bu bölgenin karakteristik özellikleri olan MC karbürlerindeki keskin artış ve MC/M₆C oranı tavlama çeliklerde artmaktadır./24/.



Şekil.6.3- Parlak serit bölgesinde R6M5 çeliğinde difraksiyon hat analizi.



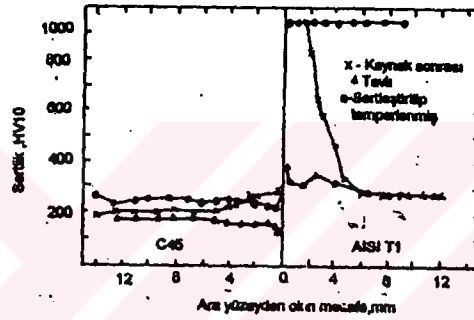
Şekil.6.4- Parlak serit bölgesinde R6M3 çeliğinin yapısı (10000x)

S.A. Westgate tarafından yapılan bir çalışmada sürtünme kaynaklı C/Mn çeliklerinde parametrelerin kaynak sonrası ısıtma işlemlerinin ve malzemenin kükürt içeriğinin bağlantının tokluğuna olan etkisi çentik darbe deneyi uygulanarak araştırılmıştır. Bu tür bağlantılarda düşük kaynak süresi ve yüksek yığılma basıncı değerleri daha ince taneli bir yapı vermiştir. Ayrıca kaynak sonu ısıtma işlemlerinin ve malzemenin kükürt içeriğinin tokluk üzerinde çok etkili olduğunu ortaya çıkarmıştır./34/.

T. Robokovskii C45 çeliğinden elde edilmiş sürtünme kaynaklı numunelere kaynak yığılmasını alarak ya da almadan burulmalı yorulma deneylerini uygulamıştır ve her bir durum için bağlantının sürekli mukavemet eğrileri çizilmiştir./27/.

K.G.K. Murti ve S. Sundaresan isimli araştırmacılar sertleşme kabiliyetleri çok iyi olan 22 mm çaplı HSS-C45 çelik çifti için çentikli çekme deneyi yardımı ile parametre

optimizasyonu yapmışlardır. Deneyler sonrasında kısa kaynak süreleri ve yüksek yığma basınçları en iyi değerleri vermiştir. Araştırmacılar aynı numunelerin yorulma deneylerini de yapmışlardır. Bu deneyde 0-240mpa'lık burulma gerilmesi ve 1400 çevrim/dakikalık deney frekansı uygulanmış numunelerde yüzey hassasiyeti önce 0.7-0.8Um daha sonra ise 0.15-0.25 Um alınmıştır. Deneyler sonucu yüzey hassasiyetinin artırılması ile yorulma mukavemetinin arttığı ve sürtünme kaynaklı numunelerin bir matkap olarak kullanılığında yeterli dayanıma sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca araştırmacılar kaynak dik kesiti boyunca sertlik taraması yaparak kaynak sonu uygulanan ısıl işlemlerin sertlik profiline etkisine de araştırmışlardır (Şekil 6.5)./22/.



Şekil.6.5- Kaynak sonu uygulanan ısıl işleme göre ara bölgedeki sertlik değişimi.

S.B. Dunkerton yaptığı bir çalışmada 25 mm çaplı değişik kompozisyonlara sahip C-Mn çelikleri için sürtünme kaynaklı bağlantılarda “ $P_1=80\text{Mpa}$, $P_2=180\text{Mpa}$, $\Delta L=5.0\text{ mm}$ ” değerlerini sabit tutarak “ $n=750-1460$ ” d/d gibi iki farklı dönem hızı uygulamış ve yüksek çevre hızının daha kötü metalurjik özellikler verdiğini tesbit etmiştir./12/.

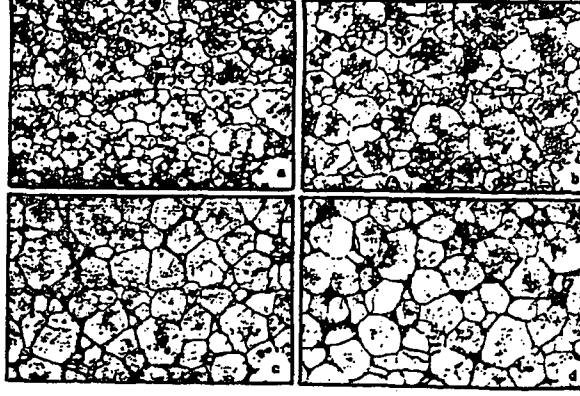
O.N. Tanicheva ve arkadaşları tarafından bir çalışmada takım çeliklerinin kaynaklı kısımlarından kırılmaları sonrasında yüzeyde görülen hata parlak şerit olarak nitelendirilmiştir. Bu hatanın oluşmaması için araştırmacılar kaynak sıcaklığı ve basıncının artırılmasını tavsiye etmişlerdir./24/.

I.O. Khazanov ve N.I. Fomin 13-20 mm çaplı R6M5-C45 çelik çifti için elde ettikleri sürtünme kaynaklı numunelerde tesbit ettikleri parlak şerit ve kısmi veya sürekli karbür zincirleri kaynak hatası olarak kabul edilmiştir. Kaynak hatası olarak nitelendirilen karbür

zincirleri sürtünme kaynağı sırasında daha çok ısınan bölgelerde olmaktadır. Bağlantıdaki sıcaklık ölçümleri, (0.3-0.7)R arasındaki dairesel dilimin kaynak sırasında en yüksek sıcaklığa ulaşan bölge olduğunu göstermiştir ve dolayısıyla ince karbür çökeltileri bu bölgede yoğunlaşmaktadır Şekillenen bu karbürlerin kompozisyonu MC ve M₆C'ye yakındır. I.A. Khazanov ve N.I. Fomin'e göre başlangıçta HSS'teki karbürlerin oranı %20 iken kaynak ve suda soğuma sonrasında bu oran %6'ya düşmektedir. Tavlama sonrasında ise bu oran %38'e kadar çıkmaktadır. Bu durum karbonlu çelik tarafından olan karbon difuzyonuna atfedilmektedir. Şekil 6.7'de ise oluşan bu karbür zincirlerinin termal kararlılığını ortaya koymak için çeşitli sıcaklıklarda belirli süreler uygulanan ısıtmalar sonucu değişen mikroyapıları göstermektedir. Bu şekillerden de görüleceği üzere 1270° C'deki ısıtmalarda dahi mikroyapıda karbürler görülebilmektedir. Araştırmacılar kısa kaynak süreleri, artan yığma basınçları ve kaynak sıcaklıkları ile parlak şerit bölgesini elimine edilebileceğini ortaya çıkarmışlardır. Sürtünme kaynağının HSS'nin plastisite sıcaklık sahasında (1100°-1200°C) yapılması parlak şerit bölgesini elimine ettiği gibi, kaynak mukavemetinin karbonlu çeliğin mukavemetinin %15-30'si oranında azaltan dekarbürize bölge oluşumunu da kaynak sonrası bir tavlama ısıl işlemi ihtiyacını ortadan kaldırdığı için elimine etmektedir./19/.

G.P. Rajamani ve arkadaşları 22 mm çaplı sertleştirip temperlenmiş A517 çelik çubukların sürtünme kaynağı için çentikli çekme deneyi uygulayarak parametre optimizasyonu yapmışlardır. Bu çalışmada "t₁=4s, t_f=0.15 s, t_{yg}=0.15 s, t₂=2 s," parametreleri sabit tutulurken sürtünme ve yığma basınçları değişken alınmıştır. İki ayrı grup olarak yapılan çalışmada ilk grupta yığma basıncı sürtünme basıncına eşit alınıp sürtünme basıncı 45-90 Mpa değerleri arasında değiştirilmiş, ve P₁= 75 Mpa değeri en iyi sabit tutulup yığma basıncı P₂=90-180 Mpa değerleri arasında değiştirilmiş ve P₂=90 Mpa değeri en iyi değer olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu değerler eğme deneyi ve çentik darbe deneyi ile kontrol edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, elde edilen numunelere radyografi deneyini uygulamışlardır. Bu çalışmada numunelerin yığılmış kısımları alınmış 14mm çapa işlenmiş ve 200kV kapasiteli Miller GmbH x ışınları makinası kullanılmıştır.

Çalışma sırasında 165kV'da 5mA'lık bir akım 6 dakika uygulanmış ve film 700 mm mesafeden fokuslanmıştır. Sonuçta kaynaklı parçalarda herhangi bir hata gözlenmemiştir. /25/.



Şekil 6.7- Karbür filimlerinin termal stabilitesi, a-d: 1260-1265-1270-1275.

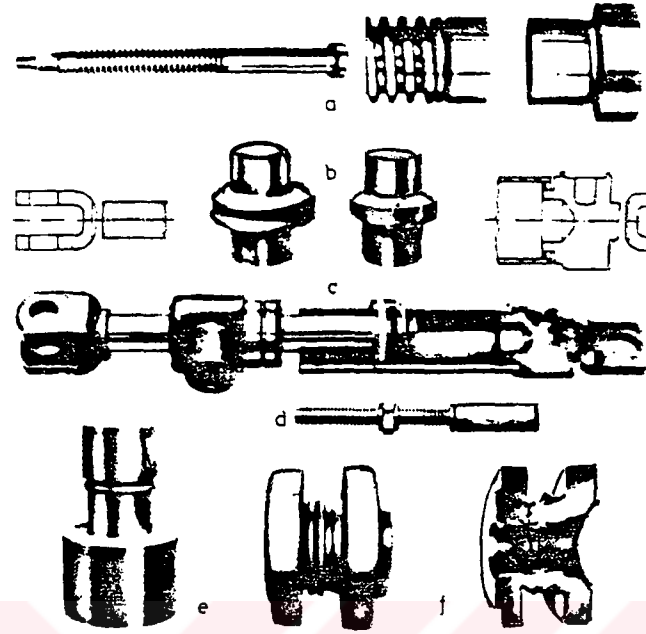
Sürtünme kaynağı üzerine yapılan çalışmalar son derece geniş bir alana yayılmaktadır. Kaynak bölgesinin sıcaklığı ve ısı dağılımı en çok ilgi çeken konuların başında gelmektedir. G. Wichelhaus yaptığı çalışmada kaynak bölgesindeki sıcaklığı tespit için pirometer ile sıcaklık ölçme, termoelement ile sıcaklık ölçme ve ölçülen termogerilmelerden hareketle hesaplama yöntemlerini kullanmış ve en iyi yöntemin termoelement ile ölçüm olduğuna karar vermiştir. Benzer bir çalışma K.P.Imshennik ve I.V. Karagelskii tarafından yapılmış araştırmacılar sürtünme periyodu boyunca sıcaklık dağılımını max. sıcaklığı ve buna bağlı ΔL ve M_s değerlerini tespit etmiştir. S.A: Serengin ve S.B. Sabantsev ise sürtünme kaynaklı bağlantılarda iki farklı devir sayısı uygulayarak kaynak bölgesinden itibaren değişen mesafelerdeki sıcaklık farklarını incelemiştir. T. Rich ve A. Sluzalec ayrı ayrı yaptıkları çalışmalarda kaynak bölgesindeki ısı dağılımını analitik olarak incelemiştirlerdir. /21,26,29,30/.

D. Schober, M. Trepte ve H. Granuer ayrı ayrı yaptıkları çalışmalarda sürtünme kaynağının kalitesini arttırmak için proses kontrolü üzerinde durmuşlar ve konu ile ilgili akış diyagramları vermişlerdir. Serengin yaptığı bir çalışmadan artan çubuk çapının ve yağma basıncının sürtünme katsayısını düşürdüğünü tespit ederken V.S: Lysov ve

arkadaşları 3000 mm² den daha geniş çubukların kaynağında kaynak bölgesindeki rekristalize bölge genişliğinin ve hatalarının arttığını tespit etmiştir. R.N. Boldyrev, N.I. Fomichev ve A. Koboyashi ayrı ayrı yaptıkları çalışmalarda geliştirdikleri çeşitli modellerde ya da sabitlere bağlı olarak yığma basıncının hesabına ait amprik formüller geliştirmişlerdir. N.I. Fomichev yığma basıncının yanında sürtünme basıncı ve süresi için de amprik formüller elde etmiştir. Bir başka çalışmasında ise K.P. Imshennik ile beraber kaynak parametrelerine bağlı olarak yığma hızı ve mesafesi ile şekil değiştirme oranını tespit etmiştir. M. Trepte ise sürtünme kaynağını tribolojik bir proses gibi düşünerek deformasyon prosesi için bir model kurmuş ve kurulan bu model ile yanma mesafesini teorik olarak hesaplamıştır. G. Reiners yaptığı iki ayrı çalışmada dönül olmayan kesitleri incelemiş, sürtünme sırasına örtünmeyen yüzeylerde oksit oluşumunu, oksit tabakalarının kalınlığını ve soygaz korumasını incelemiştir. /26,28,29,30/.

Benzer ferretik çelikler, hem karbon çelikleri hem de düşük karbonlu çelikler sürtünme kaynağı yapıldığında aşırı sertleşmeye sahip martenzitik değişim ısı tesirli bölgelerde ve karşılıklı nüfuz etme bölgelerinin her ikisinde önlenemez. Bu buluşma şartları çeliğin değişim şartları için ilgili olan her bir çeliğin karakteristik dengesini aşağıya düşürmeyen 500^o-800^oC arasında soğutma sıcaklığı kaçınılmaz görülür.

Diğer metodların ayrı soğutma sıcaklığı derecesi sürtünme zamanı boyunca kontrol edilebilir, Δt_{815} uzatılmış olan sürtünme zamanı ile artacaktır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8: Çeliğin sürtünme kaynağı birleştirmelerinin tipik örnekleri

a, b, d; x20 Cr13'ün millerle birleşir.

c: Rst37-2Ch 60, St, St35 v C15'in hidrolik silindire

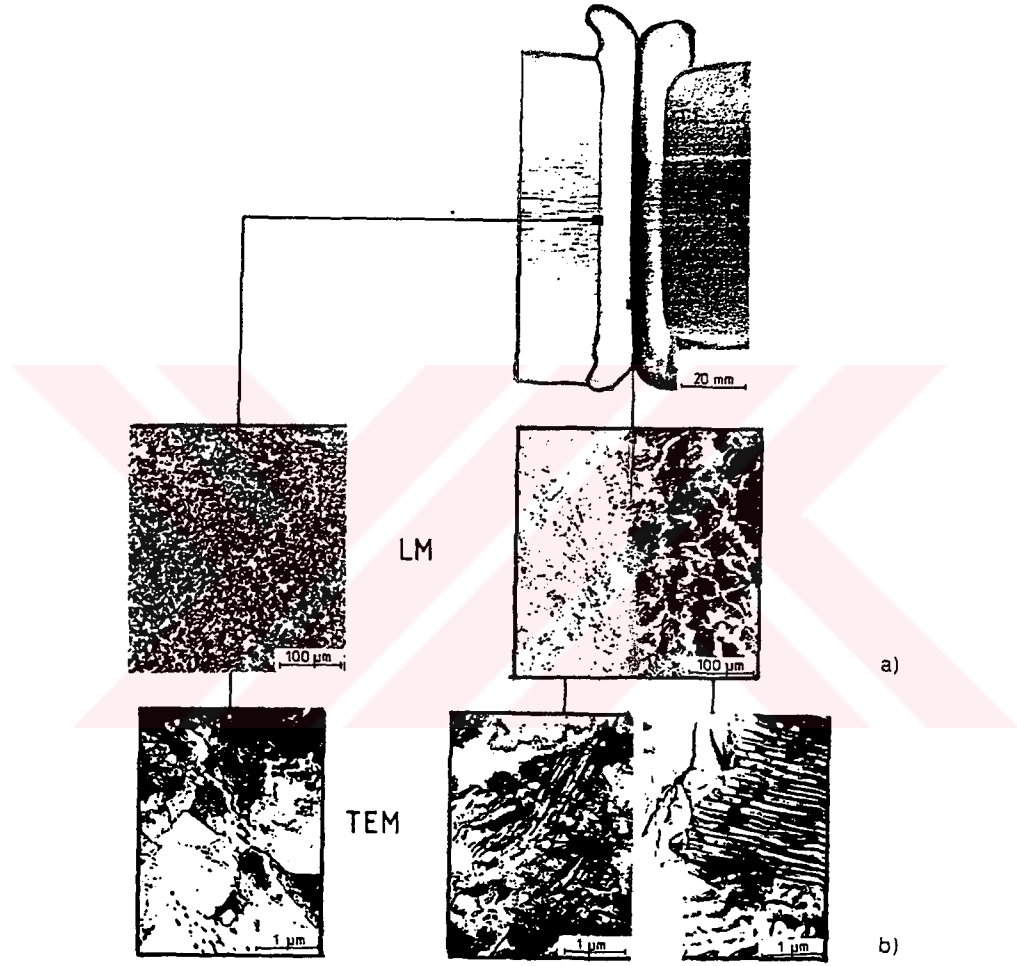
e: C15 ve xCrNiMo812'nin destek miline

f: C35'in flanşa

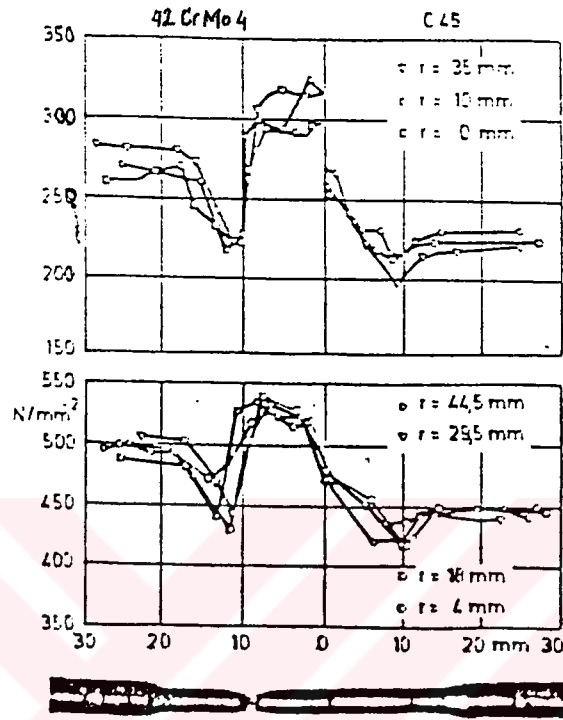
Şekil 6.9'da 100 mm çapında 42CrMo4 ve C45 çeliklerinden mikro yapısını gösterir. Kullanılan parçaların göbek ve çevre kısımlarında oldukça farklı kaynak şartlarına rağmen bir düğüm birleşme bölgesi takriben 60-80µm derinliktedir ve herhangi bir mantenzit ihtiva etmez. Isı tesirli bölgelere bitişik olma C45'de perlit yapıların ve 42 CrMo4'te ara yapıları gösterir.

Geçiş alanında aşırı sıcaklık östenit için yetersizdir. Rekrystalize olmuş ince taneli bir yapı teşkil edilmiştir. Sertlik ve kesme mukavemeti değeri bu yüzden yüzler arasından yaklaşık 10 mm'lik bir bölgede minimumdur (Şekil 6.10).

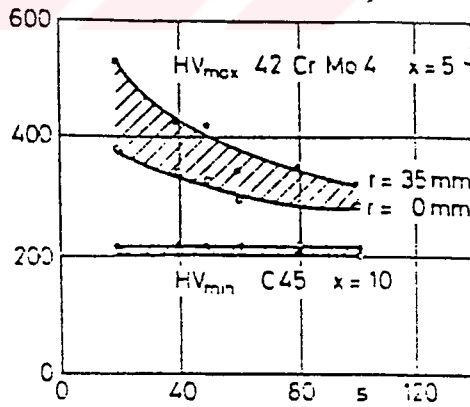
C45 alanı gerilme daimi titreşim testlerinin her ikinde en üst nokta olduğunu ispat eder.



Şekil 6.9- 42CrMo4 (solda) ile C45' in sürtünme kaynağı sonu iç yapısı
($r=100$ mm., sürtünme süresi;60 sn)



Şekil .6.10- 42CrMo4 ile C45'in sertlik ve çekme mukavemeti değerleri.



Şekil.6.11-

Şekil 6.11'de görüldüğü gibi maksimum sertlik grafisinde en yüksek nokta sürtünme zamanına bağlıdır (42CrMo4). hatta sürtünme zamanı 20sn arttırıldığında kaynak

birleşmeleri üretilir. Fakat hızlı soğutma nispetinde 500HV (Vickers sertliği) civarında oluşur.

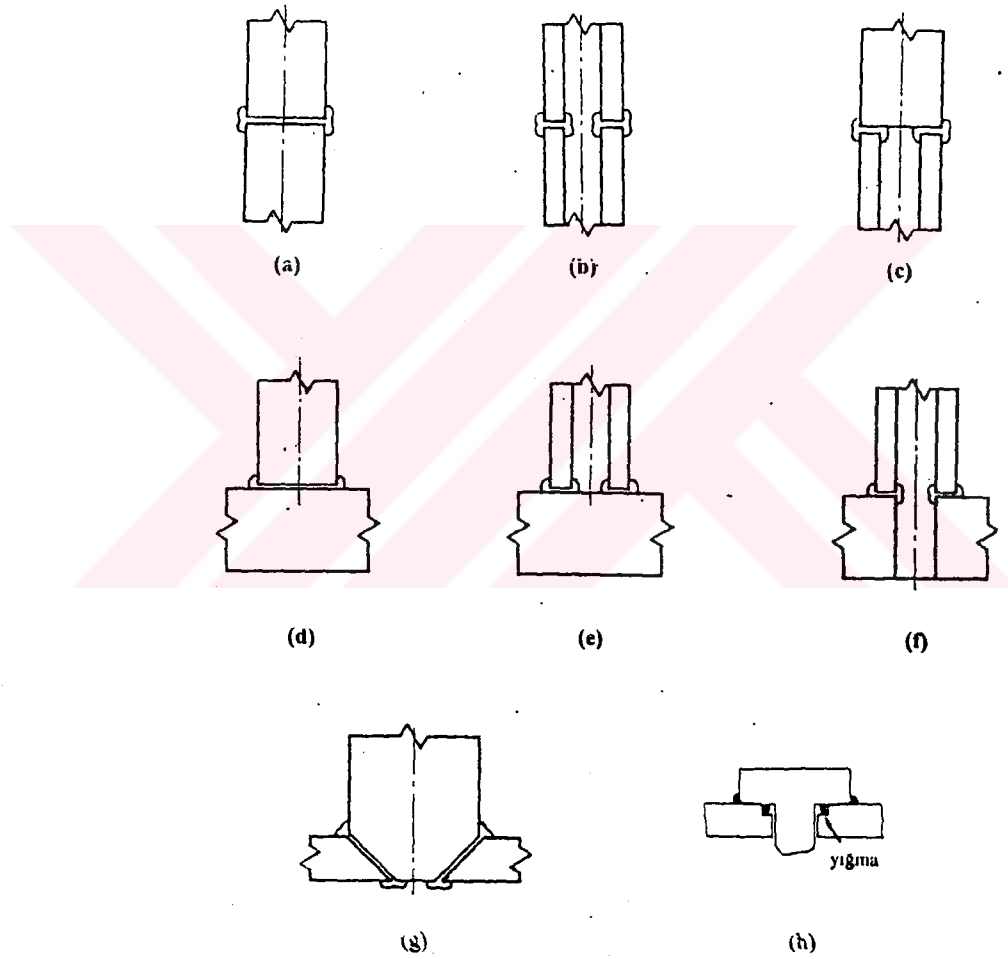
6.3 Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Dizaynı

Sürtünme kaynağında kullanılan kaynak dizaynı genellikle diğer proseslerden daha kritiktir. Alevle kesilen yüzeyler kaynaklanabilmektedir. Genelde gres boya ve diğer bulaşıklıklar bir problem oluşturmaz. Ayrıca yüzeyler pas tabakasıyla ve bir yüzey tabakasıyla kaplı olması da kaynak işlemini etkilemez. Ancak kalın oksit tabakalarından, yüzeydeki pullanmalarından, derin çizik ve deliklerden kaçınılmalıdır ve parçalardaki deformasyon sözü edilen bulaşıklıkları dışarı sürebilecek mertebede olmalıdır. Bunun dışında farklı özelliklere sahip metal ve oluşumların (Al-Çelik) yüzey hazırlığına daha çok önem verilmelidir. Ayrıca kaynaklanacak yüzeylerin özel bir şekle sokulması gerekmez, ancak büyük çaplı parçalarda sürtünmeye yardımcı olmak için küresel veya kesik koni şeklinde ağızlar yüzeyde oluşturulabilir.

Parçalar herşeyden önce en az eksen kaçıklığı verecek şekilde dizayn edilmelidir. Kaynak toleransları çalışma parçalarındaki kusurlar kadar kaynak makinasına da bağlıdır. 0.203 mm'lik uzunluk toleransı ve 0.203 mm'lik eksen kaçıklığı kabul edilebilir değerler olarak F. Gonovski tarafından önerilmiştir. Ayrıca G.H.C. Begg ve B.A. humpreys adlı araştırmacılar ise 0.2 mm'lik bir aksenal karşılık toleransı, 0.001 rad'lık açısal tolerans önermişlerdir./7/.

Sürtünme kaynağının doğasından dolayı özel sürtünme hareketi durumları hariç parçaların en az bir tanesinin dönel olması arzu edilir. Karışık şekilli parçalar ya da dövülmesi çok zor parçalar için dövülerek şekillendirilmiş iki veya üç parça sürtünme kaynağı ile biraraya getirilerek üretilebilir. Sürtünme kaynağı ile ilgili temel dizayn şekilleri çubuk- çubuk, boru- boru, çubuk- boru, çubuk-levha, boru-levha ve boru-çelik şeklindedir (Şekil 6.12). Sürtünem kaynağı ile yapılacak açık bağlantılarda eksenle olacak

açının büyük olması D.L. Kuruzar tarafından önerilmiştir. Genel literatürde bu açının 30° - 41° ve 45° - 60° arasında olması önerilmiştir. Açık bağlantıya ilişkin bir örnek Şekil 6.12g'de görülmektedir. Bazı dizayn şekillerinde yağmanın alınması çok zor ya da imkansızdır. Bu tür durumlarda dizaynda kaynak bağlantısına bitişik yapmış aralıkları bırakılır (Şekil 6.12h).



Şekil 6.12- Sürtünme Kaynağı Dizaynları

Sürtünme kaynağı için bağıl hareket araştırılırken, bu hareketlerin en basit olanı, iki iş parçasından bir tanesinin döndürülmesi ve diğerinin sabit kalması şeklinde olduğu gözlenir. Bu işlemde kesitlerden biri genellikle dönel geometrik yapıya sahiptir. Hegzagonal hatta karesel kesitlerde büyük kesitli irleştirmelerde başarıyla sürtünme kaynağına tatbik edilebilmektedir. Ancak bu tip birleştirmelerde köşelerde oluşabilecek oksidasyon, fasıllı ısıtma ve soğutma gibi durumlardan kaynaklanabilecek eksik ve yetersiz kaynak birleştirmeleri söz konusu olabilir.

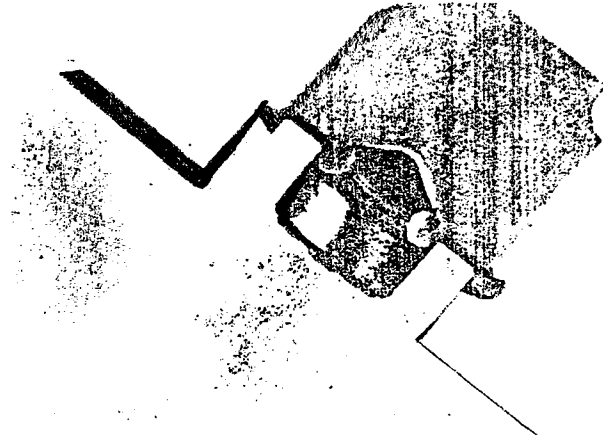
6 temel birleştirme verilmiştir (Şekil 6.13).



Şekil 6.13-

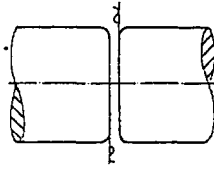
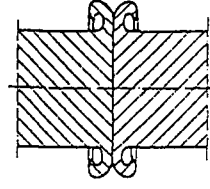
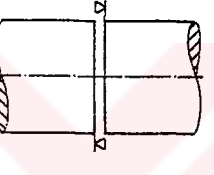
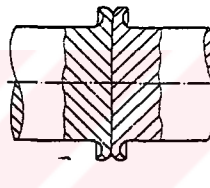
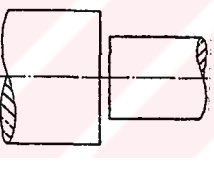
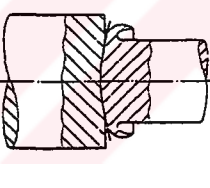
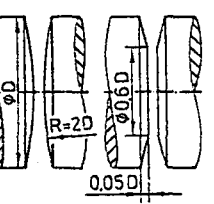
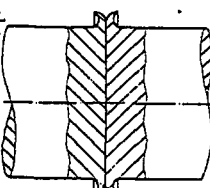
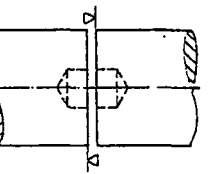
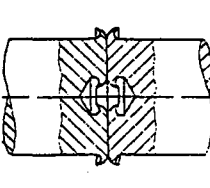
Millerin millerle ve tüplerin tüplerle birleştirilmesinde genellikle balans geometrisi kullanılmaktadır. Bu tip geometri şu tip avantajları beraberinde getirir. Kaynak kıvrımının kolaylıkla kaynak bölgesinden ayrılmasını, çentik etkisi ve kaynak kıvrımlarının daha az ebatta olması. Sözkonusu kıvrımların karakteristik olarak büyük olmasına rağmen parçalar eğilmeye maruz kalacaktır. /21/.

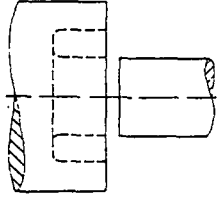
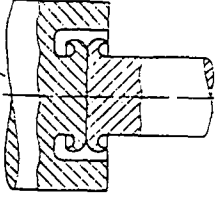
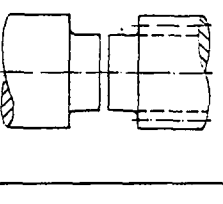
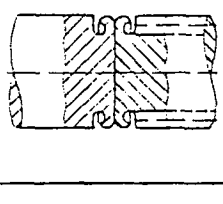
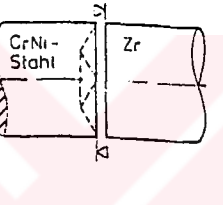
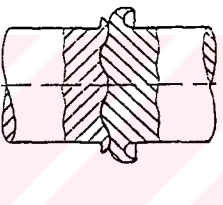
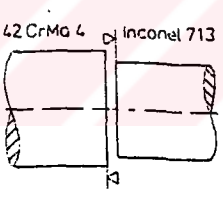
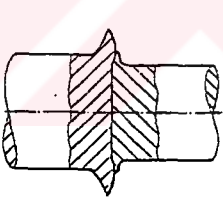
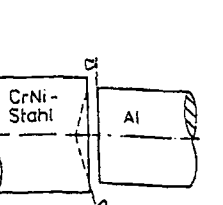
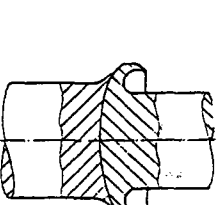
Bazı durumlarda ise, birleştirilecek parçaların malzemesine göre anti balans geometrisi uygulanır. Bu tip birleştirmeler kaynak sıcaklıklarında birbirinde farklı değerlerde mukavemet özellikleri gösteren malzemelerin kaynağında kullanılır. Bu tip durumlarda daha düşük mukavemette olan malzemeler daha büyük kesitte tutarak, malzemeler arasında eşit şekil değiştirme sağlanmış olur. Yüksek alaşımli türbin çarkının atalet kaynağı ile birleştirmesi, anti balans geometrisine güzel bir örnektir (Şekil 6.13d). Burda türban çarkı birleştiği şaft milinden daha yüksek mukavemettedir ve sonuçta şekil yüksek mukavemetli türbin ve şaft çarkı arasında eşit olarak oluşmaktadır. Aksi olduğu takdirde yani eşit boyut ve çapta olabilecek şaftta çabuk bir şekil değiştirme olurken türbin çarkında şekil değiştirme olmayacaktır.



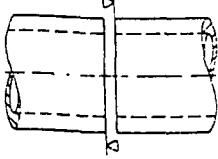
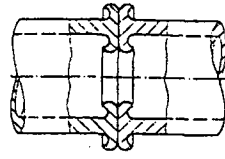
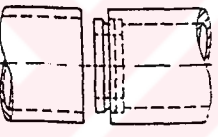
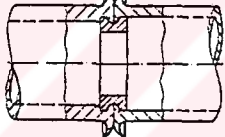
Şekil 6.13d

Şekil 6.14 Masif Kesitler

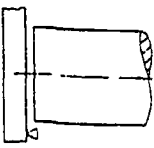
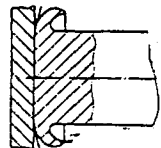
No:	Tanımı	Gösterilişi		Avantajları	Dezavantajları	Uygulama Sahası
		Kaynaktan Önce	Kaynaktan Sonra			
6.14.1	İşlenmemiş masif kesit			Mek.ışl. yok.(Ör. kum.püs dök.par)	Uz.kay.sür ,büy.boy. fazlalığı.	Bütün imalat sahaları
6.14.2	İşlenmiş Masif Kesit			Kısa.kay süresi, az.boy tolerans.	Mekanik işlem	Bütün imalat sahaları
6.14.3	Masif Kesitle-Çubuk			Mek.ışl yok,Tal işl.eko	Parçalara farklı ısı girişi	Döv.pa biyel mil, armatür.
6.14.5	Yardımcı Sürtünme			Par.tem düş.güç ihtiyacı, Daha iyi malz.geç	Zor.yüzey işl.sıcağa daya.malz cidar.oksit birikimi	Büyük kesitte parçalar
6.14.5	Merkezi delik masif kesit			Parç.tem asında düşük güç ihtiyacı	Zor.yüzey işl.,kesit zayıf.,delik çentik.etki çok.küç. deliklerde	Büyük dolu kesitler

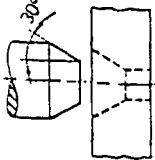
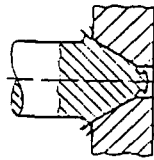
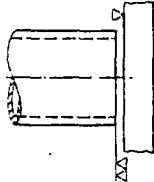
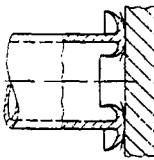
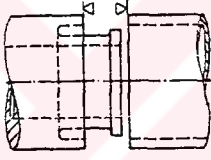
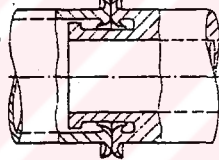
6.14. 6	Mil - Massif kesit birleşimi			Uygun kaynak yüzeyi geometri si	Mek. işlem , düşük sürekli mukave.	Volant , mak. el eman. kapaklı ar
6.14. 7	Vida - dişli mil birleşimi			Darbe sath geometri si	Ön hazırlık, mekanik ön çalışma	Vidalı miller
6.14. 8	İşlen.masi f.yatay kesit(uç form. etki)			Fark.mal için.uyg. kay.yata. parç.uyu sime.plas şekil.değ	Ön mekanik hazırlık işlemi	Karasö ri parçala rı
6.14. 9	İşlen.masi. kesit (uç formu etkisi)			Far.fizik özel.par kay.uyumu simet.pla. şek.değiş	Ön mekanik hazırlık	Turbo yükleyi cisi
6.14. 10	İşlenmiş masif yatay kesit (uç formu etkisi)			Far.mek özel.mal simet.pla şekil.değ	Ön mekanik hazırlık	Turbo yükleyi cisi,tür bin kanatla rı

Şekil 6.15 Boru - Yatay Kesit

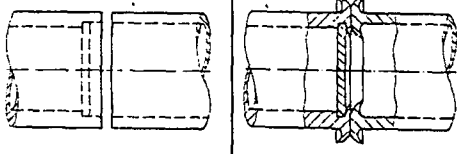
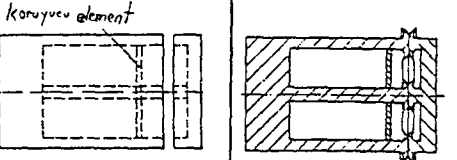
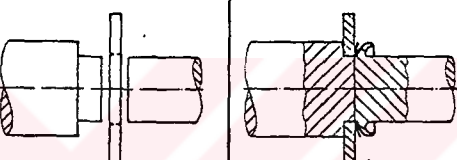
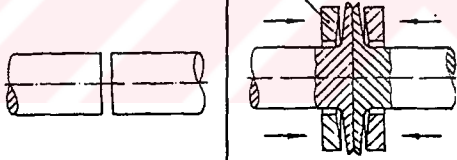
No:	Tanımı	Gösterilişi		Avantajları	Dezavantajları	Uygulama Sahası
		Kaynaktan Önce	Kaynaktan Sonra			
6.15.1	Boru - Yatay Kesit			Kısa.kay süre.mas kesit.gör yüz.küçü kuv.etki.	İnc cidarlı ve.yük.mu kave.malz mek.işlem zorunlu.	Bütün imalat sahaları
6.15.2	Borular			Kısa.kay nak.süre mas.kesi göre.yüz küç.kuv etkisi	Zorun.me işlem,çapa tut.gere.tar zara.çapak .birik.	Kim.te sisleri , oto parçaları

Şekil 6.16 Masif Kesit Boru-Çubuk

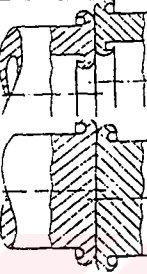

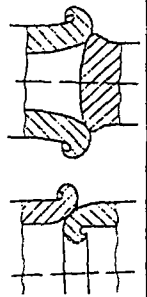
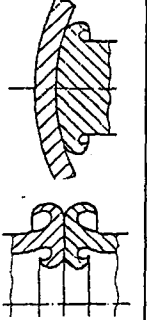
No:	Tanımı	Gösterilişi		Avantajları	Dezavantajları	Uygulama Sahası
		Kaynaktan Önce	Kaynaktan Sonra			
6.16.1	Mille Plaka			Kısa kaynak süresi, düşük ısı girişi	Kay.bölge plaka.iyi destek.yüz ey işleme	Kaldır araç.iş takım. bağlatı parçaları

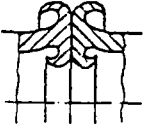
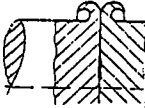
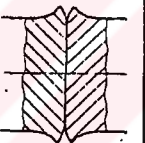
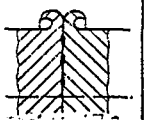
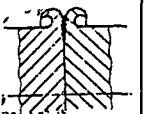
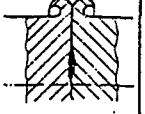
6.16. 2	Delikli plaka - Mil bağlantısı			Kısa kaynak süresi, ken.mer kez.küçü çapak	Mekanik işlem, kısmı şekil bağlantısı	Valf yuv.tür b.dişli çar fla nş, arm atür
6.16. 3	Plaka - Boru			Kıs.kayn süre,ken merkezle küçük çapak	Sorunlu ağız hazırlama işlemi	Armat, iç.boş par,po ,hidro.l elema
6.16. 4	Masif kesitin boruyla malafalı kaynağı			Çok kısa kaynak süreleri	Boru ve plakanın hassas mekanik işlemi	Bütün imalat sahalar 1

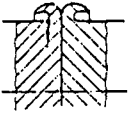
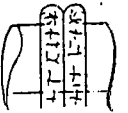
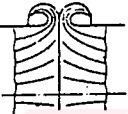
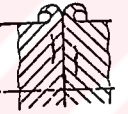
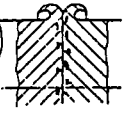
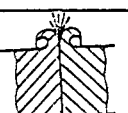
Şekil 6.17 - Özel Durumlar


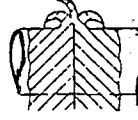
6.17. 1	Plaka Kaynatılmış Boru Kesiti		Çok kısa kaynak süresi	Mekanik ağız hazırlama işlemi	Mafsall milleri hücrele ri
6.17. 2	Hücre Kaynağı		Çok kısa kaynak süresi	Zorunlu ağız hazırlama işlemi	Piston, hücrele r
6.17. 3	Yapış.Rin g-Masif Kesit.Bağ		Tekbir sürt.kay ilebirden çokparç aynında bağ.	Mekanik ağız hazırlama işlemi	Amörti sör
6.17. 4	Yönlendi rilmiş Çapak Formu		Tekbir sürtünile birden çokparç aynında bağlanm	Çok uzun kaynak süresi	Valf pimleri , mil bağlant ıları

Şekil 6.18 - Sürtünme Kaynağında Meydana Gelen Hatalar ve Sebepleri

NO	TANIMI	AÇIKLAMA	ŞEMA	KONTR OL	SEBEP	TEDBİR	YORUM
6.18.1	Millerin Birleşimi	Paralel konan aksların kaynağı		Gözle kontrol	Kons.hat geçme.pa çokdar.to leranslar	Serbe.ölçü uzun.germ takım.ile düzeltme	Farklı.mu kav.özelli malz.kay. ince.cidar parç.kayn
6.18.2	Büyük Millerin Kaynağı	Açı sapması		Gözle kontrol	Çok.yük. eksen.güç oluş.çok yük.serbe ebat.bulu	Serbest uzunlukların kısa tutulması	Farklı muk.özelli sahi.malz kay.ince cidar.par kaynağı
6.18.3	Millerin Kaynağı	Geçme parça.çar pışma yüzeyine gelişi		Gözle kontrol	Yan.kayn geo.çok büy.serbe ebat.yanlı parametre seçimi	Serbest uzunlukların.kısa tutulması	Farklı muk.özelli malz.kay ince.cidar parça kaynağı
6.18.4	İmalat Şekilleri	İstenil. geometri değişiklikler (eğme/ şişme)		Gözle kontrol	Yetersiz besleme	Çizgi diliminin	Farklı muka.öze malz.kay incecidar parça kaynağı

6.18. 5	İmalat Şekilleri	İstenilme yen geometri değişikler		Ölçünün gözle kontrolü	Yetersiz besleme	Gerilme değişimi çizgi diliminin yükseltil.	
6.18. 6	Yetersiz Bağlantı / Bağlantı Hatası	Bağlantı yüzeyinde kısmı eksilme		Büyüyen ve küçülen sath kırıl.gözl kontrol	Darbeli kaynak	Kay.param et.optimal değer.ulaşt anda.kayn	
6.18. 7	Kenar	Kenar bölümün de oyuk açılması		Gözle kontrol, delme kontrolü	Darbeli kaynak	Kaynak parametre. optimal değer.ulaşt ığı anda kaynak	
6.18. 8	Bağlantı Testi	Yabancı maddeleri n etkisi		Delme kontrolü	Çapak, cüruf, kabuk, yağ, pas kalıntısı	Darbe yüzeylerini temizl.veri merkezin delmebölğ kontrolü	
6.18. 9	Kırıklar	Kenar bölge.par ayrılma İç.bölge ayrılma	 	Ses kontrolü göz.kontr delme kontrolü Ses kontrolü	Farklı ısı dağılımı oluşan iç genleşme farklılığı	Ön ısıtma ,kaynak son.ısl işlem.kayn parametre ayarlama	Kritik bölgede hızlı.soğu oluşan sertleşme ;Örn: Yük.çelik leri

6.18. 10	Kırıklar	Ağız Kısımları Uzunla. kıvrımlar	 	Gözkont, mag. toz., kontr, del me, endük akı. kont. Magn. toz ve gözle	Büyük karbi Şişirme basınç. ço yükse. ısıt ma. yüzey sürtm. olu	Yükleme basıncında ayarlama Kaynak parametres i değışikliği	Al. ve alaşımları Wolfram ihtiva eden çeliklerde
6.18. 11	Kuvvetli Dönme Gücü			Görüntü kontrol		Amaçlanm amış malzeme	Bitiş bölgesind sınırlı şekil değışikliğ
6.18. 12	İntermetalik Faz	Metal içi safhalar , geçme parçaların ın bitişı			Çeşitli malzemel erin, kaynak parametre sinde değışme	Malzeme seçiminin kaynak parametres ine değıştirme si	
6.18. 13	Karpid, oksid, nitrit birleşme bölgesind e burulma	Geçme parçaların kaynak içine nufuziyeti				Kaynak parametres ine göre homojen malzemeni n diğerleriyle eşleşmesi	
6.18. 14	Şişme oluşması	Kaynak köşeleri		gözle kontrol			

6.18. 15		Bitiş yüzeyinde spiral şekli oluşumu		gözle kontrol	Yetersiz ısınma	Yüksek devir ve yüksek enerji uygulama	
6.18. 16		Kurallara muntaza m uygun		gözle kontrol			

Sürtünme kaynağı uygulaması değişik biçimlerde olan parçaların birleşerek yüzeyletin dönel simetrik olma önkoşulu ile sınırlandırılmış bulunmaktadır. Birleştirilecek yüzeyleri kaynak öncesi gerekli olan ön hazırlanmasına ait bazı örnekler Şekil 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18'de görülmektedir./2/.

6.3.1 Kaynak Ağzının Hazırlanmasında Dikkat Edilecek Hususlar

Konstrüktör iş parçasının şekli, her bir parçanın gruplandırılması ve üretim şartlarının seçimi vasıtasıyla sürtünme kaynağının avantajlarından yararlanılabilir.

Sürtünme kaynağı bağlantısı genel olarak anma yüzeyini kapsadığından aşağıdaki hususlara özellikle dikkat etmek gerekir:

1. Dönel simetrik alım kaynağı öncelik taşımalıdır.
2. Parçaların bağlanmasında yeterli uzunluk ve rijitliğe dikkat edilmelidir.
3. Büyük çaplı parçalarda küresel veya kesik koni şeklinde bir ağızla sürtünmeye yardımcı olunabilir.
4. Ayrılma kesitleri genellikle yeterlidir.
5. Büyük masif kesitlerde sürtünme kaynağı sırasında malzeme transferini kolaylaştırmak amacıyla yeterli çap ve derinlikte aksenal girinti yapılabilir.

6. İnce odaklı borularda tavsiye işlemi mümkün olduğu kadar az tutulmalıdır.

6.3.2 Kaynak Yüzeyinin Hazırlanmasında Dikkat Edilecek Hususlar

1. Sürtünmeyi önleyecek veya azaltacak kav, madde ve döküm tabakaları kalın oksit tabakaları, çekme veya dövme işlemi tozları yağlama yüzeyleri uzaklaştırılmalıdır. Kaynaklı parçalarda az bir kısılma sözkonusu ise yağ, pres, boya, incepas tabakası da giderilmelidir.
2. Ağız bölgesindeki su verilmiş sert tabakalarda yumuşatma tavlama ile giderilmelidir veya bu tabaka da kaynak işlemi sırasında ortadan kaldırılabilir şekilde ince olmalıdır.
3. Malzeme kombinasyonlarında kaynağın cinsi malzemenin özel şartlarına uygun olmalıdır.
4. Malzeme kombinasyonlarında farklı deformasyon kabiliyetini dengeleme amacıyla sıcakta yüksek mukavemetli parçalar bir ön tavlama tabii tutulmalıdır.

6.3.3 Kaynak Yapılacak Parçaların Bağlanması

Kaynakta söz konusu olan dönme momentleri ve aksel kuvvetler iletilmelidir. Kuvvet ve momentlerin alınabilmesi için sürtünme (kuvvet) bağı veya şekil bağı bağlama tiplerinde yeterli bağlama boyu ve mümkünse bir destek öngörülmalıdır. Sınırlı bağlama boyu için ve yüzeyleri işlenmiş parçalarda şekil bağı tip gereklidir. Bağlama yüzeylerinin kirlenmesi önlenmelidir.

Serbest boy sınımların önlenmesi için mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır. Bu boy teorik olarak meydana gelecek çapakları engellenmeyecek kadar uzun olmalıdır.

6.4 Boy Fazlalığı

Boy fazlalığı malzemeye, kaynak ağzı hazırlığına ve kaynak karakteristiklerine kuvvetle bağlıdır. Bu miktar ve kaynak dikişi için 1/10mm'dir. Boru kesitlerinde ise aynı kesitli masif parçaya göre daha fazladır.

7 .SÜRTÜNME KAYNAĞINDA MİL UÇ ÇAPININ YIĞMA PROSESİ KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

Metallerin plastik deformasyonu teorisinin esasları üzerine yığma prosesinin araştırılması göz önünde bulundurulması gereken bir konudur.Yığma şartları, yığma mesafesi ve yığma hızı, şekil değiştirme oranı , şekil değiştirme derecesi ve yığma kuvveti hakkında metallerin plastik deformasyon direnci kullanılarak fikir edinilebilir./35/

Şekil değiştirme derecesi (Σ) , yığma mesafesinin (ΔU_p), sürtünme yoluyla ısıtılan kütlelerin ilk genişliğine (H_o) oranı ile tespit edilebilir.

$$\Sigma = \frac{\Delta U_p}{H_o} \quad (7.1)$$

Şekil değiştirme oranı (Σ) yığma oranının (I_{up}) ısıtılan kitlenin deformasyon sonrası genişliğine oranıdır.

$$\Sigma = \frac{I_{up}}{H_f} \quad (7.2)$$

Sürtünme kaynağı prosesinin beş safhadan ibaret olduğu düşünülür:

Bu safhaların ilk ikisinde ara yüzeyde ve bunlara bitişik bölgelerdeki millerin uzunlamasına eksenleri boyunca sıcaklık değişimi; millerin uzunlamasına eksenleri

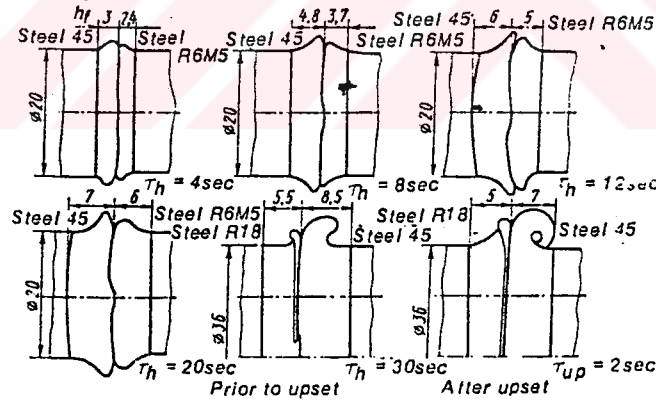
boyunca sıcaklık değişimi ve yüzeydeki üniform olmayan sıcaklık değişimini ifade eder. Fakat üçüncü safhanın başlangıcı ısıtmanın stabilizasyonu olarak karakterize edilir.

Momentin stabilizasyonun başlamasından sonra yığmanın uygulanması kaliteli bir kaynak için gereklidir.

Yığma öncesi millerin alınlarındaki sıcaklıklar eşit olarak kabul edilir.

Çelikler için söz konusu ısıtma α - γ dönüşümünü sağlayacak limit seviyenin üstünde olmalıdır. Yüksek hız çeliğinin C45 çeliğine sürtünme kaynağı deneyinde yeterli deneyin oluşabilmesi için limit sıcaklık 800° - 820° C arasında olmalıdır. Bu esnada ısıtma derinliği (nufuziyeti) ısıtma süresi ile sağlanır. Yüksek hız çeliğinin C45 malzemeli millerin sürtünme kaynağıyla yapılan deneysel birleştirmeenin değerleri Tablo 7.1'de verilmiştir.

Şekil 7.1'de ise çeşitli mil ve uç çaplarındaki numunelerin ısıtma zamanına bağımlı yığma sonrasında deformasyon karakterini gösteren profilolgar yer almaktadır.



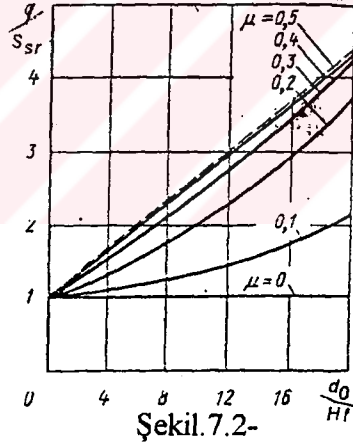
Şekil 7.1- Çeşitli mil çapları ve yığma kuvvetleri için, metal kombinasyonlarının yığma durumları.

Deformasyon sonrası, ısıtma derinliği yüksek, 20 mm çapında hız çeliğinden yapılmış mil için değerleri 3.4-6mm arasındadır. 30mm çapında yüksek hız çeliğinden yapılmış mil için ısıtma derinliği ise 5mm olarak deneyde gözlenmiştir. Aynı çaplarda sade karbonlu çelikten yapılmış milleri için ise ısıtma derinliği sırayla 3 ve 7 mm'dir.

Yığıma prosesi esnasında C45 çeliği için ortalama şekil değıştirme oranı (Σ) hidrolik preslerde kullanılanlara benzerdir ve değerler (0.03-0.07l/sn) arasındadır. Deneyle göstermiştir ki, yüksek hız çeliği için şekil değıştirme oranları sade karbonlu C45 çeliğinden 1.5/2 kat daha azdır. Fakat bununla birlikte, bu oranlar statik testlerin şartlarında kullanılan şekil değıştirme oranlarından daha büyüktür. Bu değerler (0.001-0.003 l/sn) dir.

Şekil değıştirme oranında (Σ) 0.007'den 0.05 l/sn'ye bir artış, deformasyon direncini (S_{sr}) yüksek hız çeliği için %70, C45 sade karbonlu çelik için %20 arttırır.

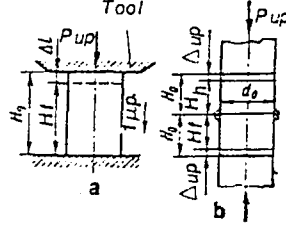
Deformasyon direncinin deneysel kararında, lineer bir gerilme halinde, deformasyon direncine (S_{sr}), özgül yığılma basıncına (q) oranını azaltmak için, millerin sürtünme yüzeyleri arasındaki temas noktalarındaki sürtünmeyi azaltmak gereklidir.



Şekil 7.2' de, şekil faktörü (mil çapı / deformasyon sonrası mil genişliği) ve sürtünme katsayısına bağlı olarak, q / S_{sr} oranını göstermektedir.

Farklı metallerin plastik deformasyonuna dayanan bağlantılar hakkında fikir sahibi olabilmek için sürtünme katsayısının hesaplanması gereklidir. Sürtünme kaynağında , çelikler için sürtünme katsayısı yaklaşık olarak 0,5 civarında alınır.

Şekil 7.2' de görüldüğü üzere küçük deformasyon sonrası genişlik (H_f), akma gerilmesine bağlı olarak en büyük deformasyon direncinde oluşuyor. Burdan çıkan sonuçla, küçük genişlikteki yığılma çapaklarının oluşumunda, büyük deformasyon direncine sahip olan malzemeler karşılık geldiği görülür.

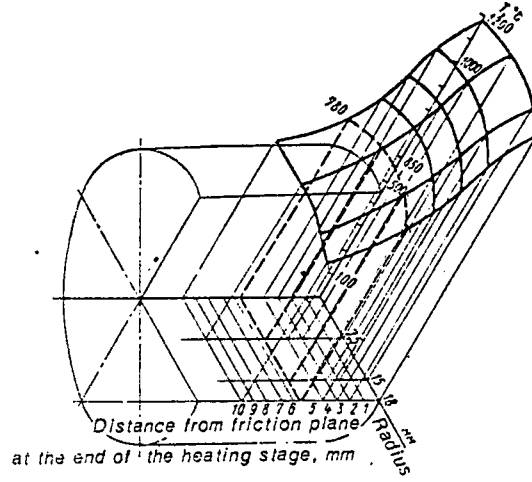


Şekil.7.3-

Şekil 7.3' de, mil yüzeylerindeki yığılma deformasyonunun şeması görülmektedir. Böyle bir durumda, mil yüzeylerinin, uygun bir deformasyon yığılması sağlayacak şekilde ısıtılmasının gerektiği gözlenmektedir. Söz konusu ısınmayı sağlayacak sıcaklık derecesi deformasyon bölgesini belirleyecektir. Bu deformasyon bölgesinin sınırları, sabit bir hızda yığılmanın meydana geldiği mil yüzeylerindedir.

Şekil 7.3' de şematize edilmiş mil parçası ve yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,5 olarak kabul edilmiştir.

Söz konusu şemaya göre, ısıtma derinliği direkt olarak deformasyon direncini etkilemektedir. Küçük olan ısı derinliği, yüksek bir deformasyon direncinde meydana gelmektedir.



Şekil.7.4- $Ph= 6,1 \text{ kgf/mm}$; $th= 30 \text{ sn.}$ değerlerinde, S18-0-1 takım çeliğinden yapılmış olan milin aksenal doğrultuda, yığıma öncesi sıcaklık değişimi.

Şekil 7.4' den elde edilen bilgilere göre, 900° C 'de , R6M5 yüksek hız çeliğinin plastikliği, R18 yüksek hız çeliğine göre 1,5 kat daha fazladır ve bu değer 1000° C ve üstünde , 1,2 kata kadar düşer. Sonuç itibarıyla , R6M5 çeliğinin 16 kgf / mm yığılma basıncında % 10 ' luk bir gerilme ve $0,05 \text{ 1 / sn}$ ' lik bir deformasyon 900° C üstünde meydana gelir. Buna karşın $0,007$ ' lik bir şekil değiştirme oranında , deformasyon 800° C ' de başlar.

Şekil faktörünün etkisi, deformasyon gerilmesinin arttığı plastik bölge civarında deformasyonu sınırlamasıdır.

Eğer 5 kgf / mm ' lik bir yığılma basıncında ve $0,005$ ' lik bir şekil değiştirme oranında , C45 sade karbonlu çelik için şekil değiştirme 1000° C meydana gelir. Aynı malzeme ve aynı yığılma basıncında fakat $0,007 \text{ 1/ sn}$ ' lik şekil değiştirme oranında , malzeme 900° C şekil değiştirme meydana gelmektedir. Burdan sonuç ışığında, artan şekil değiştirme oranı neticinde , malzemeler daha düşük sıcaklıkta deforme olduğu farz edilirse , sürtünme zamanında artan şekil değiştirme oranıyla azalması gereklidir. Bu sınır sıcaklık oranı, yüksek hız çeliklerinde 1100° C ' nin üstün meydana gelir.

Yukarıda açıklanan bilgiler ışığında şu sonuca varabiliriz ; yığılma prosesi öncesinde mil sürtünme yüzeylerinin ısıtılma derecesi ve ısı derinliği, şekil değiştirme derecesi ve oranının tespiti için önemli bir etmendir.

Farklı iki malzemenin sürtünme kaynağında, yığma basıncını hesaplarırken, daha büyük mukavemetli olan malzemenin deformasyon direncine göre hesap etmek ve konstruksiyonları ve gerekli uç formlarını bu bilgi ışığı altında yapmak gereklidir.

Sonuç itibariyle 3 önemli faktör ortaya çıkar .

1.- Yığılma işlemi, plastik şekil değiştirme kurallarına göre meydana gelmektedir.

2.- Yığma öncesi millere etkiyen ısı derinliği, şekil değiştirme oranı ve derecesi ile saptanır.Söz konusu sürtünme etkisiyle meydana gelen ısı derinliği, milin uç formunda yapılacak konstruktif değişikliklerle direk olarak şekillendirilebilir veya arzu edilen dereceye getirilebilir.

3.- Sürtünme kaynağı için kullanılan yığma basıncı değerleri hesaplamaları diğer yığma ile gerçekleşen kaynak metodları içinde kullanılabilir.

Metallerin deformasyonunu, hidrodinamik anoloji ile izah edebiliriz.Yığma prosesi, iki dairesel düzlem arasındaki viskos sıvının akışı ile tarif edilebilir.Kullanılan viskozite bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$\mu = \mu_0 \cdot \exp\left[b\left(\frac{z}{h}\right)^2\right] \quad (7.3)$$

Literatürde teklif edilen, akışkan akışının diferansiyel denklemlerin integrasyonu metodu kullanılarak, aşağıdaki yığma kuvvetini bulabiliriz.

$$Pf = \frac{-v \cdot R^2 \cdot \mu_o b}{4 \cdot h^3 \left[2 \cdot e^{-b} - \sqrt{\frac{\pi}{b}} \cdot \phi(\sqrt{b}) \right]} \quad (7.4)$$

Burada ; V : Kaliteli bir kaynak bağlantısının üretimi için gerekli numunenin yığma hızı

R : Nunenin yarı çapı

h : Metalin ısıtılan kalınlığı (deformasyon bölgesinin derinliği)

$$\mu_o = \sigma b / \dot{\epsilon} \quad (7.5)$$

μ_o : Sıvı modelin relatif viskozitesi

B(0) : Numunenin kontak bölgesindeki sıcaklıkta deforme olmuş metalin akma noktası

$\dot{\epsilon}$: Numunenin şekil değiştirme oranı : C45 : 0,03 - 0,06
S18 : 0,02 - 0,04

$$b = \sigma B(p) / \sigma B(o) \quad (7.6)$$

b : Metallerin mekanik özelliklerinin değişimini karakterize eden katsayıdır.

$\sigma B(p)$: Metallerin plastik deformasyon bölgesinin sınırlarına tekabül eden sıcaklıktaki akma noktasıdır. Sürtünme kaynağında bu sıcaklıklar $600^\circ - 700^\circ C$ civarındadır.

μ_o : Relatif viskozite yerine konursa, kaliteli bir bağlantının üretimi için gerekli dövme kuvveti hesabı için final formül elde edilir.

$$P_f = - \frac{R^2 \cdot b \cdot \sigma_B(o)}{4 \cdot h^2 \left[2e^{-b} - \sqrt{\frac{\pi}{b}} \cdot \phi \cdot (\sqrt{b}) \right]} \quad (7.7)$$

Bu, formül, tecrübi datalardan elde edilen basit faktörler kullanılarak hataları düzeltilebilir.

Aşağıdaki değişkenler hesaplamalarda kabul edilmiştir;

Bağlantı sıcaklığı : 1000° C

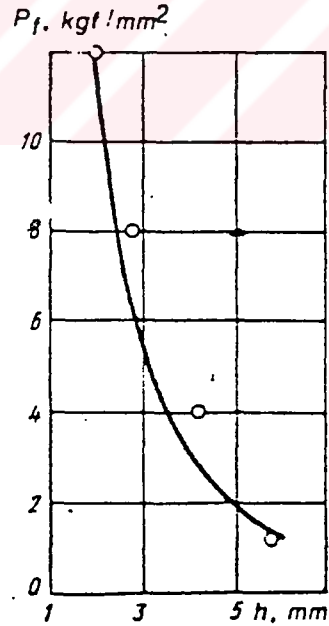
Plastik şekil değiştirme bölgesinin sınır sıcaklığı : 600° C

Numune çapı : 16 mm

Çelik için akma noktası : 20,3 kgf / mm²

Çelik içi mekanik özellikler değişim katsayısı : 0,69

Şekil 7.5' de bu formülün yığma kuvveti hesabında kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil.7.5 - Deformasyon bölgesinin genişliği üzerine dövme kuvvetinin bağımlılığı .

Tablo 7.1 - C45 ve S18-01 çeliklerinden yapılmış miller için deneysel bilgiler.(*)

Sürtüme süresi (sn)	yıgma sonra ısı. etk derin (mm)		yıgma boyu (mm)		yıgma önce ısı. etki derinl. (mm)		Defor. dere. cesi (%)		Şekil değiş. hızı (1/sn)	
	S18-1	C45	S18-1	C45	S18-1	C45	S18-1	C45	S18-1	C45
4	2,4	3	0,08	0,5	2,48	3,5	3,2	14,3	0,02	0,083
6	3	3,5	0,12	0,6	3,12	4,1	3,8	14,5	0,02	0,086
20	6	7	1,05	1,54	7,05	8,54	14,9	18	0,08	0,11
30	5	7	0,5	1,5	5,5	8,5	9,1	17,7	0,05	0,10

(*)

Tablo 7.2

Çelik	Şekil değiş. dere (%)	Şekil değiş. hızı (1/sn)				Şekil değiş. geril. (kgf/mm)	900 °C	1000 °C	1100 °C	1200 °C
S18-1	5	0,007					14,3	9,3	6,0	3,8
S18-1	20	0,05					22,5	15,8	11,7	8
C45	5	0,007					6,7	4,5	3,0	1,9
C45	10	0,05					8,7	5,2	3,7	2,3
C45	20	0,05					10	6,8	4,4	2,7

(*) : İlk üç ölçüm 20 mm çapındaki çeliklere, 8,1 kgf/mm yığma basıncında, son ölçüm 36 mm çapındaki çeliğe 6,1 kgf/mm yığma basıncıyla uygulanmıştır.

8 - UÇ FORMUNDA VE YIĞMA BASINCINDAKİ ARTIŞIN KAYNAK PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Bu inceleme, mil ve yığma basınç değerlerinin değişiminin proses parametreleri üstündeki, etkisini denemek amacındadır./31/.

Kaynaklanmış parçaların çap değerlerini, sürtünme kaynağındaki etkilerini denemenin bazı problemleri vardır.Çünkü basınç ve sıkıştırıcı kuvvet gibi, diğer parametreleri değiştirmeden bu parametreyi değiştirmek mümkün değildir.Bu yüzden kaynaklanmış millerin uç formu değerlerinin etkilerini iki aşamada deneyeceğiz; sabit basınçta ve sabit sıkıştırma kuvvetinde .

İncelemede alınan malzeme St 3 çeliğidir ve mil uç çapları sırayla ; 12, 14, 16 mm 'dır. Toplam faktöryel deney planına uygun yapılan ilk deney aşamasında kaynak devri süresinde sabit olan basınç iki seviyelidir. (27,5 ve 47 Mpa)

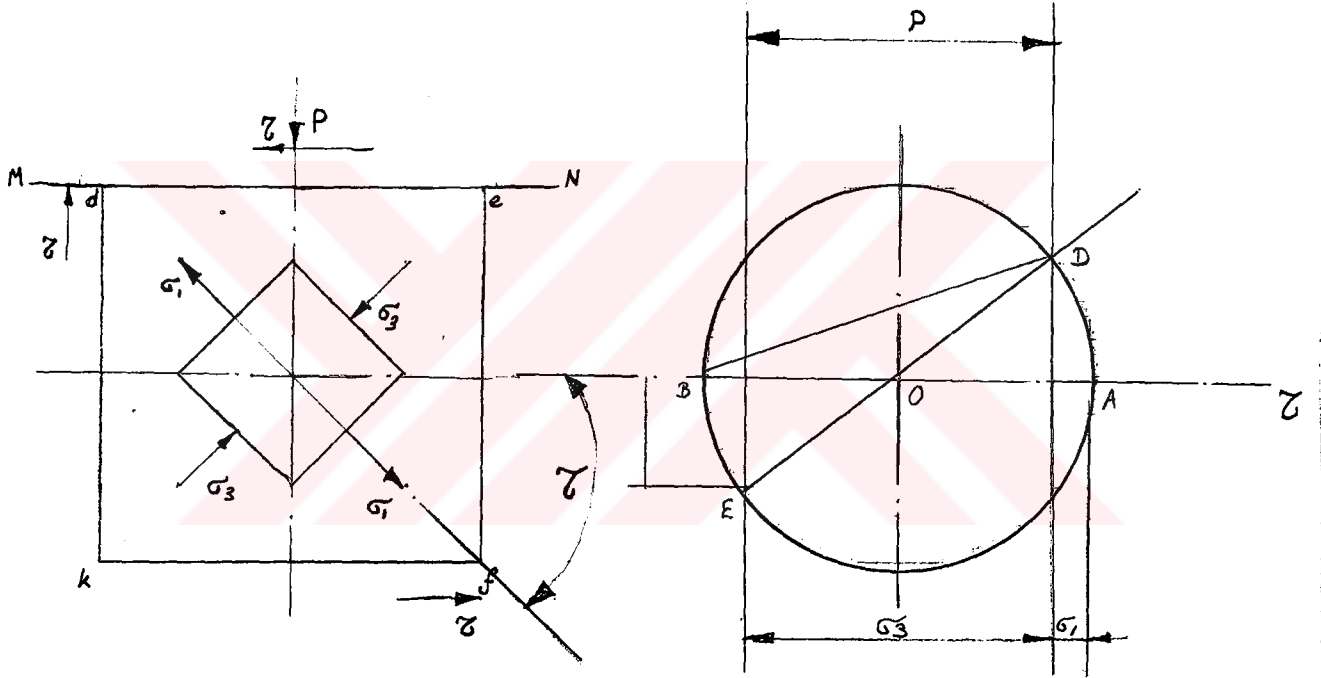
İkinci inceleme aşamasında , sıkıştırıcı güç bütün diyametre numuneleri için eşittir (10 kN)

Buna ek olarak temas sürtünme güçlerinin momenti, devir hızı ve zaman bir osilloskopa kayıt edilmiştir.Ölçülen bu değerler nezninde sürtünme katsayısı (μ) , deformasyon işi ve eşdeğer gerilme (σ_e) değerleri hesaplandı.

Sürtünme işlemi için gerekli kuvvet sürtünme gücü momenti ve açılal çevre hızı çarpılarak elde edildi.Bu parametreler ossillaskpada 0,1 sn' lik adımlar için belirlenmiştir.

Eş değer gerilmenin (σ_e) prensibini ve hesaplama metodunu açıklamak için kaynak numunelerinden birinin temas yüzeyi MN' ye btişik bir elemanter küpü (defk) inceleyeceğiz (Şekil 8.1) . Normal basınç (P) küpün köşeleri boyunca temas yüzeyine paraleldir ve de köşesi temas yüzeylerinin kayması sonucu ortaya çıkan tanjantsal sürtünme gerilmesi (Z)nin etkisi altındadır.

Tanjantal güç çifti kavramına bağlı olarak küpün diğer üç köşesi aynı güçte fakat karşı istikamette güçlerin etkisindedir. Denenen küpün radya yöndeki bitişik lemanlarına etkisi dikkate alınmayacaktır. Deney küpünde bulunan temel extreme güçlerin büyüklüğünü ve yönünü belirlemek için Mohr dairesi kuracağız (Şekil 8.1). P ve τ 'yi $O\tau$ ve $O\sigma$ koordinat eksenleri boyunca çizerek ve bunların kenarlarını dikkate alarak ve D ile E noktalarını birleştirerek Mohr dairesinin çapına ulaşırız.



Şekil 8.1- Sürtünme, temas bölgesinde sürtünme gerilmesi (τ) ve sıkıştırma basıncı (P) üzerindeki temel gerilmelerin (σ_1 ve σ_2) Mohr dairesindeki dağılımı.

Radius $R = \sqrt{(P/2)^2 + \tau^2}$ büyüklüğünde daire çizerek ve A ve B noktalarını buluruz.

Bu noktaların absisleri esas (temas) gerilmelere σ_1 ve σ_3 'e eşittir.

$$\sigma_1 = (-P/2) + R = (-P/2) + 1/2 \sqrt{(P)^2 + 4Z}$$

$$\sigma_3 = (-P/2) - R = (-P/2) - 1/2 \sqrt{(P)^2 + 4Z}$$

Bu güçler dönen küpün d,e,f,k köşeleri boyunca etki eder. Bu temel gerilmelerden biri akma gerilmesidir.

Güç teorisine göre, eş değer gerilme $\sigma_e = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_3^2}{2}}$ dir.

1 ve 3 değerleri yukarıdaki eşitliğe koyarsak $\sigma_3 = \sqrt{(P)^2 + 4Z}$ buluruz.

$Z = \mu P$ olduğu için temas alanına göre ortalama eşdeğer gerilme $\sigma_e = P \cdot \sqrt{1 + 4\mu^2}$ dir. Burada μ , sürtünme katsayısı, bütün temas alanına göre ortalama alınmış değeridir.

İncelmenin sonuçları, Şekil 8.2.5'te grafiğe aktarılmıştır. Grafik eğrisi 8.2.5 (5), deneyin ortalama sonuçlarına göre çizilmiştir.

Şekil 8.2 (rod) mil uç formu değerlerinin kaynak devirindeki değişik parametreler üzerindeki etkisi göstermektedir. Burada devir, sabit çevre hızı ve dönen parçaların serbest düşüşteki hız kesme aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamaların süresi, n eğrisinde gösterilmektedir.

İlk aşama incelmenin başlangıcından, elektrik motorunun kapanışına kadar devam etmektedir. Bu işlem, bütün uç formu değerleri için eşit olan 1mm olan yığılma değerinde işleme girecek bir kapatma şalteri ile gerçekleştirilir. İşlem gören parametrelerdeki takip eden değişiklikler uç formundaki artan değerler doğrultusunda kaydedilir. Sabit durumda tutulan zaman artırılmalıdır. İkinci aşamada hız kesme oranı daha yüksektir ve bu aşamanın süresi azalmaktadır. Modeli deforme etmekte kullanılan işlem ve eşdeğer gerilme azalmaktadır.

Çevre hızının nominal değerden sıfıra doğru sürekli olarak düşürülmesi durumunda hız kesme aşamasında parameterlerin osmografik kaydı, çevre hızındaki sürtünme katsayısının etkisini deneme imkanı sağlamıştır (Şekil 8.3).

Sürtünme katsayısı çevre hızındaki azalma ile artmaktadır. Sürtünme katsayısındaki artış oranına bağlı olarak, hız kesme aşaması iki periyoddan oluşmaktadır. 100cm/sn'yi geçen yüksek hızlarda, ilk periyod geçerlidir ve bu iki periyodda sürtünmekatsayısı az bir oranda parametreye etki etmektedir. Hız kesme priyodunun ikinci periyodunda sürtünme katsayısı hızın giderek kesilmesiyle beraber hızla artar.

Hız kesme aşamasındaki μ -v bağımlılığını gösteren eğriler, uç formu ebatı ve basıncın artışıyla beraber grafiğin alt kısmında konumlanmış ve rotasyon hızı ve sürtünme katsayısının etkisindeki kuvvet azalmıştır.

Bu eğrinin değişim gücünün karmaşık formunu belirler (Şekil 8.4). Aşamanın başlangıcında sürtünme katsayısı rotasyon hızının azalmasıyla hafifçe artar ve neticede rotasyon hızıyla beraber güç birdenbire azalır.

İkinci periyodda sürtünme katsayısının hızlı artışıyla çevre hızının giderek azalması tamamen karşı dengededir ve bütün uç formu ebatları ve basınç için N eğrisi 1 saniyeye maksimum değerlerde kalır ki bunun yüksekliği hız azalmasının başlangıcına kadar sabit durumdaki güçten daha yüksektir. Bu eğrilerdeki maksimum mil uç ebatı ve basınca bağlıdır ve bu parametrelerdeki artan değerler ile beraber daha yüksek hızlara kayar.

Çelik malzemelerin kaynağında değişik şartlardaki serbest hız düşüşlerinde dönen parçaların hız azalma aşamasındaki yüksek güç değerleri daha önce varılan sonucu doğrulamaktadır. Bu sonuca göre makinanın ani duruşu suni hız kesme kullanılarak yapılamaz.

Geliştirilen teorilere göre yoğılma hızının kaynak teması için gerekli olan eş değer gerilmeye bağlı olduğu söylenmektedir. Mevcut sonuçlar aynı zamanda η ve δ eğrileri arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir (Şekil 8.2).

Millerin uç formu ebatlarındaki artışı, eşdeğer gerilme ve yığılma hızında bir azalma takip eder. Hız kesilme aşamasında ikinci periyotta, eğriler aşağıya doğru konvektir. Yığılma hızı, hız kesilme aşamasında azalır. Buna eşdeğer gerilmedeki artışa bağlı olarak sürtünme katsayısının hızlı artışı sebep olmaktadır.

Üretim şartlarında (rotasyon hızı ve sıkıştırma gücü) aynı sürtünme kaynak makinasındaki milleri kaynaklamak gerekmektedir. Bu yüzden ikinci şeride yapılan incelemede (aynı ebatlardaki millerin 12, 14, 16 mm) 10kN değerinde sabit sıkıştırma kuvvetinde kaynak yapılmaktadır. Bu durum pratik uygulamalar için önemlidir. Bu şartlarda 12, 14 ve 16mm'lik mil çap değerlerindeki basınç basınç 88, 64 ve 50 Mpa'dır.

Şekil 8.5'te inceleme sonuçlarına göre sürtünme katsayısı değişiklikleri ve kaynak kontak gücünün dönme hızındaki düşüşle değişen karakteristikleri gösterilmektedir.

Aynı güç ve aynı sıkıştırma kuvvetlerinde yapılan kaynak deneylerinin mukayesesi göstermiştir ki son aşamada deney parametresi çaplardaki ebat değişikliğinin etkisi azalmaktadır. Boyutlardaki artma sürtünme katsayısı değerini azaltmaktadır ve bu esnadaki birleşme basıncındaki azalmanın etkisi ters istikamette olmaktadır.

Son analiz olarak sabit bir sıkıştırma kuvvetinde değişik mil çap ebatları için μ -v eğrileri bir araya toplanarak kesilmektedir. Bu durumda, değişik deney oranlarında, sürtünme katsayısı az derecede mil çapının büyüklüğüne bağlıdır. Bu ayrıca, N-V eğrilerine uygulanmıştır.

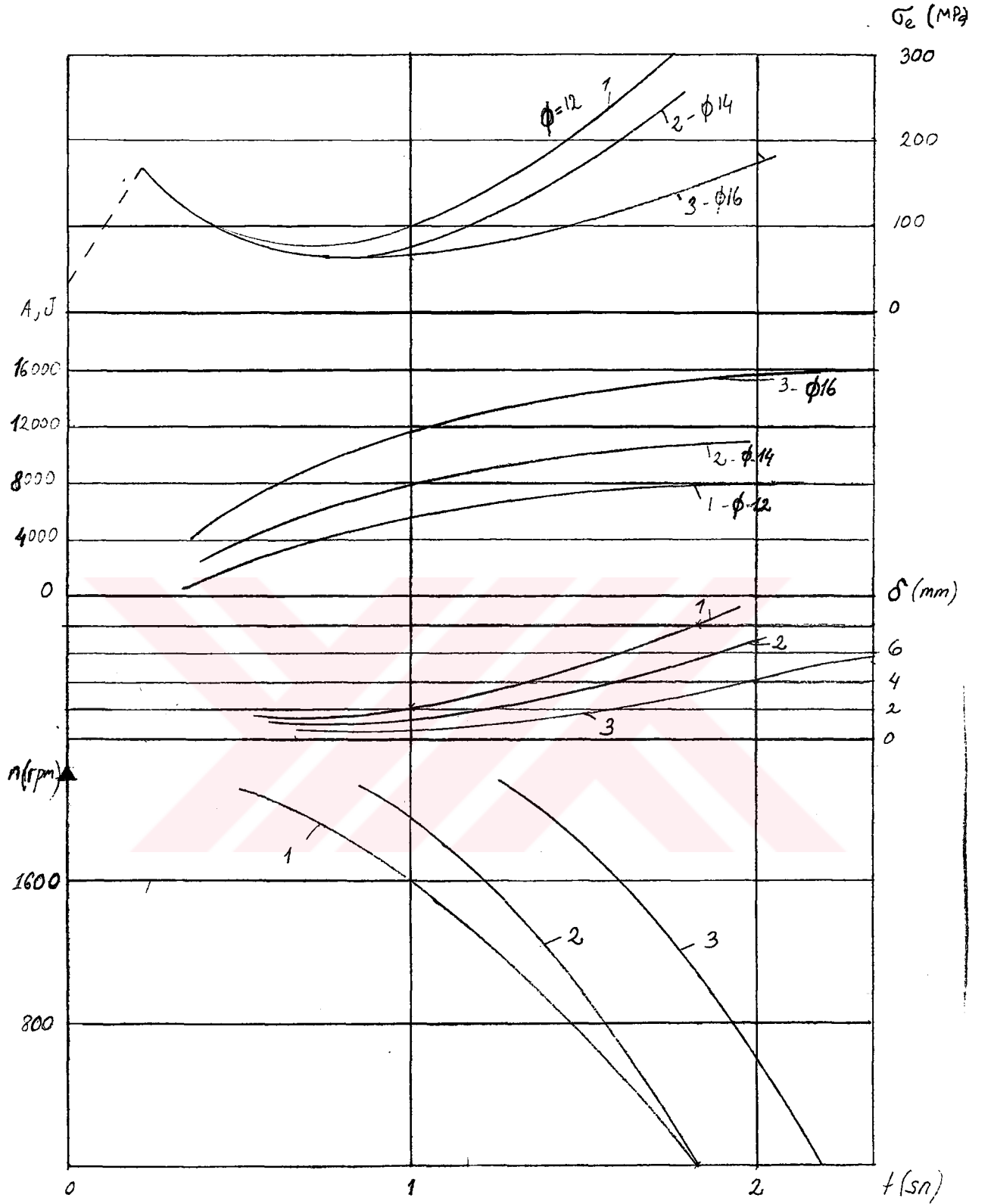
Şekil 8.5'te gösterilen eğrilerin bulunduğu noktaların incelenmesiyle, sabit sıkıştırma kuvvetinde yapılan sürtünme kaynağında kaynak bitiminde doğru meydana gelen

meydana gelen dnme hızındaki yavaşlama devresi Şekil 8.2.3'teki ilişkilerde göz önüne alınarak yavaşlama sürecinin 1. periyodunda zayıftır.

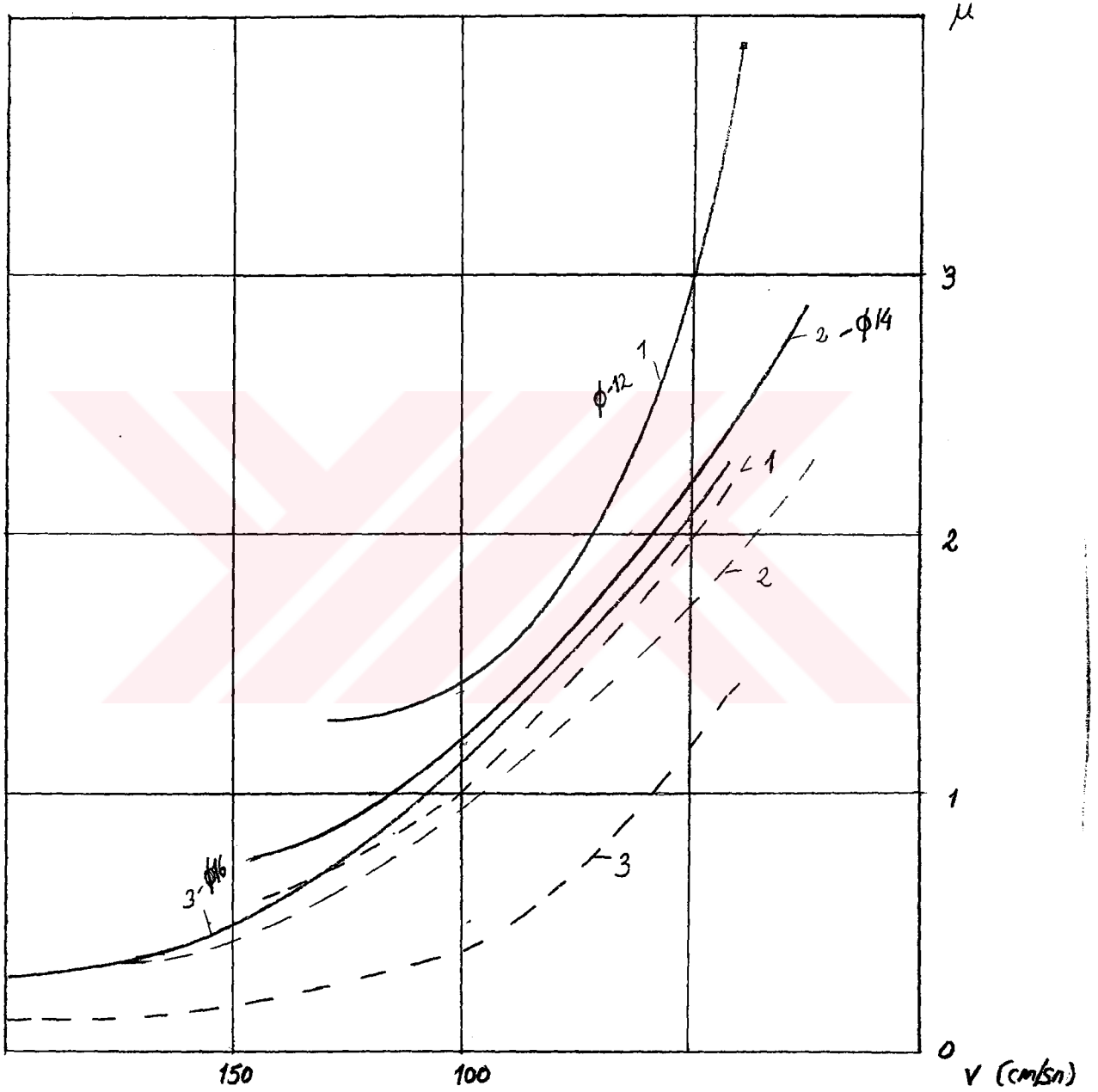
İkinci periyodda yani düşük kayma hızında yığma basıncının sürtünme katsayısı üstündeki etkisi artmaktadır. Sonuç itibariyle, μ -v eğrileri, değişik çap ebatları için elde edilir (Şekil 8.5).

Kayma hızının azalmasıyla, (ikinci periyodun başında) eğriler bir araya toplanmakta ve kesişmektedirler. Bu aşamadan sonra, yığma basıncının etkisi aynı esnada oluşan hızlı bir sürtünme katsayısı artışı ve kayma hızı azalmasıyla, kuvvetli hale gelir.

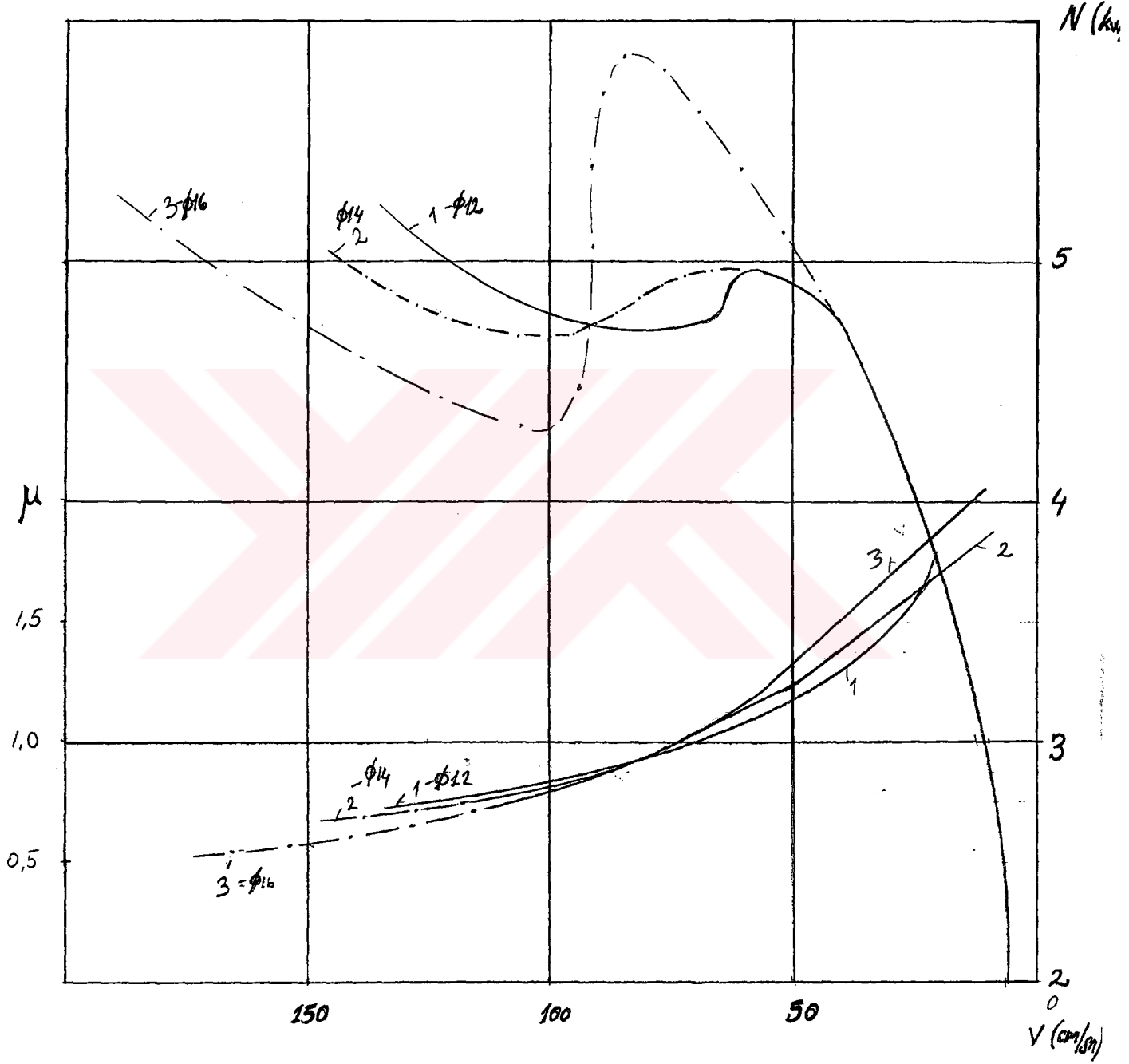




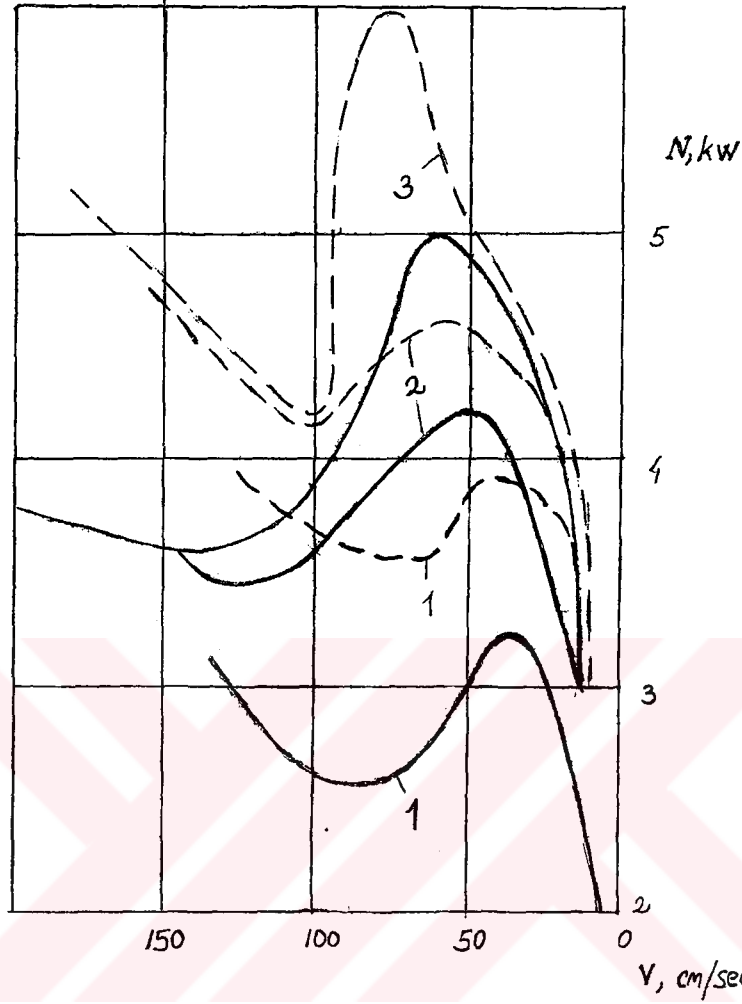
Şekil.8.2-Mil uç çapları, 12(1), 14(2), 16(3) olan ve $Ph= 47$ Mpa yığma kuvveti uygulanan iş parçaları için elde edilen değişik, dönme hızı(n), yığılma(δ), eş değer gerilme ve toplam iş, (A)



Şekil.8.3- Değişik mil uç boyutlarında ve 27,5 Mpa (koyu çizgi) ve 47 Mpa (kesikli çizgi) yığıma basıncında kayma hızı ve sürtünme katsayısı arasındaki değişimi gösteren grafik.



Şekil.8.5- Farklı boyutlardaki ve aynı sıkıştırma kuvvetinde, kayma hızı (V), güç (N), ve sürtünme katsayısı (μ) arasındaki değişimi gösteren grafik.



Şekil.8.4- Çap ebatına ve yığıma basıncına göre, kayma hızı ve güç değişimini gösteren grafik.

Bu parametrelerin küçük değerleri için sürtünme katsayısı büyük değerler alır.Şekil 8.5'de $N - V$ eğrilerinin konumu, $- V$ eğrilerine bağımlı olarak yer almıştır.Çünkü temas noktasındaki güç sürtünme katsayısına orantılıdır.

İnceleme sonunda elde edilen sonuçlara göre ;

1- Yavaşlama devresinde, bütün deney ebatları ve basınçlar için, dönme hızındaki azalma temas noktalarında , sürtünme katsayısında artmaya sebep olur ve güç eğrilerinin değeri

ikinci bir maksimum değere ulaşır ve bu değer, yavaşlama devresinin başlangıcındaki değerinden daha büyüktür.

2-Mil uç formu ebatlarındaki artma ve yığılma basıncındaki artma , güç artarken ,sürtünme katsayısında azalmaya sebep olur.



9 -MODELSEL ÇALIŞMA

Modelsel çalışma amacıyla, 9 tane değişik uç formunda mil modeli tasarlandı. Mil model malzemeleri olarak C35 karbon çeliği ve X12CrNi188 yüksek alaşımlı paslanmaz çelik düşünülmüştür. Yapılan modelsel çalışmada , millerin değişik uç formları nedeniyle sahip oldukları, farklı mertebedeki sürtünme hacimleri neticesinde, milleri sürterek ergitmemizi sağlayacak ısı miktarındaki farklılıklar, modelsel çalışmamızın ana fikrini oluşturmuştur. Isı miktarındaki farklı değerler sürtünme yüzeylerinin ergitilmesi için aktarılabilecek sürtünme momentinde ve birim sürtünme yüzeyine gerekli güçte, değişimlere sebep olacaktır. Dolayısıyla ideal bir kaynak balantısı için; bahis edilen bu değerlerin, kaynak parametreleri üzerine etkileri incelenmeli ve mil uç formları için çıkarılan ısı değerlerinin ışığında belirlenecek, eş değer mil çapı ($R_{eş}$), ve kaynak parametreleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi gereklidir.

Yaralanılacak ısı miktarları için, her değişik uç formundaki mil için, uç formlarının etkilerini, kendi aralarında daha kolay karşılaştırabilmek amacıyla , mil sürtünme derinlikleri eşit uzunlukta alınmıştır ve sürtünme bölgesinde, modellerdeki aksel sıcaklık değişimi eşit değerlerde alınmıştır. Sürtünme neticesinde, mil sürtünme yüzeyi bölgesindeki ısı miktarı için ,(9.1) formülü kullanılmıştır.

$$Q = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{y1} - T_{y2}) \quad (\text{cal}) \quad (9.1)$$

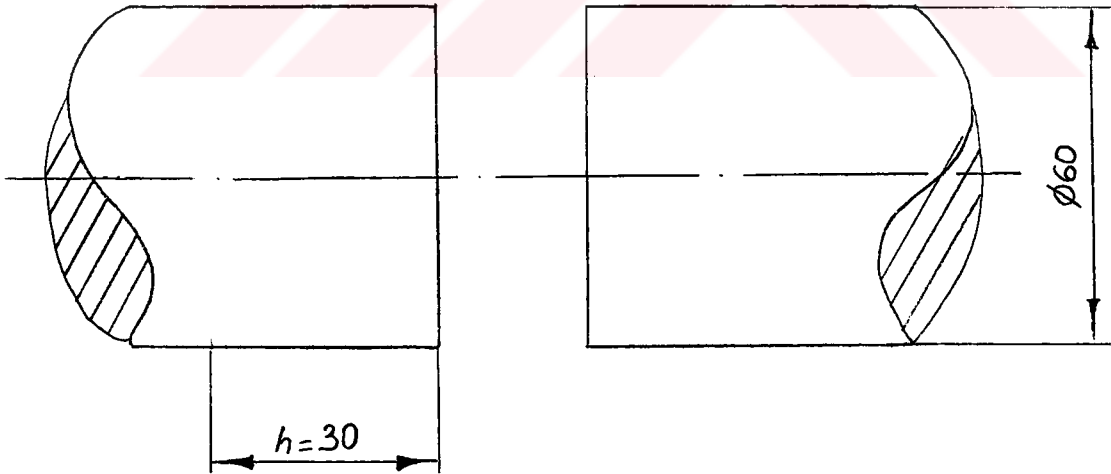
Yapılan incelemede sürtünme kaynağında, sürtünme bölgesinin sıcaklığının, çelikler için ($850^{\circ}\text{C} - 1300^{\circ}\text{C}$) arasında olduğu göz önüne alınarak. Modellerdeki sürtünme yüzeyi ilk sıcaklığı (T_{y1}), olarak 1000°C ve son sıcaklığı (T_{y2}) olarak 850°C alınmıştır. Toplam sürtünme zamanı olarak, $t = 30 \text{ sn}$ ' ye alınmıştır.

Modelsel çalışmada kullanılan malzemeler için fiziksel özellikler ve formül değerleri Tablo 9.1' de verilmiştir.

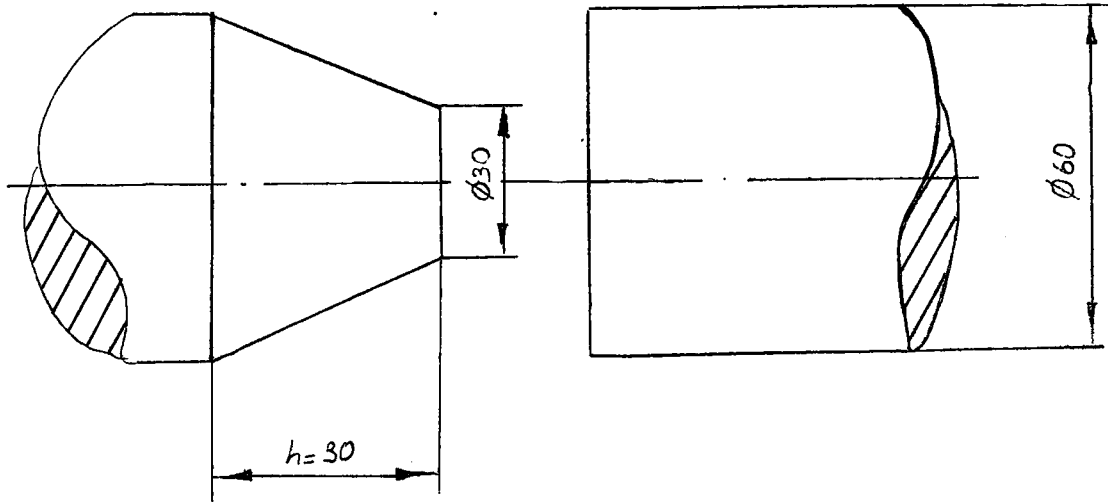
Tablo 9.1- Model çalışmasında kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri

Mil Malzeme.	Yoğunluk δ (kg/dm ³)	Erime Sıcaklığı (°C)	Isı İletkenliği (Cal/cmR °C)	Özgül Isı (Cp) (Cal/gr°C)	Elastiklik Modülü (E/, kgf/mm ²)	Ekstrüzyon Sıcaklığı (°C)
C35	7,84	1490	0,12	0,11	20600	1000-1200
X12CrNi 188	7	1400	0,039	0,12	19500	1000-1200

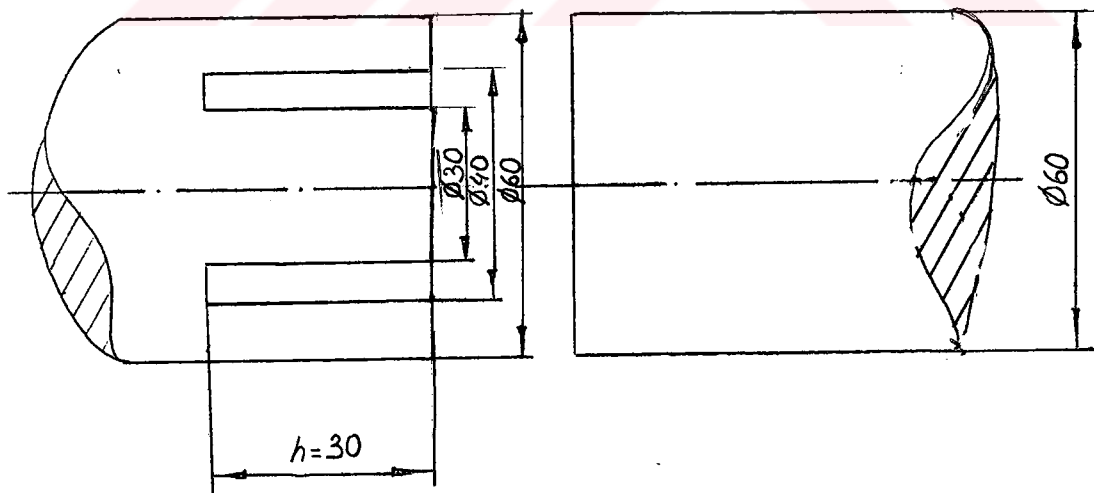
Modelsel çalışma için tasarlanan, 9 değişik uç formundaki mil şekli aşağıdaki gibidir ;



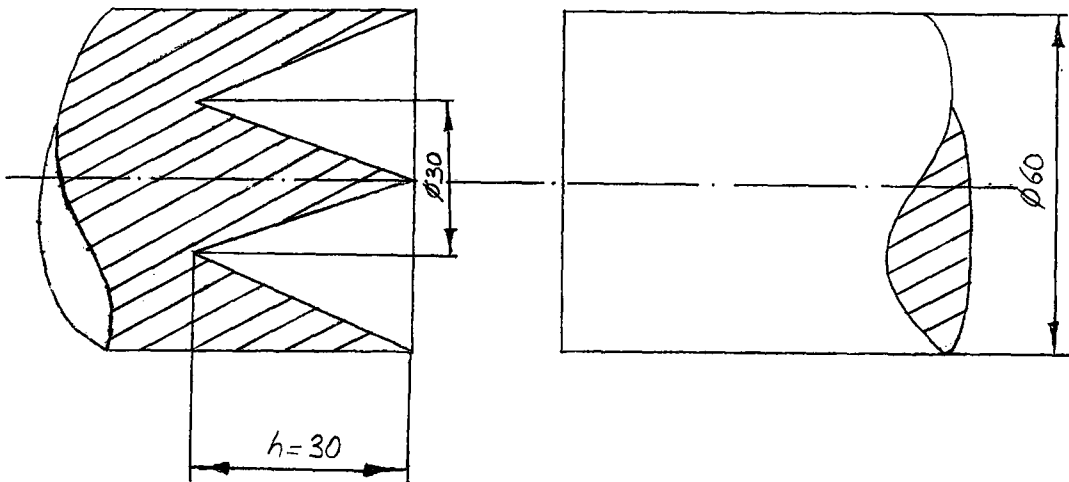
Temel Model 1 :



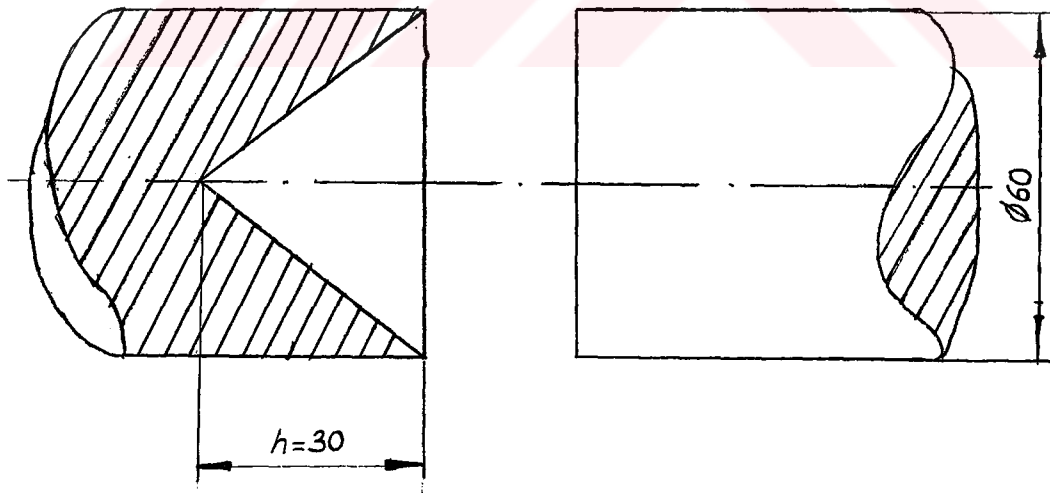
Model 2:



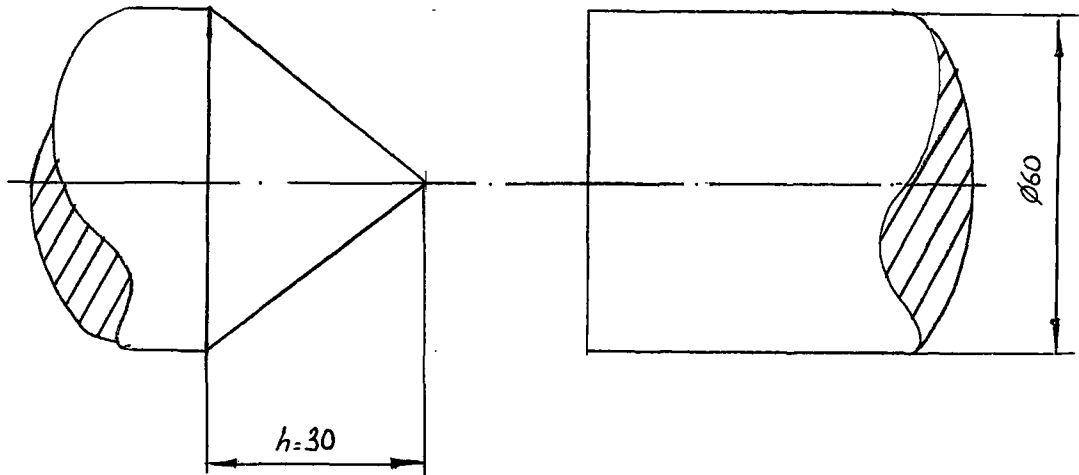
Model 3:



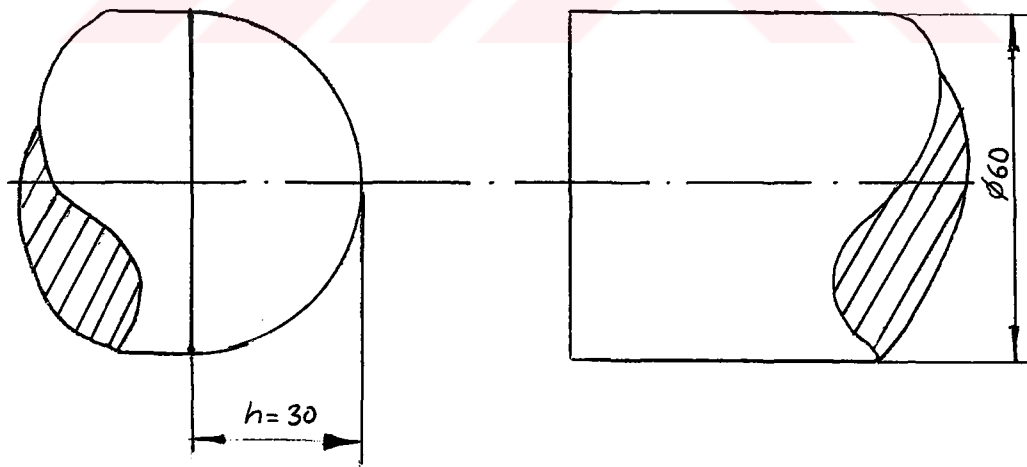
Model 4:



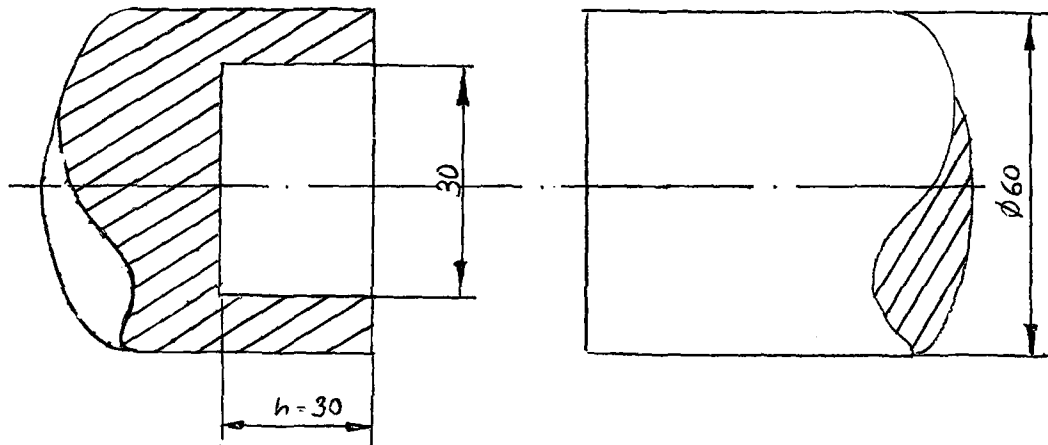
Model 5:



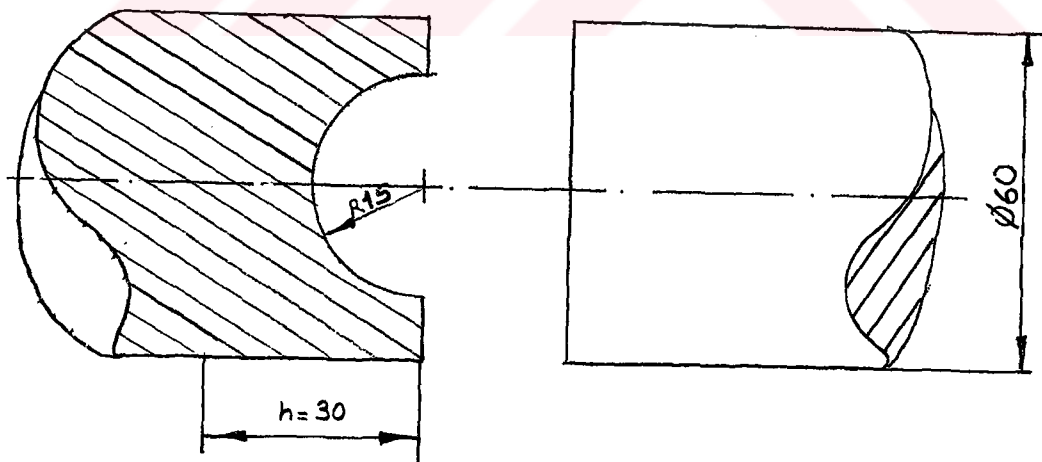
Model 6 :



Model 7 :



Model 8 :



Model 9 :

Modelsel çalışmada, ısı miktarının eldesi için gerekli olan sürtünme hacimlerinin hesaplanması, model uç formlarına göre aşağıdaki yapılmıştır.

Temel Model 1 :

C35 için ;

$$V_{t1} = \pi \cdot r \cdot h \quad (9.2)$$

$$V_{t1} = 84823 \text{ mm}^3$$

$$Q_1 = V_{t1} \cdot q \cdot C_p \cdot (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.3)$$

$$Q_1 = 10972,70 \text{ cal}$$

X12CrNi188 için ;

$$V_{t1} = 84823 \text{ mm}^3$$

$$Q_{1x} = V_{t1} \cdot q_x \cdot C_{px} \cdot (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.4)$$

$$Q_{1x} = 10687,69 \text{ cal}$$

Model 2 :

C35 için ;

$$V_{t2} = \pi/3 \cdot h \cdot (r_1 + r_1 \cdot r_2 + r_2) \quad (9.5)$$

$$V_{t2} = 49480 \text{ mm}^3$$

$$Q_2 = V_{t2} \cdot q \cdot C_p \cdot (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.6)$$

$$Q_2 = 6400,73 \text{ cal}$$

X2CrNi188 için ;

$$V_{t2} = 49480 \text{ mm}^3$$

$$Q_{2x} = V_{t2} q_x C_{px} (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.7)$$

$$Q_{2x} = 6234,48 \text{ cal}$$

Model 3 :

C35 için ;

$$V_{t3} = (\pi \cdot r_1 h - \pi r_2 h) + r_3 h \quad (9.8)$$

$$V_{t3} = 68329,64 \text{ mm}^3$$

$$Q_3 = V_{t3} q C_p (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.9)$$

$$Q_3 = 8839,12 \text{ cal}$$

X12CrNi188 için ;

$$V_{t3} = 68329,64 \text{ mm}^3$$

$$Q_{3x} = V_{t3} q_x C_{px} (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.10)$$

$$Q_{3x} = 8609,45 \text{ cal}$$

Model 4 :

C35 için ;

$$V_{t4} = V_A + V_B$$

$$V_B = 30 \cdot 30 - 30/3 (30 + 30 \cdot 15 + 15)$$

$$V_B = 35343 \text{ mm}^3$$

$$V_A = 1/3 \pi r^2 h \quad (9.11)$$

$$V_A = 7068,58 \text{ mm}^3$$

$$V_{t4} = V_A + V_B$$

$$V_{t4} = 42411,58 \text{ mm}^3$$

$$Q_4 = V_{t4} q C_p (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.12)$$

$$Q_+ = 5486,36 \text{ cal}$$

X12CrNi188 için ;

$$V_{t4} = 42411,58 \text{ mm}^3$$

$$Q_{4x} = V_{t4} q_x C_{px} (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.13)$$

$$Q_{4x} = 5343,78 \text{ cal}$$

Model 5 :

C35 için ;

$$V_{t5} = V_A - V_1 \quad (9.14)$$

$$V_{t5} = 56548,6 \text{ mm}^3$$

$$Q_5 = V_{t5} q C_p (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.15)$$

$$Q_5 = 7315,13 \text{ cal}$$

X12CrNi188 için ;

$$V_{t5} = 56548,6 \text{ mm}^3$$

$$Q_{5x} = V_{t5} q_x C_{px} (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.16)$$

$$Q_{5x} = 7125,12 \text{ cal}$$

Model 6 ;

C35 için ;

$$V_{t6} = 1/3 \cdot \pi \cdot h \cdot r_6 \quad (9.17)$$

$$V_{t6} = 28274,3 \text{ mm}^3$$

$$Q_6 = V_{t6} q c_p (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.18)$$

$$Q_6 = 3657,56 \text{ cal}$$

X12CrNi188 için ;

$$V_{t6} = 28274,3 \text{ mm}^3$$

$$Q_{6x} = V_{t6} q_x C_{px} (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.19)$$

$$Q_{6x} = 3562,56 \text{ cal}$$

Model 7 :

C35 için ;

$$V_{t7} = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3 / 2 \quad (9.20)$$

$$V_{t7} = 56548,66 \text{ mm}^3$$

$$Q_{t7} = V_{t7} q C_p (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.21)$$

$$Q_7 = 7315,13 \text{ cal}$$

X12CrNi188 için ;

$$V_{t7} = 56548,66 \text{ mm}^3$$

$$Q_{7x} = V_{t7} q_x C_{px} (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.22)$$

$$Q_{7x} = 7125,04 \text{ cal}$$

Model 8 :

C35 için ;

$$V_{t8} = V_1 - V_B$$

$$V_{t8} = 63617,24 \text{ mm}^3$$

$$Q_8 = V_{t8} q C_p (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.23)$$

$$Q8 = 8229,52 \text{ cal}$$

X12CrNi188 için ;

$$Vt8 = 63617,24 \text{ mm}^3$$

$$Q8x = Vt8 \cdot q_x \cdot C_{px} (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.24)$$

$$Q8x = 8015,74 \text{ cal}$$

Model 9 :

C35 için ,

$$Vt9 = V1 - V11 \quad (9.25)$$

$$Vt9 = 28274,34 \text{ mm}^3$$

$$Q9 = Vt9 \cdot q \cdot C_p (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.26)$$

$$Q9 = 3657,56 \text{ cal}$$

X12CrNi188 için ;

$$Vt9 = 28274,34 \text{ mm}^3$$

$$Q9x = Vt9 \cdot q_x \cdot C_{px} (T_{y1} - T_{y2}) \quad (9.27)$$

$$Q9x = 3562,56 \text{ cal}$$

Tablo 9.2

t=30sn sürtünme zamanı için										
		Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7	Model 8	Model 9
VT		84823 (max)	49480	68329 ,64	42411 ,58	56548 ,6	28274 ,3	56548 ,66	63617 ,29	28274 ,34
QT	C35	10972 ,7	6400, 73	8839, 12	5486, 36	7315, 13	3657, 56	7315, 13	8229, 12	3657, 56
Cal	X12CrNi1 88	10687 ,69	6234, 48	8609, 45	5343, 78	7125, 12	3562, 56	7125, 04	8015, 74	3562, 56

Birim zamanda, kalori cinsinden bulunan ısı miktarı değerlerini; 4,1868 çevirme faktörü ile çarparak watt' a çevrildi.

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ watt.sn}$$

Birim zamanda yayılan ısı miktarlarına karşılık gelen sürtünme güçleri ;

$$Q1 = 365,75 \text{ cal/sn}$$

$$N1 = 1531,32 \text{ watt}$$

$$Q1x = 356,25 \text{ cal/sn}$$

$$N1x = 1491,54 \text{ watt}$$

$$Q2 = 213,35 \text{ cal/sn}$$

$$N2 = 893,25 \text{ watt}$$

$$Q2x = 207,81 \text{ cal/sn}$$

$$N2x = 870,05 \text{ watt}$$

$$Q3 = 294,63 \text{ cal/sn}$$

$$Q3x = 286,98 \text{ cal/sn}$$

$$N3 = 1233,55 \text{ watt}$$

$$N3x = 1201,52 \text{ watt}$$

$$Q4 = 182,87 \text{ cal/sn}$$

$$Q4x = 178,12 \text{ cal/sn}$$

$$N4 = 765,64 \text{ watt}$$

$$N4x = 745,75 \text{ watt}$$

$$Q5 = 243,83 \text{ cal/sn}$$

$$Q5x = 237,5 \text{ cal/sn}$$

$$N5 = 1020 \text{ watt}$$

$$N5x = 994,36 \text{ watt}$$

$$Q6 = 121,91 \text{ cal/sn}$$

$$Q6x = 118,75 \text{ cal/sn}$$

$$N6 = 510 \text{ watt}$$

$$N6x = 497,18 \text{ watt}$$

$$Q7 = 243,83 \text{ cal/sn}$$

$$Q7x = 237,5 \text{ cal/sn}$$

$$N7 = 1020 \text{ watt}$$

$$N7x = 994,36 \text{ watt}$$

$$Q8 = 274,3 \text{ cal/sn}$$

$$Q8x = 267,19 \text{ cal/sn}$$

$$N8 = 1148,43 \text{ watt}$$

$$N8x = 1118,67 \text{ watt}$$

$$Q9 = 121,91 \text{ cal/sn}$$

$$Q9x = 118,75 \text{ cal/sn}$$

$$N9 = 510 \text{ watt}$$

$$N9x = 497,18 \text{ watt}$$

Birim çevirme faktörüyle çarpılarak, elde edilen sürtünme güçleri (N; watt), mil yığma kuvveti (p; kgf/mm), sürtünme katsayısı (f; sbt) ve göreceli hız (n; d/dak), birim sürtünme yüzeyi için gerekli güç (N; watt/mm);

$$N = 2/3 \cdot \pi \cdot p \cdot f \cdot n \cdot Reş \cdot 10^{-3} \quad (9.28)$$

(9.28) formülünde yerine konarak, ideal sürtünme kaynağı için bulunacak eş değer çap değerleri Reş (mm) bulunacaktır.

Burda ;

Yığıma kuvveti; $p = 6,1 \text{ kgf/mm}$

Göreceli hız ; $n1 = 1400 \text{ d/dak}$

Göreceli hız ; $n2 = 800 \text{ d/dak}$

Sürtünme katsayısı; $f = 0,25$ alınmıştır.

(9.28) förmülü gerekli düzenleme yapılarak, (9.29) förmülü halini alır.

$$Re_{\sigma} = \sqrt{\frac{3 \cdot N \cdot 1000}{2 \cdot p \cdot f \cdot n \cdot \pi}} \quad (9.29)$$

$n1 = 1400 \text{ d/dak}$ ve $n2 = 800 \text{ d/dak}$ devir sayılarındaki göreceli hızlar için C35 ve X12CrNi188 çelikleri için Re_{σ} değerinin toplu gösterimi Tablo 9.3' de verilmiştir. .

Tablo 9.3 -

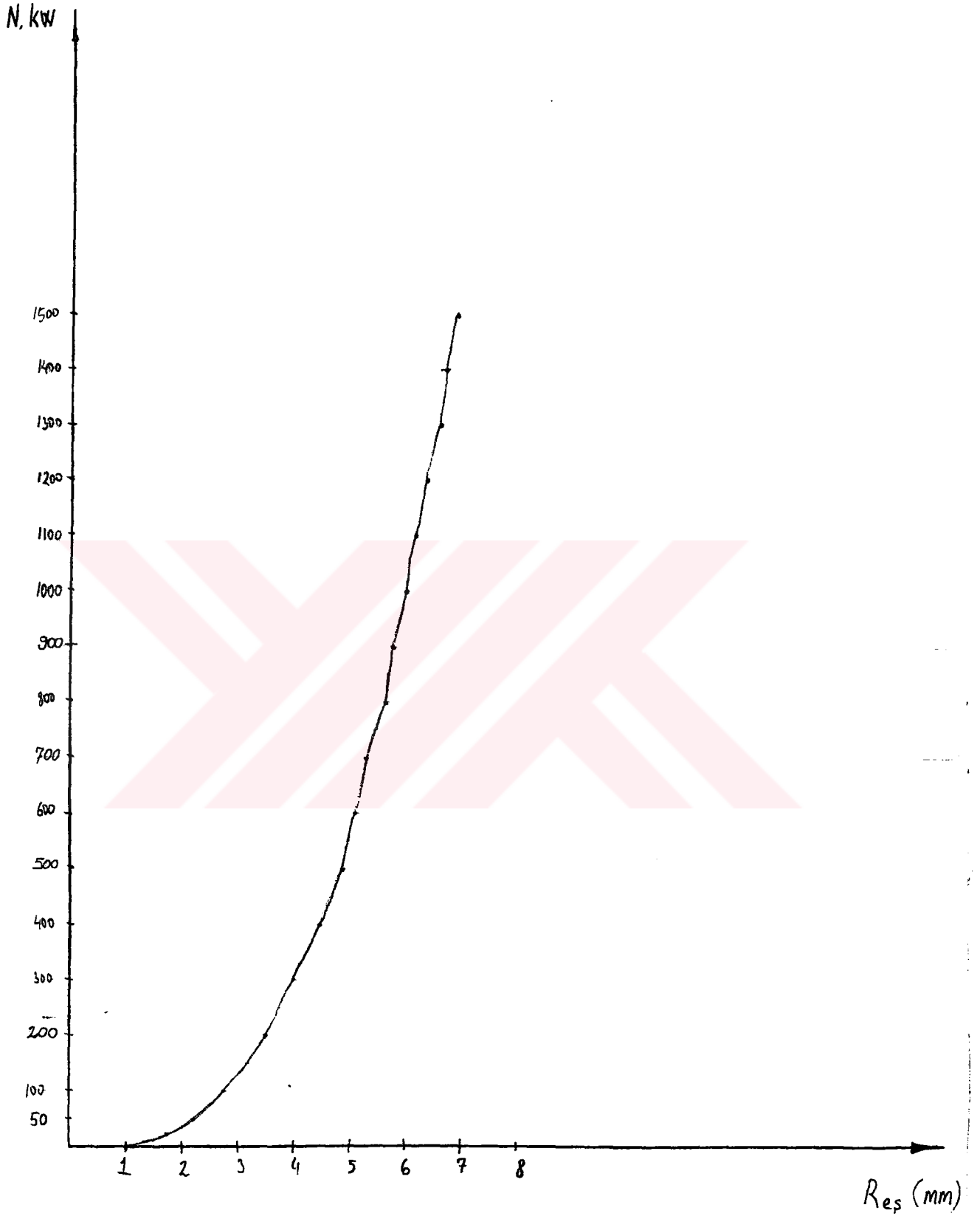
Re _σ mm	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4		Model 5		Model 6		Model 7		Model 8		Model 9	
GÜÇ watt	N 1	N 1	N 2	N 2	N 3	N 3	N 4	N 4	N 5	N 5	N 6	N 6	N 7	N 7	N 8	N 8	N 9	N 9
		x		x		x		x		x		x		x		x		x
n1; 1400 d/dak	6, 9	6, 9	5, 8	5, 7	6, 5	6, 4	5, 5	5, 5	6, 1	6, 0	4, 8	4, 8	6, 1	6, 0	6, 3	6, 3	4, 8	4, 8
n2; 800 d/dak	8, 4	8, 3	7, 0	6, 9	7, 8	7, 7	6, 6	6, 6	7, 3	7, 3	5, 8	5, 7	7, 3	7, 3	7, 6	7, 5	5, 8	5, 7

Yukarıda, alınan değerler ışığında, sürtünme yüzeyine gerekli güç; N (watt) ile eşdeğer çap; Re_{σ} (mm) ve güç ile sürtünme kesiti arasındaki bağıntılara dayanarak çıkartılan

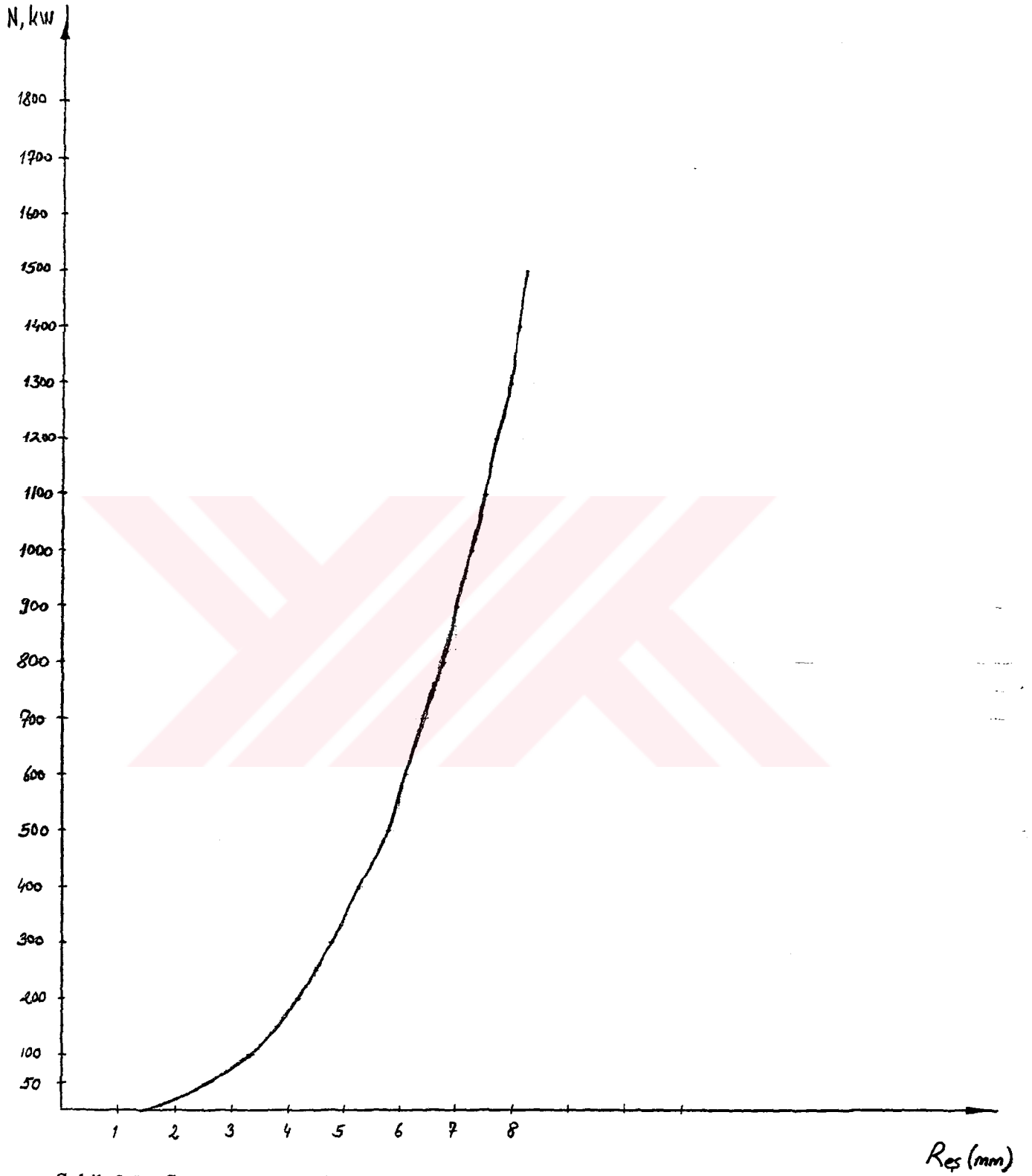
grafikler aşağıda sunulmuştur. Grafik değerlerinin toplu gösterimi Tablo 9.4' de sunulmuştur.

Tablo 9.4 -

Reş mm.																		
N watt.	N 1	N 1 x	N 2	N 2 x	N 3	N 3 x	N 4	N 4 x	N 5	N 5 x	N 6	N 6 x	N 7	N 7 x	N 8	N 8 x	N 9	N 9 x
n1, 1400 d/dak	1, 7	2, 3	2, 8	3, 5	4, 0	4, 4	4, 8	5, 1	5, 3	5, 6	5, 8	6, 0	6, 2	6, 4	6, 6	6, 9	6, 9	7, 0
n2, 800 d/dak	2, 1	2, 6	3, 3	4, 2	4, 8	5, 3	5, 8	6, 1	6, 4	6, 7	7, 0	7, 3	7, 5	7, 7	7, 9	8, 1	8, 3	8, 5



Şekil 9.1- Sürtünme yüzeyine gerekli güç (N), mil eşdeğer çap($R_{eş}$) grafiği .n1 =1400 d/dak



Şekil 9.2- Sürtünme yüzeyine gerekli güç(N), mil eşdeğer çapı($R_{eş}$) grafiği, $n_2 = 800$ d/dak

Sürtünme yüzeyi için gerekli güç(N) ve mil sürtünme kesiti(A) arasındaki bağıntılar aşağıdaki gibidir.

$$A_{ort} = \frac{3000 \cdot N}{2 \cdot p \cdot f \cdot n \cdot R_{eş}} \quad (\text{mm}) \quad (9.30)$$

Göreceli hız ; n =1400 d/dak

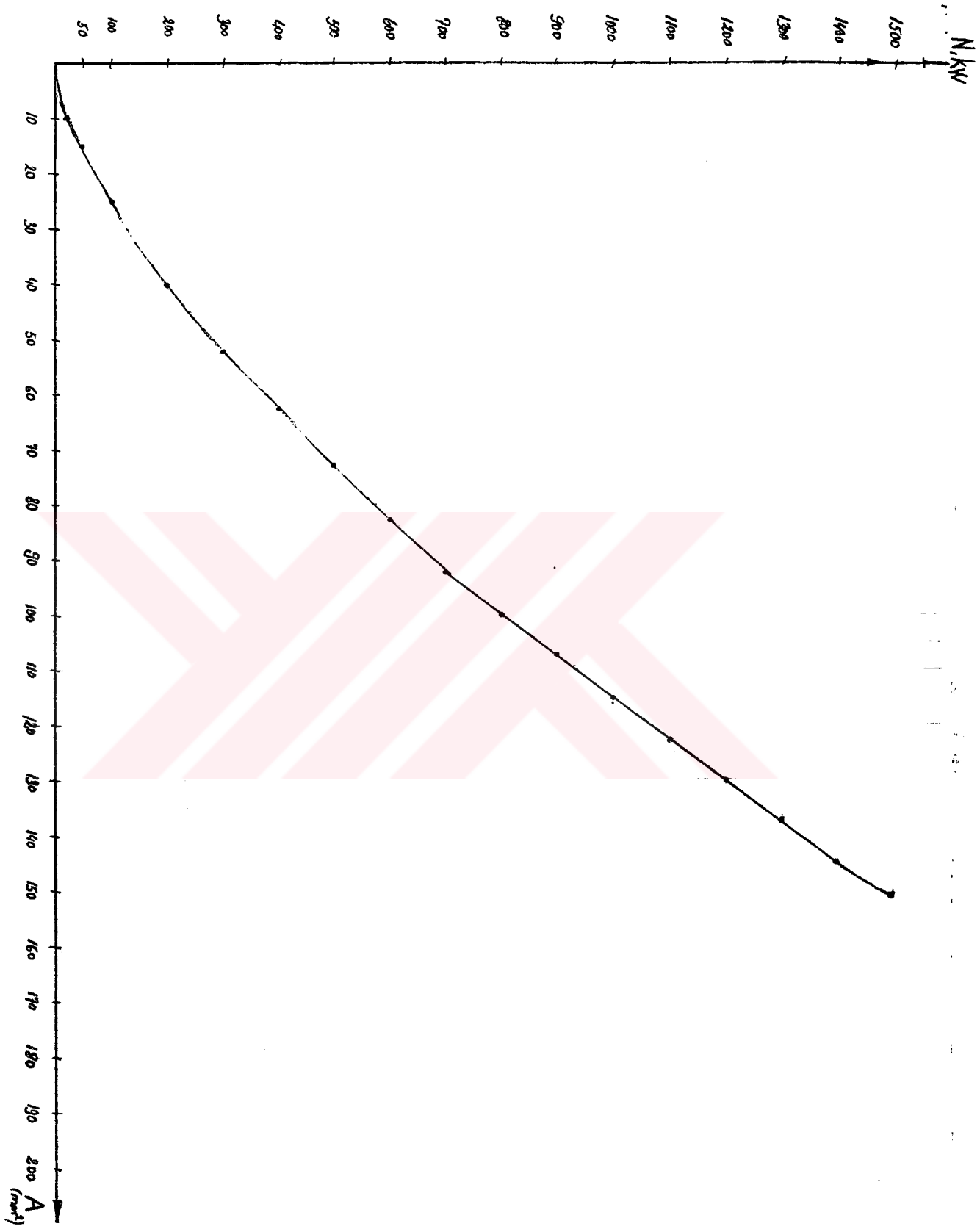
Sürtünme katsayısı; f = 0,25

Yığılma kuvveti; p =6,1 kgf/mm

Tablo 9.5- n =1400 d/dak için eşdeğer çap, değerlerine karşı gelen sürtünme kesiti değerleri

n; 1400 d/dak																		
N (watt)	N 1	N 1	N 2	N 2	N 3	N 3	N 4	N 4	N 5	N 5	N 6	N 6	N 7	N 7	N 8	N 8	N 9	N 9x
		x		x		x		x		x		x		x		x		
Reş (mm)	1, 7	2, 2	2, 8	3, 5	4, 0	4, 4	4, 8	5, 1	5, 3	5, 6	5, 8	6, 0	6, 2	6, 4	6, 6	6, 7	6, 9	7, 0
Aort (mm ²)	9, 9	1 5, 7	2 4, 9	3 9, 1	5 1, 8	6 2, 8	7 2, 9	8 2, 3	9 1, 2	9 9, 7	1 0 7,	1 1 6,	1 2 3,	1 3 0,	1 3 7,	1 4 7,	1 5 4,	15 9, 4

Yukarıdaki değerler ışığında, sürtünme yüzeyi için gerekli güç (N) ve mil sürtünme kesiti (Aort) arasındaki bağıntıyı gösteren grafik Şekil 9.3' te verilmiştir.



Şekil 9.3 - Sürtünme Yüzeyi için gerekli güç(N), mil sürtünme kesiti(A ort) grafiği.

10 -İRDELEME ve SONUÇ

Mil uç formunun kaynak parametrelerine etkisini göstermek üzere tasarladığımız 9 model formunun üzerine Bölüm 9’da yaptığımız modelsel çalışmadan, Şekil 9.1, Şekil.9.2 ve Şekil 9.3’de gösterilen grafikler elde edilmiştir.

Şekil 9.1’de çıkartılan grafik itibariyle, sürtünme yüzeyine gerekli güç (N) ile ideal kaynak bağlantısını sağlayacak, mil eşdeğer çap (Reş) arasındaki ilişki ortaya konmuştur.Grafik itibarıyla, sürtümenin meydana geldiği mil uç formundaki eş değer çap artımıyla, sürtünme yüzeyinde, ideal kaynak bağlantısı için sarf edilmesi gereken güç(N) miktarında artışa sebebiyet vermiştir.Bu esnada modellere uygulanan devir sayısı $n=1400$ d/dak’dır.Bu durumla ilgili, artış değerlerini gösteren Tablo 9.1, Bölüm 9’da gösterilmiştir.

Eş değer mil çapı ve sürtünme yüzeyine gerekli güç arasında yapılan ikinci incelemede göreceli hız 800 d/dak’ya düşürülmüştür.Bu durumda gözlenmiştir ki, Şekil 9.1!de uygulanan aynı değerdeki sürtünme yüzeyi güçlerine ulaşabilmek için eş değer mil çaplarında artışa gerek duyulmaktadır.Tablo 9.4’de bahis edilen, devir sayılarına karşı gelen eş değer mil çapı(Reş) ve sürtünme güçleri(N) toplu olarak gösterilmiştir.

Tasarlanan 9 modelin sahip oldukları sürtünme hacimleri ve sürtünme ısı değerlerinin toplu gösterimi Tablo 9.2’de verilmiştir.Sürtünme zamanı 30 sn’ye için yapılan bu uygulamada , 84823 mm değerle en büyük sürtünme hacmine sahip olan Model 1’ in sürtünmesiyle ısıtılması için gereken ısı miktarı hesaplamalara göre; C35 karbon çeliği için 10972,70 cal iken X12CrNi188 paslanmaz çeliği için 10687,69 kalordir.Buna karşın, Model 6’daki gibi uç formu konikleştirilmiş yada Model 9’da gibi mil ucunda açılmış bir kanala sahip model formlarının sürtünme hacimleri, yapılan geometrik hesaplamalara göre 28274,3 mm bulunmuştur.Dolayısıyla sürtünerek ısıtılması gereken yüzey miktarında , Model 1’e oranla yaklaşık 1/3’lük bir azalma gözlenmiştir.Bu nedene bağlı olarak verilmesi gereken ısıl miktarda ve sürtünme gücünde aynı oranda bir düşüş

söz konusudur.Yapılan hesaplamalara göre Model 6 ve Model 9'da C35 karbon çeliği için verilmesi gereken ısı miktarı 3657,56 cal. iken, X12CrNi188 paslanmaz çeliği için verilmesi gereken ısı miktarı 3562,56 kalordir.

Hesaplanan değerler ışığında , X12CrNi188 paslanmaz çeliğinin, C35 karbon çeliğine göre daha az değerde ısı iletkenliğe sahip olması, sürtünerek deformasyon sıcaklığına erişecek olan mil yüzeyinin,C35 karbon çeliğine göre daha hızlı erişmesine sebep olacaktır.Dolayısıyla sürtünme yüzeyini gerekli deformasyon sürtünme sıcaklığına getirmek için gerekli güç miktarları, tüm tasarlanan 9 model için de daha az değere sahip olduğu gözlenmiştir.Temel model uç formunda, C35 karbonlu çeliğini, deformasyon sıcaklığına erdirmek için verilmesi gereken güç 1531,32 watt iken X12CrNi188 paslanmaz çeliği için verilmesi gereken güç 1491,54 watt'tır.Öte yandan, minimal sürtünme hacim değerlerine sahip olan Model 6 ve Model 9 uç formlarında , C35 çeliğini sürterek deformasyon sıcaklığına erdirmek için verilmesi gereken güç 510 watt iken , X12CrNi188 çeliği için verilmesi gereken güç 497,18 watt değerindedir.görüldüğü üzere uygun uç formlarında tasarlanan modeller sayesinde verilmesi gereken güç miktarında azalma ve dolayısıyla sürtünme süresinde kısalmaya neden olacaktır.Sürtünme süresindeki kısalma aynı zamanda düşük ısı girişi sayesinde ısının tesiri altındaki bölgenin çok dar bir alanda oluşmasına neden olarak diğer kaynak metodlarındaki gibi gerektiğinden fazla ısının parçanın tüm yüzeyine yayılarak kaybolması ve istenmeyen metalurjik değişimler söz konusu olmamaktadır.

Modelsel çalışmada kullanılan, C35 çeliği ve X12CrNi188 paslanmaz çeliği gibi farklı fiziksel özelliklere sahip malzemelerin kaynağı söz konusu olduğunda ; hesaplamalardanda görüldüğü üzere X12CrNi188 paslanmaz çeliği, C35 karbonlu çeliğine nazaran ısı iletim katsayısının kötü olması nedeniyle ısıyı üstünde daha çok tutarak, daha çabuk ergiyip, daha çabuk şekil değiştirme sıcaklığına ulaşacaktır.Söz konusu C35 çeliğinin ısı iletkenliği, 0,12 cal/ cm.sn.°C iken, X12CrNi188 çeliğinin ki 0,039 cal/cm.sn.°C'dir.Ayrıca 1490°C'ergime sıcaklığına sahip olan C35 çeliğine nazaran X12CrNi188 çeliğinin 1490°C'de ergimesi sebebiyle, bu iki metalin sürtünme kaynağında

simetrik olmayan çapak yığılması oluşur. Buda simetrik olmayan yığılma miktarının göstergesidir. Yüksek bir kaynak mukavemeti ise relatif olarak simetrik plastik deformasyon veren farklı malzemelerin kaynağında elde edileceği malumdur. Dolayısıyla daha büyük şekil değiştirme kabiliyetine sahip malzemedan olan parçanın eş değer çapı % 15 - % 25 oranında büyük tutulmalıdır. Bu konstruktif düzeltme ile şekil değiştirme kabiliyeti fazla olan malzemede, ısı dağılımında etkisiyle, daha az bir deformasyon dağılımı ortaya çıkar ve böylelikle her iki parçada da simetrik bir şekil değişme oluşur.

Model 1'in X12CrNi188 çeliğinden yapıldığı ve C35 alaşımsız karbon çeliğiyle alın altına sürtünme kaynağı edildiği düşünülürse, düşük ergime sıcaklığından ve daha yüksek şekil değiştirme kabiliyetinden dolayı, C35 alaşımsız karbon çeliği, daha sürtünerek ısınmadan, X12CrNi188 çeliği aynı sürtünme zamanında sürtünerek ısınıp ergeyecektir ve yığılma kuvvetinin uygulamasıyla, yetersiz ısınmadan dolayı bitiş yüzeyinde spiral şeklinde uygunsuz bir yapı oluşması yada farklı ısı dağılımıyla oluşan iç genleşme farklılığı neticesinde, malzemenin birleşme bölgesinde kırıklıklar oluşması mümkündür. Dolayısıyla, C35 karbon çeliğinin, Model 2, Model 6 veya Model 7 gibi uç formlarında tasarlandığı ve X12CrNi188 paslanmaz çeliğinin de Model 1 gibi tasarlandığı düşünülürse, C35 ve X12CrNi188 çelikleri arasında eşit ısı dağılımı ve simetrik plastik şekil değişikliği sağlanabilecektir. Nitekim Tablo 9.2'ye bakıldığında, C35 çeliği için Model 1'de, 10972,70 cal. ısı değerinde şekil değiştirecek olan malzeme, Model 2'deki gibi düzenlendiğinde, 6400,73 cal. ısı değerinde şekil değiştirme, Model 6'da 3657,56 cal ve Model 7'de, 7315,13 cal . gibi ısı değerlerinde şekil değiştirmeye başlayacaktır. Böylelikle C35 çeliği aynı sürtünme zamanında daha çabuk sürtünüp ısınarak, daha çabuk şekil değiştirmeye meyil göstereceğinden, X12CrNi188 paslanmaz çeliğinin şekil değiştirme oranına yaklaşacaktır. Böylelikle, her iki parçada da simetrik bir şekil değiştirme ortaya çıkacaktır.

Farklı malzemelerin birleştirilmesinde, gerekli önlemlerin alınması açısından başka bir yöntem olarak da soğuk pres kaynağındakine benzer bir şekilde, daha az şekil değiştirme kabiliyetine sahip olan malzemedan parçayı germe yüzeyleri arasında daha uzun boyda

düzenlemek koşulu ile daha fazla deformasyon sağlanarak işlem mümkün duruma dönüştürülür. burada kaynak parametreleri ve kaynak yüzeyleri, Model 4, Model 5 veya Model 8'deki gibi düzenlenerek, daha yüksek mukavemetli parça mümkün olduğu kadar yeterli miktarda deformasyon yapacak şekilde seçilmelidir. Örneğin ; Model 4, Model 5 veya Model 8 formunda düzenlenmiş daha yüksek mukavemette ve daha düşük şekil değiştirme kabiliyetinde bir malzemenin, Model 1 gibi uç formunda düşük mukavemetli bir malzemeye sürtünme kaynağı neticesinde simetrik bir plastik şekil değiştirmenin yanısıra, sürtünme yüzeyine açıyla gelecek millerin birleştirilmesinde parçanın temasında düşük güç ihtiyacı ve daha iyi malzeme geçişi söz konusu olacaktır.

Sonuçlar

- 1- Kaynak parametreleri, mil uç formunun değişmesi halinde aynı enerji dönüşümünü ve deformasyonu sağlamak üzere malzemeye uygun olmalıdır.
- 2- Şekil değiştirme oranı ve şekil değiştirme derecesi, millerin ısıtılma derinliği için önemli bir faktördür ve söz konusu ısınma derinliği, millerin uç formunda yapılacak konstruktif değişikliklerle istenen mertebeye getirilebilir.
- 3- Sürtünme kaynağı ile eş metal ve metal alaşımlarının birleştirilmesinde kusursuz bir sonuca ulaşılmasına rağmen çok farklı sıcak mukavemetli ve erime sıcaklığına sahip malzemelerin birleştirilmesinde gerekli önlemler alınmaması durumunda , farklı ısı iletkenlik ve biçim değiştirme kabiliyetleri kaynak bölgesinde simetrik olmayan oluşumlar ortaya çıkarır. Burada kaynak parametreleri ve mil sürtünme uç yüzeyleri, daha yüksek mukavemetli parça mümkün olduğu kadar yeterli miktarda deformasyon yapacak şekilde seçilmelidir.
- 4- Aynı kesitli iki masif parça yerine boru kaynağı gibi daha küçük sürtünme yüzeyli parçaların kaynağında, deformasyona karşı direnç azaldığından yüzeye bağlı kuvvetler. (sürtünme kuvveti ve yığma kuvveti) küçük alınmalıdır.

5- Farklı kesitli mil konstrüksiyonlarında yüzeye bağlı kuvvetler yüksek tutulmalıdır. Çok büyük kesit farklılıkları halinde ısı büyük kesitlere geçmeden önce kaynak işlemi sona erecek şekilde çok kısa sürtünme süreleri seçilmelidir.

6- Mil uç formu ebatlarında ve yığıma basıncında artma, güç artarken, sürtünme katsayısında azalmaya sebep olur.



KAYNAKÇA

- 1.- Advanced materials and process., 2/91, Lineer friction welding joints, non-circular sections, vol.139,no.2, 47-50
- 2.- Alman Kaynak Tekniği Birliği, mart/80, Metal malzeme, sürtünme kayağı imalatı ve hazırlanması, DVS 2909, 281-294.
- 3.- Anık,S, 1983, Kaynak teknolojisi el kitabı, Ergr matbaası, Istanbul, 197-207
- 4.- Andreas,W.E, Ludwig A, 8/1995, Tests on the lineer friction welding of metals, Welding and cutting,Munich, 156-166
- 5.- A.W.S Welding Handbook 7 Edition, Welding Process,Resistance and Solid stata and Other Joining Processes, 241-261
- 6.- Bahrani, A.S, Crossland B, May 1976, Friction welding, CME, 61-66
- 7.- Begg, G.H.C, Humphreys, B.A, July 1981, Rotational-friction welding, Engineering Tech. file no:91, 68-72
- 8 - Birchfield, J, March 1980, Friction welding -ready for the big time, Weld design and Fab. 106-108
- 9.- Dobrovidov, A.N, et al, 1975, Selection of optimum conditions for the friction welding of high speed steel R6M5 to carbon steel C45, Weld .Prod, 22-26
- 10.- Dobrovidov,A.N,et al, 1975, Carbon distribution in the weld zone of cutting tools, Mat. Sci. and Heat Treat., 787-789

- 11.- Duffin, F.D, Crossland B. ,1971, Friction welding with sudden release of the fixed component, Advances in welding processes, solid phase joining processes, proceeding of the conference, The Welding Ins., Abington Hall, Cambridge, 25-33
- 12.- Dunkerton, S.B, Aug. 1986, Toughness properties of friction welds in steels, Weld Jou., 193-201
- 13.- Eberhard, J. et al, July 1983, Friction weld ductility and toughness as influenced by inclusion morphology, Weld Jou., 171-178
- 14.- Ellis, C.R.G, Aug 1975, Recent industrial developments in friction welding, Weld Jou., 582-589
- 15.- Ellis, C.R.G, 1976, Friction welding ,where industry uses it, Weld Design and Fab., 78-81
- 16.- Ellis, C.R.G, May 1977, Friction welding some recent applications of friction welding, Weld and Metal Fab., 207-213
- 17.- Fritz, J., Staudinger, H., 1974, Microstructural investigations on friction welded joints between heat treatable and high speed tool steel, a comparison between flash butt welding and friction welding techniques including some practical investigations, Praktische Metallgraphie, 197-211
- 18.- Ishibashi, A., et al, June 1983, Studies on friction welding of carbon and alloy steels, Buletin of the ISME, 1080-1087.
- 19.- Khazanau, I.O, Fomin, N.I, June 1990, Structure and properties of joints of steels R6M5 and C45 obtained by friction welding, Met. Sci. and Heat Treat, 461-465.

- 20.- Kreye, H., 1982, Nevere anwendungsmöglichkeiten für das reibschweißen werkstatt und Betrieb, 703-706.
- 21.- Kuruzar, D.L, June 1979, Joint design for the friction welding process, Weld Jour.,31-35
- 22.- Murti, K.G.K ,Sundaresan, S, June 1983, Parameter optimisation in friction welding dissimilar materials, Met. Const., 331-335.
- 23.- Martin, J. G., 8/1995, Stutgard, Metallerin lineer sürtünme kaynağı için testler, Welding and cutting, 30-35.
- 24.- Popandopula, A.N., Tkachevskaya, G.D, Feb.1977, Structure of shafts in friction welded high speed tools, Met. Sci and Heat Treat.,152-154.
- 25.- Rajamani, G.P, et al, June 1992, parameter optimization and properties of friction welded quenched and tempered steel, Weld Journal, 225-230.
- 26.- Reiners, G., Kreye, Heinrich, 1989, Investigations into friction of steel components with rectangular cross sections, Weld and cutting, 8-11.
- 27.- Rubakovski, T., C., 1985, The fatigue strength of friction welded joints, Automatic Welding, 43-46.
- 28.- Schober, D. Bachmann, K.R, 1984, Entwicklungstand das reibschwerssens von metallen, Schweisstechnik,Berlin,543-545.
- 29.- seregin, S.A, Sabantsev,V.P,1975, The friction welding of plastically deformed steel, Weld Prod.,34-35.

- 30.- Seregin, S.A, Sabantsev, et al ,1975, Calculating of the forging force in friction welding, Weld Prod.,35-36
- 31.- Seregin, S.A, April 1985, Effect of the increase of rod diameter and upset pressure in friction welding of steels on the parameters of the process in the decleration stage, Weld Prod, 21-24.
32. Vill, V.I, 1962, Friction welding of metals, AWS, Newyork.
- 33.Voinov, V.P, et al, 1973, Impact bend strength of friction-welded joints in steel 20 and 40 KH, Weld Prod.,62-64.
- 34.-Wesgate, S.A, dunkerton, S.B, Feb. 1985, Friction and flash welding mechanical properties reviewed, The welding inst. research bulletin, 49-53.
- 35.- Imshennik, K.P, Fomichev, N.I, Characteristic of the upset proces in the friction welding of high speed- tool steel to structural steel, 57-60

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : M. Levent Ziyal
Doğum Yeri : İstanbul
Doğum Tarihi : 08-07-1972
Medeni Durumu : Bekar

Öğrenim Durumu :

1978-1983 : İlhami Ahmed Örnekal İlkokulu - İstanbul
1983-1989 . Özel Kalamış Lisesi - İstanbul
1989-1990 : Uludağ Üniversitesi, Makina Müh.Böl., Bursa
1990-1993 : Y.T.Ü, Makina Müh. Böl., Kocaeli
1993-1994 : Y.T.Ü, Fen Bilim. Ens., İngilizce Hazırlık Böl., İstanbul
1994-1997 :Y.T.Ü, Fen Bilim. Ens., Yüksek Lisans, İstanbul

Deneyimler :

6/ 1991 -8/1983 TOFAŞ A.Ş., Araba sanayiinde,Makina Müh. Stajyerliği,Bursa
8/1991 - 9/1991 DÖKYOL A.Ş., Döküm sanayiinde,Makina Müh.Stajyerliği,Bursa
6/1992 -9/1992 SİMKO A.Ş.,Makina Müh.Stajyerliği, İstanbul.