

29197

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI TAKIM ÇELİKLERİNİN
SÜRTÜNME KAYNAĞINDA KAYNAK
BÖLGESİNİN İNCELENMESİ**

Makina Yük.Müh. Muharrem YILMAZ

**F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programında
hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

**Tez Savunma Tarihi : 29 Aralık 1993
Tez Danışmanı : Prof.Dr. Kutsal TÖLBENTÇİ (Y.T.Ü.)
Jüri Üyeleri : Prof. Nurullah GÖLTEKİN (Y.T.Ü.)
Prof.Dr. Şadi KARAGÖZ (K.Ü.)**

İSTANBUL, Aralık 1993

**T.C. YÜKSEKÖRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
1. GİRİŞ	
2. SÜRTÜNME VE YAKMA ALIN KAYNAĞI YÖNTEMLERİ	
2.1. Sürtünme Kaynağı	4
2.1.1. Yöntemin Tanımlanması	4
2.1.2. Kaynak Parametreleri	10
2.1.3. Malzemelerin Sürtünme Kaynak Kabiliyeti	11
2.1.4. Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Dizaynı	12
2.1.5. Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları	13
2.2. Yakma Alın Kaynağı	15
2.2.1. Yöntemin Tanımlanması	15
2.2.2. Kaynak Parametreleri	19
2.2.3. Malzemelerin Yakma Alın Kaynak Kabiliyeti	22
2.2.4. Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Dizaynı	22
2.2.5. Yakma Alın Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları	24
2.2.6. Uygulama Alanları	25
2.3. Sürtünme Kaynağının Avantajları, Dezavantajları ve Yakma Alın Kaynağı ile Mukayesesi	25
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	
3.1. Sürtünme Kaynağı	29
3.2. Yakma Alın Kaynağı	45
3.3. Sonuç	53
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	
4.1. Denejde Kullanılan Malzemeler ve Numunelerin Hazırlanması	56
4.2. Numunelerin Sürtünme Kaynağı	56
4.3. Numunelerin Yakma Alın Kaynağı	59

4.4.	Numunelere Uygulanan Sertlik Deneyleri	61
4.5.	Numunelere Uygulanan Metalürjik Deneyler	61
5.	İRDELEME VE SONUÇ	
5.1.	Numunelerin Kaynak Sonu Oluşan Boy Kısalmalarının (Yanmalarının) Parametrelere Göre Değerlendirilmesi	104
5.2.	Kaynaklı Bağlantılarda Yapılan Işık Mikroskobu Deneylerinin Değerlendirilmesi	104
5.2.1.	Sürtünme Kaynaklı Bağlantılar	104
5.2.2.	Yakma Alın Kaynaklı Bağlantılar	105
5.3.	Kaynaklı Bağlantıların Ara Bölgesindeki Sertlik Değişimlerinin Değerlendirilmesi	106
5.4.	Kaynaklı Bağlantılarda Yapılan Elektron Mikroskobu ve Mikroanaliz Deneylerinin Değerlendirilmesi	107
5.5.	Sonuçlar	145
	KAYNAKÇA	149
EK1.	Sürtünme ve Yakma Alın Kaynaklı Bağlantılarda Sertlik Değişimlerini Gösterir Tablolar	159
EK2.	Sürtünme ve Yakma Alın Kaynaklı Bağlantılarda EDX veWDX Analizlerinin Sonuçlarını Gösterir Tablolar	177
	ÖZGEÇMİŞ	190

TEŞEKKÜR

Doktora tezimin yöneticiliğini üstlenerek, bu orijinal konuyu öneren ve tezimin hazırlanmasında, tüm aşamalarda destek ve yardımlarını esirgemeyen Sayın hocam Prof. Dr. Kutsal TÜLBENTÇİ'ye, sürtünme kaynaklı deney parçalarının gerçekleştirilmesinde fabrikasını bana açan Süpsan A.Ş. Genel Müdürü ve yetkililerine, yakma alın kaynaklı parçaların fabrikasında gerçekleştirilmesine olanak sağlayan Sayın Mak. Y. Müh. Mehmet TAŞKIN'a, deney parçalarının işlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Mannesman Boru Fabrikası Yetkililerine, Deney numunelerinin hazırlanmasında yardımcı olan ve laboratuvarlarını bana açan Sayın Doç. Dr. H. Rıza GÜVEN'e , Sayın Doç. Dr. Burkay ALNİPAKA, Y.T.Ü. Kimya-Metalürji Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Ahmet TOPUZ'a, Sayın Öğr. Gör. Y. Müh. Ömer AKDOĞAN'a, Metalürji Mühendisliği Bölümü değerli öğretim üyelerine, tezimin deneysel çalışmalarının tüm aşamalarında, yurtiçi ve yurtdışındaki tüm olanaklarını kullanarak, yardımcı olan, yol gösteren Sayın hocam Prof. Dr. Şadi KARAGÖZ'e elektron mikroskobu ve mikroanaliz çalışmalarında destek veren BRİSA A.Ş.'den Sayın Dr. A. Naki KILIÇDAROĞLU ve Sayın Y. Müh. Attila ALKAN'a, TÜBİTAK'tan Sayın Y. Müh. Zuhâl MISIRLI'ya, çalışmalarım boyunca her türlü hoşgörü ve desteğini esirgemeyen Bölüm Başkanım Sayın Prof. İbrahim UZMAN'a, Sayın Doç. Dr. Erdinç KALUÇ'a ve tüm hocalarım ile arkadaşlarıma en derin teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Endüstride, talaşlı imalatla oldukça yaygın bir biçimde kullanılan takımlardan olan, matkap uçlarının ana malzemesini yüksek hız çelikleri oluşturmaktadır. Bu tür çeliklerin yüksek fiyatları, matkap ucunun tamamen yüksek hız çeliğinden yapılmasını sınırlar. Dolayısı ile, uygulamada matkap uçlarının sap kısımlarının karbonlu çelik, kesici uç kısımlarının ise yüksek hız çeliğinden imal edilmeleri maliyeti düşürmektedir. Günümüzde bu çelik çiftinin birleştirilmesinde yakma alın kaynağı veya sürtünme kaynağı yöntemlerinden biri kullanılmaktadır. Bağlantıyı oluşturan çelik çiftinin birinin orta karbonlu alaşımsız çelik, diğerinin ise yüksek karbonlu ve yüksek alaşımlı çelik olması, kaynak önce ve sonrası ısı işlemleri ve hatta parçanın çalışması sırasında ulaşacağı sıcaklıkların kaynak bölgesinde difüzyon olaylarını teşvik etmesi, karışık bir iç yapının oluşmasına neden olmaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalarda kaynak bölgesi sadece parlak bir şerit olarak adlandırılmış olup, alaşımlı yöntemler ile incelendiğinden iç yapısının metalürjik özellikleri hakkında detaylı bir çalışmanın varlığı saptanamamıştır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak amacı ile, karbonlu çelik ve yüksek hız çeliği çiftine ait sürtünme kaynaklı ve yakma alın kaynaklı bağlantılar gerçekleştirilmiş, kaynak bölgeleri taramalı elektron mikroskopunda incelenmiş, EDX ve WDX analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada, deney malzemesi olarak 11.5 mm çapında, C45 alaşımsız ve S 6-5-2 yüksek hız çeliği çubuklar kullanılmıştır. Deney parçalarının büyük bir bölümü, endüstriyel bir sürtünme kaynak makinasında değişik kaynak parametreleri kullanılarak; diğer bir bölümü ise, endüstriyel bir yakma alın kaynak makinasında sabit kaynak parametreleri kullanılarak C45 tarafına farklı ön tav sıcaklıkları verilerek kaynak edilmişlerdir. Tüm bağlantılar, kaynaktan sonra fırın içinde 650 °C'de 4 saat süre ile tavllanmışlardır. Kaynaklı bağlantıların tümünde çubuk eksenine boyunca sertlik değişimleri ölçülmüş, kaynak bölgeleri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş, yapılan EDX ve WDX analizleri ile karbon ve ana alaşım elementleri olan Cr, W, V ve Mo'nin kaynak bölgesindeki difüzyonları ve metalürjik iç yapıya etkileri incelenmiştir.

Her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen bağlantıların kaynak bölgesinde EDX analizleri sonucu kaynak ara yüzeyinde sadece kromda bir difüzyon olayı gözlenmiştir. WDX analizinde ise HSS tarafında karbonda bir artış saptanmıştır. Bölgedeki karbon profili ile sertlik profili arasında büyük bir benzerlik görülmüştür. Taramalı elektron mikroskopunda yapılan ayrıntılı çalışmada ise kaynak çizgisi boyunca yüksek hız çeliği tarafında 1-2 µm'lik bir alanda 4-5 nm'lik çok ince karbür çökeltilerinin yüksek hız çeliği tarafındaki karbon artışının ve sertlikteki artışın nedeni olduğu saptanmıştır. Yakma alın kaynaklı bağlantılarda, sürtünme kaynaklı bağlantılara nazaran daha geniş bir dekarburize bölge, S 6-5-2 tarafında daha fazla karbon artışı, C45 tarafına doğru daha geniş bir krom difüzyon bölgesi gözlenmiştir. Sonuçta yakma alın kaynaklı bağlantıların daha geniş bir iç yapı değişikliğine uğramış kaynak bölgesine sahip olmaları, sürtünme kaynaklı bağlantıları bu çelik çiftinin birleştirilmesinde üstün kılmaktadır.

ABSTRACT

High speed steels (HSS) are the main material of drills which are widely used in industrial tool cutting operations. High cost of HSS, limits production of drills fully of HSS. Therefore, in practice, drill shanks are made of carbon steel whereas drill body is made of HSS, which lowers the cost. Nowadays, flash butt welding and friction welding are used in joining HSS and carbon steel. The necessity that one of the couple must be non-alloy medium carbon steel and the other one high carbon and high alloy, heat treatment before and after welding, and incitement of diffusion in welding region by high temperatures encountered during service of the part result in complicated structure. In literature, welding region is called as bright ring and any study about metallurgical properties of them weren't found in the literature since the investigations were made with conventional methods. To fill this gap in the literature, flash butt welding and friction welding of carbon steel and HSS joints were made, the welding regions were investigated with scanning electron microscope and EDX and WDX analysis were made in this study.

C45 carbon steel and S-6-5-2 HSS rods with diameters of 11.5 mm were used as test materials. Most of the test materials were welded in an industrial friction welding machine with various welding parameters, while the rest was welded with an industrial flash butt welding machine with constant welding parameters and pre-weld heat treatment was applied to C45 side. All joints were annealed at 650 °C for 4 hours after the welding for post-weld heat treatment. Variations of hardness were measured along rod axis in all joints, the welding region were investigated with scanning electron microscope, and with EDX and WDX analysis diffusion of carbon and main alloy elements, Cr, W, V and Mo, and their effects on metallurgical structure were investigated.

In welding regions of all joints, only Cr diffusion was observed in weld interface by EDX analysis. By WDX analysis increase in carbon was observed in HSS side. Great similarity between carbon and hardness profile of the region was seen. By detailed work with scanning electron microscope, very small carbide particles precipitation of 4 to 5 nm in a region of 1-2 µm in HSS side was found the cause of the increase in carbon and hardness in HSS side. Wider decarburized region, carbon increase in S-6-5-2 side and wider Cr diffusion region toward C45 side were observed in the joints with flash butt welding compared to the joints with friction welding. As a result, wider structure change in welding region of flash butt welding joints makes friction welding of this couple favourable.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüz talahş imalat endüstrisinde matkap uçları en çok kullanılan takım grubunu oluşturmaktadır ve bu takımlar işlevleri gereği esas itibariyle HSS'ten imal edilmektedirler. HSS, normal karbonlu çelikler ile kıyaslandığında 15 misline varan bir fiyat farklılığı ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak takımın tamamen HSS'ten yapılması takımın fiyatını aşırı arttırmakta, özellikle bilenme sonucu uç kafi miktarda kısalduğunda hurdaya atılmakta ve bütün bunlar maliyeti yükseltmektedir. Bu nedenle özellikle 10 mm yi aşan çaplardaki matkap uçları sap kısmı karbonlu çelik, uç kısmı HSS olacak şekilde imal edilme yoluna gidilmektedir /49,97,109/.

Örneğin aynı matkap uçlarında olduğu gibi bir pompa şaftı tamamen paslanmaz çelik yerine sadece gerekli kısmı paslanmaz çelik, diğer önemli bir kısmı ise karbonlu çelik olarak tasarlanıp imal edildiğinde malzeme fiyatlarında %45'e varan bir ekonomi sağlanmaktadır /60/.

Günümüz endüstrisinde iki farklı çelik alaşımından oluşan bu matkap uçlarının üretiminde en uygun yöntem kaynak olmaktadır, ancak kaynak bölgesinin özelliklerinin, doğal olarak birleştirilen çeliklerden farklı olması önemli sorunlar ortaya çıkarmakta, erime kaynak yöntemlerinin kullanılması bu problemi daha da arttırmaktadır /49,97,109 /.

Kaynak sonrası oluşan bağlantının özelliklerinin belirlenmesinde birleştirilen malzemelerin çeşitli özellikleri ile, bunların birlikte oluşturdukları faz diyagramları en önemli faktörlerdir. Bununla birlikte, kaynak ile birleştirilecek malzemelerin birbirlerinden farklı alaşımlar olması ve hatta bunların çok sayıda bileşenden oluşması sonucun önceden tahmin edilmesine olanak vermez, erime bölgesinde bileşimi oluşturan malzemelerin bileşimine ve bileşenlerine bağlı olarak bileşim ve özellik bakımından çok farklı kısımlar ortaya çıkar (Şekil 1.1) /4,49,97,109/.

Açıklamalardan da anlaşılacağı üzere bu şekilde farklı bileşimlerde iki ayrı malzemenin erime kaynağı yöntemleri ile birleştirilmesi, çözümü zor önemli problemler ortaya çıkarmaktadır. Erime kaynağı yöntemlerinin curuf kalıntısı, porozite gibi kaynak hatalarına açık bir yöntem olması ve soğuma nedenli makro düzeyde iç gerilmelerin oluşması bu yöntemlerin önemli dezavantajları olup kaynağın mukavemetini

düşürmektedir. O halde farklı bileşimdeki malzemelerin birleştirilmesinde eğer boyutları ve şekilleri müsade ediyorsa, eritme kaynağına nazaran bir eritme olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi ve minimum kaynak sonrası iç gerilmelere sahip olması nedenleriyle katı hal kaynak yöntemleri büyük bir üstünlük göstermektedir /49,97,109/.

Bu amaçla günümüzde farklı takım çeliklerinin birleştirilmesinde katı hal kaynak yöntemleri olarak sürtünme kaynağı ve yakma alın kaynağı yöntemleri en ideal yöntemler olmaktadır. Ülkemizde çeşitli kuruluşlarda bu amaçla yakma alın kaynağı halen uygulanmaktadır.



No	Faz Diyagramı	Kaynak metalinin iç yapısı (Ağır basitleştirilmiş)
1		A'ca zengin α B'ce zengin Genellikle mikrosegregasyon ile karşılaştırılır.
2		Birincil A kristalleri Ötektik
3.1		Birincil A kristalleri 1 2 İçyapı genellikle ötektiktir
3.2		α α (veya faz karışımı) A-C sistemi C-B sistemi

Şekil 1.1- Farklı metallerin kaynakla birleştirilmesinde ortaya çıkabilecek faz diyagramları

BÖLÜM 2.

SÜRTÜNME VE YAKMA ALIN KAYNAĞI YÖNTEMLERİ

2.1.- Sürtünme Kaynağı

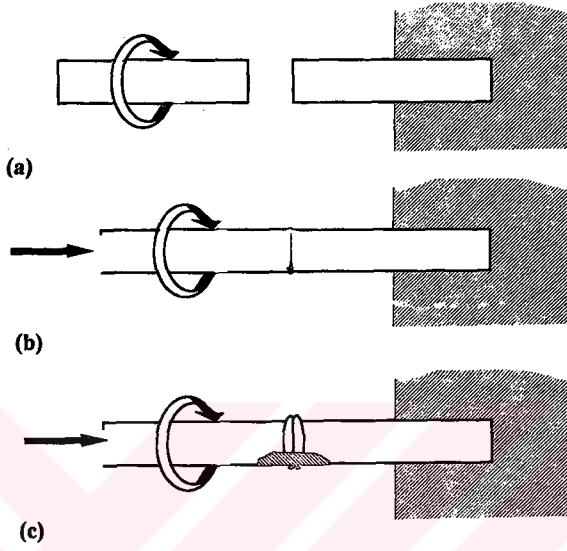
2.1.1- Yöntemin Tanımlanması

Sürtünme kaynağı, gelişen dünyamızda birçok ülkede ve endüstride geniş olarak uygulama alanı bulmuş, ticari bir prosedir. Malzemelerin kaynağı ve şekillendirilmesi için sürtünme ile ısı üretimi fikri yeni değildir. Öncelikle bilinmelidir ki, tarih öncesinde dahi insanlar ateş yakmak için sürtünme ısısından yararlanmışlardır. Sürtünme kaynağının başlangıcı 15. yy'la kadar gitmektedir, fakat konu ile ilgili ilk patent 19 yy da 1891 de Amerikalı makinist J.H. Bevington tarafından alınmıştır. Bevington sürtünme ısısını kullanarak metal boruların kaynağını gerçekleştirmiştir. Daha sonraları konu ile ilgili W. Richter tarafından 1924 yılında İngiltere'de /British patent no: 572789) ve 1929 yılında Almanya'da (Dr-patent no: 477084), H. Klopstock tarafından 1924 yılında Sovyetler Birliği'nde birer patent alınmıştır. H. Klopstock ve A.R. Neelands silindirik parçaların sürtünme kaynağı için 1941 yılında bir patent almışlardır. Ayrıca 2. Dünya savaşı sırasında Almanya ve Amerika'da plastik malzemelerin kaynağı için sürtünme kaynağı kullanılmıştır. Bununla birlikte sürtünme kaynağının ticari bir proses olarak gelişimi ve konu ile ilgili bilimsel çalışmaların başlaması bir Rus makinist tarafından gerçekleştirilmiştir. Rus makinist A.J. Chdikov iki metal çubuk arasında başarılı bir kaynak gerçekleştirerek 1956 yılında Sovyetler Birliği'nde konu ile ilgili bir patent (No: 106207) almıştır. Sovyetler Birliği'ndeki daha yoğun çalışmalar Vill ve arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Bu proses ABD'ye 1960 yılında girmiştir. American Machine and Foundry Co. da Holland ve Cheng adlı araştırmacılar sürtünme kaynağının termal ve parametre analizleri üzerine çalışmışlardır. İngiltere'de ilk sürtünme kaynağı kaynak enstitüsü tarafından 1961 yılında üretilmiştir. 1962 yılı itibarıyla ise Sovyetler Birliği'nde, birçok fabrikada sürtünme kaynağı kullanılır hale gelmiştir (Kharkov ısıtma ve havalandırma fabrikası, Lysbensk metal fab., Vitebsk takım fab., K. Gotwal'd otomobil fab., Minsk traktör fab. v.b.). Yine 1962 yılında ABD 'de Caterpillar Tractor Co. sürtünme kaynağını modifiye ederek atalet kaynağı olarak anılan yöntemi geliştirmiştir ve bundan sonra konvansiyonel sürtünme kaynağı Rus tipi proses, atalet kaynağı ise Caterpillar tipi proses olarak adlandırılmıştır. Bu tarihten itibaren daha hızlı gelişme gösteren proses hızla bütün dünyaya yayılmış ve bir çok endüstride uygulama alanı

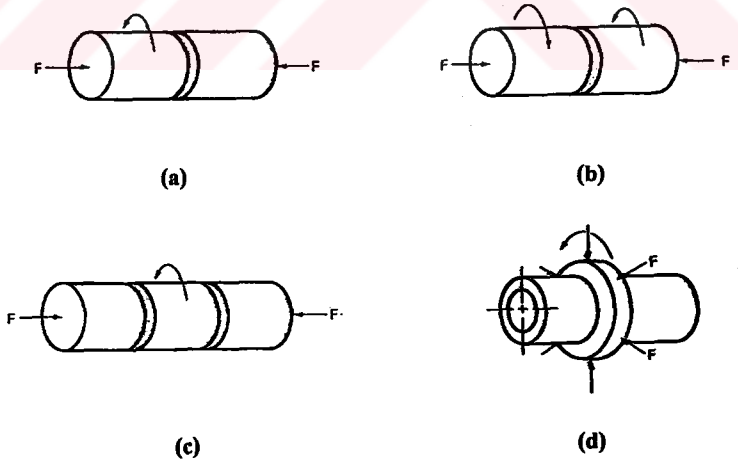
bulmuştur. Günümüzde sürtünme kaynağı modern kaynak yöntemleri arasında elektron ışın kaynağından sonra pratikte en çok uygulama alanı bulmuş bir yöntemdir /2,16,25,30,98,99,102/.

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. Kaynak süresi boyunca sürtünen yüzeyler basınç altındadır ve ısıtma fazı yada sürtünme fazı olarak adlandırılan bu süreç yüzeylerde plastik şekil verme sıcaklığı oluşana kadar sürer. Çelikler için bağlantı bölgesinde oluşan sıcaklık 900-1300 °C arasındadır. Çoğu durumda ısıtma fazı sonrasında basınç artırılarak ara yüzeydeki ısıtılmış metal yığılır. Böylelikle kaynak bölgesi bir tür termomekanik işleme tabii tutulmuş olur ve dolayısı ile bu bölge iyi bir tane yapısı gösterir. Bundan dolayıdır ki, diğer yöntemlerle kaynaklanamayan metaller ve metal alaşımları rahatlıkla kaynatılabilir. Bilindiği gibi parçalar arasında kaynak bağı oluşabilmesi için çıplak yüzeylerin temas haline gelmesi gerekir sürtünme kaynağında bütün temaslılıklar sürtünme yolu ile giderildiği için bu temas çok iyi gerçekleşir. Normal şartlar altında sürtünen yüzeylerde bir erime olayı oluşmaz, şayet çok küçük miktarlarda bir erime oluşmuşsa da kaynak sonu uygulanan yığıma işleminden dolayı erimiş metale ait bir delil bulunmaz (Şekil 2.1) de sürtünme kaynağının yapılışı şematik olarak görülmektedir. Başlangıçta parçalardan biri dönerken diğeri sabittir (Şekil 2.1a). Dönme hızı belirli bir hızı eriştiğinde iki parça bir araya getirilip eksenel bir basınç uygulanır ve ara yüzeydeki parçalar bölgesel olarak ısınır (Şekil 2.1b). Dönme hareketi durdurulduğunda eksenel basınç artırılarak parçalara komple yığıma uygulanır (Şekil 2.1c) /17,60,61,63,67,98,99/.

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 alışlagelmış sürtünme kaynağının uygulama şekilleri görülmektedir. Şekil 2.2a en çok kullanılan ve en basit olan uygulama şeklidir. Şekil 2.2b deki durum yüksek dönme hızlarının gerekli olduğu küçük çaplı numuneler için uygun olmaktadır. Şekil 2.2c çok uzun iki parçanın birleştirilebilmesi için uygun bir yöntemdir. Şekil 2.2d ise boruları kaynağı için geliştirilmiş ve radyal kuvvet etkisi altında dönel bir bilezikten yararlanılarak yapılan kaynağı göstermektedir /1,31,61,64,75,98/.



Şekil 2.1.- Sürtünme kaynağı işlemi

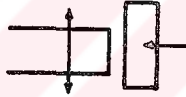


Şekil 2.2.- Sürtünme kaynağının uygulanma şekilleri

Sürtünme kaynağında, sürtünme için kullanılan dönme hareketi yanında, yörüngesel hareket, lineer titreşim hareketi ve açılabilir 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 tarafından önerilmiştir (Şekil 2.4). Açılabilir titreşim hareketinde ise parçalardan biri uygulanan basınç altında belli bir açıyı gören yay parçası yörüngesinde hareket eder /2,6,61,65,98/.



Şekil 2.3.- Yörüngesel hareketle sürtünme kaynağı



Şekil 2.4.- Lineer titreşim hareketi ile sürtünme kaynağı

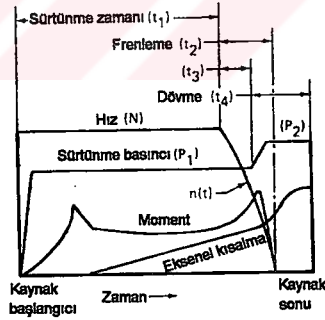
Daha önce de belirtildiği gibi sürtünme kaynağı, gerekli mekanik enerjiyi sağlayan kaynağa göre iki ayrı yöntemle uygulanabilir. Günümüzde bu iki yöntemin bileşimi olan kombine kaynak yöntemleri de geliştirilmiştir /1,2,6,60,61,65,79/.

a.- Sürekli tahrikle sürtünme kaynağı: Bu yöntem literatürde direkt sürtünme kaynağı olarak geçmektedir. Şekil 2.5 de tipik bir sürtünme kaynağı prosesinin esasları görülmektedir. Bu yöntemde parçalardan biri bir motor hareket ünitesine bağlıdır ve sabit bir hız altında döner, bu sırada da sabit bir eksenel kuvveti uygulanır. Çalışma parçaları önceden belirlenen bir kaynak süresince veya belirlenen bir eksenel kısılma (yanma) oluşuncaya kadar sürtünür ve sonrasında frenlenerek durdurulur. Kaynak kuvveti yığılma amacıyla artırılır ve kaynak soğuyana kadar tutulur /1,2,6,18,60,61,65/.

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 bir hıza ivmelendirilir, 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 /1,2,6,9,24,43,51,60,61,65,66,76,79,95,102,106/.

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

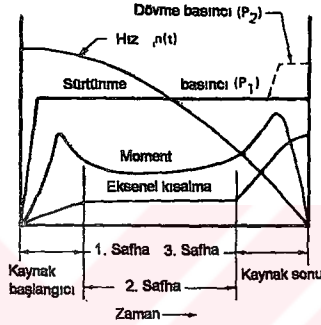
c.- Kombine kaynak yöntemi: Bu yöntem literatürde volan kaynağı olarak da geçmektedir. Büyük kapasiteli parçaların birleştirilmesinde avantajlı olmaktadır.



Şekil 2.5- Sürtünme kaynağı esasları

Kaynak safhası sürtünme ve yığma safhalarını içermektedir. Hem atalet ve hem de sürtünme kaynağı için moment eğrilerinin değişimi prosesin izahı için önemli değer taşımaktadır. Prosesin başlangıcında kuru sürtünme hakimdir ve bu sürtünmenin etkisiyle moment eğrisi bir zirve yaptıktan sonra dengeye gelir. Süreç içerisinde oksit tabakalarının

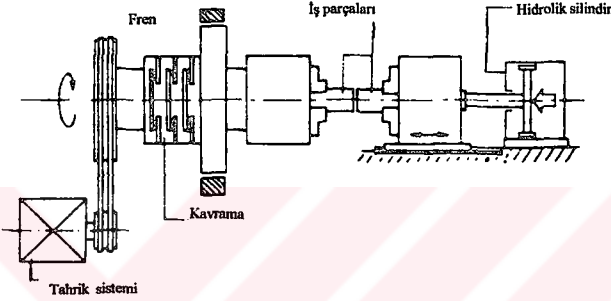
parçalanması sonucu çıplak yüzey temasları artar ve bu temaslar sırasında kuvvetli atomsal bağlar kurulmaya başlanır. Sürtünme hareketi ile bu bağlar koparılmaya çalışılır. Sonuçta bu temas noktalarında kuvvetli adhezyon kuvvetleri oluşur, moment artar ve sıcaklık istenilen düzeye ulaşır. Frenleme sonrası hız hızla azalırken moment de sıfıra düşer /2,17,61,64,68,98/.



Şekil 2.6- Atalet kaynağı esasları

Dizayn olarak sürtünme kaynağı makinaları torna, matkap gibi metal işleme makinalarını andırmaktadır ve ilk sürtünme kaynağı makinaları bu tezgahların modifiye edilmiş şekilleridir. Şekil 2.7 de tipik bir sürtünme kaynağı makinası görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere bir sürtünme kaynağı makinası, ana gövde bağlama tertibatları, dönme ve yığıma mekanizmaları, fren sistemi, güç ünitesi, kontrol üniteleri ve kumanda tablosu kısımlarından oluşmaktadır. Sürtünme kaynağı makinaları tam mekanize makinalardır. Parçaların bağlanması, boşaltılması ve oluşan çapakların alınması otomatize edilebilir. Bilindiği gibi sürtünme kaynağının ana fonksiyonları parçaların bağlanması ve sıkıştırılması, basınç altında dönme ve sürtünme, frenleme, yığıma ve gerekli sürelerin hassas olarak ayarlanmasıdır. Numune bağlama aparatları gerekli rijitliğe sahip olmalı, üzerine gelecek momentleri karşılamalı, radyal kaçıklıklar ve titreşimler elimine edilebilmelidir. Özellikle kaynak süreci boyunca oluşacak titreşimler, gerekli incelemeler ve araştırmalar yapılarak sönmülenebilecek şekilde makina dizaynı yapılmalıdır. Titreşimler yanında oluşacak radyal ve eksenel kuvvetlerden dolayı parçaların sabitlemesi ve eksenel kaçıklıkların önlenmesi zordur. Bu nedenle bağlama tertibatı parçaları gereken miktarda sıkıştırarak dizayna sahip olmalıdır. Bu işlem için genellikle V şekilli iki çene veya özel çeneler kullanılır /1,31,43,60,61,79,99/.

Kaynak ekipmanlarını tutmak için kullanılan bütün durdurma tertibatları güvenilir olmalıdır. Bağlantısı yapılacak parçalarda oluşabilecek küçük bir kayma, hem kötü bir kaynak bağlantısına ve hem de frenleme sisteminin zarar görmesine neden olur. Uygulamaların çoğunda otomatik olarak merkezleyen frenleme tertibatları kullanılır /78/.



Şekil 2.7.- Tipik bir sürtünme kaynağı makinası

2.1.2.- Kaynak Parametreleri

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

-Dönme hızı özellikle ITAB'ın genişliğinde etkilidir /1/. Çelikler için çevresel hız 1.2-1.8 m/s arasında önerilmektedir. 1.2 m/s'nin altındaki hızlar çok yüksek momentler, dolayısıyla üniform olmayan bir yağma üretir. Bununla birlikte farklı metal bağlantıları için düşük hızlar, gevrek bir intermetalik bileşiğin formlanması minimize edebilir. Yüksek hızların kullanılması durumunda ise kaynak bölgesindeki aşırı ısınmayı önlemek için sürtünme basıncı ve sürtünme süresi çok dikkatli kontrol edilmelidir /1/.

- Sürtünme basıncı ve yığıma basıncı numune geometrisi ve yapıldığı malzemeye bağlıdır. Değişimi dar bir aralıkta değildir. Basıncı değişkeni, kaynak bölgesindeki sıcaklık derecesi ve eksenel kısalma 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 yığıma basıncının uygulanması bağlantı kalitesini artırır. Yığıma 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 yığıma basıncı tespit edilir /1,78/. Genel anlamda yumuşak çelikler için sürtünme basıncı 30-65 MPa, yığıma basıncı 75-140 MPa iken orta karbonlu ve yüksek karbonlu çelikler için sürtünme basıncı 70-210 MPa, yığıma basıncı 100-420 MPa arasındadır /60/.

- Sürtünme ve yığıma 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.

2.1.3.- 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 altı 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 düktül olanının çapının %15-%25 oranında daha büyük yapılmasını önermiştir /98/.

Sürtünme kaynağında dövülebilen iyi kuru sürtünme özellikleri olmayan bütün malzemeler kolaylıkla kaynak edilebilir. Kuru yağlama sağlayan alaşım elementleri bağlantı bölgesinin kaynak sıcaklığına erişmesini engeller /31,60,61/.

Demir esaslı malzemeler, yumuşak çelikten, yüksek alaşımlı çeliklere kadar kaynaklanabilmektedir. Yumuşak çelikler relatif olarak daha kolay kaynaklanmakta ve geniş bir parametre aralığına sahiptirler. HSS türü yüksek alaşımlı çelikler ise daha dar bir parametre aralığında ve daha yüksek eksenel kuvvetlerde kaynaklanabilir. Bunların tokluğu ve çatlak hassasiyeti dikkat edilmesi gereken bir konudur, muhakkak parçalarda oluşan çapaklar alınmalıdır. Çünkü bu çapaklar çatlak başlangıcı için uygun yerlerdir.

Paslanmaz çelikler, sinterlenmiş çelikler ve maraging çelikleri verilen kaynak parametrelerinde kolaylıkla kaynaklanabilirler. Isıl işlemlerle paslanmaz çelikler diğer yüksek alaşımlı çelikler gibi kaynak değişkenlerine çok hassastır ve ITAB arzu edilen özellikler için kaynak sonu prosesler gerektirir. Bunların dışında sinterlenmiş malzemeler, Al ve alaşımları, Cu ve alaşımları, Ti alaşımları, Zr alaşımları, Mg alaşımları, Isıl dirençli alaşımlar olan Ni ve Co alaşımları, refrakter metallere olan T, Mo, Ni ve Ta alaşımları da sürtünme kaynağı ile kaynaklanabilmektedirler. Bazı metal ve alaşımlarında aşağıda belirtilen metalürjik içeriklerinden dolayı başarılı bir kaynak yapılamaz. Bu sınırlamalar genelde sürtünme ısı ve dövme yöneliktir /60,61,78/.

- Bütün dökme demirler, serbest grafitin sürtünme sıcaklığını sınırlamasından dolayı,
- %0.3'ün üzerinde kurşun içeren bronz ve prinçler sürtünme sıcaklığının sınırlanmasından dolayı,
- % 0.13'ün üzerinde S,Pb içeren otomat çelikleri sürtünme sıcaklığının sınırlanmasından dolayı,
- Yüksek derecede anizotropik malzemeler (Be gibi), geçiş bölgesi kırılganlığından dolayı,
- Yapısında hazır olarak grafit, MnS, serbest Pb gibi zayıflatıcı faz içeren malzemeler.

2.1.4.- Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Dizaynı

Sürtünme kaynağında kullanılan kaynak dizaynı genellikle diğer prosesler yanında kritiktir. Alevle kesilen yüzeyler kaynaklanabilmektedir. Genelde gres boya ve diğer bulaşıklıklar bir problem oluşturmaz. Ayrıca yüzeylerin pas tabakasıyla ve bir yüzey tabakasıyla kaplı olması da kaynak işlemini etkilemez. Ancak kalın oksit tabakalarından, yüzeylerdeki pullanmalardan, derin çizik ve deliklerden kaçınılmalıdır ve parçalardaki deformasyon sözü edilen bulaşıklıkları dışarı sürebilecek mertebede olmalıdır. Bunun dışında farklı özelliklere sahip metal ve alaşımlarının (Al-Çelik gibi) yüzey hazırlığına daha çok önem verilmelidir. Ayrıca kaynaklanacak yüzeylerin özel bir şekilde sokulması

gerekmez, ancak büyük çaplı parçalarda sürtünmeye yardımcı olmak için küresel veya kesik koni şeklinde ağızlar yüzeyde oluşturulabilir /1,31,50,68,99/.

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. Ganovski tarafından önerilmiştir /31/. Ayrıca G.H.C. Begg ve B.A. Humphreys adlı araştırmacılar ise 0.2 mm lik bir eksenel kaçıklık toleransı, 0.001 rad'lık açılabilir tolerans önermişlerdir /5/. Süpsan A.Ş. deki sübab üretiminde eksenel kaçıklık toleransı 0.1 mm düzeyindedir.

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-disk şeklindedir (Şekil 2.8 a-f). Sürtünme kaynağı ile yapılacak açılı bağlantılarda eksenle olacak açının 30° den büyük olması D.L. Kuruzar tarafından önerilmiştir /50/. Genel literatürde bu açının $30-45^\circ$ /79/ ve $45-60^\circ$ /61/. arasında olması önerilmiştir. Açılı bağlantıyla ilişkin bir örnek Şekil 2.8.g de görülmektedir. Bazı dizayn şekillerinde yığmanın alınması çok zor ya da imkansızdır. Bu tür durumlarda dizaynda kaynak bağlantısına bitişik yığma aralıkları bırakılır (Şekil 2.8.h) /50,60,61,79/.

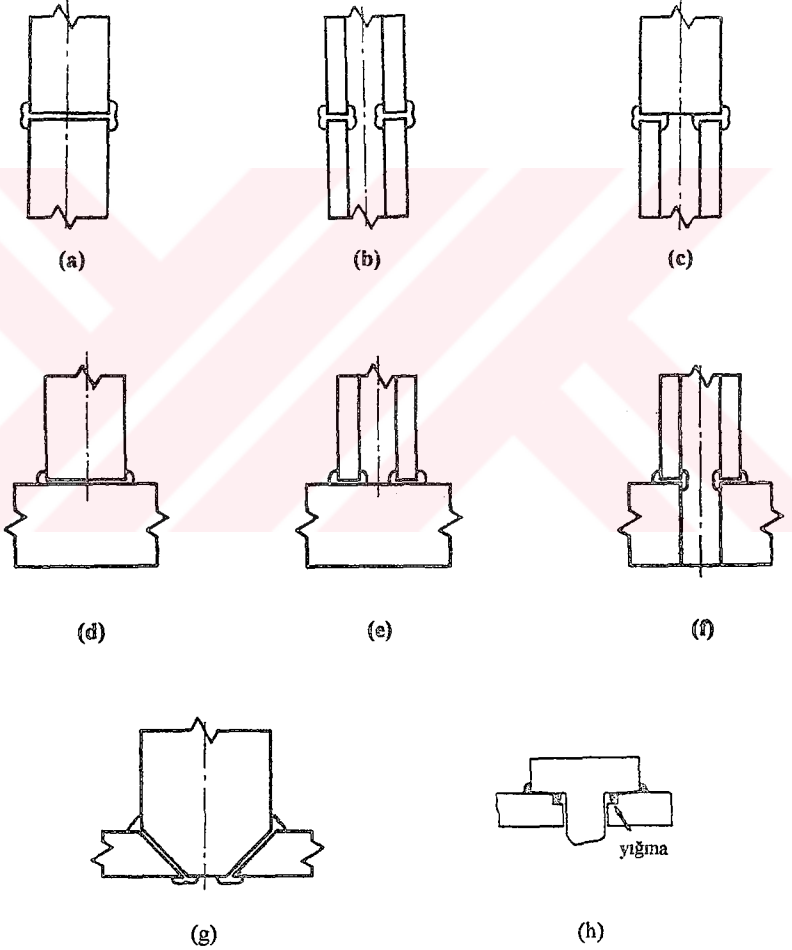
2.1.5.- Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları

Daha önce de belirtildiği gibi günümüzde sürtünme kaynağı bir çok endüstride geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Sürtünme kaynağının çeşitli endüstrilerdeki en çok kullanılan uygulama alanlarına dair örnekler aşağıdaki gibi verilebilir /1,5,26,27,28,32,60,68/.

- Makina imalatı ve hidrolik endüstrisi: Dişli çarklar, piston kolları, hidrolik silindirler, radyal pompa pistonları ve piston kolları, sonsuz vidalı miller, krank miller, matkap uçları, valfler...
- Havacılık ve uzay tekniği: Rotorlar, türbinler, miller, yanma odaları, itme jetleri, borular, flanşlar, fittingsler...
- Otomotiv endüstrisi: Aks köprüleri, süpaplar, kardan milleri, vites kolları, yürekli fren milleri, şanzuman parçaları, ön ısıtma odaları, boru miller, taşıyıcı aks boruları...

- Takım endüstrisi: Spiral matkaplar, freze bıçakları, delik zımbaları, çelik kalemler, raybalar...

- Elektronik, elektroteknik ve kimya endüstrisi: Gaz analizleri için alıcı kamaraları, kromatograflar için ayırma sütunları, röntgen cihazı tüpleri için döner anod milleri, sürekli lehim uçları, devre kontakları, geçiş parçaları, borular, flanşlar, fittingsler, süpap yuvaları, boru tesisatı bağlantıları...



Şekil 2.8.- Sürtünme Kaynağı Bağlantı Dizaynları

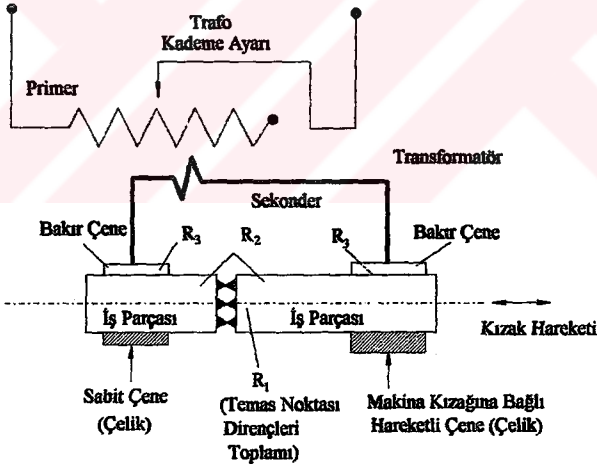
Ayrıca R.S. Gilmour tarafından büyük konstrüksiyonların dizaynında kullanılan tespit saplamalarının kirizlere bağlantısı için sürtünme kaynağı önerilmiştir /16/.

2.2. YAKMA ALIN KAYNAĞI

2.2.1.- Yöntemin Tanımlanması

Yakma alın kaynağı, bitişik iki alın yüzeyinin tüm alanını kapsayan bir direnç - basınç kaynağı yöntemidir. Bu yöntem en ilkel kaynak yöntemi olan demirci kaynağının modernleşmiş şeklidir.

Kaynak edilecek iki çubuğun birleştirilmesi için öncelikle alın kısımlarının erime sıcaklığına getirilmesi gerekir. Bunun için gerekli kaynak ısı, elektrik akımının aktığı kontak noktasının direnci ve yüzeyler arasındaki ark ile sağlanır. Uygulanan aksel basınç ile erimiş metal ve oksitler dışarı sürülerek ana metal bir miktar yığılmaya uğratılır. Şekil 2.9' de tipik bir yakma alın kaynağı prensip şeması görülmektedir.

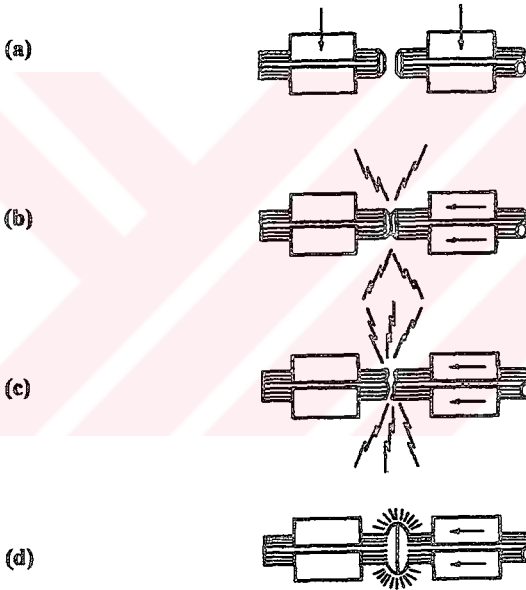


Şekil 2.9.- Yakma alın kaynağı prensip şeması

Yakma alın kaynağı için aşağıdaki işlem sırası takip edilir. Bu sıra şekil 2.10'da görülmektedir.

- Çeneler arasındaki parça sıkıştırılır. (Şekil 2.10.a)
- Parçalara yakma voltajı ve akımı uygulanır, kızak harekete başlar. (Şekil 2.10.b)
- Normal voltajda yakma işlemi gerçekleştirilir. (Şekil 2.10.c)
- Kaynak bölgesine yığılma uygulanır ve akım kesilir. (Şekil 2.10.d)

Yukarıda anlatılanlardan da anlaşılacağı üzere yakma alın kaynağı yakma kademesi ve yığılma kademesi olmak üzere iki ana kademedен oluşmaktadır.



Şekil 2.10.- Yakma alın kaynağının işlem kademeleri

Yakma kademesinde, kaynaklanacak iki parça elektrotlar arasında tesbit edilir, ve çalışma parçalarının alın kısımları temas ettirilerek birinden diğerine doğru düşük gerilimde yüksek elektrik akımı geçirilir. Temas halindeki alın yüzeyler ideal bir düzleme sahip olmayacakları için temas, bir yada birkaç noktadan gerçekleşir. Böylelikle yüksek miktarlardaki elektrik akımı çok küçük kontak alanlarından akar ve bu noktaların elektrik direnci de çok yüksek olduğu için bu noktalarda sıcaklık hızla yükselerek erime noktasına

ulaşır. Bir çok araştırmacı tarafından bu safha ön ısıtma safhası olarak adlandırılmaktadır. /1,10,60,61/.

Eriyik duruma gelen bu metal hacimleri patlar ve kıvılcımlar halinde dışarı fırlar; metal hacminin yerinden ayrılmasıyla elektrik köprüsünün devresi kapanır ve kısa süreli ark oluşur. Bu oluşum sonrasında temas noktaları küçük kraterlere dönüşür. Parçalar tekrar temas ettirildiğinde bu kez bu kraterlerin uç kısımları elektrik köprüsü görevini görür ve yukarıda anlatılan olaylar tekrarlanarak yeni kraterler oluşur. Tablanın bu ileri geri hareketi bütün malzeme yüzeyi kraterle arka ve erimiş metal ile kaplına kadar devam ettirilir.

Belli bir yakma süresi sonrasında yüzeyler gerekli sıcaklığa ulaştığında parçalara eksenal bir basınç uygulanarak erimiş metal ve bağlantılar dışarı sürülerek ana metal yığıma uğrattılır. Yığıma basıncının uygulanmasıyla yakma voltajı kesilir. Daha düşük yığıma basınçlarının uygulandığı bazı durumlarda yığıma voltajı uygulanır. /1,10,60,67/.

Yakma alın kaynak işeminde, makinada ayarı kolaylıkla mümkün olan en önemli parametrelerden, yol, gerilme, akım ve yığıma basıncı gibi değerlerin, zamanın fonksiyonu olarak kaydedilmesi mümkündür (Şekil 2.11). Bu diyagramlar kaynak işleminin irdelenmesinde önemli yararlar sağlamaktadır. Bu diyagramlarla;

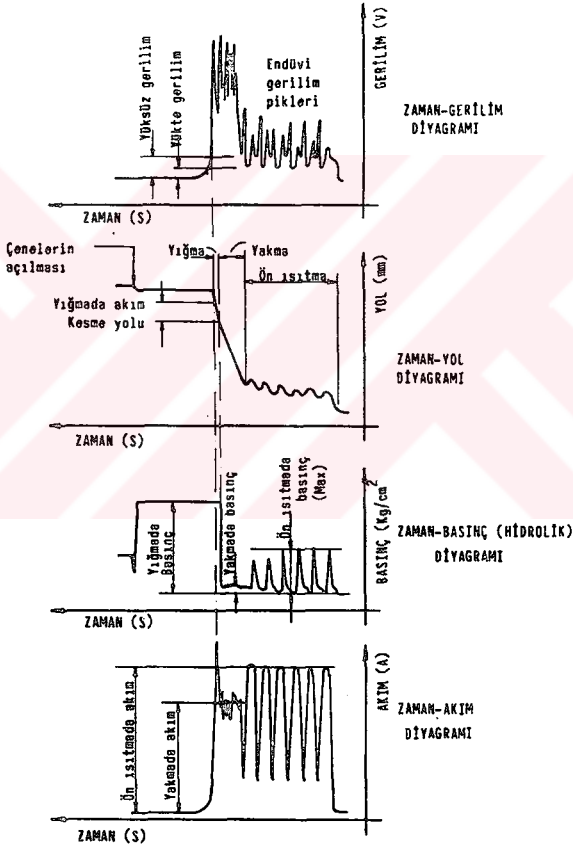
- Ön ısıtma, yakma ve yığıma süreleri kontrol edilebilir.
- Kızak hareketindeki ve akım geciktirmesindeki muhtemel hatalar tesbit edilebilir.
- Malzeme sarfiyatı hesaplanabilir.
- Yığımadaki akım kesme noktası kontrol edilebilir /10,77/.

Yakma alın kaynağı işlemleri için kullanılan makineler altı ana parçadan oluşmaktadır.

- Kızak ve kızak hareketini sağlayan elektrik tesisatının bulunduğu makina yatağı
- Hareket edebilir kızak
- Biri rijit olarak kızığa bağlı olan iki adet bağlama tertibatı
- Ayar kademesi kaynak transformatörü
- Kontrol ünitesi

Yakma alın kaynağı makinelerinin hemen hepsi yarı otomatik ya da tam otomatiktir. Yarı otomatik makinelerde operatör genellikle yakmayı elle başlatır, bundan sonraki olaylar otomatik olarak gerçekleşir. Tam otomatik operasyonlarda ise, makinaya parçalar

yüklenir, kaynak parametreleri önceden operatör tarafından seçilir ve bundan sonraki kaynak operasyonu komple otomatik olarak gerçekleştirilir /60,61/.



Şekil 2.11.- Bazı parametrelerin zaman ile değişimi

Yakma alın kaynağında kullanılan elektrodlar kaynak kalitesi üzerinde en etkili makina parçasıdır. Elektrodlar kaynak bölgesi ile direkt temas halinde değildirler, tespit ve akım iletici olarak görev yaparlar. Elektrod boyutları geniş ölçüde kaynaklanacak parçaların geometrisine bağlıdır ve yığıma sırasında merkezlenmiş parçaların konumunu bozmayacak düzeyde rijit olmalıdır. Ayrıca elektrod kontakt alanları, bölgesel yanmalardan kaçınmak için mümkün olduğu kadar geniş tutulmalıdır. Elektrodlar aşınmaya meyillidir ve kontakt bölgeler sık sık kirlenmektedir. Her iki durumda da, özellikle ilk durumda kontakt alanları azalarak bölgesel sıcak noktalara sebep olur.

2.2.2.-Kaynak Parametreleri

Yakma alın kaynağı özellikle ön ısıtma, yakma ve yığıma kademelerinde, kaynak mukavemetini ve kalitesini etkileyecek çok sayıda parametreye sahiptir. Bu parametreleri 7 ana grup altında toplamak mümkündür /10,77/.

a.- Başlangıç ve ön ısıtma parametreleri

- Başlangıçtaki çene mesafesi ayarı
- Ön ısıtma yolu
- Ön ısıtma süresi
- Ön ısıtma hızı
- Ön ısıtma basıncı
- Ön ısıtma gerilimi
- Ön ısıtma akımı

b.- Yakma parametreleri

- Yakma yolu
- Yakma hızı
- Yakma süresi
- Yakma basıncı
- Yakma gerilimi
- Yakma akımı

c.- Yığıma parametreleri

- Yığıma hızı
- Yığıma zamanı
- Yığıma basıncı
- Yığıma gerilimi

- Yığma akımı
- Yığma akımını kesme zamanı

d.- Toplam kaynak yolu

e.- Toplam kaynak süresi

f.- Elektriksel değişkenler

g.- Kaynak sonrası ısıt işlemler

Yukarıda sayılan parametreler arasında özellikle yakma ve yığma parametreleri araştırmalara en çok konu olan ve yöntemi en çok etkilediği düşünülen parametrelerdir. Bu parametrelerle ilgili temel eserler incelendiğinde aşağıdaki genel özellikler elde edilebilir..

a.- Yakma kademesi

- Yakma gerilimi: Yakma voltajı kaynak transformatoründeki ayar kademeleri ile ayarlanır. İyi bir yakma periyodu için voltaj mümkün olduğu kadar küçük seçilmelidir /61/. Çalışmalar göstermiştir ki, stabil bir yakma 2.5-3 V. civarında sağlanabilmektedir; ancak akım makinaları için yakma voltajı 5-10 V. civarındadır /60/. Yüksek yakma voltajı kullanıldığında, yakmayı başlatmak ve beslemek daha kolaydır; fakat bu durum yakma kademesi boyunca derin kraterlerin formlanması ve kaba yakmaya sebep olabilir. Bu derin kraterlerin erimiş metal ve oksitleri bünyelerinde tutmaları nedeniyle yığma sırasında erimiş metal ve oksitler ara yüzeylerden tamamen alınamazlar; böylelikle kötü kalitede kaynağa neden olurlar. Bundan dolayı mümkün olduğu kadar düşük voltaj ile çalışılmalıdır; ancak yakmanın başlatılabilmesi için de yüksek voltaj gereklidir. Bu problemin çözümü için üç ayrı yöntem önerilmektedir /60/.

Yakma alın kaynağı ünitesi azalan bir voltaj kontrol ünitesine sahip ise, yakma, yüksek bir voltaj ile başlatılır ve ondan sonra yakma periyodu için gerekli daha düşük bir voltaja azaltılır /60/. Yakma voltajında değişimler, sadece transformatorün ayar kademelerinin değişimi ile sağlanmalıdır. İşlem için gerekli olan iki ayrı voltaj değeri, iki primer kontaktör kullanılarak sağlanır. Kontaktörlerden birisi yakmanın birinci safhası sırasında yüksek bir sekonder gerilimi sağlamak için gerekli beslemeyi sağlar. Diğer kontaktör, önceden belirlenmiş bir zaman sonrasında devreye girerek, yakma için gerekli normal sekonder gerilimi sağlar ve bu anda birinci kontaktör devre dışı kalır.

Kaynaklanacak parçaların son kısımları yivli yada oluklu hale getirilir. Böylece daha küçük dik kesit elde edilir ve yakma başlangıcı için daha yüksek akım yoğunluğu elde edilmiş olunur.

Yakma için önce, çalışma parçalarının uçları sabit bir basınç altında bir araya getirilir ve direnç ısıtması ile bir ön ısıtma sağlanır. Direnç ile ısıtma, temas halindeki yüzeylerin kalitesine bağlı olarak üniform değildir ve sıklıkla lokalize olmuş ısı spotları formlanır. Bu durumu telafi etmek için, işlem kısa bir süre için uygulanır. Parçalar bu şekilde bir kaç defa bir araya getirilip ayrılarak yüzeylerde arzu edilen ön ısıtma sağlanarak bundan sonra yakma kademesine geçilir.

- Yakma süresi: Yakma olayı, metalde gerekli yakmanın elde edilebilmesi için bir zaman aralığında uygulanmalıdır. Gerekli zaman, sekonder voltaja ve metal kaybı oranına bağlıdır. Belirli minimum yakma mesafeleri için, belirli zaman aralıklarında, düzgün yakma işlemi, mukavemetli bir kaynak işlemi için gereklidir /61/.

b.- Yığıma kademesi

- Yakma voltajı kesme süresi: Çoğu durumda yakma voltajı, yığıma prosesi başlar başlamaz kesilir; fakat asla daha önce kesilmez. Voltaj sınırı noktası mekanik deneyler ile ayar edilmelidir /61/.

- Yığıma oranı: Yığıma kademesinde yüzeylerde mevcut olan erimiş metal ve oksitler dışarı sürülebilmedir. Uygulanacak yığıma oranı, metal yeterli plastisiteye sahip iken, optimum yığıma gerçekleştirecek ve erimiş metali katılaşmadan önce dışarı atabilecek düzeyde olmalıdır. Ayrıca kaynak bölgesinin ince taneli olabilmesi için uygun sıcaklığa ulaşıldığı anda yığıma uygulanmalıdır /61/.

- Yığıma mesafesi: Uygulanan yığıma mesafesi ile, oksitler ve erimiş metal bağlantı bölgesinden uzaklaştırılabilmeli ve alın yüzeyler birbirleriyle çıplak olarak temas edebilmelidirler. Optimum bir kaynak kalitesi için yığıma mesafesi uygun olmalıdır. Şayet kaynaklı parçalarda düzgün bir yakma sağlanabilmiş ise, daha küçük yığıma mesafesi çoğu metal için tatminkar olabilecektir. Bununla birlikte bazı ısı dirençli alaşımlar daha büyük yığıma mesafeleri gerektirmektedir /61/.

- Yığma akımı: Bazı durumlarda, kaynak bölgesi yakma işlemi sonrasında hızla soğumaya meyillidir. Bu durum, elverişsiz yığma veya yığılan metalde soğuk çatlak ile sonuçlanır. Bağlantı sıcaklığı, kaynak transformatöründen sağlanan akım ile sürdürülmelidir.

2.2.3.- Malzemelerin Yakma Alın Kaynak Kabiliyeti

Aynı kesite ve özelliklere sahip malzemelerin kaynağında, her bir parçada kaynak süresi boyunca ısı iletimi aynı, dolayısıyla yanma ve yığma aynı olacaktır. Şayet farklı metallerin kaynağı söz konusu olursa, yanma sırasında metal kaybı her bir parça için farklı olacaktır. Bu davranış malzemelerin elektriksel ve termal özellikler ile erime noktalarındaki farklılığa atfedilir ve bu durum bağlantı kalitesi üzerinde çok etkilidir /61/.

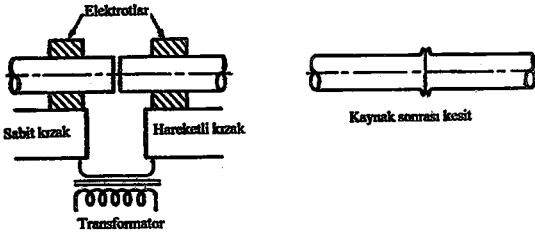
Bir çok demirli ve demir dışı metaller yakma alın kaynağı ile kaynaklanabilir. Bu yöntemle, karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler, korozyon ve ısı dirençli alaşımlar, Al alaşımları, Ni alaşımları, Cu alaşımları ve Ti alaşımları kaynaklanabilir. Ancak Ti alaşımları gibi kuvvetli reaktif malzemeler ancak soygaz korumasında kaynaklanabilir.

2.2.4.- Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Dizayını

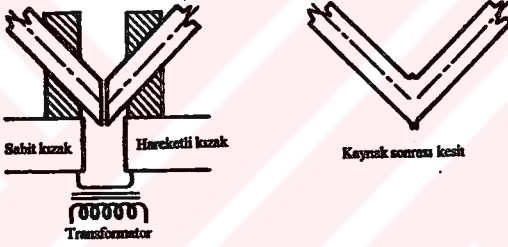
Yakma alın kaynağı için yüzey hazırlığı çok önemli değildir ve çoğu durumda gereksizdir. Buna karşın parçalarla elektrodlar arasındaki yüzey temizliği önemlidir. Elektrod yüzeyleri gres, toz gibi bulaşıklıklardan temizlenmelidir, aksi durumda daha önce de belirtildiği gibi bölgesel sıcak noktalar oluşarak bağlantı kalitesini kötüleştirir. Ayrıca bağlantısı yapılacak parçaların yüzeylerinde pullanma, gres gibi bulaşıklıklar yığma sırasında parçaların kaymasına sebep olabilir. Temizleme işlemi için, taşla taşlama, tel fırça ile fırçalama, parlatma, buhar ile gres temizleme metodları kullanılabilir /60,61/.

Yakma alın kaynağı ile Şekil 2.12 de görüldüğü gibi üç ana tip dizayn uygulanabilir. Genelde kaynaklanacak iki parça bağlantıda aynı dik kesite sahip olmalıdır. Büyük kesitler kaynaklanacağı zaman yakma olayının başlatılabilmesi için alın yüzeylerde pah oluşturulur. Bu gibi pahlar normalden daha yüksek yakma voltajı gerekliliğini ortadan kaldırır. Çubuklar için önerilen boyutlar Şekil 2.13 de görülmektedir. /61/.

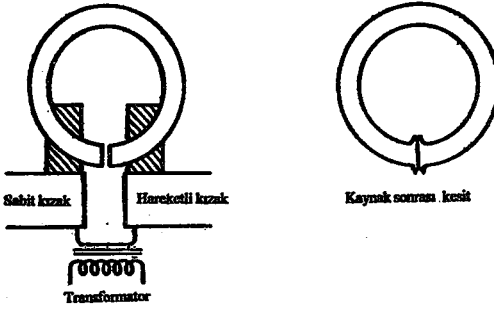
Kaynaklanacak parçaların bir merkezde olması çok önemlidir, aksi durumda yakma sadece karşılık gelen yüzeylerde oluşur ve ısıtma üniform olmaz. Dolayısıyla yığma sırasında parçalar kayma eğilimi gösterir (Şekil 2.14) /60,61/.



(a) Eş merkezli kaynak



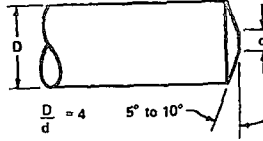
(b) Açılı kaynak



(c) Ring kaynağı

Şekil 2.12- Yakma alın kaynağı ana tipleri

Kaynaklı bağlantıda dışarı taşma genellikle alınmalıdır. Geniş kesitli malzemelerde yağmanın alınmaması çekme mukavemetini bir miktar artırırken, çentik etkisinden dolayı yorulma mukavemetini azaltır /61/.



Şekil 2.13.- Geniş parçalar için yakma olayının kolaylaştırılmasına ilişkin yüzey hazırlığı



Şekil 2.14- Bağlantı geometrisine parça merkezlemesinin etkisi

2.2.5.- Yakma Alın Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

Yakma alın kaynağının bazı önemli avantajları şunlardır /61/.

- Kaynak dik kesitleri dairesel olmak zorunda değildir. Üçgen kesitler, H-kesitler, dörtgen kesitler gibi kesite sahip parçalar kolaylıkla kaynaklanabilir. Ayrıca kaynaklanacak parçalar dönel olmak zorunda değildir.
- Kaynak alın yüzeylerdeki metalin erimesi ve bu metalin yağma sırasında dışarı sürülmesi, ara yüzeylerdeki kalıntıları elimine eder.
- Benzer kesitli parçalar aynı eksenli yada belli limitler arasındaki açı altında kaynaklanabilir.
- Yüzeylerin hazırlığı kritik değildir. Geniş yüzeylerde yakmayı başlatmak için bir pah oluşturulur.
- Çeşitli kesitlerdeki ringler kaynatılabilir.

- ITAB dardır.

Yakma alın kaynağını sınırlandıran bazı unsurlar ise şunlardır /61/.

- Tek fazlı yüksek güç ihtiyacı, üç fazlı primer güç hatlarında dengesizlik oluşturur.
- Yakma sırasında dışarı fırlayan erimiş metal partikülleri çevreye zarar verir.
- Yanan ve yığılan metalin alınması genellikle gereklidir ve özel teçhizat gerektirir.
- Küçük kesitli parçaların merkezlenmesi zordur.
- Kaynaklanacak parçalar dik kesite sahip olmalıdır.

2.2.6.- Uygulama Alanları

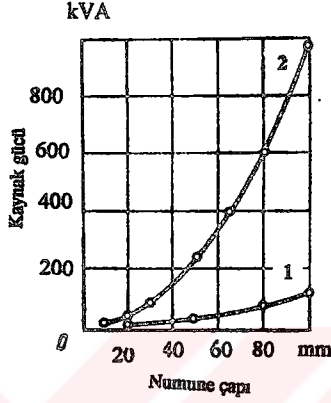
Konu ile ilgili ilk uygulamalar vagon tekerleklerinin bağlantısıdır. Daha sonra otomotiv endüstrisi bu prosesi tekerlek jantları ve volan dışlısında kullanmıştır. II. Dünya savaşı yakma alın kaynağında yeni uygulama alanları sağlamıştır. Günümüzde yakma alın kaynağı oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Otomotiv endüstrisinde, soğuk haddelenmiş levhalardan üretilmiş yakma alın kaynaklı ringlerden tekerlek jantı üretilir. Elektrik endüstrisinde, yakma alın kaynağı ile levha ve özellikle silindirik forma haddelenmiş çubuklar ile motor ve generatör şasisi üretilir. Hava endüstrisi, iniş takımı, kontrol tertibatı ve pervane kanadı üretiminde yakma alın kaynağı kullanır. Ayrıca çeşitli ana rayların kaynağında yakma alın kaynağı kullanılır. Çoğu durumda kaynak, ilgili alanda bir raylı taşıt aracına yüklenmiş portatif generatör ve kaynak makineleri kullanılarak yapılır. Kapı, pencere gibi köşeli bağlantılarda da yakma alın kaynağı kullanılabilir. Bu üretim için genellikle, sade karbonlu çelik, paslanmaz çelik, Al alaşımları veya bronz kullanılır /60,61/. Günümüzde boru hatlarının kaynağında da yakma alın kaynağı oldukça popülerdir. Özellikle Rus araştırmacıların konu ile ilgili geniş çalışmaları vardır /9,48,56,89/.

2.3.- Sürtünme Kaynağının Avantajları, Dezavantajları ve Yakma Alın Kaynağı ile Mukayesesi

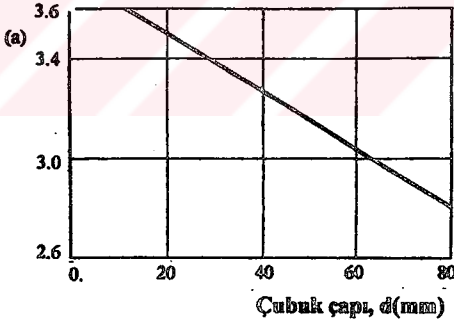
Sürtünme kaynağı prosesi süresince ısıtılan metal miktarı çok küçük olduğundan, soğuma süresi de çok küçük bir zaman aralığını kapsar (birkaç saniyeden yarım dakikaya kadar). Bu özellik nedeniyle sürtünme kaynağı yalnızca elektrik direnç kaynağı ile karşılaştırılabilen çok yüksek hızlarda yapılabilmektedir.

Sürtünme kaynağı ile yakma alın kaynağını mukayese edersek, sürtünme kaynağının avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz /2,11,25,31,46,47,60,61,68,79,99/.

- Sürtünme kaynağındaki güç ihtiyacı Şekil 2.15'den da görüleceği gibi yakma alın kaynağının 5 ila 10 da biri seviyesindedir.
- Yakma alın kaynağı, $\cos \varphi = 0.4-0.6$ 'lık güç faktörü ve tek faz ile yapılırken, sürtünme kaynağında güç faktörü $\cos \varphi = 0.8-0.85$ değerindedir.
- Sürtünme kaynağında gerek ısıtma ve gerekse dövme periyodları sırasında yakma alın kaynağına nazaran daha az metal kaybı olur.
- Yakma alın kaynağında yüksek elektrik iletim ihtiyacı olması, zorunlu olarak daha yumuşak numune bağlama aparatlarının kullanılmasına neden olmakta, dolayısı ile kaynak bağlantısı toleranslarının sağlanabilmesi için bunların sık sık işlenmesi gerekmektedir, dolayısıyla boyutsal toleransların sağlanması daha zordur.
- Yüzey hazırlığı sürtünme kaynağında, yakma alın kaynağına nazaran daha az kritiktir.
- Sürtünme kaynağında operasyon temizdir.
- Sürtünme kaynağı Şekil 16'dan da görüleceği üzere yakma alın kaynağından daha ekonomiktir. Ayrıca Solovski ve arkadaşları Rusya'da çeşitli fabrikalardan derledikleri çalışmalarında, sürtünme kaynağında yakma alın kaynağına nazaran %2-4 malzeme kazancı olduğunu ve ısı karta oranının %1.5-2'ye düştüğünü tespit etmişlerdir /88/. F. Erchorh ise yapı parçalarının kaynağı için yakma alın kaynağına nazaran sürtünme kaynağında %20-30 arası kazanç sağlandığını tespit etmiştir /25/.
- Sürtünme kaynağı üretiminin, çok hızlı olması bu yöntemin yakma alın kaynağına nazaran daha seri olmasını sağlamaktadır.
- Yakma alın kaynağında kritik değişkenler, malzeme özelliklerine, kaynak makinasına ve şebeke akımına bağlıdır. Ayrıca kontrolü de zordur. Buna karşın sürtünme kaynağı parametreleri kolaylıkla kontrol edilebilir.
- Sürtünme kaynağı otomatik proseslere adapte edilebilir (parçaların otomatik yüklenmesi, boşaltılması, diğer operasyonlara transferi gibi).
- Ayrıca sürtünme kaynağı bir katı hal kaynak yöntemi olduğu için kaynak bölgesinde cüruf vs. içermez.
- Sürtünme kaynağı yakma alın kaynağına nazaran daha kaliteli kaynak dikişleri verir (Tablo 2.1).



Şekil 2.15.- Kaynak yöntemlerine göre gerekli güç ihtiyacı (1: sürtünme kaynağı, 2: direnç kaynağı)



Şekil 2.16.- Yakma alın kaynağı ve sürtünme kaynağı arasında güç işçilik ve teçhizat gözönüne alınarak tahmini fiyat mukayesesi (a: iki yöntem arasındaki fiyat oranı)

Sürtünme kaynağının daha kaliteli kaynak bağlantısı vermesi aşağıdaki gibi açıklanabilir /11,31,75,79/.

- Sürtünme hareketi ile bütün oksit ve diğer tabakalar parçalanarak yüzeyden uzaklaştırılır ve sürtünen yüzeyler arasındaki sürekli temas kaynak sırasında oksit filmlerinin oluşmasını önler.
- Sürtünme kaynağı sırasında kaynak inklüzyonlarının büyük bir kısmı elimine edilir.
- Bağlantı bölgesi, hızlı lokal ısıtma ve soğutma sonrası uygulanan yüksek basınç nedeni ile ince taneli bir yapıya sahiptir.
- Hızlı lokal ısıtma ve ayrıca bağlantıya bitişik olan relatif olarak geniş ısıtılmamış alanlar, lokal ısınmış alanlardan hızlı ısıyı çekmesi sonucunda çok dar bir ITAB oluşur.

Tablo 2.1.- 1026 ve 5120 çelik çubuklar arasında yakma alın ve sürtünme kaynaklı bağlantıların mukayesesi

Kaynak türü	Çekme muk. (MPa)	Eğme yorulma süresi (dak.)	Burulma yorl. süresi (çevrim)	Metal kaybı (mm)
Yakma alın k.	480	32	1000000 (a)	19.05
Sürtünme k.	520	180	4000000 (b)	6.35

(a): kopmadaki çevrim sayısı, (b): kopma olmaksızın çevrim sayısı

Bütün bu avantajlarının yanında sürtünme kaynağının bazı dezavantajları da vardır /5,25,47,60,61,68/.

Sürtünme kaynağının sınırlandıran en büyük etken parçanın sahip olduğu geometrik şekildir. Her ne kadar günümüzde özel yöntemler geliştirilmişse de bağlantı yapılacak parçalardan birinin bir eksene göre simetrik olması ve çoğu kez bir eksen etrafında dönebilir olması istenir. Sürtünme kaynağının sınırlandıran diğer önemli bir etken ise kesit alanıdır. Kesit alanının çok büyük olması, motor gücünün ve yığılma basıncı değerlerinin çok yüksek olmasına neden olur. G. Nikolaev kitabında sürtünme kaynağı için kesit alanını 30-8000 mm² değerleri arasında sınırlarken /68/, F. Erichorn max. kesit alanını 10 000 mm² olarak vermiştir /25/. H. Kreye çelik malzemeler için uygun kesit alanını 2000 mm² olarak sınırlarken, demir dışı malzemeler için max. kesit alanını 20000 mm² olarak önermiştir /5/. G.H.C. Begg ise çubuk parçalar için uygun çap değerlerini 10-250 mm olarak önermiştir /47/.

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1.- Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağı ile ilgili ilk çalışmalar malzemelere ve diğer şartlara bağlı olarak parametrelerin belirlenmesi üzerinedir. Bu konudaki ilk ciddi esaslar V.I. Vill tarafından toparlanmıştır ve aşağıdaki öneriler getirilmiştir /99/.

- Sürtünme basıncı büyük bir öneme sahiptir. Nümerik olarak 25 Mpa-250 Mpa arasında değişir.
- Dönme hızı hassasiyeti en az olan parametredir, pratik olarak kaynak bağlantısını etkilemeksizin geniş bir değişim aralığı kullanılabilir. V.I. Vill kaynak kalitesi için düşük dönme hızlarını tavsiye etmiş ve numune çapına bağlı olarak aşağıdaki amprik formülü önermiştir.

n.d = sabit ya da düşük karbonlu çelikler için;

$$n.d = (1.2-6.0)10^4$$

Daha sonraları R.Y. Tyleto V.I. Vill'in çalışmaları da dahil olmak üzere kendisinden önceki konu ile ilgili çalışmaları derlemiştir. R.Y. Tyleto bu çalışmasında en önemli parametre olarak aynı V.I. Vill gibi aksel basıncı ele almıştır. R.Y. Tyleto'ya göre aksel basınç ara yüzeydeki sıcaklığı etkilemekte ve gerekli momenti sağlamaktadır. R.Y. Tyleto aksel basınç ile birlikte, yağma basıncı ve dönme hızını en önemli üç parametre olarak belirlemiştir. R.Y. Tyleto kitabında aksel basınç değerini yumuşak çelikler için 56.2 MPa, orta karbonlu çelikler için 70.3 MPa çeşitli araştırmacılara dayanarak önermiştir /98/.

P. Jenning yaptığı bir çalışmada 19 mm çaplı Cr-Mo/Cr çelik çifti için kaynak öncesi ısı işlemler de uygulayarak değişken tutulan kaynak parametrelerinde kaynak işlemini gerçekleştirmiştir. Elde edilen bu kaynaklı bağlantılara P. Jenning tarafından eğme, çekme ve yorulma deneyleri uygulayarak bağlantının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada uygulanan kaynak parametreleri eğme deneyleri yardımıyla eğme açısı ve kırılma pozisyonu baz alınarak tesbit edilmiştir. Numunelere uygulanan çekme deneyleri sonrasında bütün kopmalar kaynak bölgesi dışında oluşmuştur. Kaynak sonrası

numunelere uygulanan ısı işlemlerin çekme özellikleri üzerine önemli etkileri olmuştur, ayrıca bu çalışmada düşük sürtünme basıncı yüksek yığma basıncı değerleri en iyi çekme özelliklerini vermiştir. P. Jennings elde ettiği numunelere yorulma deneyleri uygulayarak kaynak sonrası uygulanan ısı işlemlere göre hem eğmeye ve hem de burulmaya göre sürekli mukavemet eğrilerini de elde etmiştir /40/

W. Lucas EN3B yumuşak çeliğinden elde edilmiş sürtünme kaynaklı numunelere eğme deneyi uygulamıştır. Bu çalışmada W. Lucas 1 s. süre ile bir yığma basıncının uygulanmasının gerekli olduğunu, yığma basıncının düşük değerlerde olmamak üzere iyi belirlenmesi gerektiğini, yüksek yığma basınçlarının yanında kısa kaynak sürelerinin en iyi kaynak bölgesi yapısını verdiğini tespit etmiştir /53/.

F.D. Duffin ve B. Crossland yumuşak çelikleri kullanarak elde ettikleri sürtünme kaynaklı bağlantılarda düşük kaynak süresi ve yüksek yığma basıncı değerlerinin daha ince taneli bir yapı verdiğini tespit etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada kaynak sonu ısı işlemlerin mikroyapı üzerinde, biri hemen hemen kaynak ara yüzüne kadar tavllanmış bir bölge ve ikincisi ise kaynak ara yüzünde ince taneli bir bölge olmak üzere iki ayrı bölge oluşturduğu belirlenmiştir /16/.

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

Radyografi yöntemi ile olası hatalardan sadece iri boşluklar ve metalik olmayan inklüzyonlar (kalıntılar) tespit edilebilir. Ultrasonik yöntemde ise yığma 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 bölgede oluşabilecek ve ilgili bölge ile çakışacak olası bir hatanın karakteristiklerini zayıflatacaktır.

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

Magnetik partiküller ve dye penetrant sıvılarla herhangi bir şekilde yüzeyde oluşmuş çentikler 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 dye penetrant sıvılar yöntemi kullanılabilir /10/.

V.P. Voinov sürtünme kaynaklı C20/C60 çelik çiftinden elde edilen, tam ortada çepeçevre U şeklinde çentik içeren numunelere yorulma deneyi uygulamıştır. Ayrıca V.P. Voinov bu numunelerde kaynak öncesi ve sonrası ısıtma işlemlerinin etkisini de araştırmıştır. Deneyler sonrasında, daha yüksek dönme hızlarında daha iyi yorulma mukavemeti elde edildiği, sürtünme ve yığılma basınçlarının yorulma mukavemeti üzerinde pek etkili olmadığı, kaynak öncesi ısıtma işlemlerinin etkisinin az olmasına karşın kaynak sonrası ısıtma işlemlerinin yorulma mukavemeti üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir /100/.

V.P. Voinov yaptığı bir başka çalışmada 16 mm çaplı St 20 ve 40 KH çelik çifti için " $P_1=50$ MPa, $P_2=100$ MPa, $t_1=3$ s ve $t_2= 1.3$ s" sabit parametrelerinde elde ettiği sürtünme kaynaklı numunelere çentik darbe ve yorulma deneyleri uygulayarak değişken tutulan dönme hızının ($n=1200-4200$ d/d) optimizasyonunu yapmıştır. Çentik darbe deneyinde yüksek dönme hızları daha iyi sonuç verirken, yorulma deneyinde hem yüksek dönme hızlarının ve hem de düşük dönme hızlarının iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu numuneler üzerinde yapılan ışık mikroskobu incelemelerinde, St 40KH tarafının martenzit ve troosto martenzit bir yapıdan ana malzemeye doğru perlitte dönüştüğü, St 20 tarafının ise sorbit, ince perlit ve ferritten ibaret olup ana malzemeye doğru ferrit perlit yapısına dönüştüğü tesbit edilmiştir /100,101/.

J. Fritz ve H. Staudinger yaptıkları bir çalışmada sürtünme kaynaklı yüksek hız çeliği (HSS)-karbonlu çelik çiftinin, yakma alın kaynağı ile de mukayese ederek mikroyapılarını incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada kaynak sonrası numunelere uygulanan ısıtma işlemlerinin mikroyapıya olan etkileri ayrı ayrı incelenmiştir.

Kaynak sonrası ara bölgenin hemen HSS tarafında yaklaşık 1 mm genişliğinde ve 800 HV1'in üzerinde bir sertliğe sahip martenzit yapılu bir bölge tespit edilmiştir. Karbonlu çelik tarafında ise maksimum sertlik 360 HV1 civarında olup ara bölgenin C45 çeliği tarafında karbonca fakir ve kaba taneli bir bölge bulunmaktadır

Numunelere 2 saat süre ile 550 °C de gerilme giderme ısıl 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.

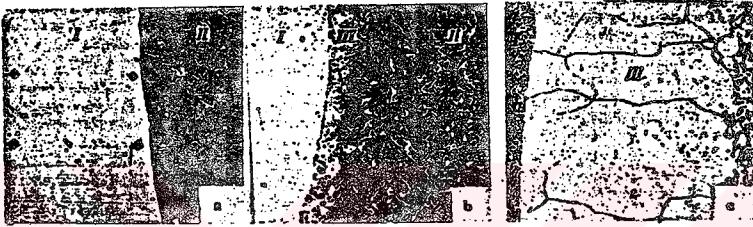
Numunelerdeki gerilme giderme işleminin olumsuz etkisi üzerine daha yüksek sıcaklıklarda (820-860 °C) izotermal yumuşatma tavlama uygulanmıştır. Bu işlem sonrasında HSS tarafındaki maksimum sertlik 300 HV1'e düşerken karbonlu çelik tarafında ise sertlik değeri 100 HV1 olarak ölçülmüştür. Bu işlem sırasında HSS tarafına doğru bir karbon difüzyonu olduğu da araştırmacılar tarafından belirtilmiştir /30/.

A.N. Dobrovidov ve arkadaşları HSS-karbonlu çelik çiftinin mikroyapısı üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada HSS yönüne doğru bir karbon difüzyonu olduğu, dolayısı ile C45 çeliği tarafında bir dekarbürize bölge oluştuğu ve kaynak sonrası ısıl 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 3.1). Araştırmacılar karbon difüzyonunu HSS tarafındaki kuvvetli karbür yapıcı elementlere atfetmektedirler. Dekarbürizasyon olayı 550 °C-800 °C sıcaklıkları arasında oluşmakta ve maksimum dekarbürizasyon ise 760 °C civarında meydana gelmektedir. Yapılan bu çalışmada araştırmacılar 830-860 °C sıcaklıkları arasındaki bir ısıl işlemin dekarbürizasyonu elimine ettiğini belirlemişlerdir. Bu sıcaklıklar arasındaki yaklaşık 15 dakikalık bir ısıl işlem ile karbon difüzyonu yön değiştirmektedir. Bu durum da HSS'in ostenit fazındaki karbon konsantrasyonunun karbonlu çeliktenden daha geniş olmasına atfedilmektedir. A.N. Dobrovidov ve arkadaşları tarafından karbon difüzyonunun önlenmesinde, eğer çalışma şartları etkilemeyecek ise üçlü metalik bağlantı önerilmiştir; örneğin paslanmaz çelik-karbonlu çelik çifti arasında Ni alaşımları tavsiye edilmektedir /15/.

S.A. Seregin ve S.B. Sabantsev 14.1 mm çaplı kaynak öncesi çeşitli derecelerde deformasyona uğramış St 20 çeliklerini kullanarak, diğer parametreler sabit kalmak şartı ile "n=1200-1400 d/d" gibi iki ayrı dönme hızında elde edilen sürtünme kaynaklı bağlantılara çentik darbe deneyi uygulamışlardır. Deneylerde yüksek dönme hızlarının daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir /81/.

A.N. Dobrovidov tarafından yapılan bir başka çalışmada, 21 mm çaplı HSS-C45 çelik çifti için pratik datalardan yola çıkılarak istatistiksel bir çalışma sonrasında elde edilen " $P_1=8-280$ MPa, $P_2=138-300$ MPa, $t_1=8-18$ s, $t_2=0.6-5.4$ s, $v=0.5-2.65$ m/s"

parametreleri kullanılarak üretilmiş sürtünme kaynaklı bağlantılara burulma deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışmada C45 çeliğinin burulma mukavemeti olan 350 MPa değeri sınır alınarak bu değerin % 70'inden büyük değerler veren numuneler kaliteli varsayılmış ve regression analizi yardımı ile parametre optimizasyonu yapılmıştır /14/.



Şekil 3.1.- R6M5-C45 çelik çifti için mukayeseli olarak kaynak iç yapısı, a: kaynak sonrası, b: tavlama sonrası, c: dekarbürize bölge, I: R6M5, II: C45, III: dekarbürize bölge

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

Yüksek çevresel hız yüksek arayüzey sıcaklığı üretirken, verilen bir yanma mesafesi için daha uzun kaynak süresi gerektirir; dolayısıyla arzu edilmeyen aşırı ısınmış yapı oluşabilir. Buna karşın düşük çevresel hız 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 malzemede geniş bir aralıkta dönme hızı-sürtünme basıncı önerilmektedir /26,27/

C.R.G. Ellis ile G.H.C. Begg ve B.A. Humphreys, yukarıda anılan parametrelerin 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, yanma 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 /5,26,27/.

$$t = 82.55d^2 (s); t = \text{yanma için gerekli zaman (s), } d = \text{Numune çapı (mm)}$$

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 /26,27/.

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

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

b.- Bu grup, sertleşebilir çelikler ve çökme sertleşmeli alaşımları içerir. Bu gruba giren mikro alaşımlı çeliklerde, mikro alaşımlandırmanın tane inceltmeye olan etkisinden dolayı kaynak kabiliyetleri oldukça iyidir. Bu alaşımların kaynağında iyi bir kaynak yapısı için genellikle kaynak sonu bir ısı 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, ısı işlem veya servisteki yüksek sıcaklıklar sırasında difüzyon etkileri gösteren kombinasyonları içerir.

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

T.J. Peter sürtünme kaynaklı parçalarda ultrasonik yöntemle tahribatsız muayene tekniğini incelemiştir. Bu çalışmada 10 N pulser alıcı ünite ve otomatik gating sisteme sahip reflektoskop içeren bir cihaz kullanılmıştır. Anlamlı ve kullanılabilir bilgilerin eldesi için T.J. Peters tarafından 0.635 mm. den 2.032 mm. ye kadar değişen 4 adet delik içeren dairesel bir yansıtıcı kullanılarak alet kalibre edilmiştir /67/.

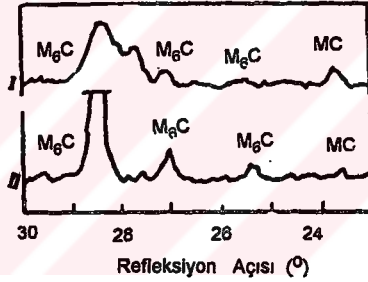
H.Kreye sürtünme kaynaklı 42CrMo4-C45 çelik çiftinin mikroyapısını incelemiştir. Bu bağlantıda ITAB C45 tarafı için perlitik bir yapı oluştururken 42CrMo4 için bir ara kademe yapısı oluşturmaktadır. Ana malzemeye doğru ostenit sıcaklığına erişmemiş bölgelerde rekristalize ince tane oluşumu gözlenmiştir. Her iki tarafta 10 mm mesafeli bir bölge bağlantının en zayıf kesitini oluşturmaktadır /47/.

Akira Ishibashi ise yaptığı çalışmada alaşımli çelikler ve karbonlu çelikleri baz almıştır. Yapılan çalışmada alaşımli 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 " $d=15-20$ mm, $v=2.6-3.5$ m/s, $P_1=78-157$ MPa, $P_2=78-157$ MPa, $t_1=12-24$ s ve $t_2=5$ s" parametrelerinde kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Değişik sürtünme kaynaklı malzeme kombinasyonlarına dönül 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 oluşmuştur. Bu çalışma sonuçlarına göre yazarlar tarafından genelde paslanmaz çelikler için $P_2 = 2P_1$ önerilirken, SKH9/C45 çelik çifti için $P_2 = P_1 + 0.3P_1$ önerilmiştir /39/.

A. Ishibashi ve arkadaşları, elverişli yorulma mukavemetine sahip, sürtünme kaynaklı ostenitik paslanmaz çelik (SUS304)-karbonlu çelik (S45C) çiftinde Fe ve Cr için hat analizleri yaparak geçiş bölgesinin kalınlığının 0.2 mm civarında olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı araştırmacılar elverişli yorulma mukavemetine sahip martenzitik paslanmaz çelik (SUS440C)-karbonlu çelik (S45C) çiftinde dönme ekseninde üç farklı mesafede Fe ve Cr için hat analizleri yapılarak bölge genişliğinin 0.1-0.13 mm civarında olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda SUS440-S45C çifti için çoğu durumda ara yumuşak bölge erime sıcaklığı daha düşük olan SUS440C çeliğinde oluşurken, SUS304-S45C çifti için ara geçiş bölgesi (yumuşak bölge) pozisyonu değişimi daha şiddetli olduğu tespit edilmiştir /39/.

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, MC ve M_6C hatları difraksiyon zirvelerinin relatif yüksekliklerinden karar vermişlerdir. Artık ostenit miktarına X ışınları analiz metodu ile, martenzitteki karbon miktarına ise X ışınları ve elektrooptikal analiz metodu ile karar verilmiştir. Şekil 3.2, kaynak öncesi ve sonrası R6M3 çeliği için çizgi profili difraksiyonunu göstermektedir. Şekil 3.3 ise parlak şerit bölgesindeki mikroyapıyı göstermektedir. Yapılan bu incelemeler sonrasında parlak şerit bölgesinin yüksek karbonlu martenzit (%0.5-0.55C), yüksek miktarlarda artık ostenit ve daha ziyade vanadyum karbürleri olmak üzere 200 \AA gibi geniş bir karbür dağılımından oluştuğu tespit edilmiştir. Kaynak öncesi MC/ M_6C oranı 0.3 iken kaynak sonrası bu oran 1.1 civarına çıkmıştır. Bu bölgedeki vanadyum miktarındaki keskin artış, plastik deformasyona, çözünen M_7C_3 ve M_6C karbürleri ile C45 den difüze olan karbon miktarına bağlıdır. Bu bölgenin karakteristik özellikleri olan MC karbürlerindeki keskin artış ve MC/ M_6C oranı tavlama sonrası artmaktadır /68/.



Şekil 3.2.- Parlak şerit bölgesinde R6M3 çeliğinde difraksiyon hat analizi

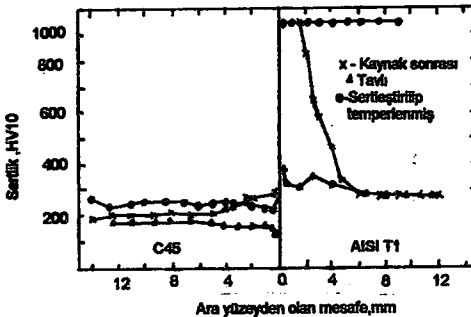


Şekil 3.3.- Parlak şerit bölgesinde R6M3 çeliğinin yapısı (10000x)

S.A. Westgate tarafından yapılan bir çalışmada, sürtünme kaynaklı C/Mn çeliklerinde parametrelerin, kaynak sonrası ısıl işlemlerin ve malzemenin kükürt içeriğinin bağlantının tokluğuna olan etkisi çentik darbe deneyi uygulanarak araştırılmıştır. Bu tür bağlantılarda düşük kaynak süresi ve yüksek yığıma basıncı değerleri daha ince taneli bir yapı vermiştir. Ayrıca kaynak sonu ısıl işlemlerin ve malzemenin kükürt içeriğinin tokluk üzerinde çok etkili olduğunu ortaya çıkarmıştır /104/.

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 /7/.

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 yığıma basınçları en iyi değerleri vermiştir. Araştırmacılar aynı numunelerin yorulma deneylerini de yapmışlardır. Bu deneyde 0-240 MPa'lık burulma gerilmesi ve 1400 çevrim/dakika'lık deney frekansı uygulanmış, numunelerde yüzey hassasiyeti önce 0.7-0.8 μm daha sonra ise 0.15-0.25 μm alınmıştır. Deneyler sonucu, yüzey hassasiyetinin artırılması ile yorulma mukavemetinin arttığı ve sürtünme kaynaklı numunelerin bir matkap olarak kullanıldığında yeterli dayanıma sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca araştırmacılar kaynak dik kesiti boyunca sertlik taraması yaparak kaynak sonu uygulanan ısıl işlemlerin sertlik profiline etkisini de araştırmışlardır (şekil 3.4).



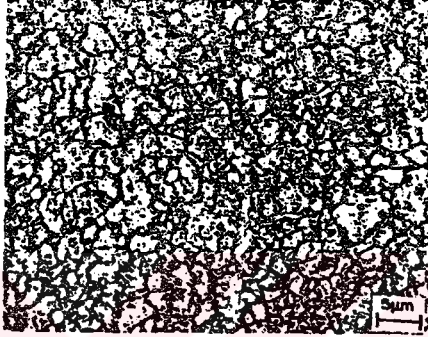
Şekil 3.4.- Kaynak sonu uygulanan ısıl işleme göre ara bölgedeki sertlik değişimi

Araştırmacılar bu çiftin kaynağında dekarbürizasyondan söz etmekte ve kaynak sonu ısıl işlemlerin bu durum üzerinde etkili olduğundan söz etmektedirler. Buna neden olarak da kuvvetli karbür yapıcılarından dolayı HSS tarafına olan karbon göçüne atfedilmektedir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada kaynak sonu ısıl işlemlerin mikroyapıya etkileri incelenmiştir. Araştırmacılar kaynak sonu, 860 °C de 4 saat tavlama sonrası ve sertleştirme sonrası durumları ayrı ayrı incelemişlerdir. Sertleştirme işleminde HSS 1260 °C'lik bir tuz banyosunda ısıtılıp, oda sıcaklığındaki yağda sertleştirilmiş ve sonrasında 550 °C de çifte temperleme işlemi uygulanmıştır

Kaynak sonu numunelerde ara bölgenin C45 tarafında perlite nazaran ferrit bileşiminin arttığı gözlemlenmiştir. Araştırmacılar bu duruma hızlı soğumanın önderlik ettiğini ileri sürmüşlerdir (şekil 3.5). HSS tarafında ise polyhedral yapıda ostenit, martenzit ve bir miktar çözünmemiş karbür tesbit etmişlerdir. Araştırmacılar bu yapıdan kaynak sırasında karbürlerin çözünerek ostenit içinde eridiğini ve Cr,W,V gibi elementlerin çeliğin Ms sıcaklığını düşürmesi ile de oda sıcaklığında ostenitin yapıda kaldığını sonuçlarını çıkarmışlardır. Artık ostenitin yapıdaki miktarı %15-25 civarındadır ve artık ostenit ile martenzitin birbirinden ayrılması çok zordur. Ana malzemeye doğru gidildiğinde daha çok çözünmemiş birincil karbürlere rastlanılmaktadır (şekil 3.6)



Şekil 3.5.- Kaynak sonrası kaynak ara yüzeyi (%2 nital ile dağlama)

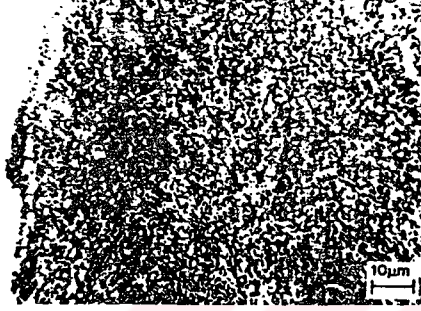


Şekil 3.6.- Kaynak sonrası kaynağa bitişik HSS tarafı (%10 nikel ile dağlama)

Araştırmacılar tavllanmış numune üzerinde yaptıkları çalışmalarda 0.1 mm genişliğinde rekristalize olmuş bir dekarbürize bölge tesbit etmişlerdir (şekil 3.7). HSS tarafında ise hemen kaynağa bitişik kısımda ince karbürler içeren bir bölge, ana malzemeye doğru ise ferritik matris içinde Fe ve alaşım karbürleri tesbit edilmiştir. Tavlama sonrası HSS-C45 arası sertlik farkı daha yüksektir (şekil 3.8).



Şekil 3.7.- Tavlama sonrası orta karbonlu çelik tarafı (%2 nital ile dağlanmış)

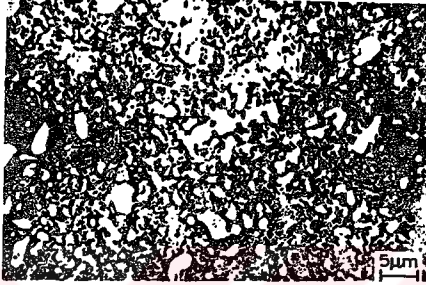


Şekil 3.8.- Tavlama sonrası HSS tarafı (%2 nital ile dağlanmış)

K.G.K. Murti ve S. Sundaresan kaynak sonrası sertleştirme ve temperleme ısıl işlemlerinin HSS-Karbonlu elik çiftinde iç yapıya etkisini de araştırmışlardır. Sertleştirme ısıl işlemi sonrası karbonlu elik tarafında yapı, ferrit tane sınırlarına bir ađ gibi ökelmış sementit şeklindedir (şekil 3.9). Araştırmacılar kaynağa bitışik bölgede Widmanstatten tipi bir yapıyı andıran, ferrit oranının hatırı sayılır bir miktarda fazla olduğu bir yapı tesbit etmişlerdir. HSS tarafında ise yapı temperlenmiş martenzit ve matris içinde karbürler biçimindedir (şekil 3.10) /59/.



Şekil.- 3.9.- Sertleştirme ve temperleme sonu karbonlu elik tarafı (%2 nital ile dağlanmış)



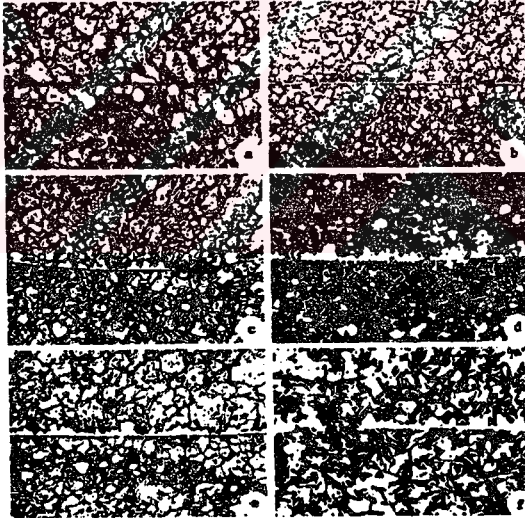
Şekil 3.10.- Sertleştirme ve temperleme sonrası HSS tarafı (%10 nital ile dağlanmış)

S.B. Dunkerton yaptığı bir çalışmasında 25 mm çaplı değişik kimyasal kompozisyonlara sahip C-Mn çelikleri için sürtünme kaynaklı bağlantılarda " $P_1=80$ MPa, $P_2=180$ MPa, $\Delta L=5.0$ mm" değerlerini sabit tutarak " $n=750-1460$ " d/d gibi iki farklı dönme hızı uygulamış ve yüksek dönme hızının daha kötü metalürjik özellikler verdiğini tespit etmiştir /20/.

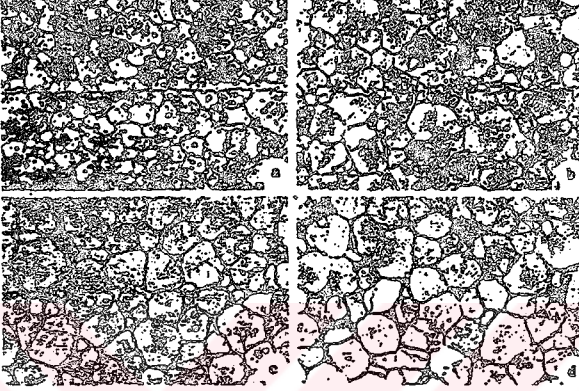
O.N. Tanicheva ve arkadaşları tarafından bir çalışmada takım çeliklerinin kaynaklı kısımlarından kırılmaları sonrasında yüzeyde görülen hata parlak şerit olarak nitelendirilmiştir. Bu hatanın oluşmaması için araştırmacılar kaynak sıcaklığı ve basıncının artırılmasını tavsiye etmişlerdir /91/.

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 oluşmaktadır. Bağlantıdaki sıcaklık ölçümleri, (0,3-0,7)R arasındaki dilimin kaynak sırasında en yüksek sıcaklığa ulaşılan bölge olduğunu göstermiştir ve dolayısıyla ince karbür çökeltileri bu bölgede yoğunlaşmaktadır. Şekillenen bu karbürlerin kompozisyonu MC ve M_6C 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 difüzyonuna atfedilmektedir. Şekil 3.11 kaynak sıcaklığından itibaren çeşitli soğuma ortamları ve ısı işlemlerin uygulandığı durumlardaki parlak şerit ile ilgili mikroyapıyı göstermektedir. Şekil 3.12 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 yığılma basınçları ve kaynak sıcaklıkları ile parlak şerit bölgesini elimine edilebileceğini ortaya çıkarmışlardır. Sürtünme kaynağının HSS'in plastisite sıcaklık sahasında (1100-1200 °C) yapılması parlak şerit bölgesini elimine ettiği gibi, kaynak mukavemetini karbonlu çeliğin mukavemetinin %15-20'si oranında azaltan dekarbürize bölge oluşumunu da, kaynak sonrası bir tavlama ısı işlemi ihtiyacını ortadan kaldırdığı için elimine etmektedir /41,42



Şekil 3.11.- R6M5-45 çelik çifti için kaynaklı bağlantıda karbür zincirleri, a: kaynak sıcaklığından itibaren suda soğuma, b,c: kaynak sıcaklığından itibaren havada soğuma, d: kaynak + tavlama, e: kaynak + tavlama + sertleştirme, f: e şıkkı + temperleme



Şekil 3.12.- Karbür filmlerinin termal stabilitesi, a-d: 1260-1265-1270-1275 °C

G.P. Rejmani ve arkadaşları 22 mm çaplı sertleştirilip temperlenmiş A517 çelik çubukların sürtünme kaynağı için çentikli çekme deneyi uygulayarak parametre optimizasyonu yapmışlardır bu çalışmada " $t_1=4$ s, $t_4=0.15$ s, $t_g=0.15$ s, $t_2=2$ s" parametreleri sabit tutulurken sürtünme ve yığıma basınçları değişken alınmıştır. İki ayrı grup olarak yapılan çalışmada, ilk grupta yığıma basıncı sürtünme basıncına eşit alınıp sürtünme basıncı 45-90 MPa değerleri arasında değiştirilmiş ve $P_1=75$ MPa değeri en iyi değer olarak tespit edilmiştir. ikinci grup çalışmada ise $P_1=75$ MPa değeri sabit tutulup, yığıma basıncı $P_2=90-180$ MPa değerleri arasında değiştirilmiş ve $P_2=90$ 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, 14 mm çapa işlenmiş ve 200 kV kapasiteli Miller GMBH x ışınları makinası kullanılmıştır. Çalışma sırasında 165 kV'da 5 mA'lık bir akım 6 dakika uygulanmış ve film 700 mm mesafeden odaklanmıştır. Sonuçta kaynaklı parçalarda herhangi bir hata gözlenmemiştir /69/.

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

pirometre ile sıcaklık ölçme, termoelement ile sıcaklık ölçme ve ölçülen termogerilmelerden hareketle hesaplama yöntemlerini kullanmış ve en iyi yöntemin termoelement ile ölçüm olduğuna karar vermiştir /105/. Benzer bir çalışma K.P. Imshennik ve I.V. Kragel'skii tarafından yapılmış, araştırmacılar sürtünme periyodu boyunca sıcaklık dağılımını, max. sıcaklığı ve buna bağlı ΔL ve M_s değerlerini tespit etmiştir /37/. S.A. Seregin ve S.B. Sabantsev ise sürtünme kaynaklı bağlantılarda iki farklı devir sayısı uygulayarak kaynak bölgesinden itibaren değişen mesafelerdeki sıcaklık farklarını incelemiştir /83/. T. Rich ve A. Sluzalec ayrı ayrı yaptıkları çalışmalarda kaynak bölgesindeki ısı dağılımını analitik olarak incelemiştir /87,92/.

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 /34,74,86,94/. A.S. Seregin yaptığı bir çalışmadan artan çubuk çapının ve yığma 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 /54,84/. R.N. Boldyrev, N.I. Fomichev ve A. Koboyashi ayrı ayrı yaptıkları çalışmalarda geliştirdikleri çeşitli modeller ya da sabitlere bağlı olarak yığma basıncının hesabına ait ampirik formüller geliştirmişlerdir N.I. Fomichev yığma basıncının yanında sürtünme basıncı ve süresi için de ampirik 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. /29,38,45,82/. M. Trepte ise sürtünme kaynağını tribolojik bir proses gibi düşünerek, deformasyon süreci için bir model kurmuş ve kurulan bu model ile yanma mesafesini teorik olarak hesaplamıştır /93/. G. Reiners yaptığı iki ayrı çalışmada dönel olmayan kesitleri incelemiş, sürtünme sırasında örtünmeyen yüzeylerde oksit oluşumunu, oksit tabakalarının kalınlığını ve soygaz korumasına incelemiştir. Yine J. Searle genel olarak bu tür parçaların sürtünme kaynağını incelemiştir /70,71,80/. Yu.G. Bolotov yaptığı çalışmada kaynak bölgesindeki artık gerilmelerin önemsiz olduğunu tespit etmiştir /7/. O.A. Bakshi ve arkadaşları, sürtünme kaynaklı St3kp, 40Kh ve 45 çeliklerinde ara tabaka kalınlığı ile ara bölge ve ana metalin mekanik özelliklerinin oranının yorulma çatlağı üzerine etkisini araştırmışlar ve yaklaşık bir hesaplama metodu geliştirmişlerdir /3/. C. Weider ve C. Pichard değişik küçültme oranları içeren yapı çeliklerinde çeşitli mekanik deneyler uygulayarak işlenebilirlik ve kaynaklanabilirlik açısından optimum küçültme oranını tespit etmeye çalışmışlardır /103/. K.G.K. Murti ve S. Sundaresan yüksek sıcaklıkta çalışan sürtünme kaynaklı bağlantıların davranışlarını incelemiş, mikroyapı değişimlerini gözlemlemiştir /58/. M.V. Bol'shokov ve arkadaşları vakum ortamında yapılan sürtünme kaynağının mekanik özellikleri

geliştirdiğini tespit etmiştir /8/. D. Meyer ve arkadaşları kaynak bölgesinde suni olarak oluşturdukları hataların yorulma dayanımına etkilerini araştırmışlardır /12/. S.A. Seregin ve V.P. Sabantsev regresyon analizi uygulayarak ara yüzlerdeki sürtünme katsayısına ait bir formül geliştirmişlerdir /85/. D. Kluge ve U.Eckardt toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş parçalarda sürtünme kaynağının iyi neticeler verdiğini tespit etmişlerdir /44/. H. Granuer dikey konumlu kaynak makinalarını incelemiş E.D. Nicholas ise boruların kaynağında önemli olan ve bir ara ring ile gerçekleştirilen radyal sürtünme kaynağının mekanik özelliklerini ve mikro yapısını incelemiştir /35/. A. Neumann ve D. Schober ise 1977 yılına göre sürtünme kaynağı için doğu bloku ülkelerindeki araştırma ve gelişmeleri değerlendiren bir çalışma yapmışlardır /61/.

3.2.- Yakma alın kaynağı

F. Civelekoğlu tarafından Makina Takım Endüstrisi A.Ş.'nin de desteği sayesinde oldukça geniş bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada F. Civelekoğlu 22 mm çaplı S 6-5-2/Ck60 çelik çiftini kullanmış ve yaptığı çalışmalarda öncelikle parametre optimizasyonunu hedeflemiş, parametrelerin kaynaklı parçalarda mekanik ve metalürjik özellikler üzerine etkisini incelemiştir. F. Civelekoğlu deneyler sırasında bazı parametreleri sabit tutarken bazı parametreleri değişken almıştır. Uygulanan parametreler aşağıda görülmektedir /10/.

a.- Sabit parametreler

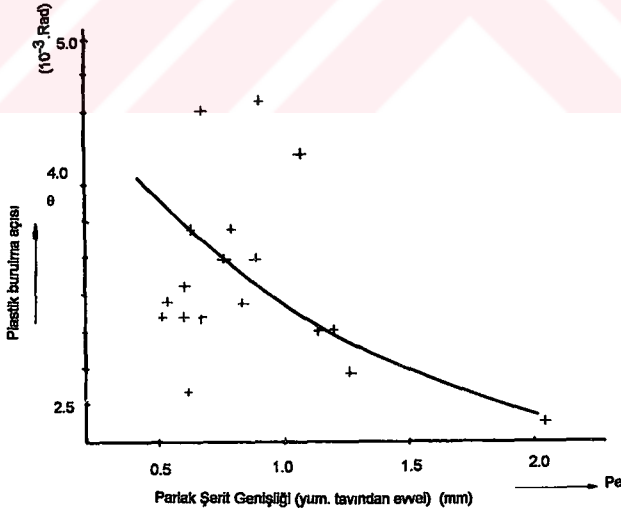
- Çene sıkma kuvveti (kg)	: 3000
- Çeneler arası mesafe (1.5d) (mm)	: 33
- Çeneler arası HSS tarafı uzunluk (mm)	: 11
- Çeneler arası C60 tarafı uzunluk (mm)	: 22
- Toplam kızak yolu (mm)	: 10.3
- Yığılma yolu (mm)	: 3.6
- Akım kesme yolu (mm)	: 1.2

b.- Değişken parametreler

- Trafo kademesi	: I-II
- Yığılma silindiri hidrolik basıncı (atü)	: 15-35
- Kızak hızı (m/s)	: 2-4
- Max. akım rolesi ayarı	: 30-50
- Zaman rolesi ayarı	: 6.5-9.5

F. Civelekoğlu yaptığı bu çalışmada çalışmada yumuşatma tavi uygulanmış numunelere çekme deneyi uygulanmıştır. Kaynak sonu kırılmalar genellikle kaynak bölgesinde hemen karbonlu çelik tarafında oluşmuştur. Bu çalışmada kaynak sonu % kesit büzülmesi ve % uzama değerleri çok düşük mertebelerde olmuştur. F. Civelekoğlu kaynaklı numunelere burulma deneyleri de uygulayarak burulma açısı ile parlak şerit genişliği arasında bir korelasyon aramıştır. 900 kgcm'lik bir burulma momentinin uygulandığı bu çalışmada şekil 3.13 da görülen sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca dönme eksenine göre üç farklı düzlemde sertlik ölçümleri yapılmış ve yumuşatma tavi öncesi 650-750 HV10 değerlerinin yumuşatma tavi sonrası 350 HV1 değerine indiği tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada farklı düzlemlerdeki ölçümler arasında bir fark ya da parametrelerle sertlik değerleri arasında bir ilişki tespit edilememiştir.

Konu ile ilgili olarak makro yapılar üzerinde yapılan çalışmalarda sadece gerilme giderme tavi uygulanmış numunelerde, HSS tarafında parlak bir şerit gözlenirken, gerilme giderme tavını takiben uygulanan yumuşatma tavi sonrası bu bölgenin değişime uğrayıp C60 tarafında bir ferrit şeridinin oluşumu tespit edilmiştir (şekil 3.14 ve şekil 3.15). Bu bölgelerin genişliklerinin kaynak parametreleri ile değişimi incelenmiş; parlak şerit genişliği ve tav bölgeleri genişliklerinin artan yakma hızı ile arttığı fakat değişen yığma basıncı değerlerinden çok az etkilendiği tespit edilmiştir (şekil 3.16 ve şekil 3.17).



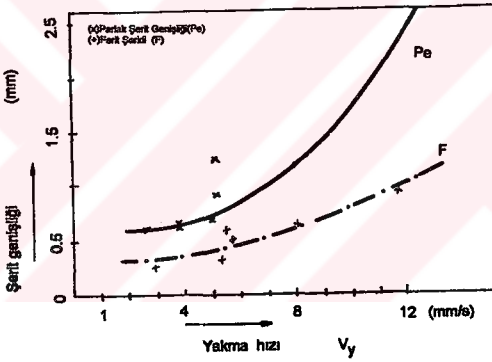
Şekil 3.13.- HSS-C60 çelik çifti için burulma deneyi sonrası, burulma açısı ve parlak şerit genişliği arasındaki ilişki



Şekil 3.14.- HSS-C60 çiftinde gerilme giderme tavlı sonrasında makroyapı görünüşü



Şekil 3.15.- HSS-C60 çiftinde yumuşatma tavlı sonrası makroyapı görünüşü

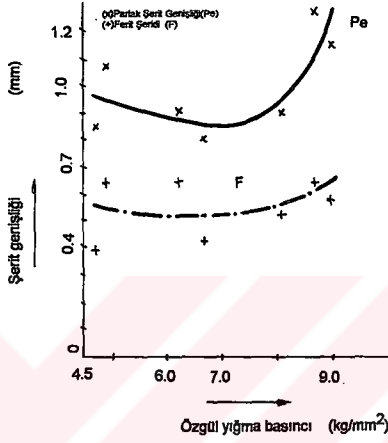


Şekil 3.16.- HSS-C60 çelik çiftinde yakma hızına bağlı olarak parlak şerit ve ferrit şeridi genişlikleri

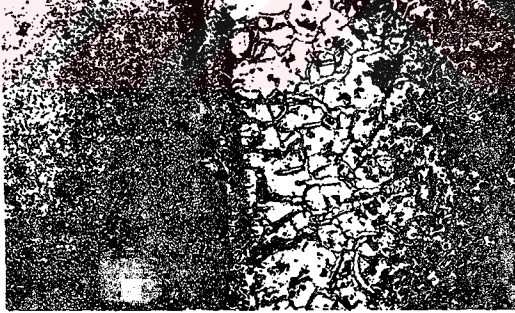
F. Civelekoğlu yaptığı bu çalışmalarda farklı parametrelerin ve kaynak sonu ısıl işlemlerin (gerilme giderme ve yumuşatma tavlama) iç yapıdaki etkisini incelemiş fakat farklı parametreler açısından belirgin bir fark elde edememiştir.

Kaynak sonu 550 °C'deki gerilme giderme tavlı sonrası HSS tarafında martenzitin varlığından C60 tarafında ise iri taneli ferritçe zengin bir bölgeden söz edilmektedir; ara bölgedeki sertlik farkı yüksektir. Kaynak bölgesindeki bu sertliği düşürmek amacı ile numunelere 820-860 °C'larda yumuşatma tavlama ısıl işlemi uygulanmıştır. Bu ısıl işlem

sonrasında bağlantının C60 tarafında bir dekarbürize bölge, HSS tarafında ise iç kısımlara doğru konsantrasyonu artan bir karburlu yapı gözlenmiştir. Şekil 3.18'de her bağlantının kaynak bölgesi görülmektedir /10/.



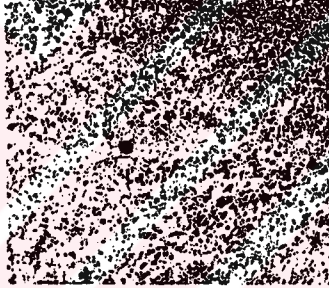
Şekil 3.17.- HSS-C60 çelik çiftinde yığılma basıncına bağlı parlak şerit ve ferrit şeridi genişlikleri



Şekil 3.18.- Yumuşatma tavlaması sonrası kaynak bölgesinin mikroyapısı

J. Fritz, H. Staudinger yakma alın kaynaklı HSS-karbonlu çelik numunelere kaynak sonrası ısıl işlemlerin etkisini araştırmıştır. Hemen kaynak sonrası havada soğutulmuş numunelerde ara bölgenin HSS tarafında yaklaşık 1 mm genişliğinde ve 800 HV1'in üzerinde bir sertliğe sahip martenzit tespit edilmiştir (şekil 3.19). Karbonlu çelik tarafında ise erime belirtileri, tane iriliği ve dekarbürizasyon tespit edilmiştir (şekil 3.20)

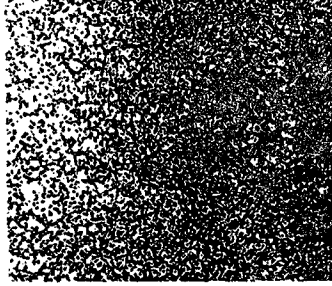
J. Fritz ve H. Staudinger yaptıkları çalışmalarda 550 °C'de yapılacak bir gerilme giderme işleminin kaynak bölgesinin yumuşatılması açısından bir faydası olmadığı gibi aksine bir yaşlanma sertleşmesine neden olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil 3.21). Gerilme giderme tavi sonrası, HSS tarafında artık ostenit martenzite dönüşmekte ve ince karbür çökeltileri oluşmaktadır. Bu nedenle J. Fritz ve H. Staudinger kaynak bölgesindeki sertliği düşürmek amacı ile numunelerine 820-860 °C'larda yumuşatma tavlama ısı işlemi uygulamışlardır. Bu ısı işlem sonrasında karbonlu çelik tarafında ledeburitik adacıklar içeren bir dekarbürize bölge gözlenmiştir. Ayrıca ara bölgedeki sertlik farkı önemli oranda azalmıştır /30/.



Şekil 3.19.- HSS tarafında, kaynak dikişinden 1 mm uzaklıktaki mikroyapı (x300)



Şekil 3.20.- Kaynak bölgesinde erime bölgeleri (x300)



Şekil 3.21.- 550 °C'deki tavlama sonrası martenzit ve çökelmiş karbür içeren HSS tarafını mikroyapısı (x300)

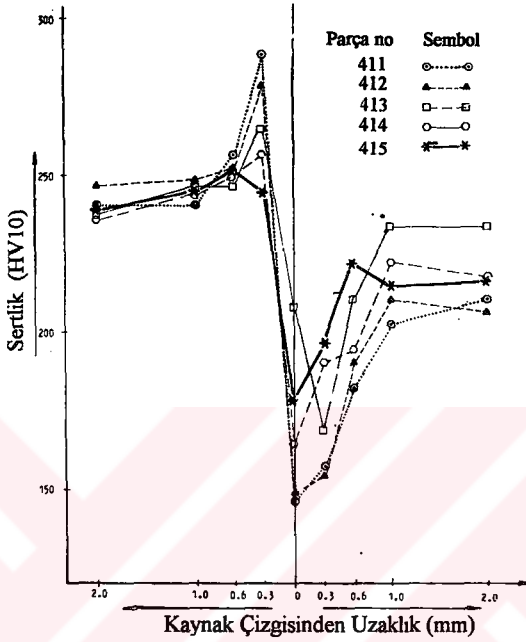
S.A. Westgate tarafından C/Mn çelikleri için yapılan çalışmada, hem yakma alın kaynağı ve hem de sürtünme kaynağı yapılarak elde edilen numunelere çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Yakma alın kaynaklı bağlantılar ana metale yakın çekme ve eğme özellikleri gösterirken son derece kötü çentik darbe özellikleri göstermektedir ve bu durum kaynak parametreleri değiştirilerek tatminkar bir biçimde iyileştirilememiştir. Bununla birlikte S.A. Westgate normalize ısı işlemi görmüş numunelerde kısa süre, yüksek akım uygulaması ve yüksek yığıma basıncı değerlerinin çentik darbe özelliklerini iyileştirdiğini tespit etmiştir. Bu bağlantıda 30 MPa değerinde bir yığıma basıncı uygun eğme özellikleri verirken, çentik darbe mukavemeti için yığıma basıncının 70 MPa değerine yükseltilmesi gerekmiştir. Bu değerden daha yüksek yığıma basınçları herhangi bir kar sağlamamıştır. Yapılan bu çalışmada kaynak sonrası yakma alın kaynaklı parçaların çentik darbe tokluğunun çok düşük olduğu, normalizasyon ısı işlemi ile bu durumun ancak %50-70'i oranında bir seviyeye getirilebildiği tespit edilmiştir. Normalizasyon ısı işlemi sonucu geçiş sıcaklığı da -30 °C'lere doğru gerilemiştir, ancak yine de bu değer ana metalin geçiş sıcaklığından -50 °C daha yüksektir. Sertleştirilip temperlenmiş ya da sadece temperlenmiş numunelerde daha düşük darbe özellikleri belirlenmiştir. Akım üreteçleri baz alınarak DC ve AC için yapılan mukayesede bağlantının tokluk özelliklerinin çok az değiştiği tespit edilmiştir /104/.

O. Sandal tarafından yapılan çalışmada S 6-5-2/C60 çelikleri kullanıldı 20 mm çaplı numuneler normalize halde iken aşağıdaki parametrelerde kaynaklandı ve kaynak sonrası yumuşatma tavlaması ısı işlemi uygulandı.

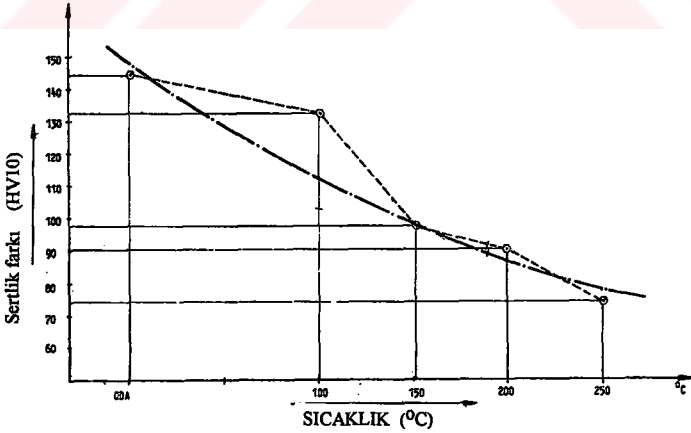
- Yıgma silindiri hidrolik basıncı (atü)	: 25
- Çene sıkıştırma kuvveti (ton)	: 6.2
- Yakma uzunluğu (mm)	: 14
- Çene açıklığı (mm)	: 41
- Yıgma yolu (mm)	: 13
- Akım kesme yolu (mm)	: 4.3/1.5
- Trafo kademesi	: II
- Kızak hızı ayarı	: 3
- Zaman röle ayarı	: 10

Bu çalışmada C60 çeliği tarafına 100-150-200 ve 250 °C'lerde ön ısıtma sıcaklıkları uygulandı ve kaynaklar sonrasında boy kısılması, parlak şerit genişlikleri, sertlik dağılımları ve ön ısıtma sıcaklıkları baz alınarak irdelendi. Farklı ön ısıtma sıcaklıklarına göre sertlik profilindeki değişim şekil 3.22 de, ara bölgedeki sertlik farklılığındaki değişim ise şekil 3.23 de görülmektedir. Ön ısıtma sıcaklığının parlak şerit genişliği ve boy kısılması üzerinde de önemli etkisi olmuştur. Parlak şerit genişliği 1 mm. den 0.2 mm. ye düşmüştür. Şekil 3.24 de ön ısıtma sıcaklığının metal kaybına etkisi görülmektedir /77/.

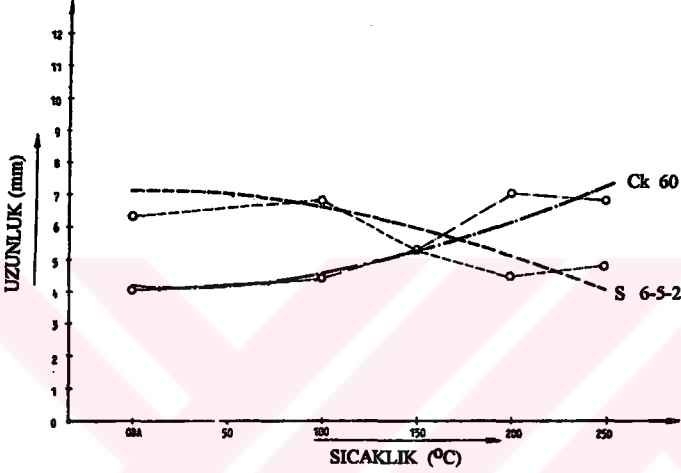
Yakma alın kaynağı üzerine yapılan çalışmalar daha değişik ilgi alanlarını da kapsamaktadır. S.I. Kuchuk ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada geniş çaplı ve yüksek mukavemetli malzemelerin yakma kaynağında kaynak bölgesinin mikroyapısı incelenmiştir /48/. J. Ruge ve C. Kohl tarafından yapılan bir çalışmada ise 2000 mm² kesite sahip StE 445.7 çeliklerinin yakma alın kaynağı sırasında kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımları zamana bağlı ve kaynak çizgisine olan mesafeye göre ölçülmüş; bu ölçümlere dayanılarak modelleme amacı ile bir bilgisayar programı geliştirilmiştir /73/. O.I. Steklov Hadfield çeliğinden imal edilmiş boruların yakma alın kaynağı için çekme deneyleri yardımıyla parametre optimizasyonunu gerçekleştirmiştir /90/. J. Dziubinski ise yakma alın kaynaklı perlitik çelikler için yorulma kopmasının bir kriteri olan ve yorulma ömrünün tayininde kullanılabilen şekil değiştirme enerjisi yoğunluğunun hesabı için bir metod geliştirmiştir /21/.



Şekil 3.22.- HSS-Karbonlu çelik çifti için farklı ön ısıtma sıcaklıklarının sertlik profiline etkisi



Şekil 3.23.- HSS-Karbonlu çelik çifti için farklı ön ısıtma sıcaklıklarının sertlik farkına etkisi



Şekil 3.24.- HSS-C45 çiftinde C60 tarafına uygulanan ön ısıtma sıcaklığının metal kaybına etkisi

3.3.- Sonuç

Her iki kaynak yönteminde de diğer yöntemlere kıyasla daha az hataya rastlanılmakta ve bu hatalar bilinen tahribatsız deney metodları ile rahatlıkla tespit edilebilmektedir.

Yapılan literatür çalışmalarında HSS-Karbonlu çelik çiftinin sürtünme kaynağı için çentikli çekme deneyi, burulma deneyi ve yorulma deneylerinin uygulandığı görülmüştür. Literatürden sadece yorulma deneyleri için, deney sonrasında kırılmaların genelde HSS tarafında olduğu belirlenmiştir. Uygulanan bu mekanik deneylerle genelde parametre optimizasyonu amaçlanmış ve mekanik deneyler genelde HSS-Karbonlu çelik çiftinin endüstrideki uygulama alanı olan kesme takımlarının çalışma sırasında karşılaşılabilecek zorlanma türlerine yönelik olmuştur, buna karşın literatürde kırılma tokluğunun belirlenmesine ilişkin ayrıntılı mekanik deneylere rastlanılmamıştır.

Aynı çiftin yakma alın kaynağı için, uygulanan mekanik deneylere ilişkin literatürden çekme ve burulma deneylerine ait bilgiler elde edilmiştir. çekme deneyleri öncesi kaynaklı bağlantılara yumuşatma tavı uygulanmış ve kırılmalar genelde kaynak bölgesinin hemen karbonlu çelik tarafında oluşmuştur. Yakma alın kaynaklı HSS-karbonlu çelik çifti için de literatürde, kırılma tokluğunun ayrıntılı deneylerle tespitine ilişkin bir bilgiye rastlanılmamıştır.

Sürtünme kaynaklı HSS-karbonlu çelik çiftinin metalürjik deneylerine ait literatür araştırmasında, araştırmacıların çoğunlukla tavlama sonrası bir dekarbürize bölgenin varlığından sözettikleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda özellikle kaynak sonrası ısı işlemlerin iç yapıya dolayısıyla dekarbürize bölgeye etkileri ve mikroyapı değişimleri incelenmiş, dekarbürize bölgenin önlenmesine yönelik araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca özellikle Rus araştırmacılar HSS-karbonlu çelik çiftinde bir parlak şeritten söz etmişler ve parlak şeritin mikroyapısal görüntüleri üzerinde çalışarak farklı ısı işlem ve kaynak şartları için önlenmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Yakma alın kaynaklı HSS-karbonlu çelik çiftinin metalürjik deneyleri üzerine yapılan literatür araştırmasında da bir parlak şeritten ve özellikle tavlama sonrası bir dekarbürizasyondan söz edilmektedir. Ayrıca kaynak sonrası ısı işlemlerin mikroyapıya etkileri ve mikroyapı değişimleri de incelenmiştir.

Her iki kaynak yönteminde de kaynak bölgesi kaynak kalitesi üzerinde en önemli etkiyi oluşturmakta ve karışık bir iç yapı göstermektedir. Özellikle farklı alaşımların kaynağında karşılıklı difüzyon olayları da gerçekleşmektedir. Dolayısı ile bu bölgenin özellikle elektron mikroskobu ve çeşitli analiz metodları ile ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gereklidir. Bu çalışma için seçilen C45/S 6-5-2 çelik çiftinin farklı alaşımlardan oluşması ve darbeli yüklerle maruz matkap malzemesini oluşturması nedenleri ile oldukça karışık bir kaynak bölgesi içermektedir. Bütün bu gerekliliğe rağmen yapılan literatür taramasında C45/S 6-5-2 çelik çifti için ayrıntılı bir elektron mikroskobu incelemesine rastlanılmamıştır. Ayrıca yukarıda sözü edilen kaynak ara bölgesindeki difüzyon olaylarına ait bir bilgi de literatürden elde edilememiştir.

Yapılan literatür araştırmasından her iki kaynak yönteminde de HSS-karbonlu çelik çifti için çapa bağlı net parametreler elde edilememiştir. Her iki yöntem içinde sadece belli çaplardaki numuneler için tespit edilmiş parametreler rastlanılmıştır ve bu parametreler bir kesinlik arz etmemektedirler.

Yapılan bu çalışmada literatürde eksikliği görülen yakma alın kaynaklı ve sürtünme kaynaklı HSS-karbonlu çelik çiftinin ara geçiş bölgesi üzerinde elektron mikroskobu çalışmaları yapıldı ve diffüzyon olayları kaynak parametreleri baz alınarak her iki kaynak yöntemi için mukayeseli olarak incelendi. Ayrıca kaynak parametrelerine bağlı olarak boy kısılması ve ara geçiş bölgesindeki sertlik profilleri mukayeseli olarak ortaya çıkarıldı.



BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1.- Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde Tablo 4.1. de kimyasal bileşimi, Tablo 4.2. de fiziksel özellikleri görülen 11.5 mm çaplı S-6-5-2 ve C45 çelikleri kullanıldı. S-6-5-2 çelikleri Böhler Çelikleri A.Ş. vastası ile Avusturya'dan ithal edilmiş olup, ithalat sırasında spektral analizi de beraberinde yaptırılmıştır. C45 çelikleri ise Türkiye'den satın alınıp, spektral analizleri İstanbul Segman San. A.Ş.'nde yaptırılmıştır. Deneylerde, kaynak bağlantıları için, S-6-5-2- çubukları 55 mm uzunlukta, C45 çubukları 70 mm uzunlukta elektrikli şerit testere ile kesildi. Deneyler öncesi her iki çelik çubuk da sıcak haddelenmiş ve tavllanmış konumdadır.

Tablo 4.1.- Deney malzemelerinin kimyasal bileşimi

DENEY MALZEMESİ	KİMYASAL BİLEŞİM (%)								
	C	Mn	Si	P	S	Mo	W	Cr	V
S-6-5-2 teorik	0.89	0.30	0.20	-	-	5.00	6.40	4.30	1.90
analiz	0.92	0.27	0.28	0.029	0.005	4.73	6.00	3.82	1.75
C 45 analiz	0.40	0.76	0.26	0.03	0.03	0.003	-	-	-

Tablo 4.2.- Deney malzemelerinin fiziksel özellikleri

DENEY MALZEMESİ	FİZİKSEL ÖZELİKLER				
	Erime Sıcaklığı (°C)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Isı (Kcal/kg.°C)	Isı İletim Katsayısı (Kcal/sa.cm..°C)	Öz Direnç (Ω.mm ² /m)
S-6-5-2	1350	8.03	0.11	17.30.	0.556
C 45	1490	7.83	0.11	40.2	0.311

4.2.- Numunelerin Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynaklı bağlantıların üretiminde, halen Supsan A.Ş de üretim amaçlı

kullanılan Gatwick marka 150 MPa hidrolik basınç kapasiteli, maksimum 13 mm çapa kadar kaynak yapabilen sürtünme kaynağı makinası kullanıldı. S-6-5-2 çubuklar döner aynaya bağlanırken, C45 çubuklar sabit tutuldu ve sürtünme bunu takiben uygulandı. Kaynak sonrası numuneler 650°C'de 4 saat süre ile tavlandı.

Bölüm 3.1.'de belirtildiği gibi sürtünme kaynağında kaynak kalitesi üzerinde en etkili parametreler, sürtünme süresi (t_1), sürtünme basıncı (P_1), yığma süresi (t_2), yığma basıncı (P_2) ve dönme hızı (n) olup bunlar temel parametreler olarak anılmaktadır. Deneyler sırasında kaynak makinası sabit sabit tek bir hızla sahip olduğu için dönme hızı zorunluluk nedeni ile sabit alındı. Ayrıca yığma süresi de çok önemli bir faktör olarak görülmeyip belli bir değerde sabit tutuldu. Bu iki parametrenin dışındaki sürtünme süresi (t_1), sürtünme basıncı (P_1) ve yığma basıncı (P_2) değerleri belirlenen bir aralıkta değişken tutuldu. Parametreler için değişim aralıkları Bölüm 3.1. de açıklanan literatürdeki bilgilerin ışığı altında ön deneyler yardımı ile saptanmıştır. Literatürde, genelde daha büyük çubuk çapına sahip numuneler ($d > 20$ mm) ve daha büyük dönme hızları kullanılmıştır. Bölüm 3.1.3.'te de açıklandığı üzere değişen çubuk çapları ve özellikle dönme hızları diğer parametreleri de etkilemekte dolayısıyla değişen her bir çap ve dönme hızı için farklı sürtünme basıncı, sürtünme süresi ve yığma basıncı değerleri optimumu sağlamaktadır. Özellikle artan dönme hızları optimum bir kalite için beraberinde sürtünme süresi ve sürtünme basıncını da artırmaktadır. Ön deneyler öncesi literatürden yararlanılırken bütün bu değerlendirmeler de göz önünde bulunduruldu. Bütün bu araştırmalar sonrasında sürtünme kaynakları aşağıdaki sabit ve değişken parametrelerde üretildi.

a.- Sabit parametreler

- Çubuk çapı (mm)	: 11.5
- Dönme hızı (d/d)	: 1400
- Yığma süresi (s)	: 1

b.- Değişken parametreler ve değerleri

- Sürtünme süresi (s)	: 5 - 6 - 8
- Sürtünme basıncı (MPa)	: 45 - 50 - 55
- Yığma basıncı (MPa)	: 90 - 110 - 120

Tablo 4.3 de uygulanan kaynak parametrelerine bağlı olarak her bir grup için yanma miktarları (boy kısaltmaları) görülmektedir. Bu tabloda her bir gruba bir harf-rakam

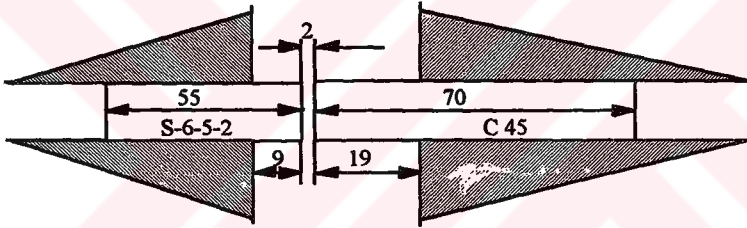
kombinasyonundan oluşan numaralar verildi ve her bir grup için eşit şartlarda en az 5 adet kaynaklı bağlantı üretildi.

Tablo 4.3.- Sürtünme kaynağında uygulanan kaynak parametreleri ve bunlara bağlı boy kısılmaları

GRUP NO	PARAMETRELER			BOY KISALMALARI		
	P ₁ (MPa)	P ₂ (MPa)	t ₁ (s)	ΔL _{HSS} (mm)	ΔL _{C45} (mm)	ΔL (mm)
SA1	45	120	5	4.1±0.43	6.76±0.33	10.85±0.5
SA2	45	120	6	4.67±0.34	7.72±0.39	12.39±0.45
SA3	45	120	8	5.71±0.38	9.62±0.68	15.33±0.62
SA4	45	110	5	3.75±0.22	6.37±0.4	10.12±0.37
SA5	45	110	6	4.08±0.38	7.28±0.5	11.37±0.38
SA6	45	110	8	4.84±0.42	9.52±0.38	14.37±0.27
SA7	45	90	5	3.22±0.34	5.35±0.42	8.57±0.26
SA8	45	90	6	3.56±0.12	6.13±0.36	9.69±0.36
SA9	45	90	8	4.55±0.49	8.37±0.67	12.91±0.88
SB1	50	120	5	4.47±0.6	7.44±0.42	11.9±0.52
SB2	50	120	6	4.63±0.28	9.01±0.35	13.64±0.58
SB3	50	120	8	5.77±0.31	10.59±0.43	16.36±0.45
SB4	50	110	5	3.79±0.2	7.18±0.41	10.98±0.28
SB5	50	110	6	4.28±0.27	8.4±0.3	12.68±0.25
SB6	50	110	8	5.16±0.2	10.93±0.34	16.09±0.42
SB7	50	90	5	3.4±0.14	6.88±0.27	10.28±0.2
SB8	50	90	6	4.11±0.5	7.98±0.42	12.09±0.66
SB9	50	90	8	4.74±0.24	11.06±0.75	15.8±0.67
SC1	55	120	5	4.58±0.27	8.32±0.53	12.9±0.52
SC2	55	120	6	4.8±0.33	10.24±0.58	15.05±0.63
SC3	55	120	8	5.95±0.34	12.29±0.69	18.24±0.82
SC4	55	110	5	3.88±0.28	8.07±0.43	11.95±0.27
SC5	55	110	6	4.36±0.37	10.06±1.08	14.42±1.03
SC6	55	110	8	5.73±0.57	12.01±0.45	17.75±0.58
SC7	55	90	5	3.46±0.37	7.19±0.43	10.66±0.59
SC8	55	90	6	4.28±1.44	8.82±0.60	13.1±1.61
SC9	55	90	8	4.98±0.32	11.7±0.46	16.67±0.64

4.3.- Numunelerin Yakma Alın Kaynağı

Yakma alın kaynaklı bağlantıların üretiminde, halen Makina Takım Endüstrisi A.Ş. de üretim amaçlı kullanılan Tablo 4.4 de çeşitli özellikleri verilen yakma alın kaynağı makinası kullanıldı. Kaynak makinasında, numunelerin yerleştirildiği çenelerde çene açıklığı 30 mm olarak alındı. Deneyler sırasında başlangıçta çubukların alınları arasında 2 mm aralık bırakıldı. Çubukların dirençleri ve ısı iletim katsayıları farklı olduğu için, elektrik akımı ile eşit bir şekilde ısınmalarını sağlamak için çubukların bağlama aralıkları da bunların elektrik dirençlerine ters oranda ayarlandı. Şekil 4.1 de görüldüğü gibi çeneden çıkma uzunlukları S-6-5-2 için 9 mm, C45 için 19 mm alındı. Kaynak sonrası numuneler 650 °C de 4 saat süre ile tavlandı.



Şekil 4.1.- Yakma alın kaynakta çeneler arası mesafe ve çubuk bağlama uzunlukları

Tablo 4.4.- Yakma alın kaynağı makinası özellikleri

Makina türü	: Miebach Sa I 50/100
Transformatör kademe sayısı	: 6
Transformatör gücü (kVA)	: 50
Max. kaynak kesiti (mm ²)	: 2500
Max. yığma kuvveti (N)	: 4900
Max. çene baskı kuvveti (N)	: 6180
Ön ısıtma, yakma ve yığma kademeleri otomatik	

Yakma alın kaynaklı parçaların üretiminde Bölüm 3.2. de de belirtildiği gibi aynı kaynak makinası ve malzeme çifti ile çalışıp parametre optimizasyonu yapan O. Sandal ile F.

Civelekoğlu'nun çalışmaları baz alınarak ve ön deneyler yapılarak elde edilen parametreler kullanıldı ve bu parametreler kaynak deneyleri süresince sabit tutuldu. Bu parametrelerin tespiti için yapılan ön deneylerde, O. Sandal ve F. Civelekoğlu'nun yaptığı çalışmalar yanında, yakma alın kaynağı makinasının imal edildiği Hugo Miebach Dortmund firmasının kataloğundan da yararlanıldı. Transformator kademelerindeki voltaj ve akım değerleri F. Civelekoğlu'nu yaptığı ölçümlerden alındı /10/. Ayrıca bu çalışmada, tablo 4.2 den de görüleceği üzere öz direnci C45 ten daha yüksek olması nedeni ile daha yüksek kaynak sıcaklığına maruz kalan, dolayısı ile daha çok malzeme kaybına uğrayan S-6-5-2 çubuğunu korumak için, O. Sandal'ın önerisi üzerine C45 tarafına çeşitli sıcaklıklarda ön ısıtma uygulanmıştı (Bölüm 3.2., şekil 3.24).

a.- Sabit parametreler

- Yığma silindiri hidrolik basıncı (MPa)	: 2.94
- Çene sıkıştırma kuvveti (N)	: 29430
- Çene açıklığı (mm)	: 30
- Transformator kademesi numarası	: I
- Transformator sekonder gerilimi (V)	: 4.1
- Transformator sekonder akımı (A)	: 13500
- Kızak hızı (mm/s)	: 5.1
- Temas zamanı (s)	: 0.5
- Akım kesme zamanı (s)	: 1
- Toplam yanma yolu (mm)	: 10.0
- Yakma yolu (mm)	: 5.5
- Yığma yolu (mm)	: 4.5
- Akım kesme yolu (mm)	: 1.9

b.- Değişken parametreler ve değerleri

- Ön ısıtma sıcaklığı (°C)	: 20 - 85 - 170
----------------------------	-----------------

Tablo 4.5 de uygulana kaynak parametrelerine bağlı olarak her bir grup için yanma miktarları (boy kısaltmaları) görülmektedir. Bu tabloda her bir gruba bir harf-rakam kombinasyonundan oluşan numaralar verildi ve her bir grup için eşit şartlarda en az 5 adet kaynaklı bağlantı üretildi.

Tablo 4.5.- Yakma alın kaynağında ön ısıtma sıcaklıklarına göre boy kısalmaları

GRUP NO	ÖN ISITMA SICAKLIĞI (°C)	BOY KISALMALARI		
		ΔL_{HSS} (mm)	$\Delta L_C 45$ (mm)	ΔL (mm)
Y1	20	6.18±0.6	3.82±0.6	10.0±0.1
Y2	85	5.84±0.45	4.16±0.45	10.0±0.1
Y3	170	5.32±0.48	4.68±0.48	10.0±0.1

4.4.- Numunelere Uygulanan Sertlik Deneyleri

Kaynaklı bağlantılarda, geçiş bölgesindeki sertlik değişimi her bir grup için tespit edildi. Bu çalışmalarda minimum baskı yükü 10 gr olan ve mikroskop adapte edilmiş Zwick marka vickers sertlik ölçme aleti kullanıldı. Sertlik ölçümleri numunelerin orta eksenlerinde ve kaynak dikisine dik kesitlerinde yapıldı. Gerekli boyutlarda kesilen numune, sıcak monte uygulanarak bakalite alındı. Numunenin ilgili kesiti zımparalama ve parlatma kademesi sonrasında % 3 nital ile dağlandı. Her iki kaynak yönteminde de kaynak bölgesi ve ITAB çok dar olduğu için her bir bölgedeki sertlik değişimini görebilmek amacı ile sertlik deneylerinde baskı yükü 20 gr olarak seçildi. Ek 1 de, Tablo E.1.- tablo E.27 de sürtünme kaynaklı bağlantılar için geçiş bölgesindeki sertlik değişimleri, yine Ek 1 de tablo E.28-tablo E.30 da yakma alın kaynaklı bağlantılar için geçiş bölgesindeki sertlik değişimleri görülmektedir. Tablo 4.6 de ise gerek yakma alın kaynaklı bağlantılar ve gerekse sürtünme kaynaklı bağlantılar için, kaynak bölgesinin her iki tarafındaki maksimum sertlik değerleri görülmektedir. Oluşturulan bu tablolara göre her bir grup için sertlik profilleri çizildi. Şekil 4.2-şekil 4.28 de sürtünme kaynaklı bağlantıların sertlik profilleri, şekil 4.29 -şekil 4.31. de ise yakma alın kaynaklı bağlantıların sertlik profilleri görülmektedir.

4.5.- Numunelere Uygulanan Metalürjik Deneyler

Parlatılıp dağlanmış durumdaki numunelerde öncelikle, bağlantının her iki tarafındaki dışarı taşmaların ve tav bölgelerinin gözlenebilmesi amacı ile makro fotoğrafları çekildi. Şekil 4.32-şekil 4.34 da sürtünme kaynaklı parçaların, şekil 4.35 de yakma alın kaynaklı parçaların makro fotoğrafları görülmektedir (x1.5). Sertlik deneyleri sırasında, kaynaklı bağlantının geçiş bölgesi kalınlıkları mikroyapısal değişimler gözlenerek, her bir grup ve

kaynaklı bölgenin her iki tarafı için, mikroskop altında yaklaşık olarak ölçüldü. Bu ölçümlerin sonuçları tablo 4.7 de görülmektedir

Numunelerin sertlik ölçümü yapılan yüzeyleri yeniden parlatılıp %3 nital ile dağlanarak ışık mikroskobu altında incelendi. Sürtünme kaynaklı bağlantılar için, şekil 4.36 da kaynak bölgesinin mikroyapısı (x25), şekil 4.37 de kaynak bölgesinin hemen S-6-5-2 tarafındaki mikroyapısı (x500), şekil 4.38 de S-6-5-2 tarafındaki ITAB'ın mikroyapısı (x500), şekil 4.39 da kaynak bölgesinin hemen C45 tarafındaki mikroyapısı (x500) ve şekil 4.40-şekil 4.42 de ise C45 tarafının ana malzemeye doğru mikroyapı değişimleri (x500) görülmektedir. Yakma alın kaynaklı bağlantılar için, şekil 4.43de kaynak bölgesinin mikroyapısı (x25), şekil 4.44 de kaynak bölgesinin hemen S-6-5-2 tarafındaki mikroyapı (x500), şekil 4.45 de S-6-5-2 tarafındaki ITAB'ın mikroyapısı (x500), şekil 4.46 da kaynak bölgesinin hemen C45 tarafındaki mikroyapısı (x500) ve şekil 4.47-şekil 4.49 de ise C45 tarafının ana malzemeye doğru mikroyapı değişimleri (x500) görülmektedir.

Kaynaklı bağlantılarda özellikle karbürlerin gözlenebilmesi amacı ile örnek seçilmiş SA9 nolu numunenin dik kesitinde % 10 nital ile dağlama yapılmış ve spesifik bölgelerin SEM de mikrofotografı çekilmiştir (şekil 4.50); ayrıca SA9 ve Y1 nolu numunelerde % 3 nital ile dağlama yapılarak her iki kaynak yönteminde de kaynağın hemen S-6-5-2 tarafında gözlenen aşırı sertlik artışını gözlemek amacı ile SEM de mikrofotografılar çekilerek kaynak bölgesi incelenmiştir (şekil 4.51.-şekil 4.58)

Gerek sürtünme kaynaklı ve gerekse de yakma alın kaynaklı bağlantılarda, kaynak ara bölgesindeki difüzyon olayları JEOL marka elektron mikroskobunda incelenmiştir. Öncelikle elektron mikroskobunda yapılan çalışmalarda X-Ray Mapping yöntemi uygulanmış ve boyutlarına göre karbür dağılımlarının istatistiki olarak incelenmiştir. Bu çalışmada Cr-V karbürleri matris ile çok yakın kontrast verdikleri için tespit edilememişlerdir. Şekil 4.59 da sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA3 nolu numune için X-Ray Mapping analizi sonuçları , Şekil 4.60 de ise yine aynı numune için istatistiki olarak elde edilen karbür dağılımı histogramını vermektedir.

Daha sonra elektron mikroskobunda sürtünme kaynaklı numuneler için seçilen SA9 nolu numune üzerinde yarı kantitatif EDX analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları Şekil 4.61-şekil 4.62 de görülmektedir. Ayrıca elektron mikroskobunda SA9 ve Y1 nolu numuneler için tam kantitatif EDX ve WDX analizleri yapılmıştır. Analizler kaynak dik

kesitinde 5 µm aralıklarla uygulanmış ve bu analizlerde elde edilen sonuçlar Ek 2, tablo E.31 - tablo E32 de verilmiştir.

Tablo 4.6 a.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA grupları için kaynak bağlantısının iki yanındaki sertlik değerleri ve sertlik farkı miktarları

GRUP NO	SERTLİK (MPa)		
	S-6-5-2 Tarafi	C 45 Tarafi	Fark sertlik
SA1	913±33.5	151±3.0	762
SA2	1072±35.8	204±7.2	868
SA3	895±10.0	182±2.0	713
SA4	1083±46.2	155±1.7	928
SA5	884±10.97	176±8.0	708
SA6	1113±11.0	233±3.0	880
SA7	906±33.42	159±4.58	747
SA8	1091±37.9	205±2.5	886
SA9	1069±18.5	178±3.24	891

Tablo 4.6 b.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB grupları için kaynak bağlantısının iki yanındaki sertlik değerleri ve sertlik farkı miktarları

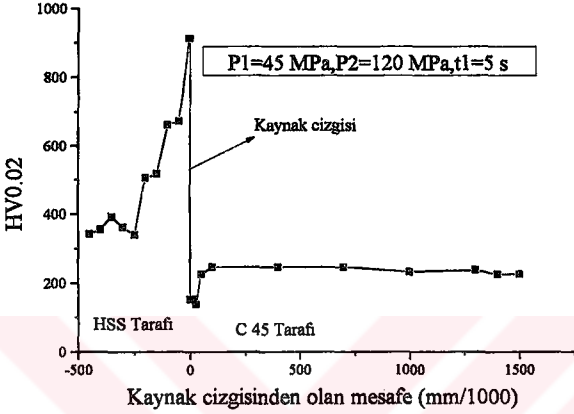
GRUP NO	SERTLİK (MPa)		
	S-6-5-2 Tarafi	C 45 Tarafi	Fark sertlik
SB1	641±22.19	207±1.0	434
SB2	920±23.0	199±0.7	721
SB3	910±24.0	188±1.0	722
SB4	907±25.4	174±7.1	733
SB5	912±26.9	171±3.24	741
SB6	1084±37.6	175±2.15	909
SB7	948±4.5	177±3.53	771
SB8	829±16.8	163±2.12	666
SB9	1075±23.5	228±1.22	847

Tablo 4.6 c.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC grupları için kaynak bağlantısının iki yanındaki sertlik değerleri ve sertlik farkı miktarları

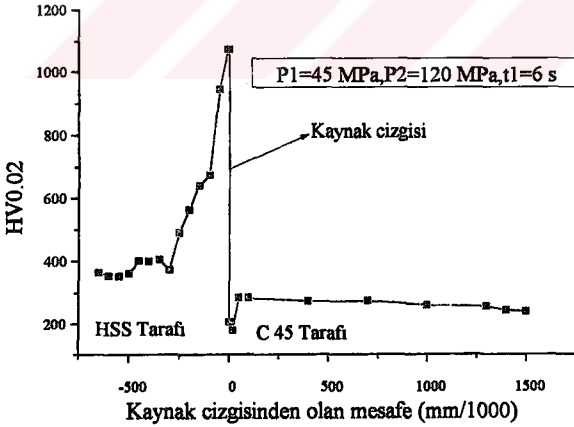
GRUP	SERTLİK (MPa)		
	S-6-5-2 Tarafi	C 45 Tarafi	Fark sertlik
SC1	824±23.09	189±4.52	635
SC2	1056±5.5	203±5.0	853
SC3	846±13.0	172±4.06	674
SC4	923±19.03	190±2.5	733
SC5	1010±33.4	174±1.5	836
SC6	813±19.08	182±6.0	631
SC7	869±15.59	160±5.57	709
SC8	723±16.82	175±7.03	548
SC9	830±18.48	172±1.0	658

Tablo 4.6 d.- Yakma alın kaynaklı bağlantılarda, kaynak bağlantısının iki yanındaki sertlik değerleri ve sertlik farkı miktarları

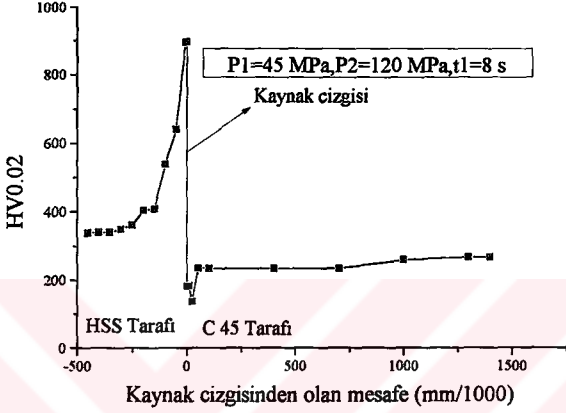
GRUP	SERTLİK (MPa)		
	S-6-5-2 Tarafi	C 45 Tarafi	Fark sertlik
Y1	830±18.48	187±5.15	643
Y2	873±4.64	188±1.22	685
Y3	1072±35.8	186±2.64	886



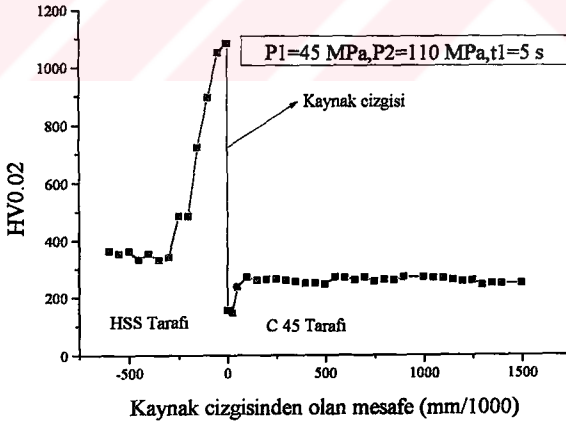
Şekil 4.2.- SA1 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



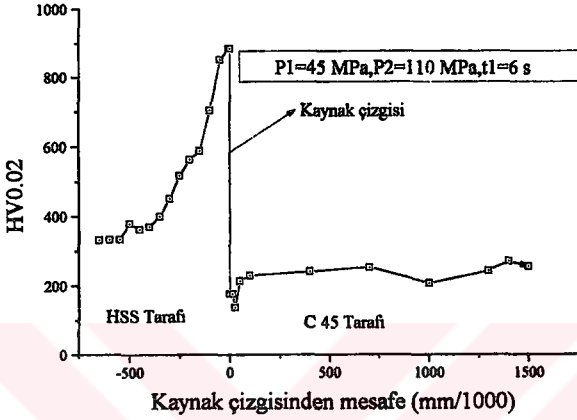
Şekil 4.3.- SA2 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



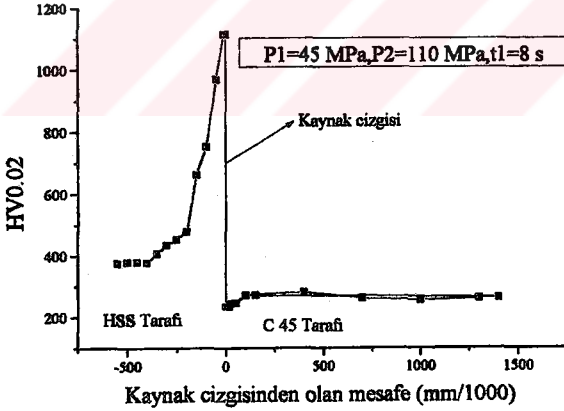
Şekil 4.4.- SA3 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



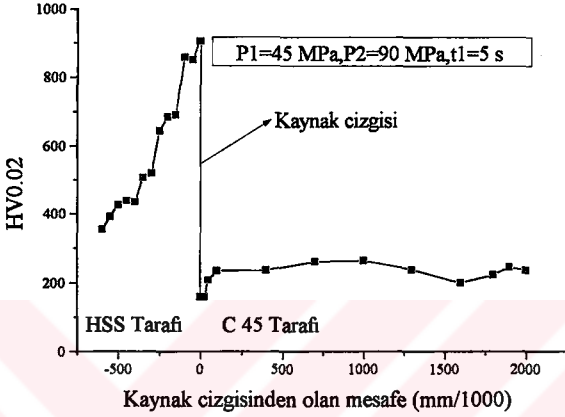
Şekil 4.5.- SA4 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



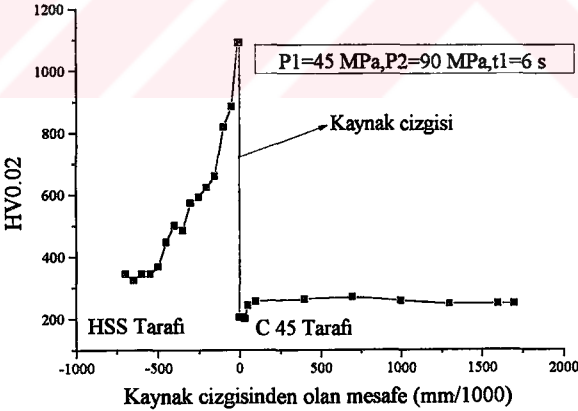
Şekil 4.6.- SA5 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



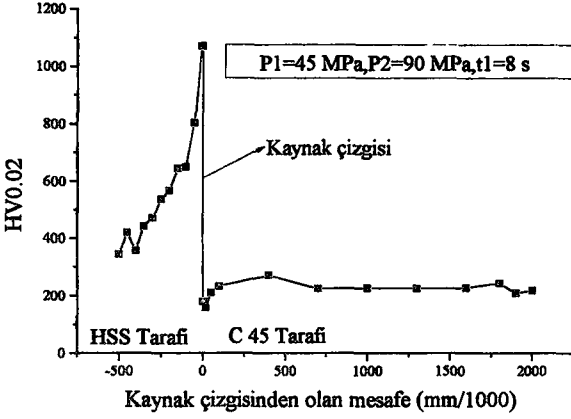
Şekil 4.7.- SA6 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



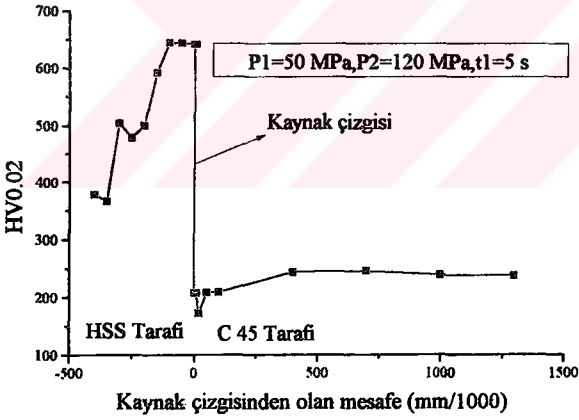
Şekil 4.8.- SA7 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



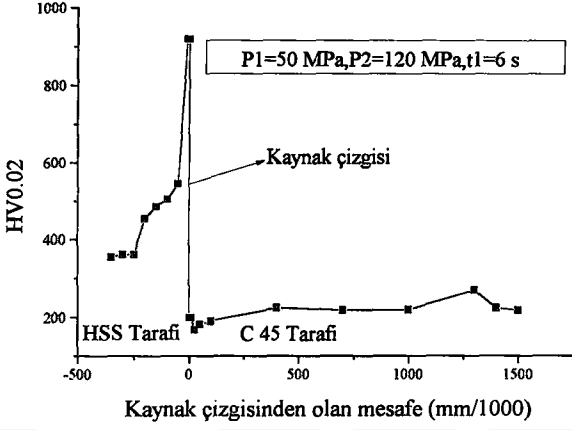
Şekil 4.9.- SA8 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



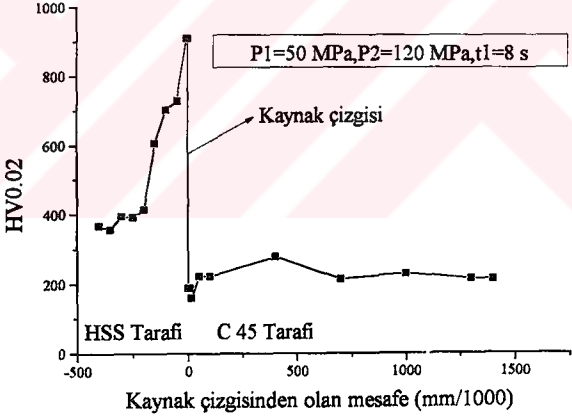
Şekil 4.10.- SA9 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



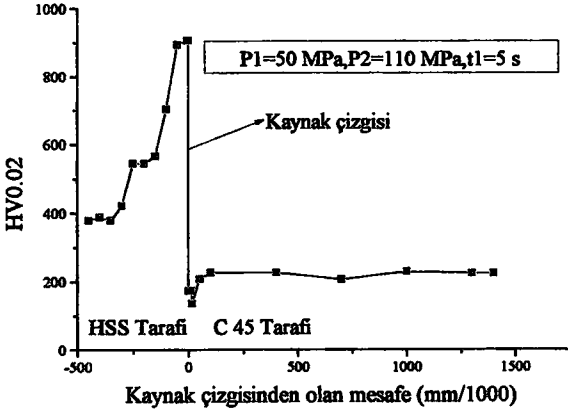
Şekil 4.11. SB1 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



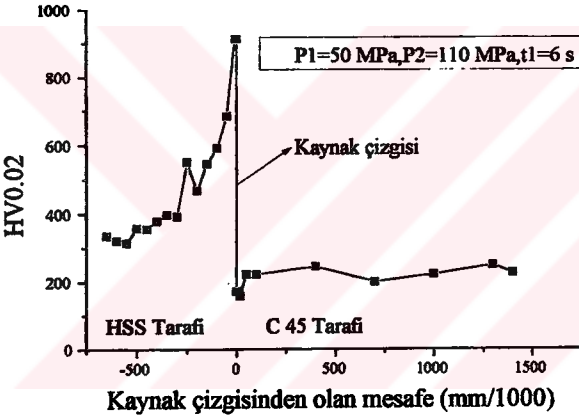
Şekil 4.12.- SB2 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



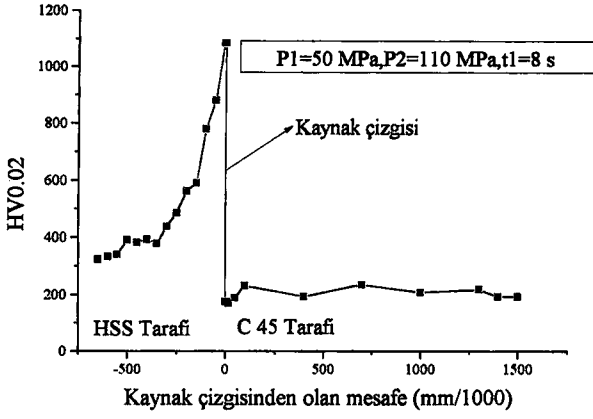
Şekil 4.13.- SB3 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



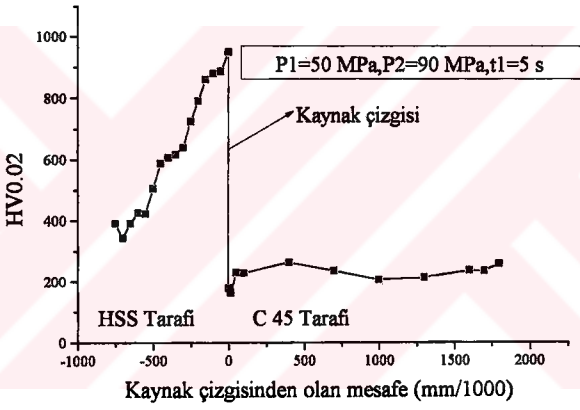
Şekil. 4.14.- SB4 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



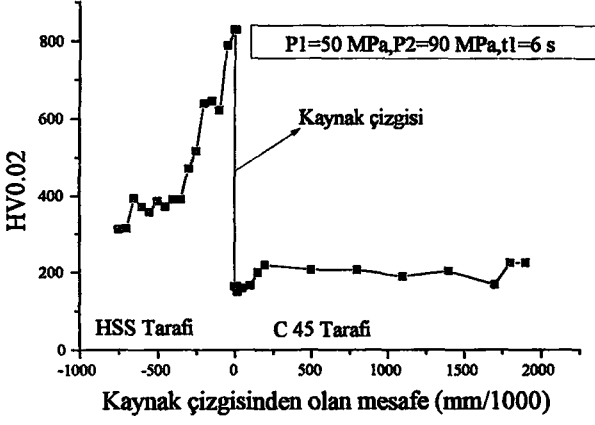
Şekil 4.15.- SB5 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik taraması



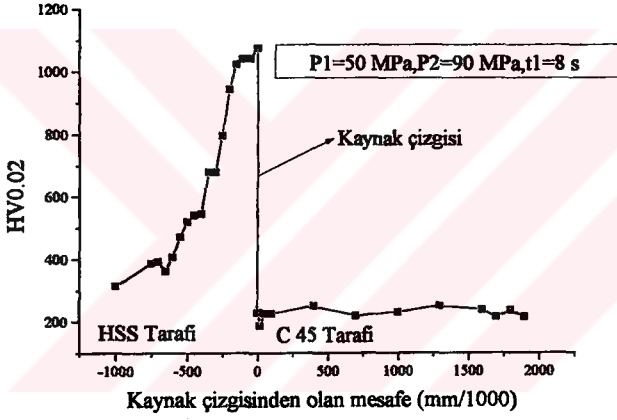
Şekil 4.16.- SB6 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



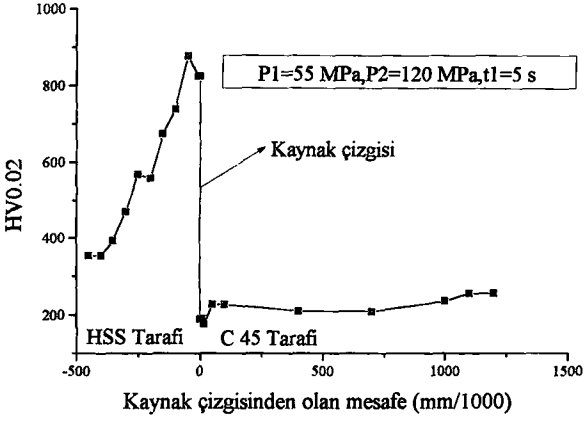
Şekil 4.17.- SB7 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



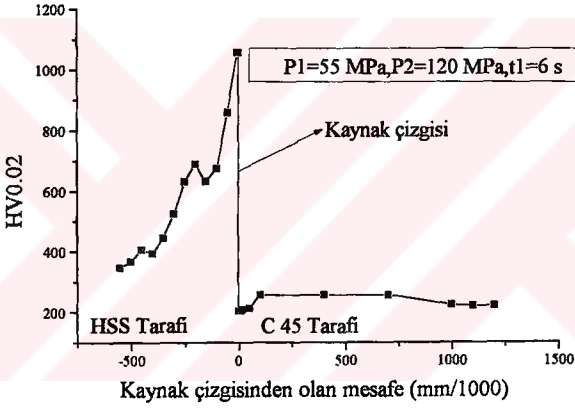
Şekil 4.18.- SB8 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



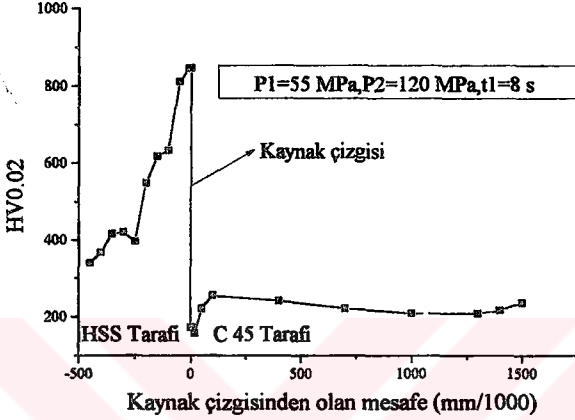
Şekil 4.19.- SB9 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



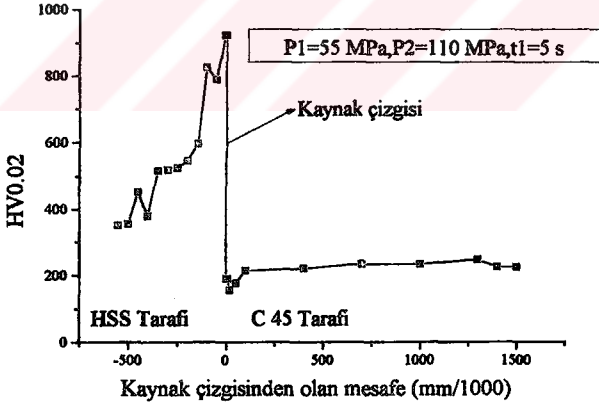
Şekil 4.20.- SC1 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



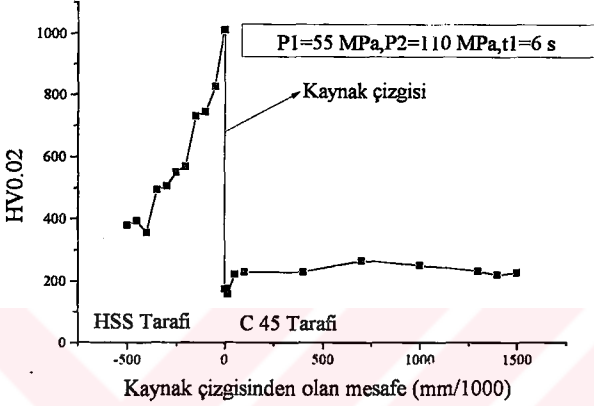
Şekil 4.21.- SC2 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



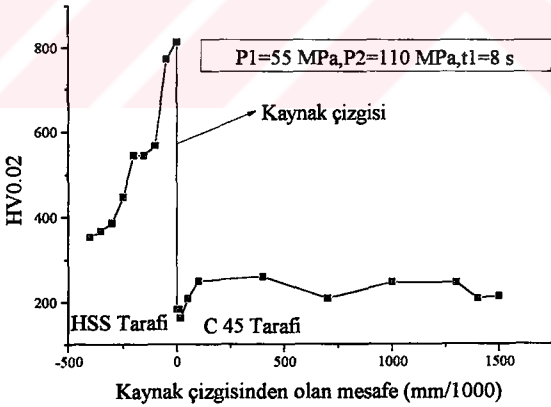
Şekil 4.22.- SC3 numunesi için kaynak bölgesinde sertlik profili



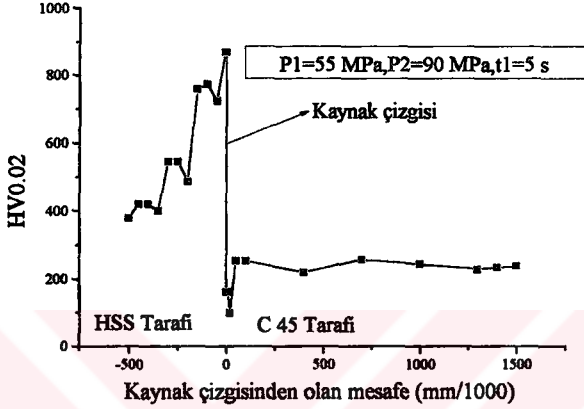
Şekil 4.23.- SC4 numunesi için kaynak bölgesinde sertlik profili



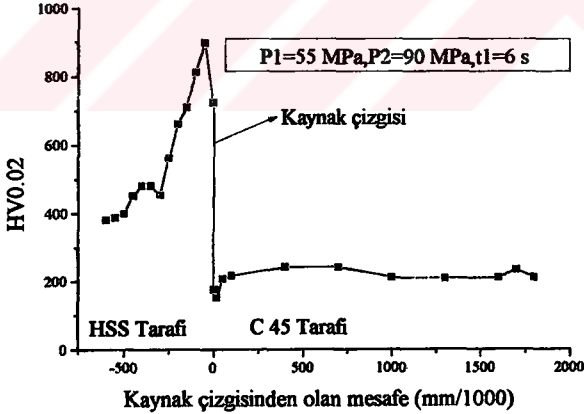
Şekil 4.24.- SC5 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



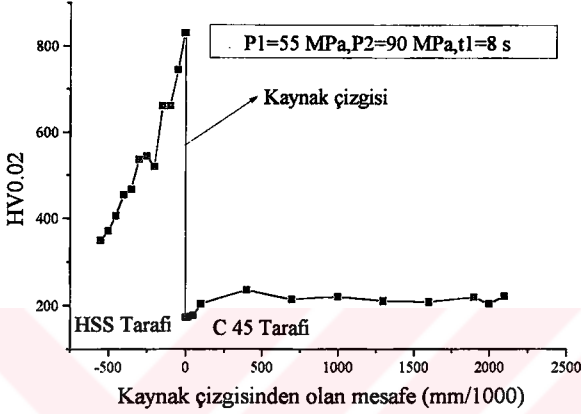
Şekil 4.25.- SC6 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



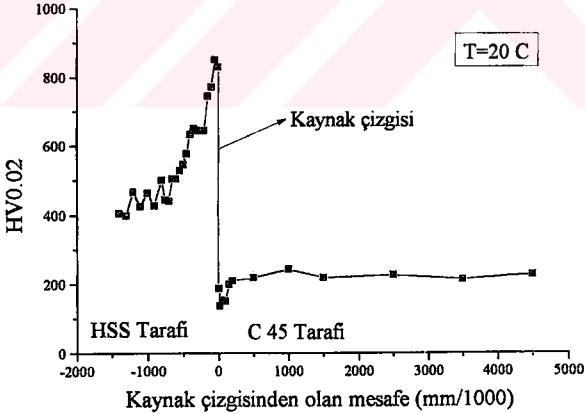
Şekil 4.26.- SC7 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



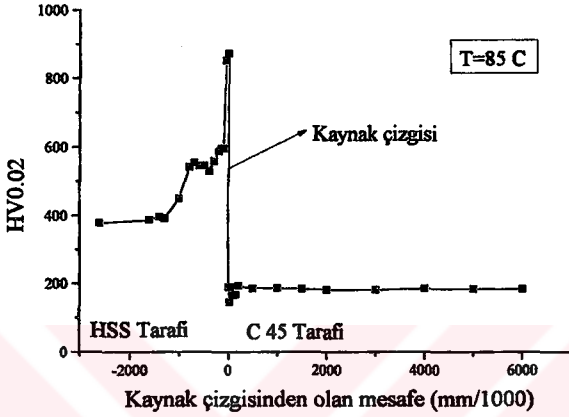
Şekil 4.27.- SC8 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



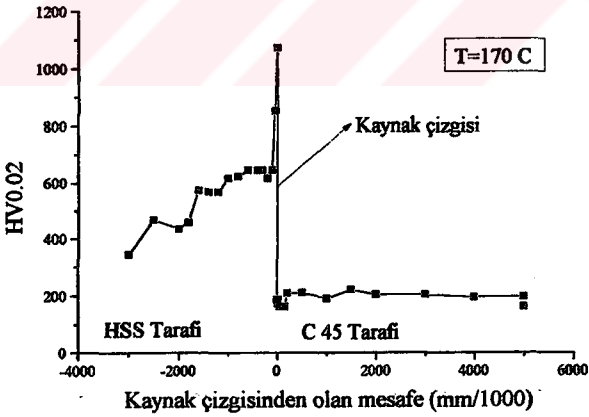
Şekil 4.28.- SC9 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



Şekil 4.29.- Y1 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



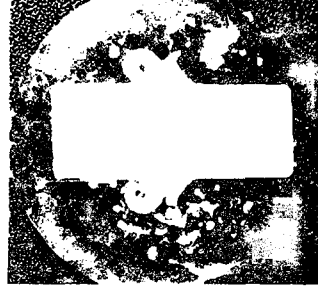
Şekil 4.30.- Y2 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



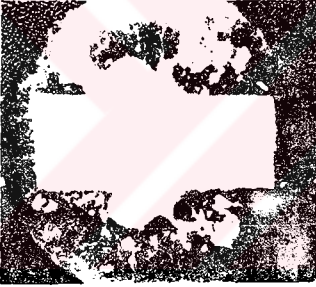
Şekil 4.31.- Y3 numunesi için kaynak ara bölgesinde sertlik profili



Şekil 4.32.a.- SA1 ($P_2=120$ MPa, $t_1=5$ s)



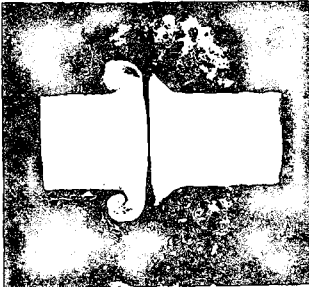
Şekil 4.32.b.- SA2 ($P_2=120$ MPa, $t_1=6$ s)



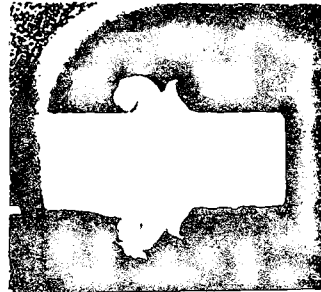
Şekil 4.32.c.- SA3 ($P_2=120$ MPa, $t_1=8$ s)



Şekil 4.32.d.- SA4 ($P_2=110$ MPa, $t_1=5$ s)



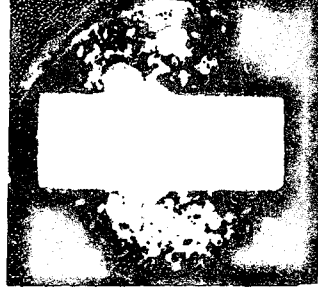
Şekil 4.32.e.- SA5 ($P_2=110$ MPa, $t_1=6$ s)



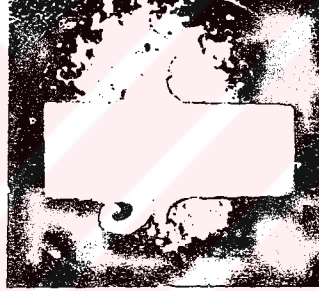
Şekil 4.32.f.- SA6 ($P_2=110$ MPa, $t_1=8$ s)



Şekil 4.32.g.- SA7 ($P_2=90$ MPa, $t_1=5$ s)

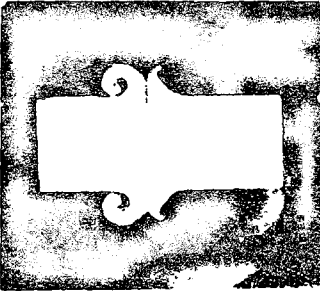


Şekil 4.32.h.- SA8 ($P_2=90$ MPa, $t_1=6$ s)

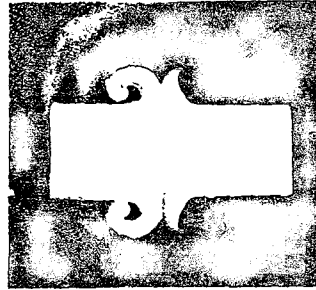


Şekil 4.32.i.- SA9 ($P_2=90$ MPa, $t_1=8$ s)

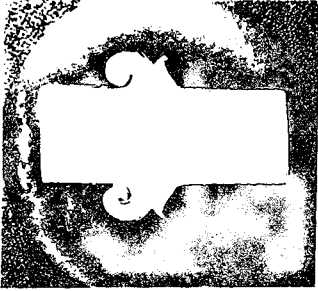
Şekil 4.32.- SA grubu numunelerin ($P_1=45$ MPa) makro kesit fotoğrafları (x 1.5)



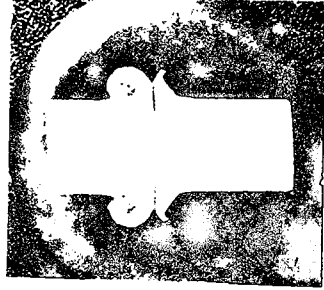
Şekil 4.33.a.- SB1 ($P_2=120$ MPa, $t_1=5$ s)



Şekil 4.33.b.- SB2 ($P_2=120$ MPa, $t_1=6$ s)



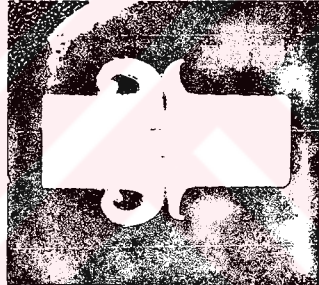
Şekil 4.33.c.- SB3 ($P_2=120$ MPa, $t_1=8$ s)



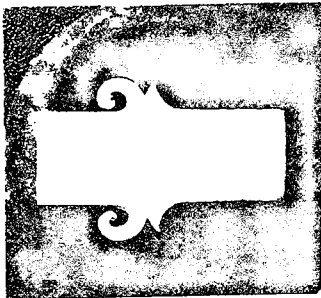
Şekil 4.33.d.- SB4 ($P_2=110$ MPa, $t_1=5$ s)



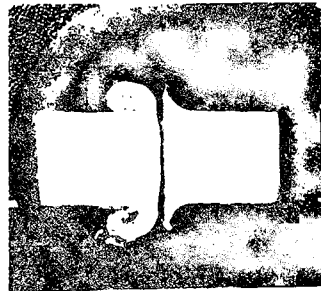
Şekil 4.33.e.- SB5 ($P_2=110$ MPa, $t_1=6$ s)



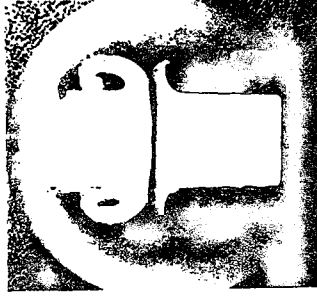
Şekil 4.33.f.- SB6 ($P_2=110$ MPa, $t_1=8$ s)



Şekil 4.33.g.- SB7 ($P_2=90$ MPa, $t_1=5$ s)

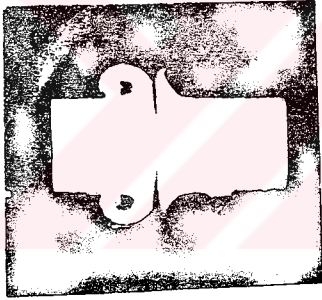


Şekil 4.33.h.- SB8 ($P_2=90$ MPa, $t_1=6$ s)

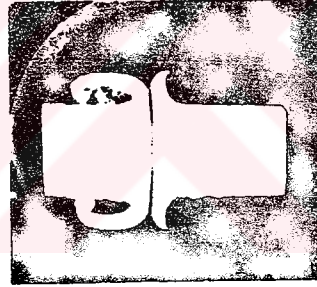


Şekil 4.33.ı.- SB9 ($P_2=90$ MPa, $t_1=8$ s)

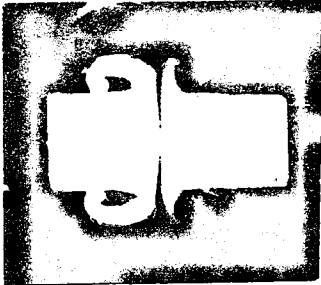
Şekil 4.33.- SB grubu numunelerin ($P_1=50$ MPa) makro kesit fotoğrafları ($\times 1.5$)



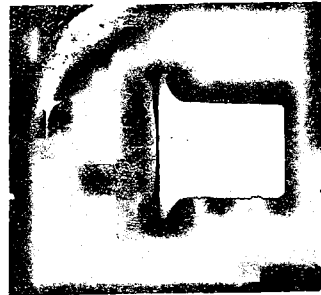
Şekil 4.34.a.- SC1 ($P_2=120$ MPa, $t_1=5$ s)



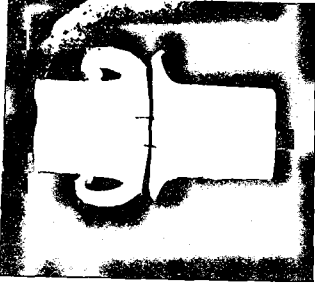
Şekil 4.34.b.- SC2 ($P_2=120$ MPa, $t_1=6$ s)



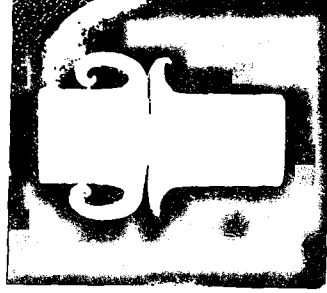
Şekil 4.34.c.- SC3 ($P_2=120$ MPa, $t_1=8$ s)



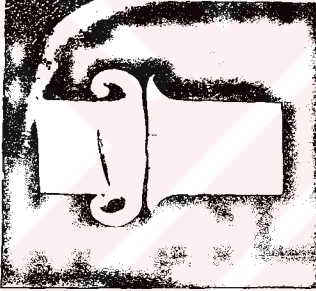
Şekil 4.34.d.- SC4 ($P_2=110$ MPa, $t_1=5$ s)



Şekil 4.34.e.- SC5 ($P_2=110$ MPa, $t_1=6$ s)



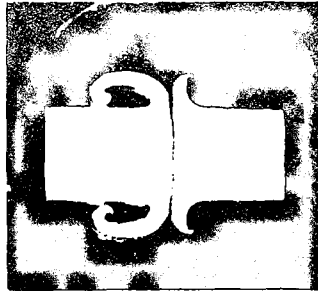
Şekil 4.34.f.- SC6 ($P_2=110$ MPa, $t_1=8$ s)



Şekil 4.34.g.- SC7 ($P_2=90$ MPa, $t_1=5$ s)

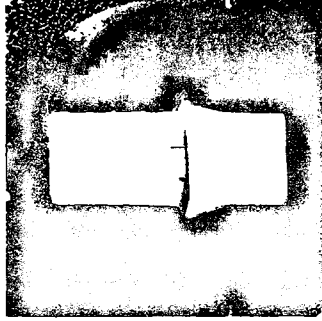


Şekil 4.34.h.- SC8 ($P_2=90$ MPa, $t_1=6$ s)

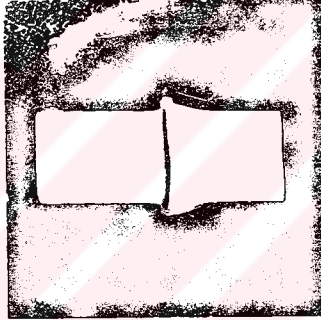


Şekil 4.34.i.- SC9 ($P_2=90$ MPa, $t_1=8$ s)

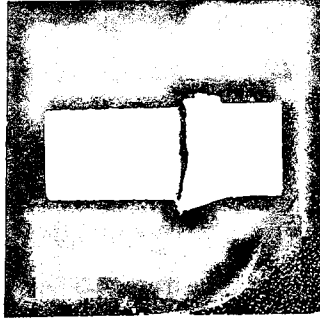
Şekil 4.34.- SC grubu numunelerin ($P_1=55$ MPa) makro kesit fotoğrafları (x 1.5)



Şekil 4.35.a.- Y1 (ön ısıtma sıcaklığı, $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Şekil 4.35.b.- Y2 (ön ısıtma sıcaklığı, $T=85\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Şekil 4.35.c.- Y3 (ön ısıtma sıcaklığı, $T=170\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Şekil 4.35.- Yakma alın kaynaklı numunelerin makro kesit fotoğrafları (x 1.5)

Tablo 4.36.a.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA grubu numuneler için, kaynak parametrelerine göre kaynak bölgesi genişlikleri

GRUP NO	BÖLGE GENİŞLİKLERİ (μm)		
	$A_{S-6-5-2}$	A_{C-45}	A_{TOP}
SA1	500	1750	2250
SA2	500	1800	2300
SA3	500	1830	2330
SA4	300	1290	1590
SA5	350	1240	1590
SA6	350	1420	1770
SA7	250	1050	1280
SA8	300	1030	1330
SA9	250	1080	1330

Tablo 4.36.b.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB grubu numuneler için, kaynak parametrelerine göre kaynak bölgesi genişlikleri

GRUP NO	BÖLGE GENİŞLİKLERİ (μm)		
	$A_{S-6-5-2}$	A_{C-45}	A_{TOP}
SB1	600	1570	2170
SB2	600	1590	2190
SB3	650	1780	2430
SB4	400	1200	1600
SB5	400	1220	1620
SB6	450	1560	2010
SB7	350	850	1200
SB8	300	930	1230
SB9	350	1090	1440

Tablo 4.36.c.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC grubu numuneler için, kaynak parametrelerine göre kaynak bölgesi genişlikleri

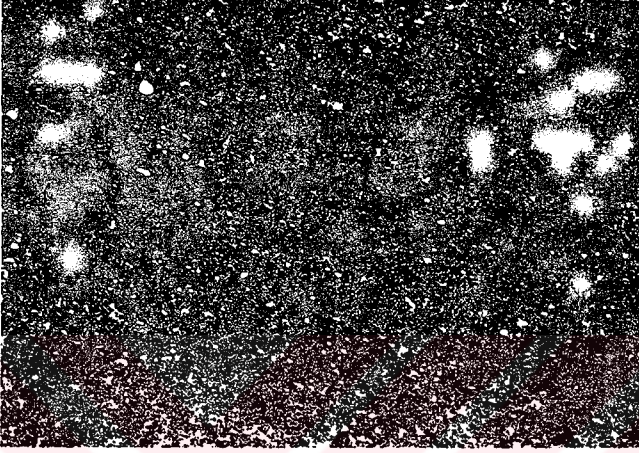
GRUP NO	BÖLGE GENİŞLİKLERİ (µm)		
	$A_{S-6-5-2}$	A_{C-45}	A_{TOP}
SC1	600	1500	2100
SC2	600	1590	2190
SC3	600	1850	2450
SC4	400	1140	1540
SC5	400	1180	1580
SC6	350	1360	2160
SC7	350	1100	1450
SC8	400	1160	1560
SC9	400	1270	1670

Tablo 4.36.d.- Yakma alın kaynaklı bağlantılarda kaynak parametrelerine göre kaynak bölgesi genişlikleri

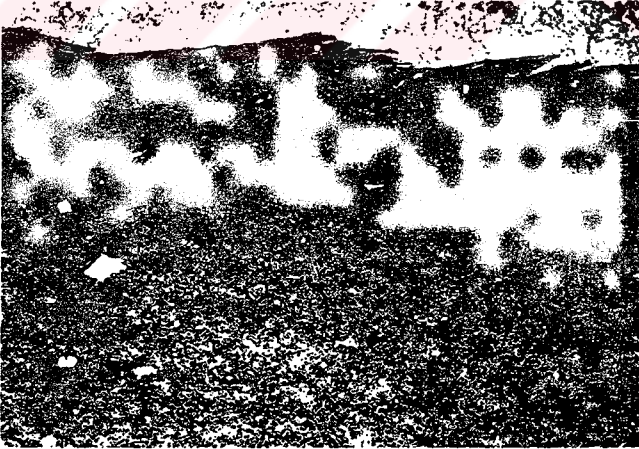
GRUP NO	BÖLGE GENİŞLİKLERİ (µm)		
	$A_{S-6-5-2}$	A_{C-45}	A_{TOP}
Y1	1400	2910	4310
Y2	2500	3950	6450
Y3	2500	5100	7600



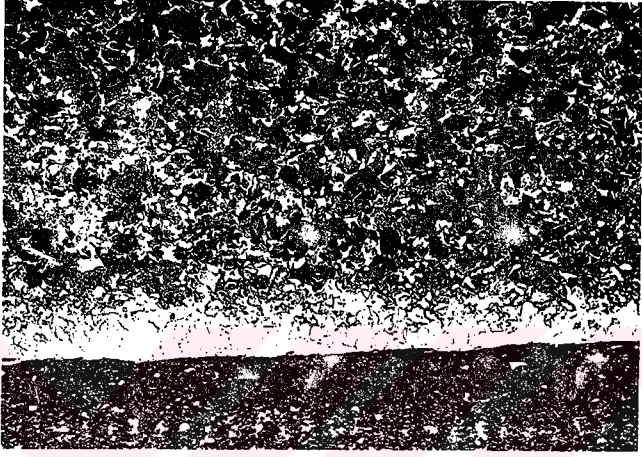
Şekil 4.36.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda (SA9 nolu numune)
a.- Makro kesit fotoğrafı (x 4.5)
b.- Makroyapı fotoğrafı (x 25)



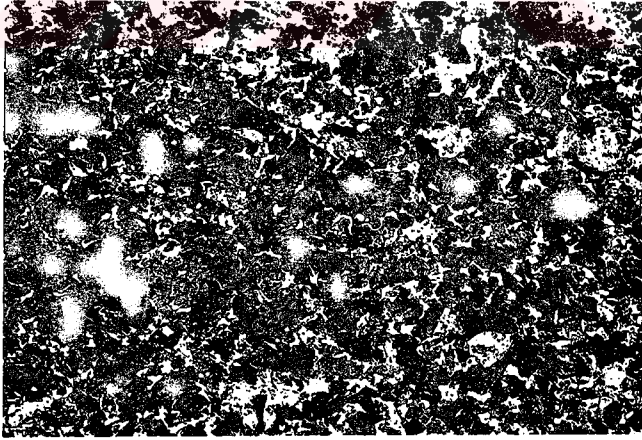
Şekil 4.37.- Şekil 4.36'a göre 1 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



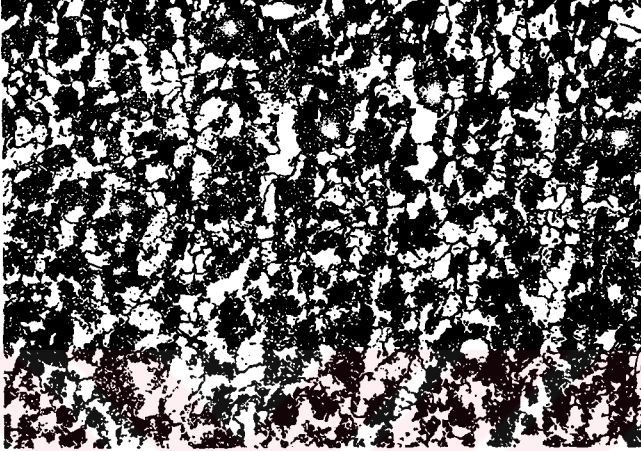
Şekil 4.38.- Şekil 4.36'a göre 2 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



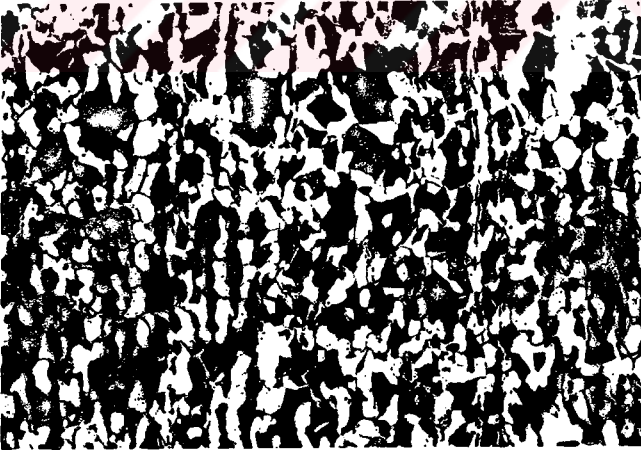
Şekil 4.39.- Şekil 4.36'a göre 3 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



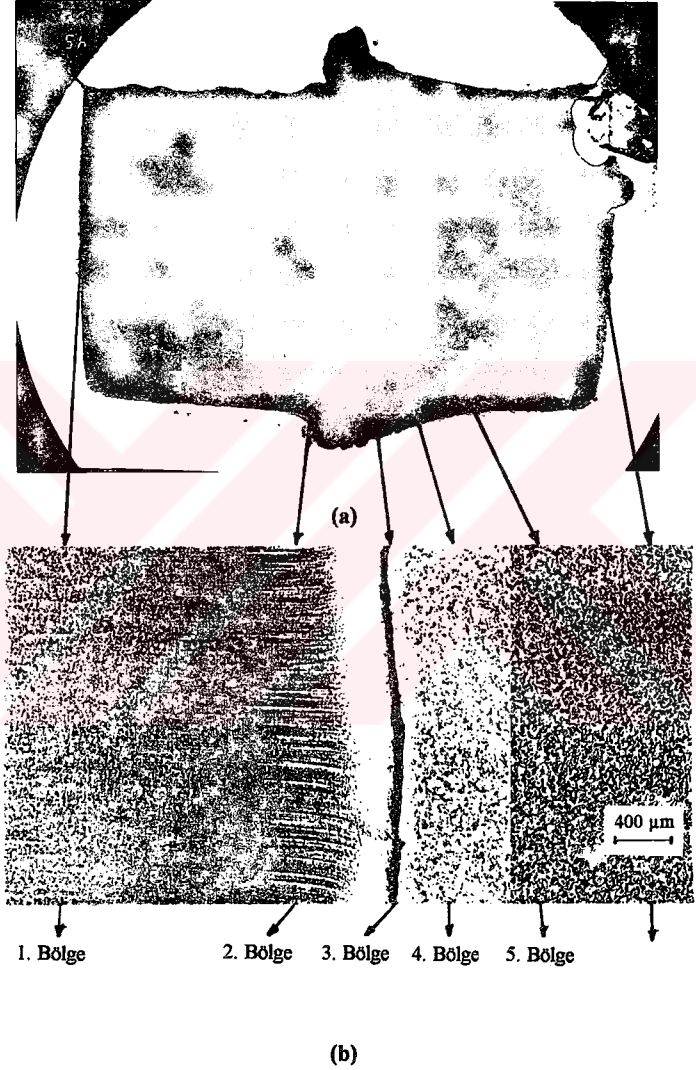
Şekil 4.40.- Şekil 4.36'a göre 4 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



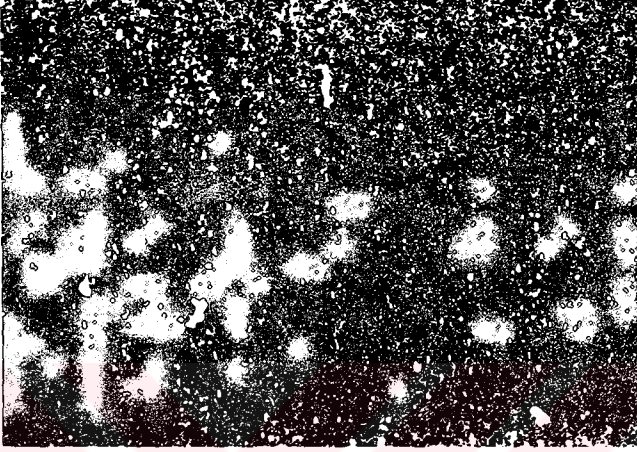
Şekil 4.41.- Şekil 4.36'a göre 5 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



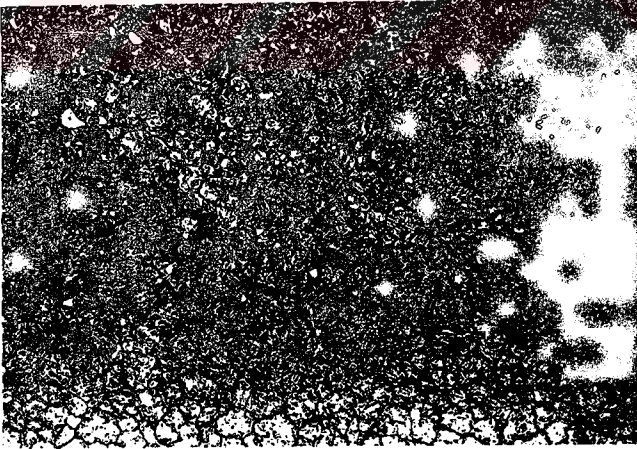
Şekil 4.42.- Şekil 4.36'a göre 6 nolu bölgenin fotoğrafı (x500)



Şekil 4.43.- Yakma alın kaynaklı bağlantılarda (Y1 nolu numune)
a.- Makro kesit fotoğrafı (x 4.5)
b.- Makroyapı fotoğrafı (x 25)



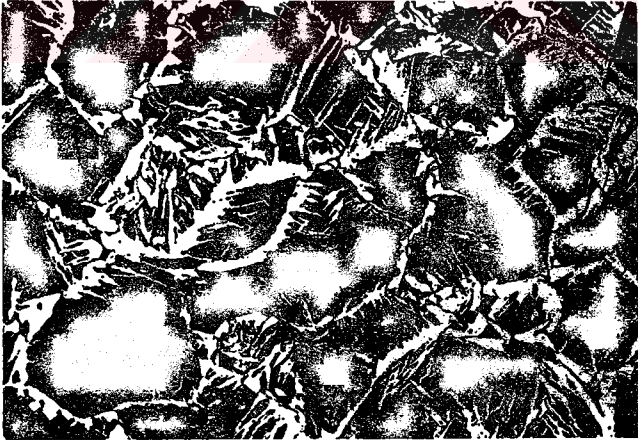
Şekil 4.44.- Şekil 4.43'ye göre 1 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



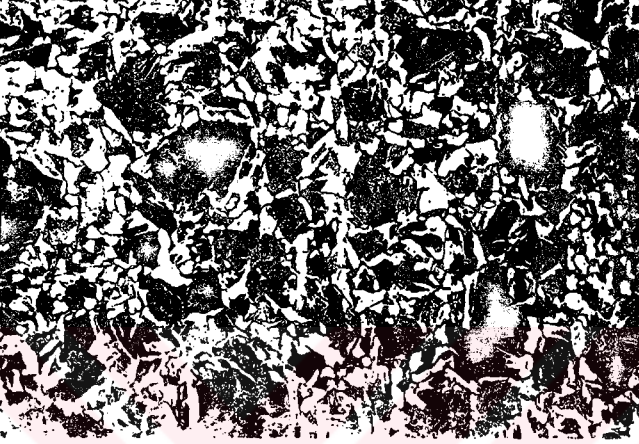
Şekil 4.45.- Şekil 4.43'ye göre 2 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



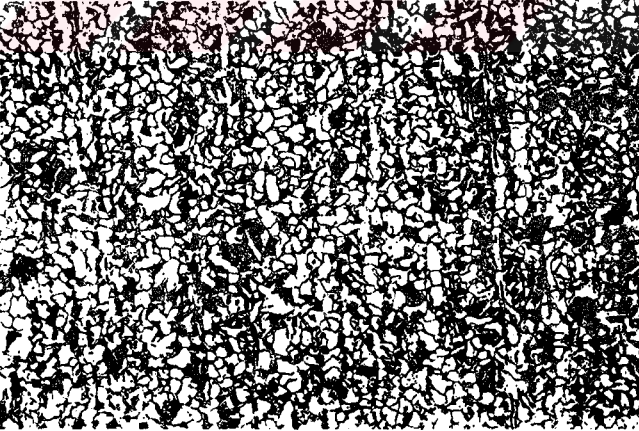
Şekil 4.46.- Şekil 4.43'ye göre 3 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



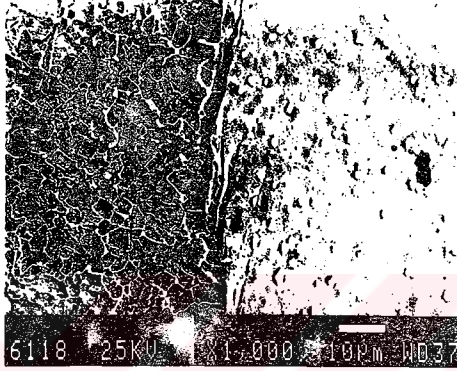
Şekil 4.47.- Şekil 4.43'ye göre 4 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



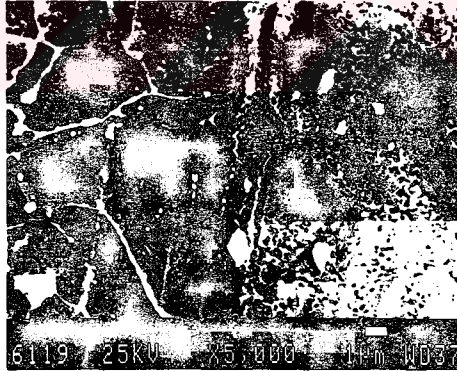
Şekil 4.48.- Şekil 4.43'ye göre 5 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



Şekil 4.49.- Şekil 4.43'ye göre 6 nolu bölgenin fotoğrafı (x 500)



(a)

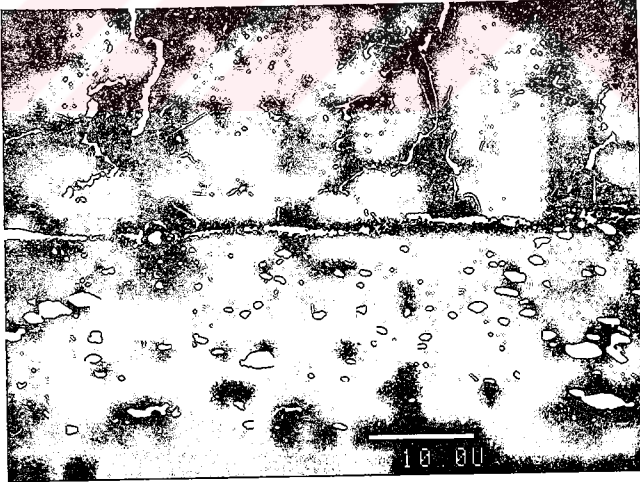


(b)

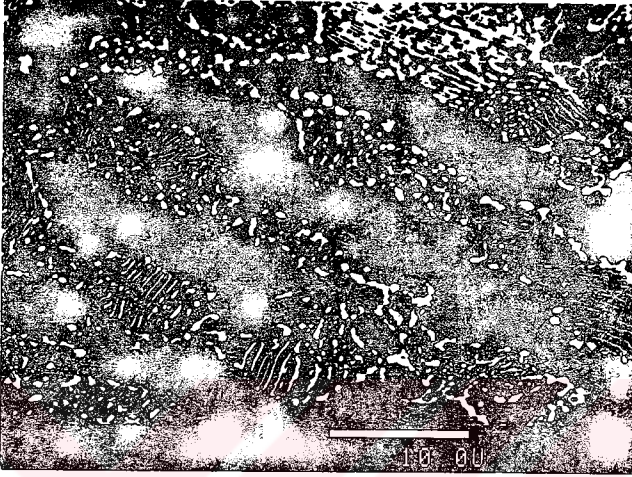
Şekil 4.50.- SA9 nolu numune için karbürlerin dağılımı (% 10 nital), a: Kaynak ara bölgesi (x 1000), b: Kaynak ara bölgesi (x 5000)



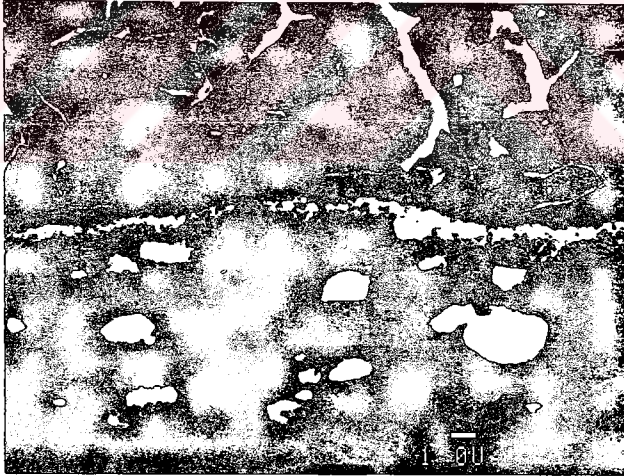
Şekil 4.51.- SA9 nolu numune için kaynak ara bölgesinin SEM fotoğrafı (% 3 nital)



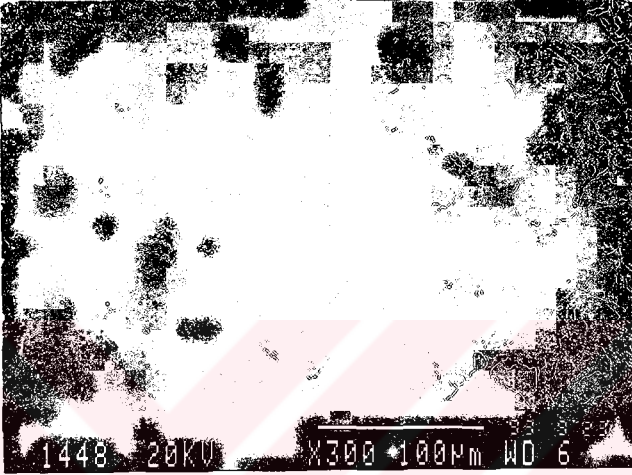
Şekil 4.52.- SA9 nolu numune için kaynak ara bölgesinin SEM fotoğrafı (% 3 nital)



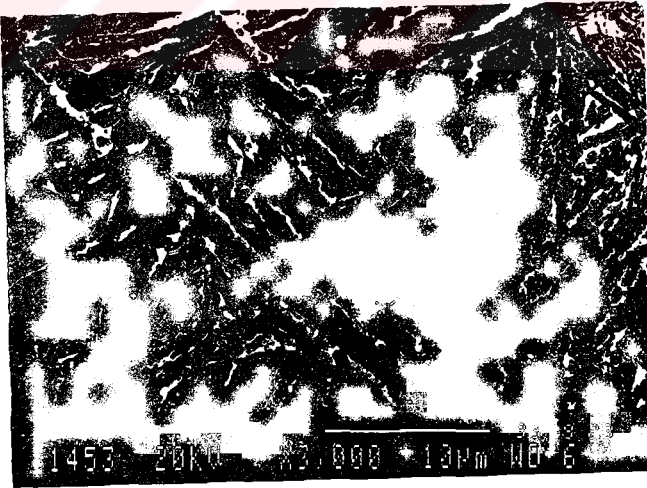
Şekil 4.53.- SA9 nolu numune için C45 tarafında perlit bozunumunu gösteren SEM fotoğrafı (% 3 nital)



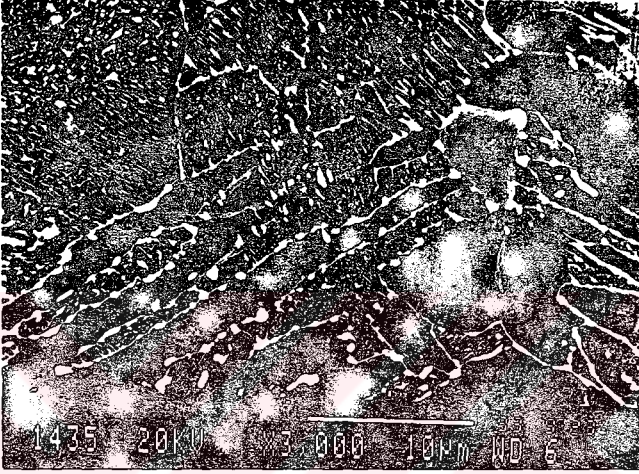
Şekil 4.54.- SA9 nolu numune için, kaynağa hemen bitişik çok dar bir şeritteki ve tane sınırlarındaki çökelmeleri gösteren SEM fotoğrafı (%3 nital)



Şekil 4.55.- Y1 nolu numune için kaynak ara bölgesinin SEM fotoğrafı (% 3 nital)



Şekil 4.56.- Y1 nolu numune için kaynak ara bölgesinin HSS tarafı SEM fotoğrafı (% 3 nital)



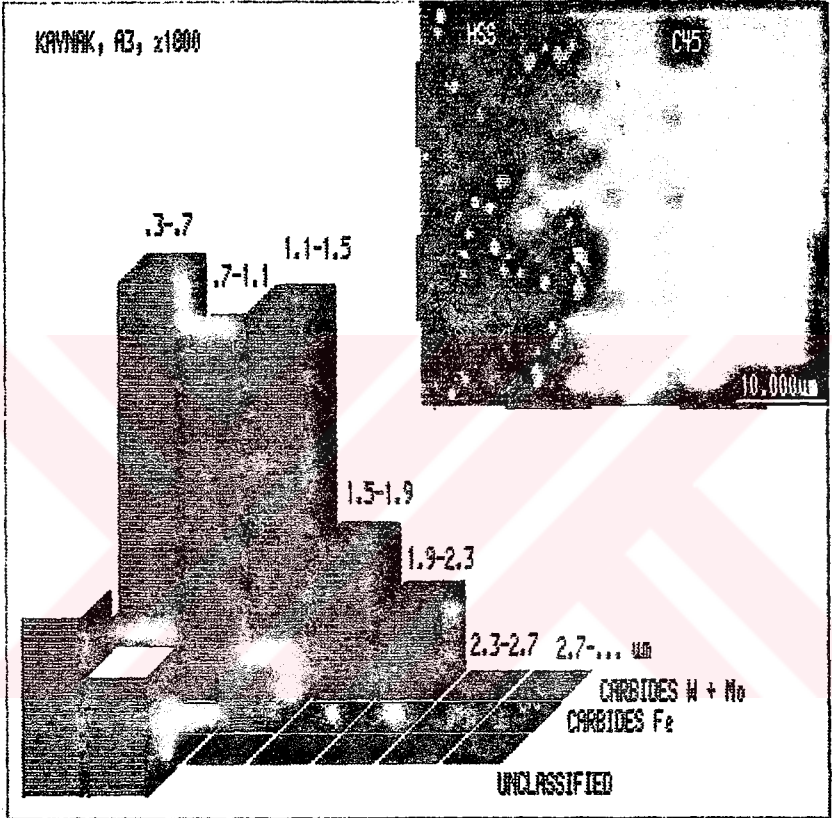
Şekil 4.57.- Y1 nolu numune için C45 tarafında perlit bozunumunu gösteren SEM fotoğrafı (% 3 nital)



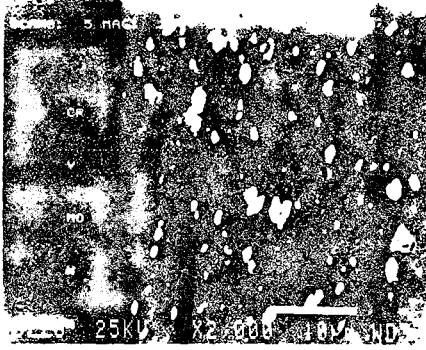
Şekil 4.58.- Y1 nolu numune için, kaynağa hemen bitişik çok dar bir şeritteki ve tane sınırlarındaki çökelmeleri gösteren SEM fotoğrafı (%3 nital)



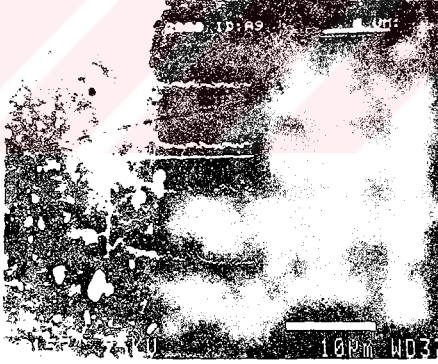
Şekil 4.59.- Sürtünme kaynaklı bağlantılar için (SA3 nolu numune) X-ray Mapping analizi



Şekil 4.60 Sürtünme kaynaklı bağlantılarda (SA3 nolu numune) kaynak ara bölgesindeki karbür dağılımı histogramı



Şekil 4.61.- SA9 nolu numunede alaşım elementlerine ait hat analizleri (P1=45 MPa, P2=90 MPa ve t=8 s)



Şekil 4.62.- SA9 nolu numunede alaşım elementlerine ait hat analizleri ((P1=45 MPa, P2=90 MPa ve t=8 s)

BÖLÜM 5

İRDELEME VE SONUÇ

5.1.- Numunelerin Kaynak Sonu Oluşan Boy Kısalmalarının (Yanmalarının) Parametrelere Göre Değerlendirilmesi

Sürtünme kaynaklı parçalarda, kaynak sonu oluşan boy kısalmaları Bölüm 4 de tablo 4.3 de görülmektedir. Şekil 5.1 - şekil 5.9 da ise uygulanan parametrelerin boy kısalmaları üzerinde ki etkileri eğriler şeklinde ifade edilmiştir. Yakma alın kaynaklı parçalarda ise değişken tutulan ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak değişen yanma miktarları Bölüm 4 de tablo 4.4 den yararlanılarak şekil 5.10 da görüldüğü şekilde bir eğri ile ifade edilmiştir.

Şekillerden de görüleceği üzere, kaynak parametrelerine göre yanma miktarlarındaki değişim doğrusal bir karakter göstermektedir. Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, kaynak sonrası oluşan yanmanın büyük bir kısmı C45 tarafında gerçekleşmiştir. Bu yöntemde artan sürtünme süreleri eğimi en büyük doğruları vererek bağlantının HSS tarafındaki yanmayı en çok artıran parametre olmuştur. Kaynak işlemi süresince, kaynak sonunda sadece 1 s süre ile uygulanan yığma basıncı ise eğimi en düşük doğruları vermiştir.

Yakma alın kaynaklı bağlantılarda ise sürtünme kaynaklı bağlantıların aksine yanmanın büyük bir kısmı HSS tarafında oluşmuştur. Bu durum HSS çeliğinin yüksek elektrik direncinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle HSS çeliğini korumak, dolayısı ile HSS tarafındaki yanmayı azaltılmak amacı ile C45 tarafına kaynak öncesi bir öntav uygulanmıştır. Deney boyunca sabit tutulan toplam yanma yolunun müsaade ettiği 170 °C'ye kadar uygulanan öntav işlemi sonrasında bağlantının HSS tarafında 1 mm'ye kadar malzeme tasarrufu sağlanmıştır.

5.2.- Kaynaklı Bağlantılarda Yapılan Işık Mikroskobu Deneylerinin Değerlendirilmesi.

5.2.1.- Sürtünme Kaynaklı Bağlantılar

Her iki kaynak yönteminde de gerek ışık mikroskobu ve gerekse elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerde kaynak bölgesinin özellikleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, kaynak ara bölgesi incelendiğinde, ara bölgede bir

saçaklanma görülmektedir. Kaynak işlemi sırasında sürtünme etkisi ile C45 tarafında yanma ile birlikte büyük oranda aşınma oluşurken, HSS tarafında da kısmi aşınmalar olmaktadır. Ancak, iri karbürler aşırı direnç gösterdiklerinden bu kısımlar C45 çeliği içine girintiler oluştururlar. Sonuçta kaynak ara yüzeyinde yer yer saçaklanmalar oluşur. Bu durum kaynak mukavemeti açısından önemli değildir.

Sürtünme kaynaklı bağlantıların, kaynak öncesi MC ve M_6C karbürleri içeren HSS tarafında, bu karbürler kısmen çözünür. Kaynak sonrası $650\text{ }^\circ\text{C}$ de tavlama işlemi ile de önce $550\text{ }^\circ\text{C}$ de 4-5 nm boyutunda MC- M_2C , daha sonra $650\text{ }^\circ\text{C}$ de 30-40 nm boyutunda $M_{23}C_6$ - M_6C karbürleri oluşur. Dolayısı ile kaynak ve bunu takiben uygulanan ısı işlem sonrasında yapı yoğun dislokasyon içeren ferritik bir matris içinde birincil MC- M_6C karbürleri ve bunların arasında yoğun 4-5 nm'lik MC- M_2C ve 30-40 nm'lik $M_{23}C_6$ - M_6C karbürleri içerir. (şekil 4.38, şekil 4.51, şekil 4.52) Böylesi bir yapı da çökelti sertleşmesi nedeni ile en yüksek seviyede sertlik değerleri verir. Kaynak sonrası uygulanan ısı işlemin sertlik ve karbür oluşumuna etkisi şekil 5.47 de görüldüğü gibidir.

Sürtünme kaynaklı bağlantıların C45 tarafında hemen kaynağa bitişik kısımda hemen hemen saf ferrite yakın bir dekarbürize bölge görülmektedir. (şekil 4.39) Ana malzemeden dekarbürize bölgeye doğru gelindiğinde perlitin sıcaklık etkisi ile bozunmaya başlayıp dekarbürize bölgeye doğru şekil 5.48 de gösterilen mekanizma ile küreleşmeye başladığı görülür. Bu durum şekil 4.53 de çok iyi görülmektedir. Ancak mikroyapı incelemeleri ve C45 tarafı sertlik profili bu küreleşmenin tam anlamı ile gerçekleşmediğini göstermektedir. Çünkü küreleşme ile her zaman hafif bir sertlik düşmesi beklenir, ancak C45 tarafı sertlik profili böyle bir düşüşü hissettirmemektedir.

5.2.2.- Yakma Alın Kaynaklı Bağlantılar

Yakma alın kaynaklı bağlantıların ara bölgesinin ışık mikroskobu altında genel olarak incelenmesinde, bu bölgede kısmi erimelerden dolayı iç içe geçmeler tespit edilmiştir. Bu durum mekanik bir kenetlenme oluşturduğundan bağlantı mukavemeti üzerinde olumlu bir etkisi vardır.

Yakma alın kaynaklı bağlantıların HSS tarafı incelendiğinde iki ayrı bölge gözlenmektedir. Bu bölgelerden kaynağa yakın ara yüzey bölgenin tane sınırlarında yoğun olarak kısmi erimeler görülmektedir. Bunun sonucunda da tane sınırlarında M_6C tipi ledeburitik (otektik) çökelti oluşmaktadır. Bu bölge tanelerin aşırı derecede büyüdüğü, aşırı ısınmış (yaklaşık $1250\text{ }^\circ\text{C}$) ve aşırı doyuma ulaşmış durumdadır (şekil

4.55). Bu bölgede aşırı ısınma sonucu karbonca çok zengin plaka tipi martenzit ve ledeburitik çökeltilerle birlikte aşırı doymuş ostenitin oda sıcaklığında dahi kararlılığını korumasından dolayı artık ostenit bulunmaktadır. Aşırı karbon doyumu sonucunda 650 °C tavlama ile martenzit dönüşmeyip yapıda kalmıştır. Ayrıca plaka tipi martenzit fazında, ikizlenmelerin olduğu yüksek enerjili bölgelerde çökelmiş, M_3C tipi karbürlerle görülmektedir (şekil 4.56). Daha yüksek büyütmelerde yapılan hassas çalışmalarda ise kaynak çizgisi boyunca 1 µm lik çok dar bir alanda çok küçük 4-5 nm lik çökeltiler gözlenmiştir. (şekil 4.58). HSS tarafında, ana malzemeye doğru olan ikinci bölge de aşırı ısınmış (yaklaşık 1230 °C) ve tane büyümesinin gözleendiği bir bölgedir. Bu bölgede de yine kısmi erimeler sonucu tane sınırlarında M_6C tipi ledeburitik çökeltiler, martenzit ve artık ostenit gözlenmektedir (4.55).

Yakma alın kaynaklı bağlantının C45 tarafı incelendiğinde hemen kaynağa bitişik kısımda erime bölgeleri ve widmanstätten tipi ferrit gözlenmektedir (şekil 4.47). Bu bağlantıda oluşan dekarbürize bölge sürtünme kaynağına kıyasla çok daha geniştir (şekil 4.46). Bu yapı karbon oranının (çok düşük) ve soğuma hızının (yüksek) uygun olduğu şartlarda ferritin tane sınırlarından başlayarak dik olarak iri lameller şeklinde büyümesi ile oluşur. Yakma alın kaynağında yüksek ısı girdisi bu yapının oluşumunu teşvik etmektedir. Ana malzeme ile dekarbürize bölge arasında sürtünme kaynaklı bağlantılarda olduğu gibi yine perlitik yapıda kısmi bir küreleşme görülmektedir (şekil 4.53).

5.3.- Kaynaklı Bağlantıların Ara Bölgesindeki Sertlik Değişimlerinin Değerlendirilmesi

Sürtünme kaynaklı bağlantılarda değişken tutulan parametrelerin, yakma alın kaynaklı bağlantılarda ise değişken tutulan ön ısıtma sıcaklıklarının kaynak ara bölgesindeki sertlik profiline etkisi Bölüm 4 deki ve Ek teki ilgili tablo ve eğriler göz önünde tutularak incelenmiştir. Şekil 5.11-şekil 5.36 da sürtünme kaynaklı parçalar için kaynak ara bölgesindeki sertlik profili üzerinde değişen parametrelerin etkisi, şekil 5.37 de ise yakma alın kaynaklı parçalar için değişken tutulan ön ısıtma sıcaklıklarının kaynak ara bölgesindeki sertlik profiline etkisi görülmektedir.

Her iki kaynak yönteminde de, bütün numunelerde karakteristik sertlik dağılım eğrisi şekil 5. 49 da görüldüğü gibidir. Şekil incelendiğinde sertlik dağılım eğrisinin HSS tarafında oldukça keskin bir düşüş gösterdiği C45 tarafında ise eğrinin önce bir düşüş gösterip bir minimumdan geçtikten sonra genelde aynı seviyede gittiği görülmektedir. Her iki kaynak yönteminde de gözleendiği üzere kaynak çizgisi boyunca yoğun ince

karbür çökeltileri HSS tarafında max sertliğe neden olurken, sürtünme kaynaklı bağlantılarda HSS tarafındaki sertlik eğrisinin yakma alın kaynaklı numunelere nazaran daha dik olmasının nedeni yakma alın kaynaklı bağlantılarda, kaynak bölgesinde martenzitin varlığından kaynaklanmaktadır. C45 tarafındaki başlangıçtaki sertlik düşüşü ise dekarbürizasyondan kaynaklanmaktadır. Ancak dekarbürize bölge içinde kaynak çizgisine hemen bitişik kısma nazaran yaklaşık 16-25 μm mesafede sertlik eğrisi bir minimumdan geçmektedir. Bu durum kaynak çizgisinin hemen yanındaki bölgelerin deformasyon sonucu sertleşmesi ile açıklanabilir. Şekil 5.50 de azalan % C'a göre artan deformasyon oranı ile ortaya çıkan sertlik profili bizim elde ettiğimiz sertlik profilini en iyi şekilde açıklamaktadır.

Genelde sürtünme süresinin, sürtünme basıncının ve yığılma basıncının artması sertlik eğrisinin eğimini de artmaya teşvik etmektedir. Gerçekte, özellikle artan sürtünme süresinin difüzyonu kolaylaştırması nedeni ile daha düşük eğime sahip sertlik eğrileri beklenir. Bunun böyle olmaması artan süre ve basınçların ara bölgedeki kaynaktan etkilenmiş bölgeyi dışarı sürmelerinden kaynaklanmaktadır. Yakma alın kaynaklı bağlantılarda ise sertlik eğrileri daha düşük eğimlidir ve öntav sıcaklıkları bu durumu teşvik etmektedir.

5.4.- Kaynaklı Bağlantılarda Yapılan Elektron Mikroskobu ve Mikroanaliz Deneylerinin Değerlendirilmesi.

Elektron mikroskobu ile yapılan mikroanaliz çalışmalarında kaynak bölgesindeki difüzyon olayları araştırılmıştır. Bu amaçla sürtünme kaynaklı bir numune üzerinde (SA3) X-Ray Mapping yöntemi uygulanarak C, V, Cr, W, Mo elementlerinin difüzyonları gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada bir difüzyon bölgesi tespit edilememiştir. Bu durum da bize muhtemel bir difüzyonun çok küçük mesafelerde olabileceğini göstermiştir. Bu çalışma sonrasında yine sürtünme kaynaklı numuneler için seçilen bir numunede (SA9) yarı kantitatif analiz uygulanmıştır. Bu yöntemde de belirgin bir netice elde edilememiştir. yapılan çalışmada aynı numunede farklı kesitlerde yapılan analizlerde her bir durumda farklı difüzyon olayları gözlenmiştir. Yapılan bu ön çalışmalar sonrasında her iki kaynak yönteminden de seçilen iki numune üzerinde (SA9 ve Y1) tam kantitatif EDX analizi uygulanmıştır.

EDX analizleri şekil 5.38 deki mikro fotoğraflarda görülen hat boyunca yapıldı. Şekillerden de görüleceği üzere SA9 nolu numunede iki analiz yapılırken Y1 nolu numunede tek analiz yapılmıştır. Ek 2 deki Tablo 31-tablo 36 da ki değerler yardımıyla

bu analizlerden elde edilen sonuçlar şekil 5.40-şekil 5.45 de hat analizleri şeklinde ifade edilmiştir. Analiz sonrasında sürtünme kaynaklı numunede sadece Cr'da hissedilir bir difüzyon gözlenirken, yakma alın kaynaklı numunede Cr'da daha kuvvetli bir difüzyona ve diğer elementlerde ise çok küçük bir difüzyona rastlanılmıştır. Cr dışındaki diğer elementlerde hissedilir bir difüzyon gözlenememesi bu elementlerin atom yarıçapları ve matristeki çözünürlükleri ile ilişkilidir. İlgili elementlerin atom yarıçapları aşağıdaki gibidir.

$$RV = 1.34 \text{ \AA}$$

$$RCr = 1.27 \text{ \AA}$$

$$RFe = 1.26 \text{ \AA}$$

$$RMo = 1.39 \text{ \AA}$$

$$RW = 1.39 \text{ \AA}$$

Kaynak süresinin çok kısa olması bütün elementler için difüzyonu çok zorlaştırmaktadır. Fe'e nazaran Mo ve W'nin oldukça büyük çapa sahip olması bu elementlerin difüzyonunu ayrıca çok zor kılmaktadır. Bu nedenle özellikle sürtünme kaynaklı bağlantılarda Mo ve W'da dikkate değer bir difüzyona rastlanılmamıştır. V 'un W ve Mo'ne nazaran daha düşük atom yarıçapına sahip olmasına rağmen demire nazaran yine de oldukça büyük bir atom yarıçapına sahip olması bu elementin de difüzyonunu çok zorlaştırmaktadır. Bunun yanı sıra V'un yapıda diğer elementlere nazaran daha düşük oranlarda bulunması nedeni ile oluşabilecek difüzyon miktarının belirlenmesi de oldukça güçtür. Nitekim hem sürtünme kaynaklı bağlantılarda ve hem de yakma alın kaynaklı bağlantılarda V'da dikkate değer bir difüzyona rastlanılmamıştır. Cr ise demire çok yakın bir atom yarıçapına sahip olması ve yapıda bulunan Cr'un hemen hemen hepsinin matriste çözülmüş halde olması, bu elementi difüzyonu en kolay element haline getirmiştir. Nitekim Cr her iki kaynaklı bağlantıda da, özellikle yakma alın kaynaklı bağlantılarda hatırı sayılır bir difüzyon göstermiştir.

Çubuk eksenli boyunca sertlik profilleri incelendiğinde her iki kaynak yönteminde de ara bölgenin HSS tarafında aşırı bir sertlik artışı, C45 tarafında aşırı bir sertlik düşüşü gözlenmektedir. Ayrıca ara bölgenin C45 tarafında ışık mikroskobu ile yapılan deneylerde bir dekarbürize bölge açıkça görülmektedir. Bütün bu bulgular ara bölgedeki karbon hareketini önemli kılmaktadır. Bu nedenle hem sürtünme kaynaklı ve hem de yakma alın kaynaklı numunelerin kaynak ara bölgesinde WDX analizi uygulanmıştır. WDX analizleri şekil 5.39 daki mikro fotoğraflarda görülen hat boyunca yapıldı. Ek 2

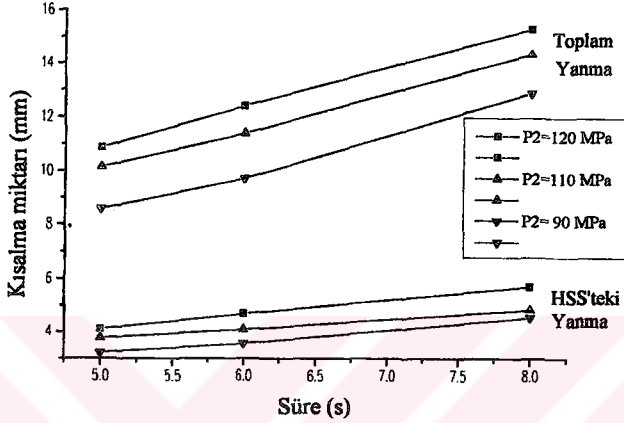
deki Tablo E.37-tablo E.38 de ki değerler yardımıyla bu analizlerden elde edilen datalar Şekil 5.46 da hat analizleri Şeklinde ifade edilmiştir.

WDX analizi sonuÇları incelendiğinde her iki kaynak yönteminde de ara bölgenin HSS tarafında bir karbon artışı (zellikle yakma alın kaynaklı numunelerde bu durum daha barizdir), C45 tarafında ise bir dekarbürize bölge gözlenmektedir. Yani ara bölgedeki sertlik profili ile karbon profili arasında büyük bir benzerlik bulunmaktadır. Ayrıca yukarıda da belirtildiği üzere her iki kaynaklı bağlantıda da C45 tarafında bir dekarbürize bölge, HSS taranda ise bir karbon artışının olması HSS tarafına bir karbon difüzyonu olduğunu göstermektedir. Bu durumu kesinleŐtirmek iÇin yüksek büyütmelerde taramalı elektron mikroskobunda her iki kaynaklı numune de incelenmiştir.

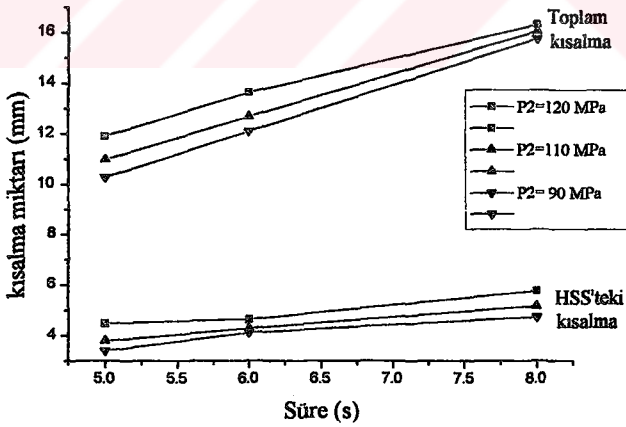
Sürtünme kaynaklı numunelerde ara bölgenin HSS tarafında kaynak  izgisini boyunca 1-2 µm'lik  ok dar bir alanda 4-5 nm byklğinde  ok ince fakat  ok yoğun  okeltilere rastlanılmıştır. Bu bölgede bir karbon artışının gözlenmesi ve matrisin yoğun bir Şekilde Cr iÇermesi bu  okeltilerin krom karbür  okeltileri olduklarını göstermektedir. Bunun yanısıra kaynak sırasında oluşabilecek CO veya CO₂ gazı ile Cr'un muhtemel reaksiyonu ile bu bölgede krom oksit  okeltileri de oluŐabilecektir. Bu durumun aŐıklıęa kavuŐturulabilmesi iÇin auger spektroskopisi gibi ileri yüzey inceleme tekniklerinin kullanılması gerekir. Daha öncede belirtildiği gibi oluşan bu  okeltiler ara bölgedeki yüksek sertliği aŐıklamaktadırlar .  nk,  ok yüksek sertliklere sahip bu karbürlerin  ok ince bir Şekilde yoğun olarak yapıda dağılmaları martenzit sertliğinden daha yüksek sertlik değerleri verebilecektir.

Yakma alın kaynaklı numunelerde de ara yüzeyde kaynak  izgisini boyunca  ok dar bir alanda (yaklaşık 1 µm)  ok ince fakat  ok yoğun karbür  okeltileri gözlenmiştir. Ancak yakma alın kaynaklı numunelerde  okelti bölgesi sürtünme kaynağına nazaran daha dardır. Oluşan bu  okeltiler sürtünme kaynağında olduğu gibi yakma alın kaynağında da HSS tarafındaki yüksek sertliğin nedeni olmaktadır. Ayrıca HSS tarafında gözlenen martenzit te sertliğin HSS tarafında dik düŐüŐünü engellemekte dolayısıyla yakma alın kaynaklı bağlantıların sertlik profilleri daha düşük eğimli olmaktadır.

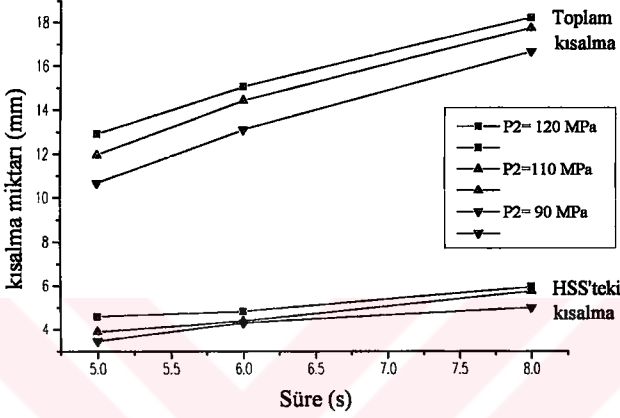
SonuÇ olarak her iki kaynak yönteminde de karbon HSS tarafına difüze olarak hem C45 tarafında dekarbürize bölgeye neden olarak bağlantının mukavemetini düŐürmekte ve hem de HSS tarafında yoğun  okeltiler oluŐturarak maksimum sertliği dolayısıyla ara bölgedeki sertlik farkını arttırarak  entik etkisi oluŐturmak sureti ile bağlantının mukavemetini özellikle tokluğunu düşürmektedir.



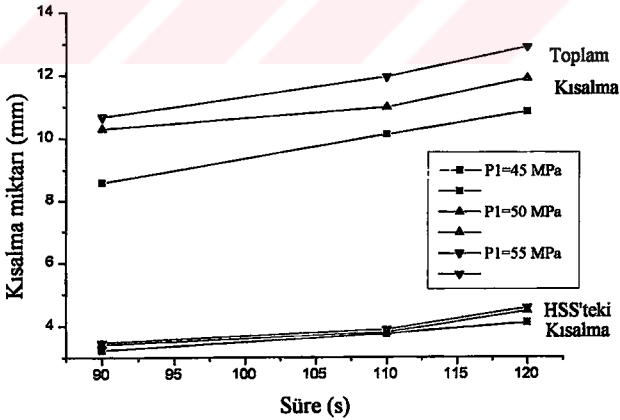
Şekil 5.1.- Sürtünme kaynaklı parçalarda süre ve yığıma basıncına göre kısalma miktarları ($P_1=45$ MPa)



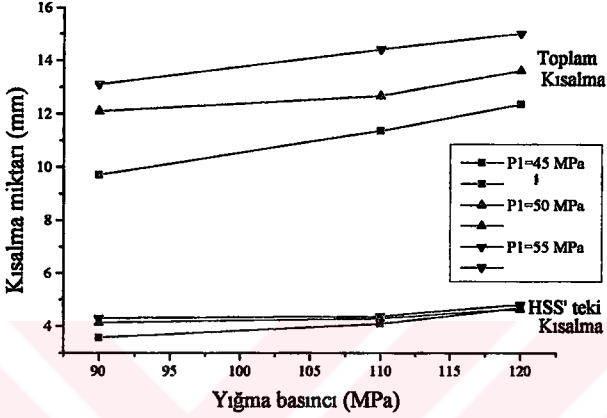
Şekil 5.2.- Sürtünme kaynaklı parçalarda süre ve yığıma basıncına göre kısalma miktarları ($P_1=50$ MPa)



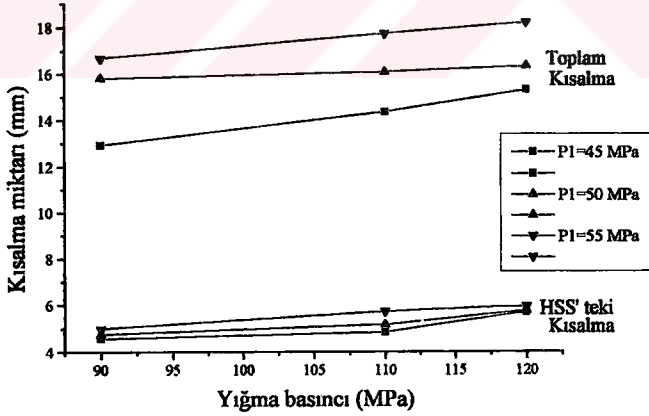
Şekil 5.3.- Sürtünme kaynaklı parçalarda süre ve yğma basıncına göre kısalma miktarları ($P_1=55$ MPa)



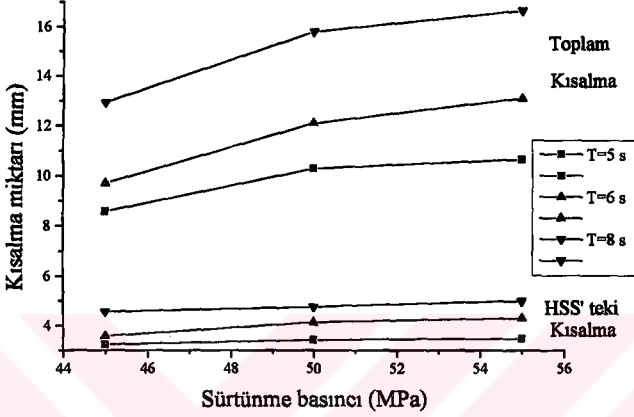
Şekil 5.4.- Sürtünme kaynaklı parçalarda sürtünme basıncına ve yğma basıncına göre kısalma miktarları ($T_1=5$ s)



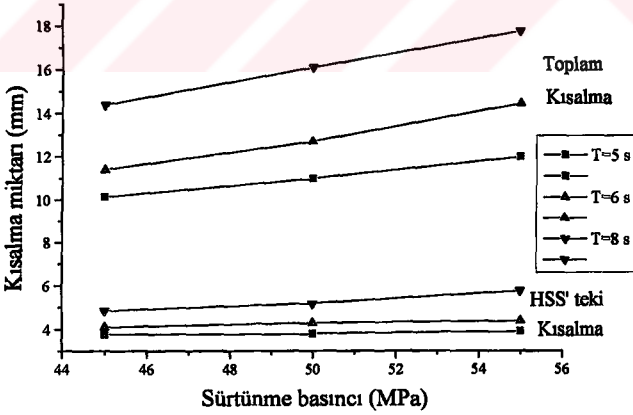
Şekil 5.5.- Sürtünme kaynaklı parçalarda sürtünme basıncına ve yığıma basıncına göre kısalma miktarları ($T_1 = 6$ s)



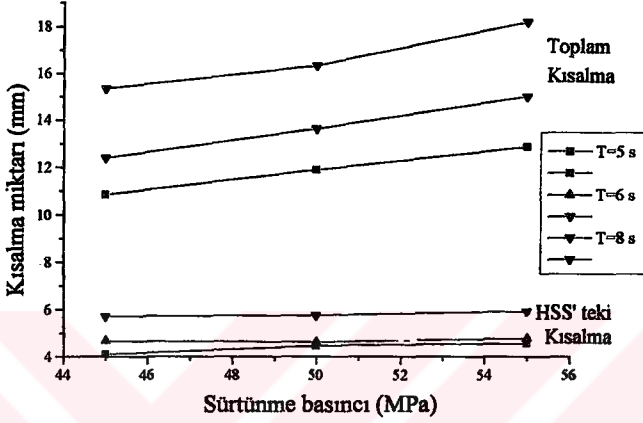
Şekil 5.6.- Sürtünme kaynaklı parçalarda sürtünme basıncına ve yığıma basıncına göre kısalma miktarları ($T_1 = 8$ s)



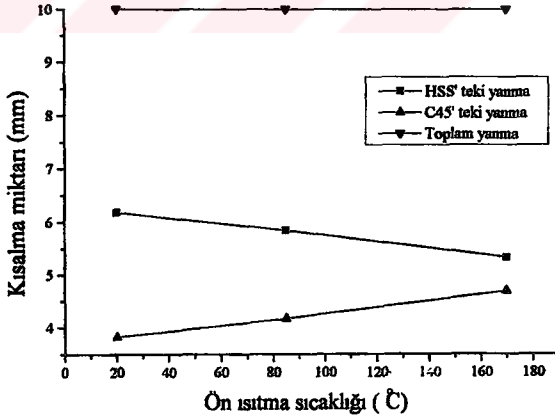
Şekil 5.7.- Sürtünme kaynaklı parçalarda sürtünme basıncına ve yığma basıncına göre kılma miktarları ($P_2 = 90$ MPa)



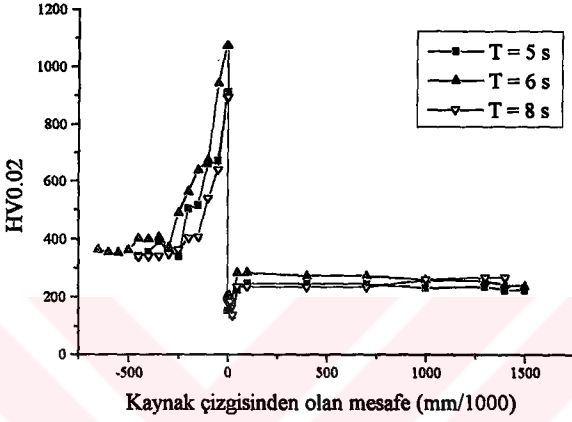
Şekil 5.8.- Sürtünme kaynaklı parçalarda sürtünme basıncına ve yığma basıncına göre kılma miktarları ($P_2 = 110$ MPa)



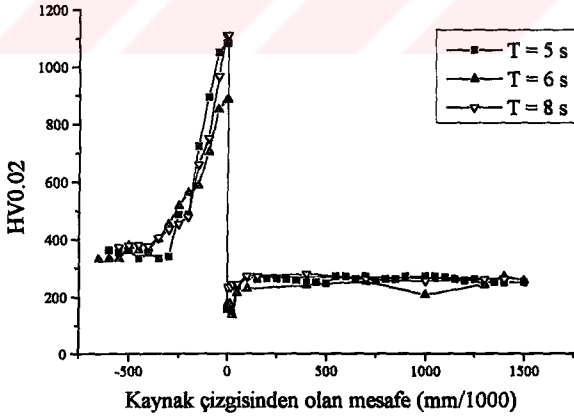
Şekil 5.9.- Sürtünme kaynaklı parçalarda sürtünme basıncına ve yığıma basıncına göre kısalma miktarları ($P_2 = 120$ MPa)



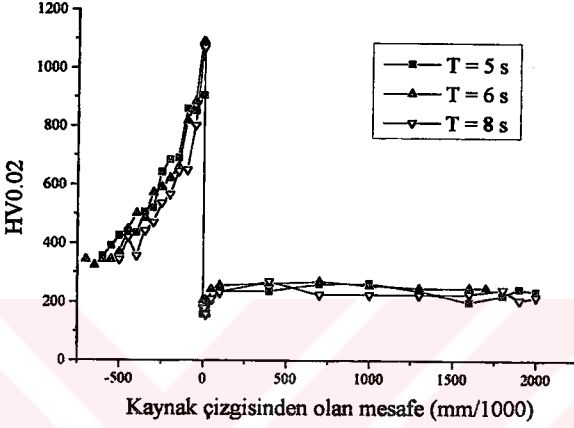
Şekil 5.10.- Yakma alın kaynaklı parçalarda ön ısıtma sıcaklığının kısalma miktarına etkisi



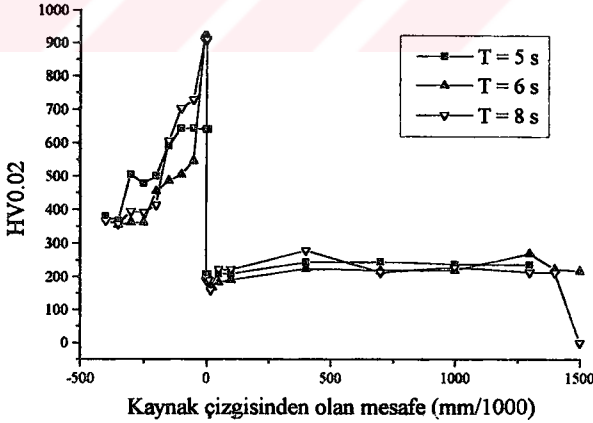
Şekil 5.12.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme süresinin etkisi ($P_1=45$ MPa, $P_2=120$ MPa)



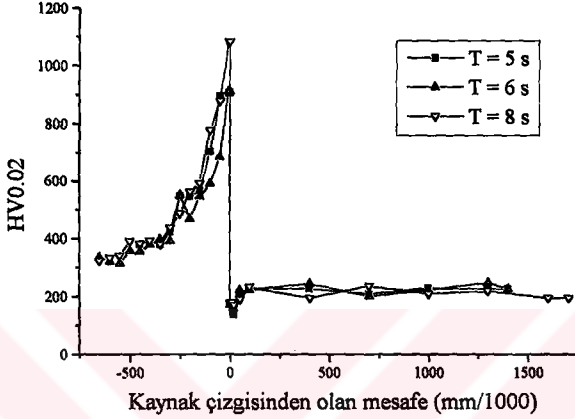
Şekil 5.11.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme süresinin etkisi ($P_1=45$ MPa, $P_2=110$ MPa)



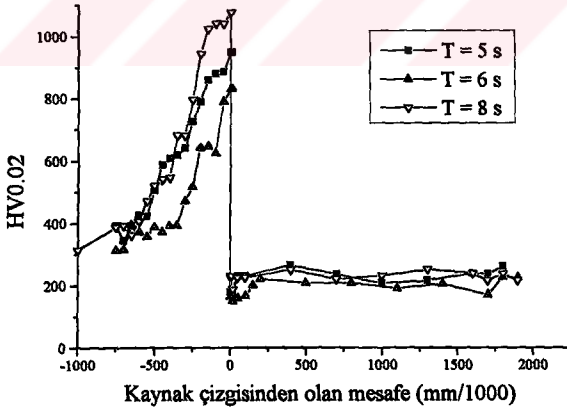
Şekil 5.13.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme süresinin etkisi ($P_1=45$ MPa, $P_2=90$ MPa)



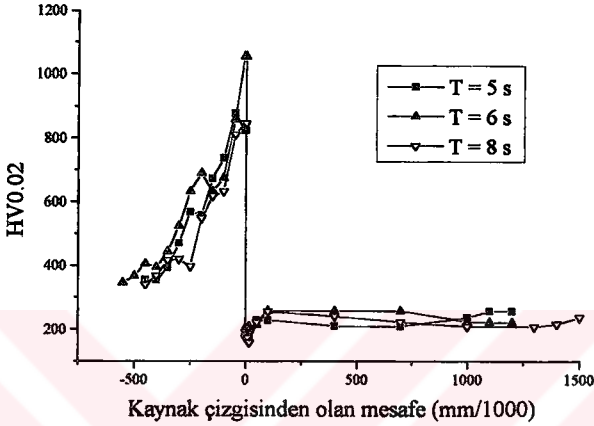
Şekil 5.14.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme süresinin etkisi ($P_1=50$ MPa, $P_2=120$ MPa)



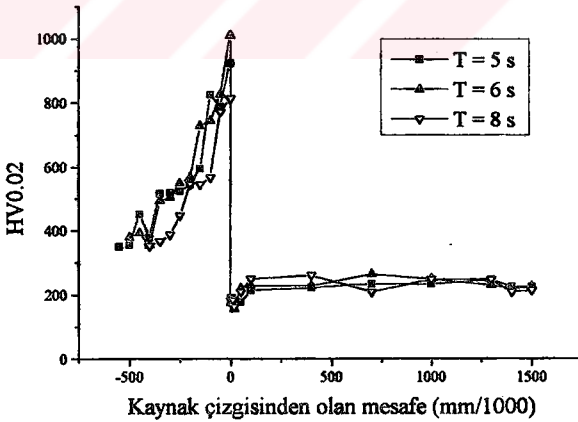
Şekil 5.15.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme süresinin etkisi ($P_1=50$ MPa, $P_2=110$ MPa)



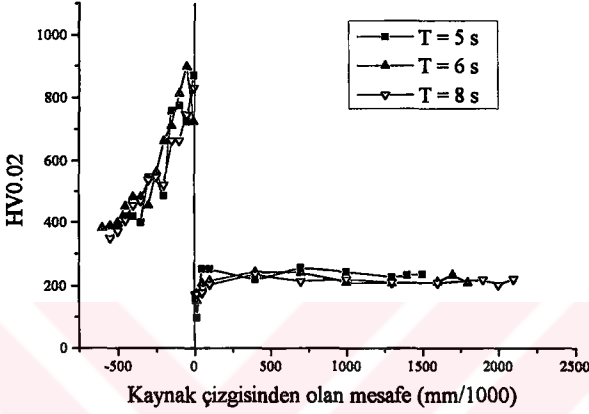
Şekil 5.16.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme süresinin etkisi ($P_1=50$ MPa, $P_2=90$ MPa)



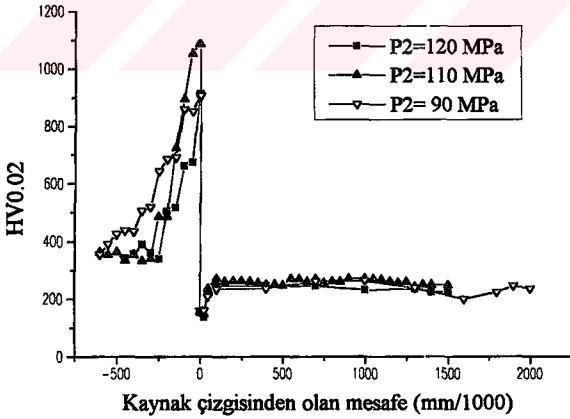
Şekil 5.17.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme süresinin etkisi ($P_1=55$ MPa, $P_2=120$ MPa)



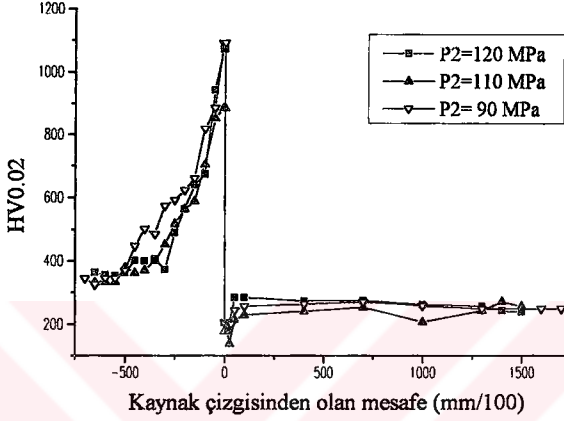
Şekil 5.18.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme süresinin etkisi ($P_1=55$ MPa, $P_2=110$ MPa)



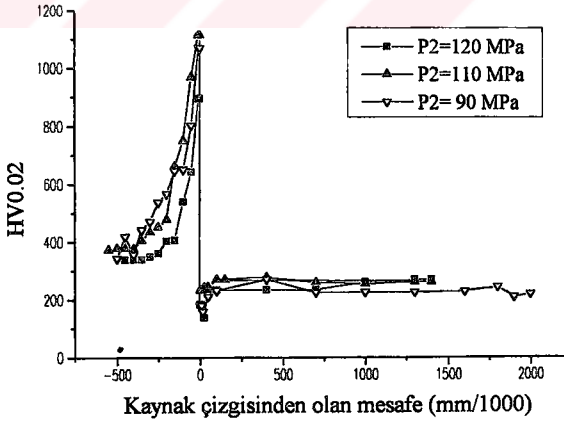
Şekil 5.19.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme süresinin etkisi ($P_1=55$ MPa, $P_2=90$ MPa)



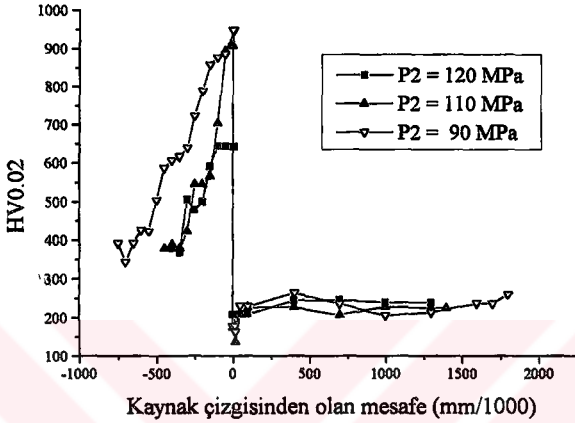
Şekil 5.20.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde yığma basıncının etkisi ($P_1=45$ MPa, $T_1=5$ s)



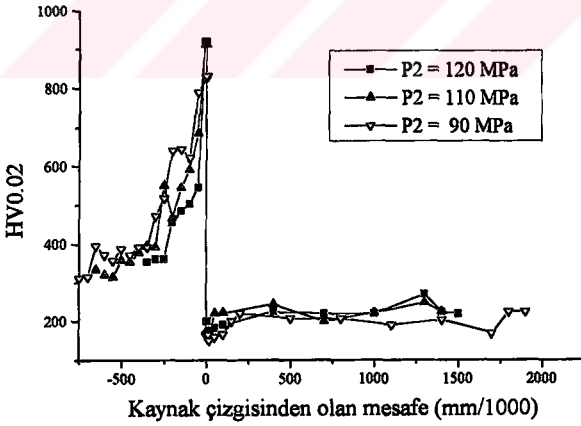
Şekil 5.21.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde yağma basıncının etkisietkisi ($P_1=45$ MPa, $T_1=6$ s)



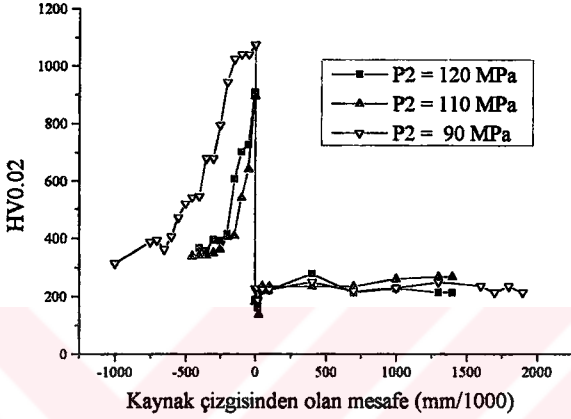
Şekil 5.22.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde yağma basıncının etkisi ($P_1=45$ MPa, $T_1=8$ s)



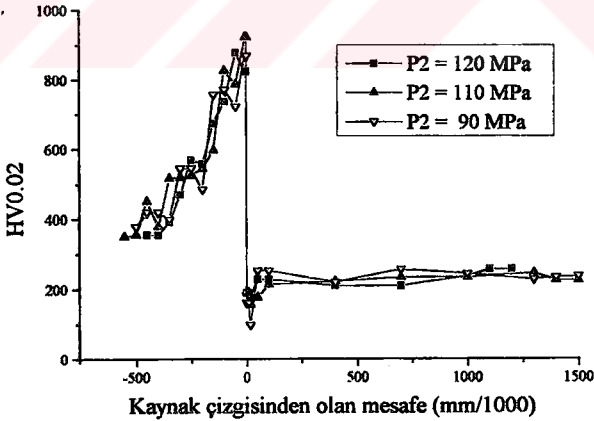
Şekil 5.23.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde yığıma basıncının etkisi ($P_1=50$ MPa, $T_1=5$ s)



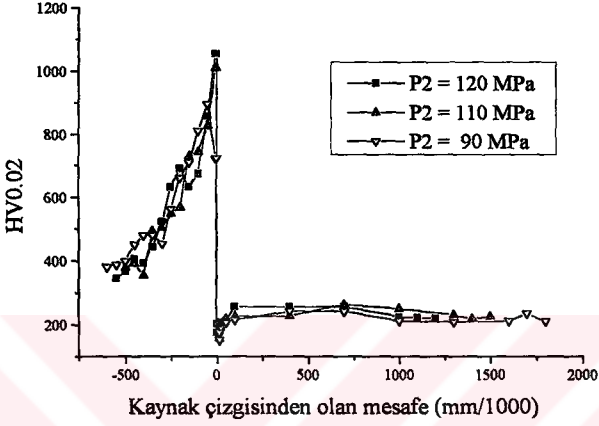
Şekil 5.24.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde yığıma basıncının etkisi ($P_1=50$ MPa, $T_1=6$ s)



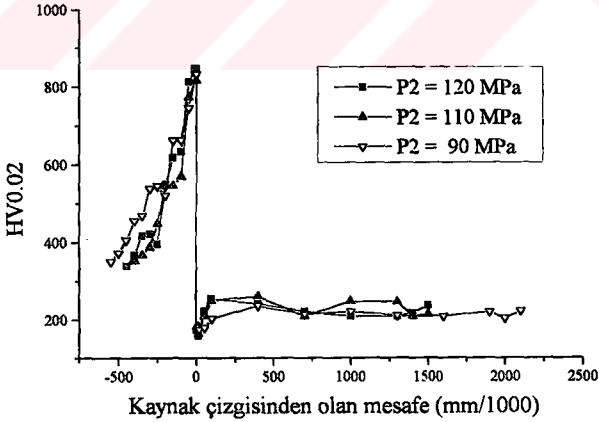
Şekil 5.25.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde yığıma basıncının etkisi ($P_1=50$ MPa, $T_1=8$ s)



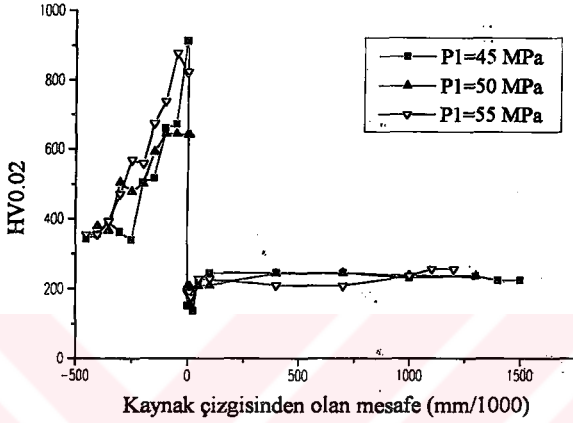
Şekil 5.26.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde yığıma basıncının etkisi ($P_1=55$ MPa, $T_1=5$ s)



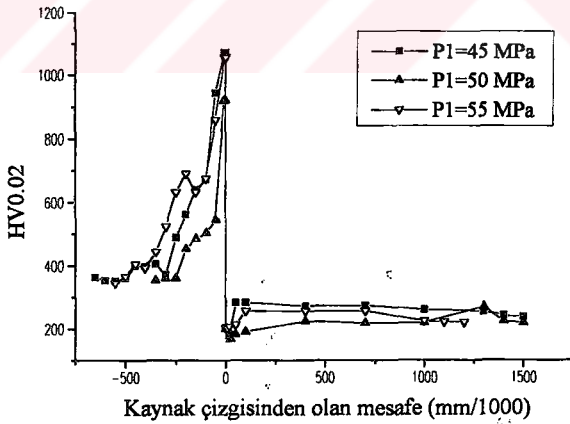
Şekil 5.27.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde yığma basıncının etkisi ($P_1=55$ MPa, $T_1=6$ s)



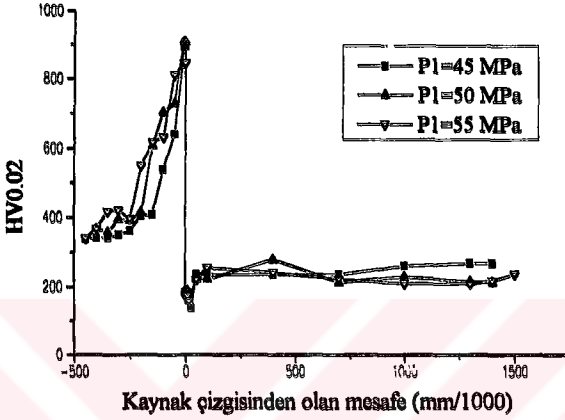
Şekil 5.28.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde yığma basıncının etkisi ($P_1=55$ MPa, $T_1=8$ s)



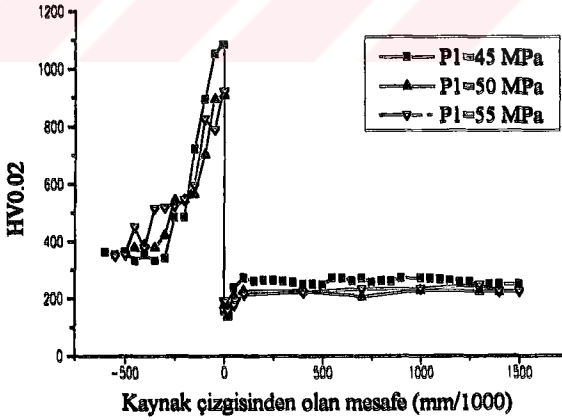
Şekil 5.29.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme basıncının etkisi ($P_2=120$ MPa, $T_1=5$ s)



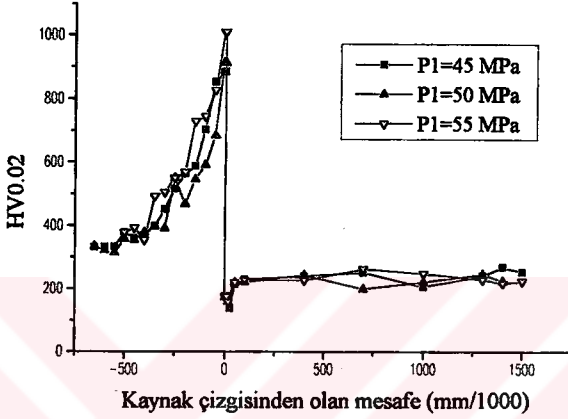
Şekil 5.29.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme basıncının etkisi ($P_2=120$ MPa, $T_1=6$ s)



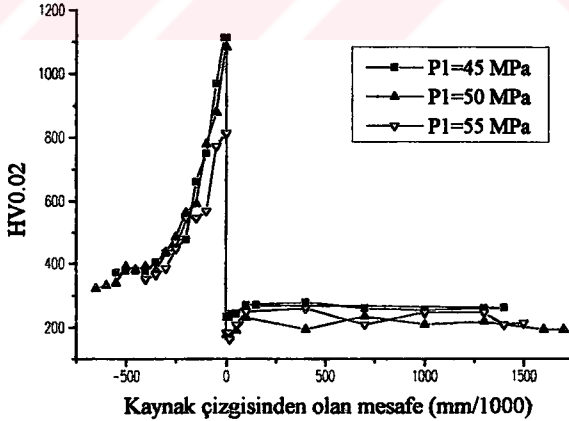
Şekil 5.30.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme basıncının etkisi ($P_2=120$ MPa, $T_1=8$ s)



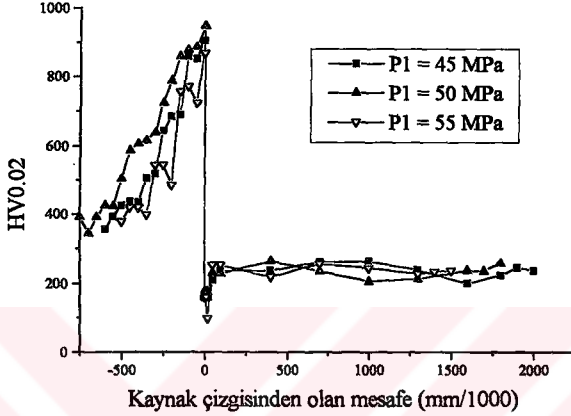
Şekil 5.31.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme basıncının etkisi ($P_2=110$ MPa, $T_1=5$ s)



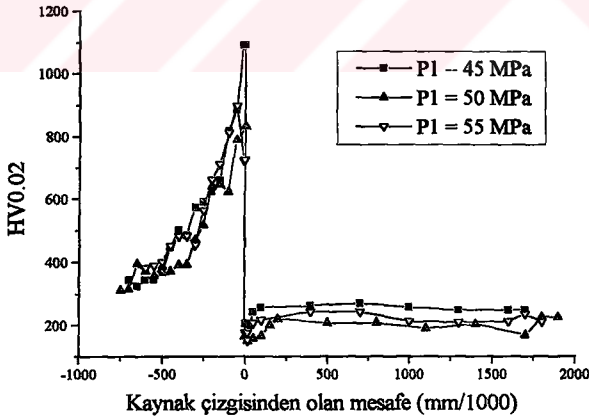
Şekil 5.32.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme basıncının etkisi ($P_2=110$ MPa, $T_1=6$ s)



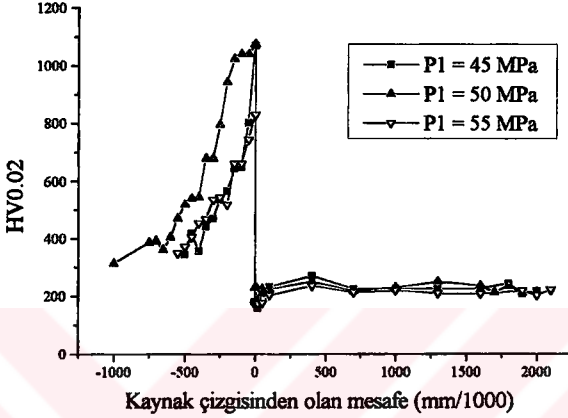
Şekil 5.33.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme basıncının etkisi ($P_2=110$ MPa, $T_1=8$ s)



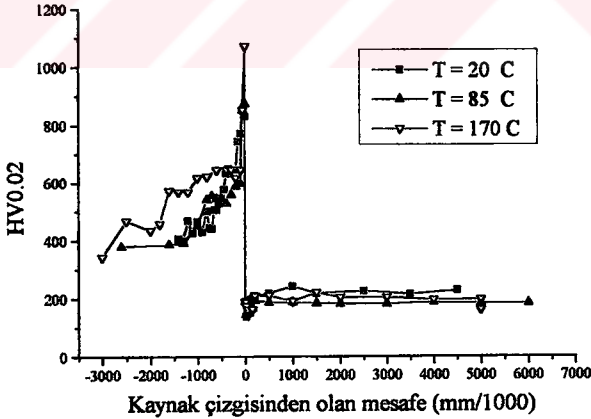
Şekil 5.34.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme basıncının etkisi ($P_2=90$ MPa, $T_1=5$ s)



Şekil 5.35.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme basıncının etkisi ($P_2=90$ MPa, $T_1=6$ s)



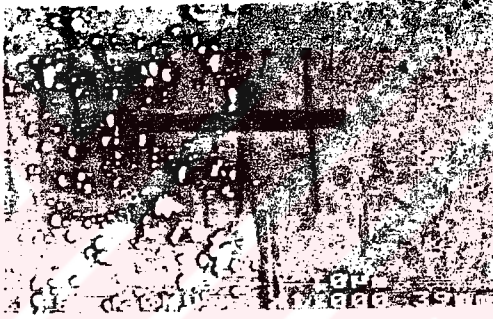
Şekil 5.36.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, sertlik profili üzerinde sürtünme basıncının etkisi ($P_2=90$ MPa, $T_1=8$ s)



Şekil 5.37.- Yakma alın kaynaklı bağlantılarda, ön ısıtma sıcaklığının sertlik profiline etkisi



(a)

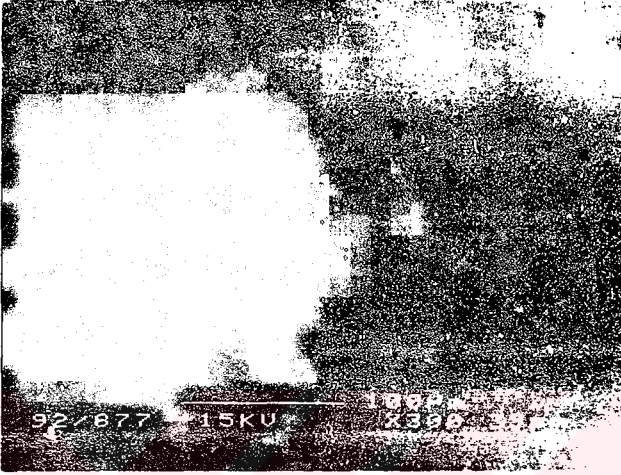


(b)



(c)

Şekil 5.38.- SA9 ve Y1 nolu numuneler için, kaynak ara bölgesinde EDX analizi hattı, a: SA9 nolu numunede 1. hat analizi, b: SA9 nolu numunede 2. hat analizi, c: Y1 nolu numune

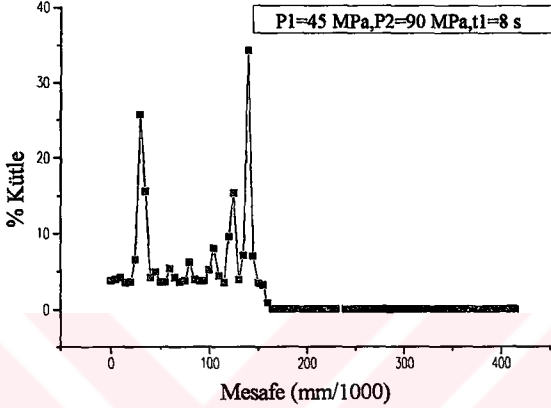


(a)

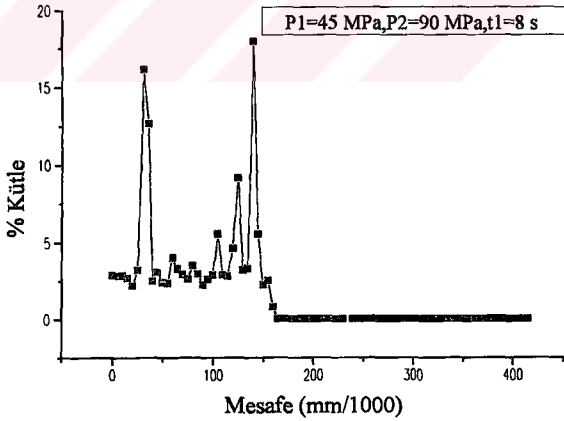


(b)

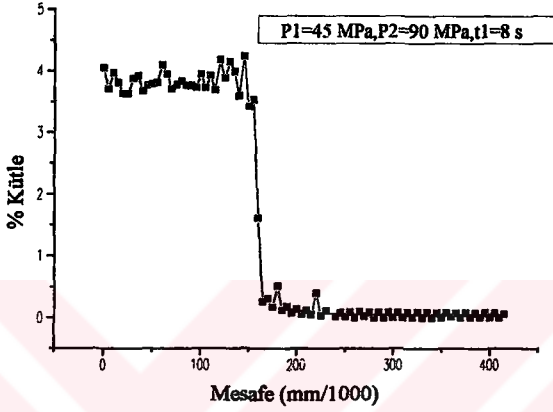
Şekil 5.39.- SA9 ve Y1 nolu numuneler için, kaynak ara bölgesinde WDX analizi hattı, a: SA9 nolu numune, b: Y1 nolu numune



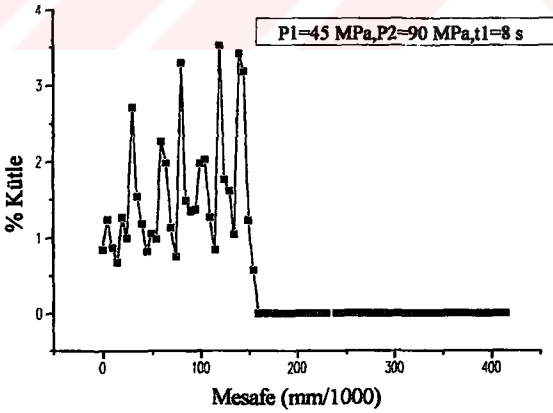
Şekil 5.40.a.-Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre kütesel olarak % W değişimi



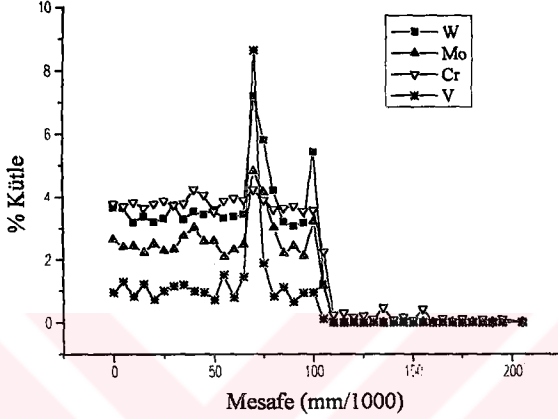
Şekil 5.40.b.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre kütesel olarak % Mo değişimi



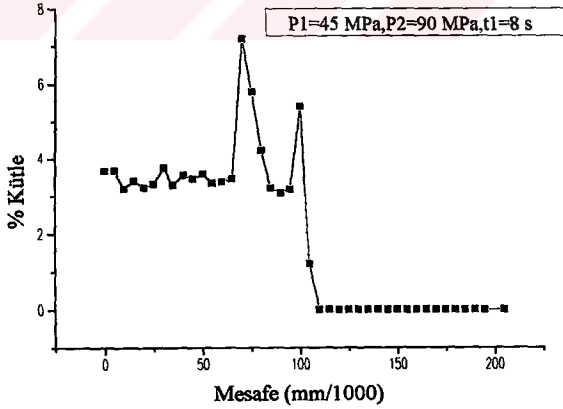
Şekil 5.40.c.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre kütsel olarak % Cr değışimi



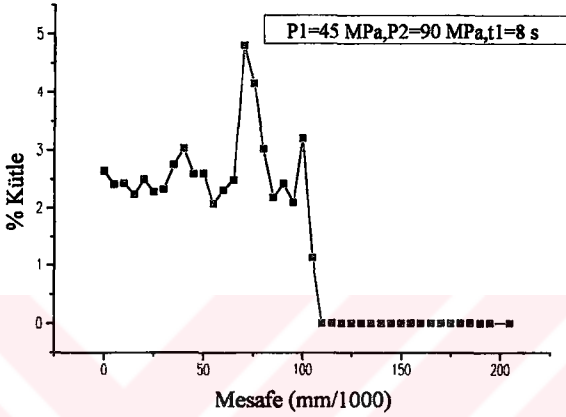
Şekil 5.40.d.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre kütsel olarak % V değışimi



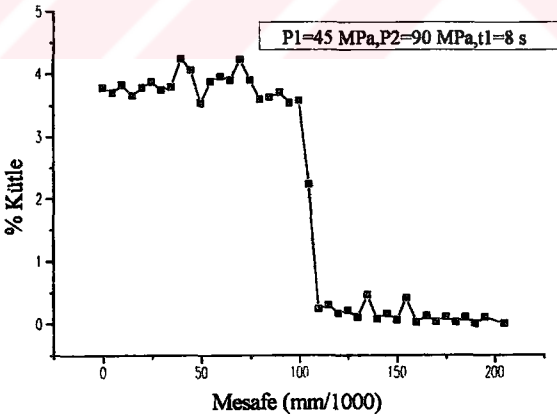
Şekil 5.41.a.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda, SA9 nolu numune için (P1=45 MPa, P2=90 MPa, t1=8 s), EDX analizine göre kütsel olarak % W, Mo, Cr, V değişimi (2. analiz)



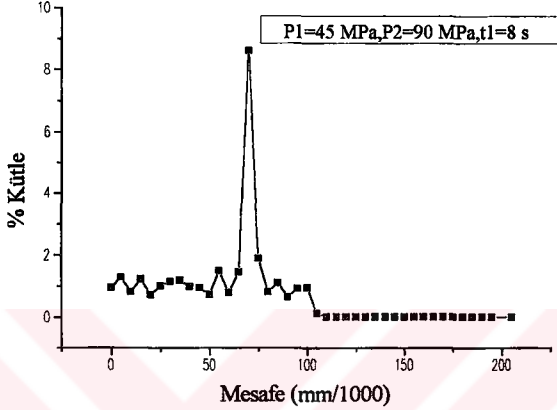
Şekil 5.41.b.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre kütsel olarak % W değişimi (2. analiz)



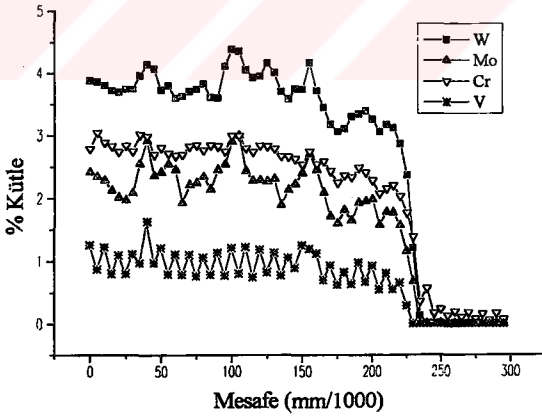
Şekil 5.41.c.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre kütle olarak % Mo değişimi (2. analiz)



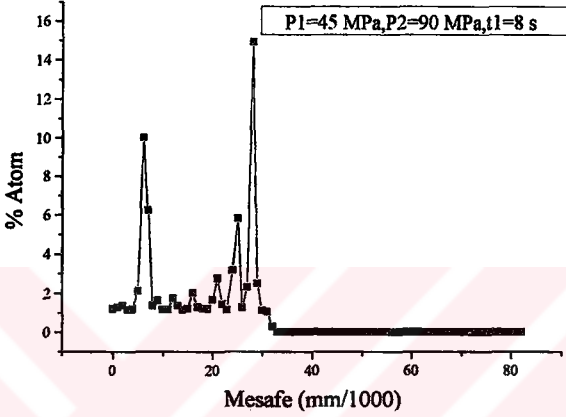
Şekil 5.41.d.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre kütle olarak % Cr değişimi (2. analiz)



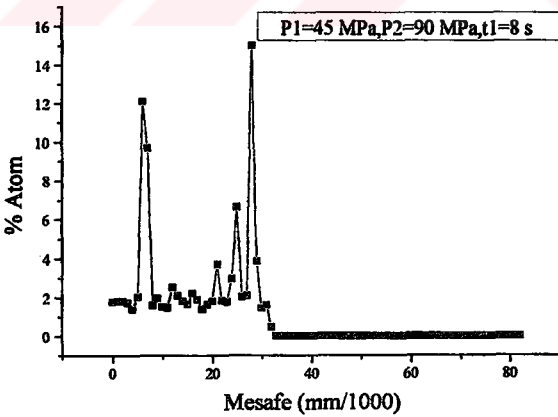
Şekil 5.41.e.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre kütle olarak % V değişimi (2. analiz)



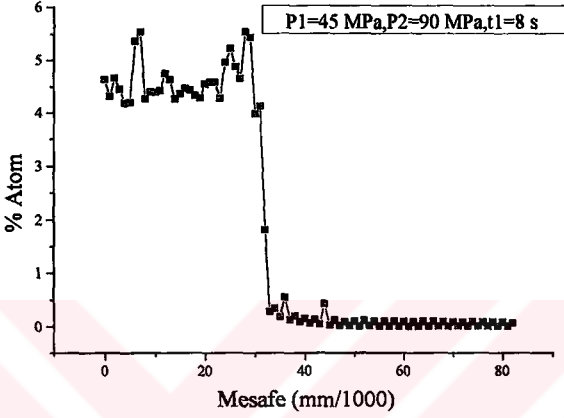
Şekil 5.42.- Yakma alın kaynaklı numunelerde, Y1 nolu numune için (T= 20 °C), EDX analizine göre kütle olarak % W, Mo, Cr, V değişimi



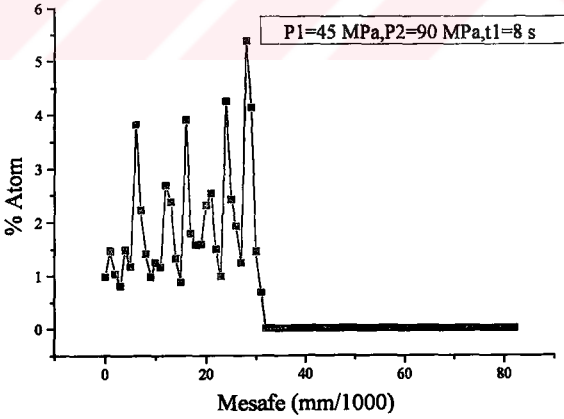
Şekil 5.43.a.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre atomsal olarak % W değişimi



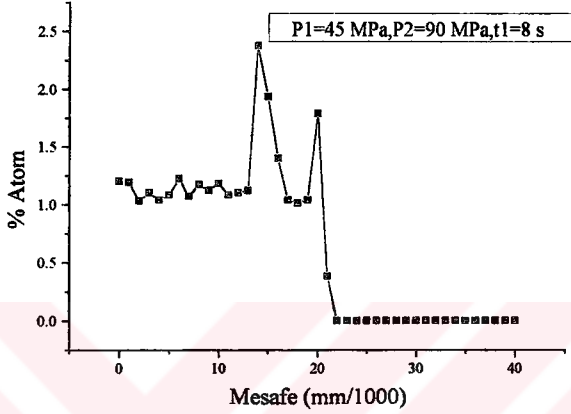
Şekil 5.43.b.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre atomsal olarak % Mo değişimi



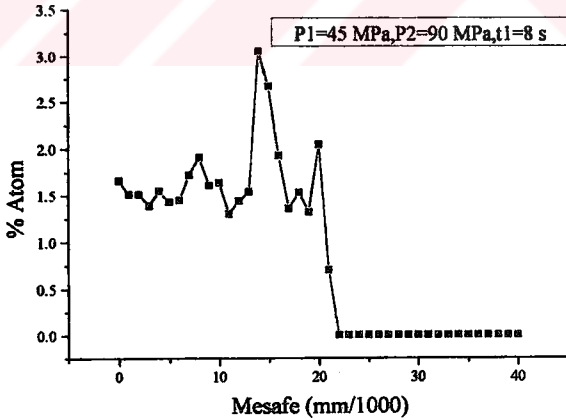
Şekil 5.43.c.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre atomsal olarak % Cr değişimi



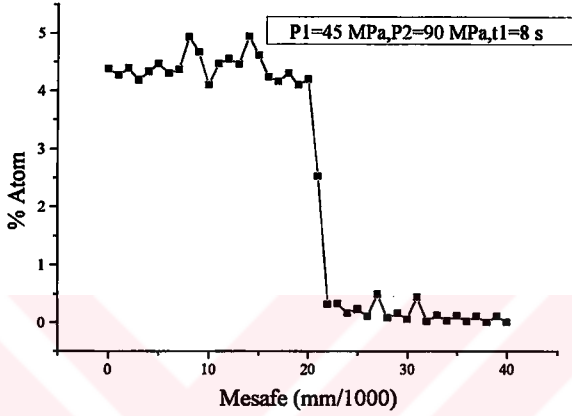
Şekil 5.43.d.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için, EDX analizine göre atomsal olarak % V değişimi



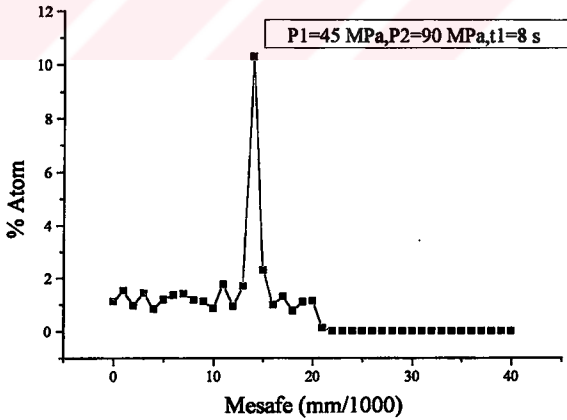
Şekil 5.44.a.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için EDX analizine göre atomsal olarak % W değişimi (2. analiz)



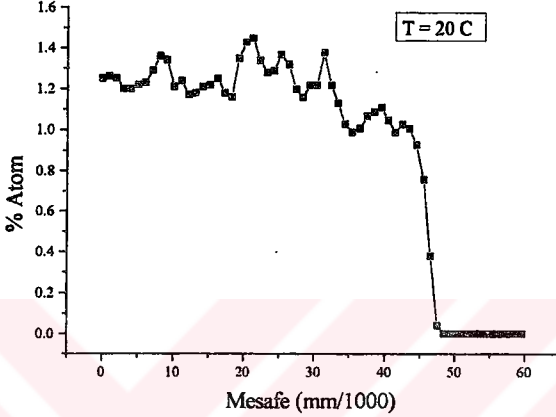
Şekil 5.44.b.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için EDX analizine göre atomsal olarak % Mo değişimi (2. analiz)



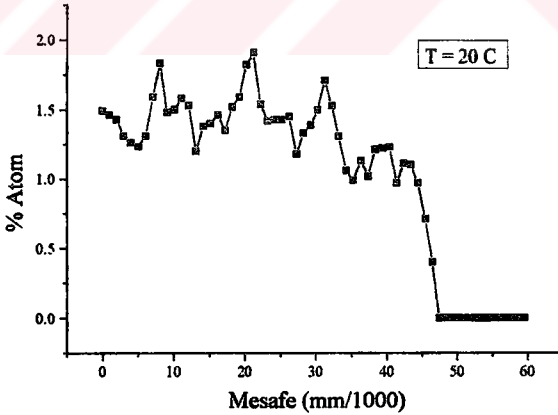
Şekil 5.44.c.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için EDX analizine göre atomsal olarak % Cr değişimi (2. analiz)



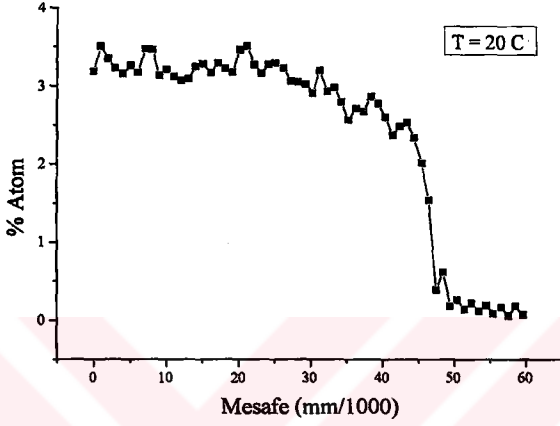
Şekil 5.44.d.- Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için EDX analizine göre atomsal olarak % V değişimi (2. analiz)



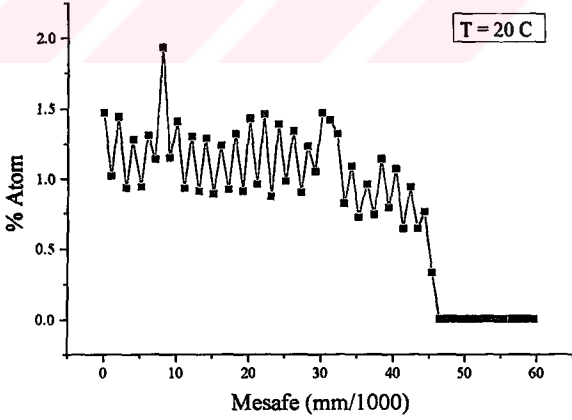
Şekil 5.45.a.- Yakma alın kaynaklı numunelerde, Y1 nolu numune için EDX analizine göre atomsal olarak % W değişimi



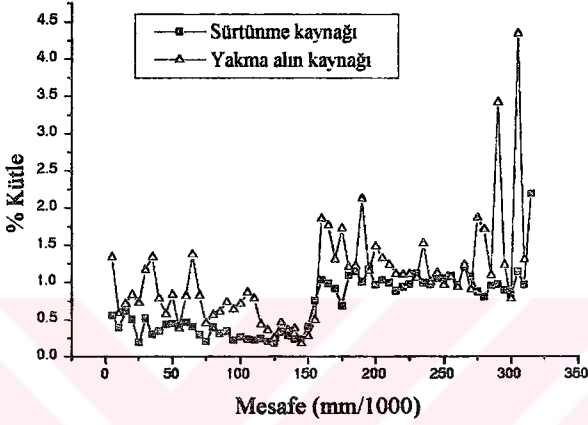
Şekil 5.45.b.- Yakma alın kaynaklı numunelerde, Y1 nolu numune için EDX analizine göre atomsal olarak % Mo değişimi



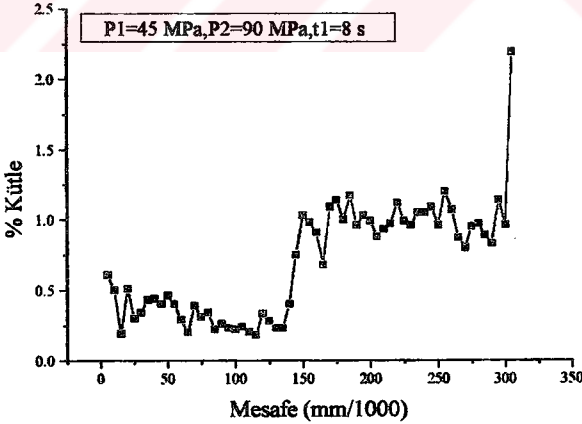
Şekil 5.45.c.- Yakma alın kaynaklı numunelerde, Y1 nolu numune için EDX analizine göre atomsal olarak % Cr değişimi



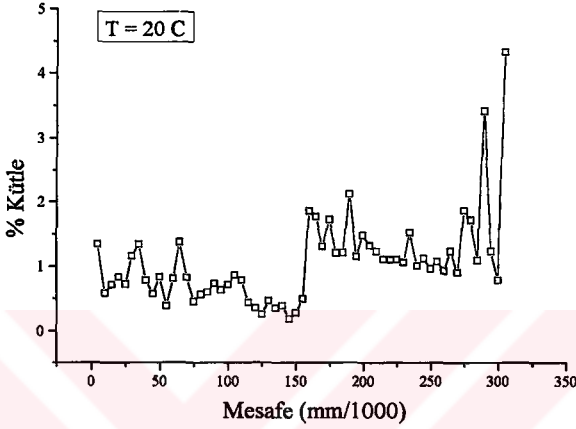
Şekil 5.45.d.- Yakma alın kaynaklı numunelerde, Y1 nolu numune için EDX analizine göre atomsal olarak % V değişimi



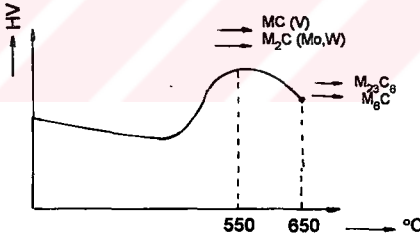
Şekil 5.46.a.-Yakma alın ve sürtünme kaynaklarında WDX analizine göre kütleli % C değişimi (SA9 ve Y1 nolu numuneler için)



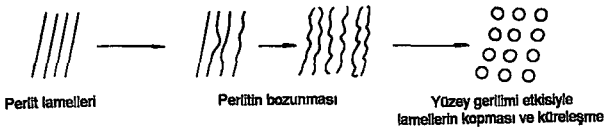
Şekil 5.46.b.-Sürtünme kaynaklı numunelerde, SA9 nolu numune için WDX analizine göre kütleli % C değişimi



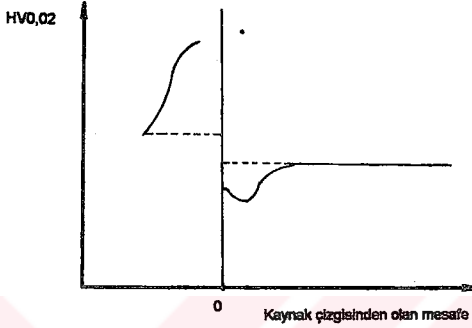
Şekil 5.46.c.-Yakma alın kaynaklı numunelerde, Y1 nolu numune için WDX analizine göre kütesel % C değişimi



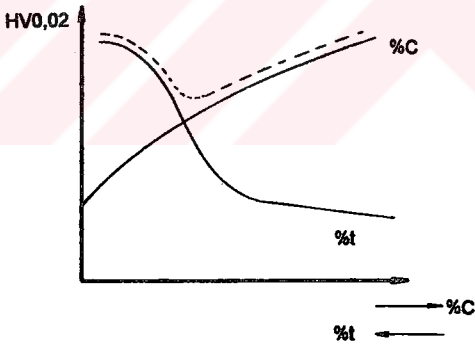
Şekil 5.47.- Yüksek hız çeliklerinde kaynak sonrası uygulanan tavlama işleminin sertlik ve karbür oluşumuna etkisi



Şekil 5.48.- Yüksek sıcaklık etkisinde perlitin küreleşme mekanizması



Şekil 5.49.- Sürtünme ve yakma alın kaynaklı numunelerde çubuk eksenini boyunca yapılan ölçümler sonucu ortaya çıkan karakteristik sertlik profili



Şekil 5.50.- Deformasyon oranı ve % C'a göre sertlik değişimi

5.5.- Sonuçlar

1.a.- Sürtünme kaynaklı parçalarda parametrelere göre yanma (aşırı ısı etkisi nedeni ile mikroyapısal bozunum ve plastik deformasyon) miktarlarındaki değişim genelde doğrusal bir değişim göstermektedir.

b.- Değişken tutulan parametrelerden eğimi en büyük doğruları sürtünme süresi verirken, 1 s. gibi çok kısa süre uygulanan yığma basıncı değerleri eğimi en düşük doğruları vermiştir. Dolayısı ile yanma miktarları üzerindeki etkili parametre sürtünme süresi olmuştur.

c.- Bağlantıdaki yanma miktarının önemli bir kısmı C45 çeliği arafında oluşmakta, HSS tarafında ise oldukça düşük miktarlarda bir yanma oluşmaktadır.

d.- Yakma alın kaynaklı bağlantılarda, sabit tutulan toplam yanma miktarı için HSS tarafında maksimum 170 °C ye kadar öntav uygulanabilmiş ve HSS tarafında yaklaşık 1 mm. civarında bir malzeme kazancı elde edilmiştir. HSS tarafındaki bu malzeme kazancı ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak doğrusal bir değişim göstermektedir.

2.- Makrokesit fotoğrafları incelendiğinde HSS tarafına kıyasla C45 tarafında önemli miktarlarda deformasyon gözlenmiştir. Yapılan ölçümlerde deformasyon miktarları üzerinde her üç parametrenin de çok etkili olduğu belirlenmiştir. Yakma alın kaynaklı numunelerde HSS tarafının C45 tarafına kıyasla daha fazla deforme olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan ön ısıtma sıcaklıklarının makrofotoğraflar üzerinde önemli bir etkisi tesbit edilememiştir. Bütün numunelerde, bağlantı bölgesinde, dağlamadan etkilenmeyen parlak bir şerit bölgesi gözlenmiştir.

3.- Sürtünme kaynaklı parçalarda, ışık mikroskobu ve SEM incelemesinde,

a.- Her iki bölgede de erimeye dair bir delil bulunamamıştır. HSS tarafında ise ara bölgedeki iri karbürlerin etkisi ile bir saçaklanma görülmektedir

b.- Kaynak öncesi MC ve M_6C karbürleri içeren HSS tarafında, kaynak ve bunu takiben uygulanan ısıtma işlem sonrasında yapı, yoğun dislokasyon içeren ferritik bir matris içinde birincil $MC-M_6C$ karbürleri ve bunların arasında yoğun 4-5 nm'lik $MC-M_2C$ ve 30-40 nm'lik $M_{23}C_6-M_6C$ karbürleri içerir. Böylesi bir yapı da çökelti sertleşmesi nedeni ile en yüksek seviyede sertlik değerleri verir.

c.- C45 tarafında hemen kaynağa bitişik kısımda hemen hemen saf ferrite yakın bir dekarbürize bölge gözlenmektedir. Ana malzemeden dekarbürize bölgeye doğru gidildiğinde ise perlitin sıcaklık etkisi ile bozunup küreleşmeye başladığı görülür. Ancak mikroyapı incelemeleri ve C45 tarafı sertlik profili bu küreleşmenin tam anlamı ile gerçekleşmediğini göstermektedir.

4.- Yakma alın kaynaklı parçalarda ışık mikroskobu ve SEM incelemesinde;

a.- Kaynak bölgesinde erime delilleri ve katılaşma sonrasında iç içe bir mekanik kenetlenme görülmektedir.

b.- Kaynağın HSS tarafında yüksek temperlenmiş plaka tipi martenzit ve artık ostenit ile birlikte tane sınırlarında kısmi erimeden dolayı M_6C tipi ledeburitik (otektik) yapı gözlenmektedir. Plaka tipi martenzit yapıda ikizlenmelerin olduğu yoğun enerji bölgelerinde 200-300 nm'lik M_3C tipi iri karbür çökeltileri bulunmaktadır. Ayrıca yapıda çok az birincil MC ve M_6C karbürleri yanında 650 °C deki tavlama nedeniyle 4-5 nm'lik M_2C -MC ile 30-40 nm'lik $M_{23}C_6$ - M_6C karbürleri bulunmaktadır.

c.- C45 tarafında sürtünme kaynağına kıyasla daha geniş bir dekarbürize bölge görülmektedir. Bu taraftaki yapı Widmanstätten tipi ferrittir. Yakma alın kaynaklı bağlantılarda da ana malzeme dekarbürize bölge arasında, perlitik yapıda, kısmi bir küreleşme görülmektedir.

5.- Gerek Sürtünme kaynaklı ve gerekse de yakma alın kaynaklı bütün numunelerde sertlik dağılım eğrileri benzer bir karakteristik göstermektedir. Diyagram incelendiğinde sertlik dağılım eğrisinin HSS tarafında oldukça keskin bir artış gösterdiği, C45 tarafında ise eğrinin önce bir düşüş gösterip bir minimumdan geçtikten sonra genelde aynı seviyede gittiği görülmektedir. Sertlik eğrisinin C45 tarafındaki dekarbürize bölge içinde kaynak çizgisine hemen bitişik kısma nazaran yaklaşık 16-25 µm mesafede bir minimumdan geçmesi, kaynak çizgisinin hemen yanındaki bölgelerin deformasyon sonucu sertleşmesinden kaynaklanmaktadır.

6.a.- Artan süre ve basınçların ara bölgedeki kaynaktan etkilenmiş bölgeyi dışarı sürerek bölgeyi daraltmasından dolayı, genelde sürtünme süresinin, sürtünme basıncının ve yağma basıncının artması sertlik eğrisinin eğimini artmaya teşvik etmektedir.

b.- Yakma alın kaynaklı bağlantıların sertlik profili incelendiğinde, yakma alın kaynaklı bağlantıların sertlik profili eğrilerinin daha düşük eğimli olduğu, ön ısıtma sıcaklıklarının ise bu durumu teşvik ettiği gözlenmiştir.

7.a.- HSS tarafı için genelde artan sürtünme süresi daha yüksek bir sertlik değeri vermiştir. Yığıma basıçlarındaki değişim maksimum sertliği pek etkilememektedir. Yığıma basıncının 110 MPa değerinden itibaren maksimum sertlikte hafif bir düşme eğilimi gözlenmektedir. Sürtünme basıncındaki artış ise genelde maksimum sertlikte bir düşüş etkisi göstermektedir. C45 tarafı için parametrelerin maksimum sertlik üzerinde belirgin bir etkisi gözlenememiştir.

b.- Yakma alın kaynaklı bağlantılarda, artan ön ısıtma sıcaklığı HSS tarafı için maksimum sertlikte bariz bir artış meydana getirmiştir. Yine C45 tarafında bariz bir etki gözlenememiştir.

8.a.- Sürtünme ve yakma alın kaynaklı numunelerde seçilen iki numune (SA9 ve Y1) tam kantitatif EDX analizi uygulanmıştır. Sonuçta sürtünme kaynaklı parçalar için sadece Cr da hissedilir bir difüzyon gözlenirken, yakma alın kaynaklı bağlantılarda Cr da daha kuvvetli bir difüzyon ve diğer elementlerde ise çok küçük miktarlarda bir difüzyon gözlenmiştir.

b.- Elektron mikroskobunda ara bölgedeki C difüzyonunu gözlemek amacı ile uygulanan WDX analizinde her iki kaynak yönteminde de ara bölgenin C45 tarafında bir dekarbürize bölgeye rastlanılmıştır. Ara bölgenin yüksek hız çeliği tarafı incelendiğinde ise her iki kaynak yönteminde de (yakma alın kaynaklı bağlantılarda daha bariz) bir karbon artışı gözlenmiştir. Ayrıca taramalı elektron mikroskobunda hem yakma alın kaynaklı ve hemde sürtünme kaynaklı numunelerin ara bölgeleri ayrıntılı olarak incelendiğinde her iki yönteminde de kaynak çizgisi boyunca çok dar bir alanda (1-2 μm) (yakma alın kaynaklı numunelerde bu alan daha dar) 4-5 nm'lik çok küçük karbür çökeltilerine rastlanılmıştır. HSS tarafındaki aşırı sertlik artışı bu çökeltilerden kaynaklanmaktadır. Bu çökeltilerin kaynak sırasında oluşabilecek CO veya CO₂ gazı ile reaksiyon neticesinde oksit içermeleri de mümkündür Dolayısı ile bu çökeltilerin oluşumunun Auger Spektroskopisi gibi ileri tekniklerle incelenerek hassas bir şekilde belirlenmesi gerekir.

9.- Sürtünme kaynağı ile mukayese edildiğinde, yakma alın kaynağında ara bölgenin C45 çeliği tarafındaki dekarbürize bölge kalınlığının daha geniş olduğu, ara bölgenin HSS

tarafında daha fazla bir karbon artışı ve ara bölgenin C45 çeliği tarafına doğru daha fazla bir Cr difüzyonu tespit edilmiştir. Dolayısıyla yakma alın kaynağında problemli olan kaynak ara bölgesi daha karışık ve geniştir. Ayrıca, 650 °C de yapılan tavlama sonrasında sürtünme kaynaklı bağlantılar için HSS tarafında martenzit yapısı bulunmazken, yakma alın kaynaklı bağlantılarda ara bölgenin HSS tarafında bağlantı mukavemetini ve tokluğunu olumsuz etkileyecek aşırı tane büyümesi, plaka tipi martenzit ve artık ostenit tespit edilmiştir. Bunun yanısıra yakma alın kaynağında kısmi erimeler sonucu tane sınırlarında oluşan M_6C tipi ledeburitik çökeltiler de bağlantının mukavemetini, özellikle tokluğunu olumsuz etkilemektedir. Sonuç olarak yapılan mikroyapı incelemeleri sürtünme kaynağının bu çelik çiftinin kaynağı için daha uygun olduğunu göstermektedir.



KAYNAKÇA

- 1.- Anık, S., 1983, Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergör Matbaası, İstanbul: 196-207, 259-269.
- 2.- Bahrani, A.S., Crossland, B., May 1976, Friction welding, CME, 61-66.
- 3.- Bakshi, O.A., et al, 1990, Growth of fatigue cracks in mechanically heterogeneous welded joints, Welding International, 4 (1), 50-54.
- 4.- Bargel, H.J., Schulze G., Çev.: Güleç, Ş., Aran, A., 1988, Malzeme Bilgisi Cilt , MBEAE Matbaası, Gebze: 110-121.
- 5.- Begg, G.H.C., Humphreys, B.A., July 1981, Rotational-friction welding, Engineering, Tech. file No: 91, 1-4.
- 6.- Birchfield, J., March 1980, Friction welding-ready for the big time, Weld. Design and Fab., 106-108.
- 7.- Bolotov, Yu.G., 1972, The residual stress in friction welded joints which have been turned for strengthening purposes, Automatic Weld., 22-26.
- 8.- Bol'shokov, M.V., et al, 1972, The vacuum friction welding of high-melting and high-temperature alloys, Automatic Weld., 60-62.
- 9.- Chernenko, I.A., et al, 1984, Inertia friction welding R6M5 steel to grade steel, Automatic Weld., 52-54.
- 10.- Civelekoğlu, F., 1971, Yüksek hız çeliği (S-6-5-2) ile alaşımsız karbon çeliği (Ck 60) çubukların yakma alın kaynağı ile birleştirilmesinde bazı kaynak parametrelerinin ve kaynak bölgesinin etüdü, Doçentlik Tezi, İTÜ, İstanbul.
- 11.- Darby, L.G., Sep. 1982, Developments in friction welding monitoring, CME Welding Supplement, 37-39.

- 12.- Dietmar, M., et al, 1991, Einflub von inneren fehlern auf das dynamische festigkeitsverhalten von reibschweissverbindungen, Schweissen und Schneiden, 43, Heft 1, 26-28.
- 13.- Dilthey, U., et al, 1993, Untersuchungen zur eignung des reibschweissens zum verbinden von thermisch und thermochemisch behandelten bauteilkomponenten aus stahl, Schweissen und Schneiden, 45, heft 4, 194-197.
- 14.- Dobrovidov, A.N., et al, 1975, Selection of optimum conditions for the friction welding of high-speed steel R6M5 to carbon steel 45, Weld. Prod., 22-26 .
- 15.- Dobrovidov, A.N., et al, 1975, Carbon distribution in the weld zone of cutting tools, Met. Sci. and Heat Treat., 787-789
- 16.- 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 Institute, Abington Hall, Cambridge: 25-33.
- 17.- Duffin, F.D., Bahrani, A.S., 1973, Frictional behaviour of mild steel of friction welding, Wear, 53-73.
- 18.- Duffin, F.D., Bahrani, A.S., 1973, Friction welding of mild steel: the effects of varying the value of deceleration, Met. Const. and British Weld. J., 125-132
- 19.- Duffin, F.D., Bahrani, A.S., June 1976, The mechanics of friction welding mild steel, Met. Const., 267-271.
- 20.- Dunkerton, S.B., Aug. 1986, Toughness properties of friction welds in steels, Weld. J., 193s-201s.
- 21.- Dziubinski, J., 1991, Fatigue failure criterion based on plastic strain energy density applied to welds, Int. J. Fatigue, 223-226.
- 22.- Eberhard, J., et al, July 1983, Friction weld ductility and toughness as influenced by inclusion morphology, Weld. J., 171s-178s.

- 23.- Egorov, V.R., et al, Jan. 1985, Improving the method of manufacturing welded cutting tools, *Weld. Prod.*, 27-28
- 24.- Egorov, V.I., et al, Aug. 1983, Inertia friction welding high speed tool steels to structural steels, *Weld. Prod.*, 19-22
- 25.- Eichhorn, F., 1973, Stand und entwicklungstendenzen der sonderschweissverfahren, *Schweissen und Schneiden*, 224-227.
- 26.- Ellis, C.R.G., Aug. 1975, Recent industrial developments in friction welding, *Weld. J.*, 582-589
- 27.- Ellis, C.R.G., 1976, Friction welding: where industry uses it, *Weld. Design and Fab.*, 78-81.
- 28.- Ellis, C.R.G., May 1977, Friction welding, some recent applications of friction welding, *Weld. and Metal Fab.*, 207-213.
- 29.- Fomichev, N.I., 1980, The friction welding of new high speed tool steels to structural steels, *Weld. Prod.*, 35-38.
- 30.- 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 Metallographie*, 197-211.
- 31.- Ganowski, F.N., May 1973, Practical considerations for friction welding, *Weld. Eng.*, 40-44.
- 32.- Ganowski, F.N., Aug. 1973, Friction welding dissimilar metals, *Weld. Eng.*, 14-15.
- 33.- Gilmour, R.S., May 1974, Friction welding stud shear connectors to steel beams, *Met. Const. and British Weld. J.*, 150-152.
- 34.- Grünauer, H., 1983, Anwendungen des reibschweissens, *Werkstatt und Betrieb*, 159-161.

- 35.-Grünauer, H., 1984, Reibschweissen auf einer senkrechten reibschweissmaschine, *Z. Ind. Fertig.*, 597-600.
- 36.- Healy, J.J., Sept. 1975, Analysis of frictional phenomena in friction welding of mild steel, *Wear*, 265-278.
- 37.-Imshennik, K.P., 1973, Heating in friction welding, *Weld. Prod.*, 76-79.
- 38.- Imshennik, K.P., Fomichev, N.I., 1974, Characteristic of the upset process in the friction welding of high-speed tool steel to structural steel, *Weld. Prod.*, 57-61.
- 39.- Ishibashi, A., et al, June 1983, Studies on friction welding of carbon and alloy steels, *Bulletin of the JSME*, 1080-1087.
- 40.-Jenning, P., 1971, Some properties of dissimilar metal joints made by friction welding, *Advances in welding processes, Solid phase joining processes, proceeding of the conference, The Welding Institute, Abington Hall, Cambridge: 147-152.*
- 41.-Khazanov, I.O., Fomin, N.I., 1990, Friction welding in the temperature range of superplasticity of high-speed tool steel, *Weld. Int.*, 633-634.
- 42.- Khazanov, I.O., Fomin, N.I., June 1990, Structure and properties of joints of steels R6M5 and 45 obtained by friction welding, *Met. Sci. and Heat Treat.*, 461-465
- 43.- Kinley, W., Oct. 1979, Inertia welding: simple in principle and application, *Weld. and Met. Fab.*, 585- 589.
- 44.- Kluge, D., Eckardt, U., 1986, Schweissen der werkstoffkombination pulvergeschmiedeter teile mit walzblechen, *Schweisstechnik, Berlin*, 168-169.
- 45.- Kobayashi, A., et al, July 1989, Study on the amount of upset of friction welding, *Bulletin of the JSME*, 385-390.
- 46.- Koyava, A.Sh., Chkhaidze, T.A., 1971, Friction welding in the manufacture of end tools in large-scale production, *Weld. Prod.*, 70-71.

- 47.- Kreye, H., 1982, Neuere anwendungsmöglichkeiten für das reibschweißen, Werkstatt und Betrieb, 703-706.
- 48.- Kuchuk, S.I., et al, July 1990, Flash welding of large high-strength steel pipe, Weld. J., 47-50.
- 49.- Kuchuk, S., 1990, Experience of flash-butt welding application in pipeline construction in the USSR, Proceeding of pipeline technokogj Conference, Östend, Belgium: 7-9.
- 50.-Kuruzar, D.L., June 1979, Joint design for the friction welding process, Weld. J., 31-35.
- 51.- Lippold, J.C., Odegard, B.C., Jan. 1984, Technical note: Microstructural evolution during inertia friction welding of austenitic stainless steels, Weld. J. 35s-38s.
- 52.- Lipa, M., Ellis, C.R.G., 1978, Tests for resistance and friction butt welds, Welding the World, 31- 41.
- 53.- Lucas, W., 1971, Process parameters and friction welds, Met. Const. and British, Weld. J., 293-297
- 54.- Lysov, V.S., et al, April 1983, Friction welding 38KhS steel components with a large cross section, Weld. Prod., 22-24.
- 55.- Matyazic, J., Dec. 1976, How good is friction welding, Weld. Design and Fab., 76-77.
- 56.- Mazel, A.G., 1990, Welding pipelines in the USSR, Proceeding of pipeline technokogj Conference, Östend, Belgium: 1-5.
- 57.- Murti, K.G.K., Sundaresan, S., June 1983, Parameter optimisation in friction welding dissimilar materials, Met. Const. 331-335.
- 58.- Murti, K.G.K., Sundaresan, S., Dec. 1985, Thermal behavior of austenitic-Ferritic transition joints made by friction welding, Weld. J., 327s-334s.

- 59.- Murti, K.G.K., Sundaresan, S., Aug. 1986, Structure and properties of friction welds between high-speed steel and medium-carbon steel for bimetal tools, *Mat. Sci. and Tech.* 865-870.
- 60.- N.N., 1983, Welding and brazing, *Metals handbook*, ASM, Metals Park, Ohio: 557-580, 719-728.
- 61.- N.N., 1980, Resistance and solid-state welding and other joining processes, *Welding handbook*, AWS, Miami: 58-76, 239-262.
- 62.- Neumann, A., Schober, D., 1977, Entwicklungen des reibschweissens von metallen durch RGW koordiniert, *Wiss. Z. Techn.*, 809-817.
- 63.- Nicholas, E.D., Sep. 1970, Friction welding, *Engineering*, 275-278.
- 64.- Nicholas, E.D., July 1983, Radial friction welding, *Weld J.*, 17-29.
- 65.- Nikolaev, G., Olshansky, N., 1977, *Advanced welding processes*, Mir publishers Moscow: 65-81.
- 66.- Novikova, L.N., et al, 1977, The properties of joints in steel 45 made by inertia welding, *Weld. Prod.*, 34-35.
- 67.- Peters, T.J., Nov. 1981, Ultrasonic inspection locates discontinuities in inertia welded rotating bands, *Materials Evaluation*, 1143-1146.
- 68.- Popandopula, A.N., Tkachevskaya, G.D., Feb. 1977, Structure of shiny nonfusion rings in friction welded high-speed steels, *Met. Sci. and Heat Treat.*, 152-154.
- 69.- Rajamani, G.P., et al, June 1992, Parameter optimization and properties of friction welded quenched and tempered steel, *Weld. J.*, 225s-230s.
- 70.- Reiners, G., Kreye, Heinrich, 1989, Investigations into friction of steel components with rectangular cross-section, *Weld. and Cutting*, 8-11.
- 71.- Reiners, G., Kreye, H., 1989, Untersuchungen zum reibschweissen von stahlteilen mit nicht-rotationssymmetrischem querschnitt, *Schweissen und Schneiden*, 22-25.

- 72.- Robakovskii, T., Chukhry, Ya, 1985, The fatigue strength of friction welded joints, *Automatic Welding*, 43-46.
- 73.- Ruge, J., Kohl, Christian, 1986, Anwendung einesrechners beim abbrennstumpfschweissen für prozessüberwachung und numerische temperaturberechnungen, *Schweissen und Schneiden*, 26-31.
- 74.- Schober, D., et al, 1986, Aufbau einer prozessregelung für das reibschweissen von stählen, *Schweisstechnik*, Berlin, 340-343.
- 75.- Schober, D., Bachmann, K.R., 1984, Entwicklungsstand des reibschweissens von metallen, *Schweisstechnik*, Berlin, 543-545.
- 76.- Schaffer, G., June 1981, Inertia welds launch shuttle, *American Machinist*, 123-127.
- 77.- Sandal, O., 1988, Farklı iki takım çeliğinin elektrik direnç yakma alın kaynağında kaynak bölgesinin incelenmesi, Doktora Tezi, Y.Ü.,
- 78.- Schmitt K.G. et al, 1981 Beeinflussung der mechanisch-thermischen festigkeit von schwungradreibschweissungen an waspaloy durch gezielte einstellung von gefüge und struktur, *Z. Metallkunde*, 558-565.
- 79.- Schwartz, M.M., 1979, *Modern welding joining*, Mc Graw Hill Book Company.
- 80.- Searle, J., Sep. 1971, Orbital friction welding, *Engineer*, 49-50.
- 81.- Seregin, S.A., Sabantsev, V.P., 1975, The friction welding of plastically deformed steel, *Weld. Prod.*, 34-35.
- 82.- Boldyrev, R.N., et al, 1975, Calculation of the forging force in friction welding, *Weld. Prod.*, 35-36.
- 83.- Seregin, S.A., Sababtsev, V.P., 1977, The distribution of temperature along the length of a bar in relation to the speed of rotation in the friction welding of steels, *Weld., Prod.*, 37-39.

- 84.- Seregin A.S., 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 deceleration stage, Weld. Prod., 21-23.
- 85.- Seregin S.A., Sabantsev, V.P., 1977, The friction welding of quenched steel, Weld. Prod., 20- 23.
- 86.- Schober, D., 1977, Ausführungsklassen für das reibschweissen von stahl, Schweisstechnik, 496-497.
- 87.- Sluzalec, A., 1990, Thermal effects in friction welding, Int. J. Mech. Sci. 467-478.
- 88.- Solovskoi, V.M., et al, 1977, Friction welding-one of the ways of saving metal, Weld. Prod., 20-21.
- 89.- Sprow, D.L., 1990, Flash butt welding-new and future pipeline application, Proceeding of pipeline technokogj Conference, Östend, Belgium: 11-18
- 90.-Steklov, O.I., et al, 1989, Flash welding of 110G13L steel (Hadfield steel), Weld Int., 892-894.
- 91.- Tanicheva, O.N., et al, 1989, Nature of the defect "bright ring" forming in friction welding of tool steel, Met. Sci. and Heat Treat., 200-202.
- 92.- Rich T., Roberts, R., March, 1971, Thermal analysis for basic friction welding, Met. Const. and British Weld. J., 93-98.
- 93.-Trepte, M., 1989, Burnoff length in friction welding, Weld. Int., 980-983.
- 94.- Trepte M., 1988, Prozessteuerung beim reibschweissen, Schweisstechnik, 150-152.
- 95.- Tumurluru, M.D., March 1987, Sulfide stress corrosion cracking in low-alloy steel inertia friction welds, Weld. J., 61s-72s.
- 96.- Tülbetçi, K., Yılmaz, M., Kasım 1990, Farklı bileşimdeki takım çeliklerinin sürünme kaynağı, Kaynak dünyası, Gedik Holding, 25-28.

- 97.- Tülbentçi, K., Yılmaz, M., Kasım 1989, Farklı takım çeliklerinin katı hal kaynağı, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı, İT, 303-314.
- 98.- Tylecote, R. Y., 1968, The solid phase welding of metals, Edward Arnold (Publisher) Ltd, London:1-150.
- 99.- Vill, V.I., 1962, Friction welding of metals, AWS, Newyork.
- 100.- Voinov, V.P., et al, 1972, Fatigue strength of friction-welded joints between steels 20 and 40Kh, Weld. Prod., 51-54.
- 101.- Voinov, V.P., et al, 1973, Impact bend strength of friction-welded joints in steel 20 and 40Kh, Weld. Prod., 62-64.
- 102.-Wang, K.K., Lin, W., June 1974, Flywheel friction welding research, Weld. J. 233s-241s.
- 103.- Weider, C., Pichard, C., 1991, Effects of sulphur and inclusion morphology in friction welding of structural steels, Weld. Int. 1991.
- 104.- Westgate S.A., Dunkerton, S.B., Feb. 1985, Friction and flash welding-mechanical properties reviewed, The Welding Institute Research Bulletin, 49-53.
- 105.-Wichelhaus, G., 1974, Messen der stossflchentemperatur beim reibschweissen,Schweissen und Schneiden, 97-100.
- 106.-Willard, B.C., march 1973, Inertia welding solves fastener problems, Metal Progress, 99-104.
- 107.- Wilson, A.R., Feb. 1974, Is friction welding coming of age?, Iron Age, 56-57.
- 108.-Yılmaz, M, Karagöz, Ő., Eylül 1993, Katı hal kaynağında mikroanaliz uygulaması, XI. Ulusal Elektron Mikroskopisi Sempozyumu Kongre Kitabı, Edirne: 163-165
- 109.- Yılmaz, M., Nisan 1991 Farklı takım çeliklerinin birleştirilmesinde yakma alın ve sürtünme kaynak yöntemlerinin karŐılaŐtırılması, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiri Kitabı, Denizli: 156-168.

110.- Young, J.G., Aug. 1971, Bonded joints and non-destructive testing, NDT, 242-245.



EK1.- Sürtünme ve Yakma Alın Kaynaklı Bağlantılarda Sertlik Değişimlerini Gösterir Tablolar. .



Tablo E.1.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA4 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	8.42	5.86±0.13	1083±46.2	12.77	15.42±0.08	155±1.7
2	50	5.94	1051	24.9	13.36	208
3	100	6.44	894	50	12.54	236
4	150	7.16	723	100	11.72	270
5	200	8.74	485	150	11.95	260
6	250	8.74	485	200	11.89	262
7	300	10.43	341	250	11.89	262
8	350	10.56	332	300	11.95	260
9	400	10.23	354	350	12.05	255
10	450	10.56	332	400	12.21	249
11	500	10.10	363	450	12.21	249
12	550	10.23	354	500	12.28	246
13	600	10.10	363	550	11.72	270
14				600	11.75	269
15				650	11.95	260
16				700	11.72	270
17				750	12.05	255
18				800	11.91	261
19				850	11.95	260
20				900	11.72	270
21				1000	11.72	270
22				1100	11.81	266
23				1200	12.04	256
24				1250	11.98	258
25				1300	12.37	242
26				1400	12.21	249
27				1500	12.21	249

Tablo E.2.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA1 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02
1	4.29	6.37±0.11	913±33.5	12.21	15.68±0.16	151±3.0
2	50	7.43	672	24.9	16.5	136
3	100	7.49	661	50	12.87	224
4	150	8.48	516	100	12.31	245
5	200	8.58	504	400	12.31	245
6	250	10.46	339	700	12.31	245
7	300	10.13	361	1000	12.67	231
8	350	9.74	391	1300	12.54	236
9	400	10.23	354	1400	12.87	224
10	450	10.43	341	1500	12.87	224

Tablo E.3.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA2 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02
1	6.76	5.88±0.1	1072±35.8	9.37	13.47±0.25	204±7.2
2	50	6.27	943	16.6	14.38	179
3	100	7.42	673	50	11.45	283
4	150	7.62	639	100	11.45	283
5	200	8.12	562	400	11.68	272
6	250	8.71	489	700	11.65	273
7	300	9.97	373	1000	11.95	260
8	350	9.57	405	1300	12.05	255
9	400	9.64	399	1400	12.37	242
10	450	9.63	400	1500	12.47	238
11	500	10.13	361			
12	550	10.26	352			
13	600	10.23	354			
14	650	10.10	363			

Tablo E.4.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA3 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	5.8	6.51 \pm 0.14	895 \pm 10.0	10.23	14.25 \pm 0.06	182 \pm 2.0
2	50	7.6	641	24.9	16.5	136
3	100	8.29	539	50	12.54	235
4	150	9.54	407	100	12.57	234
5	200	9.57	404	400	12.57	234
6	250	10.13	361	700	12.57	234
7	300	10.30	349	1000	11.92	260
8	350	10.43	340	1300	11.75	268
9	400	10.43	340	1400	11.75	268
10	450	10.46	338			

Tablo E.5.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA5 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	7.05	6.48 \pm 0.04	884 \pm 10.97	9.78	14.52 \pm 0.33	176 \pm 8.0
2	50	6.60	851	24.9	16.41	137
3	100	7.26	703	50	13.2	213
4	150	7.95	587	100	12.67	228
5	200	8.12	562	400	12.44	240
6	250	8.48	516	700	12.14	252
7	300	9.07	451	1000	13.4	206
8	350	9.64	399	1300	12.37	242
9	400	10.03	369	1400	11.72	270
10	450	10.13	361	1500	12.05	255
11	500	9.9	378			
12	550	10.56	332			
13	600	10.56	332			
14	650	10.59	331			

Tablo E.6.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA6 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	10.59	5.77 \pm 0.03	1113 \pm 11	14.22	12.6 \pm 0.08	233 \pm 3.0
2	50	6.19	968	24.9	12.37	242
3	100	7.03	750	50	12.34	244
4	150	7.49	661	100	11.72	270
5	200	8.81	478	400	11.55	278
6	250	9.06	452	700	11.94	260
7	300	9.24	434	1000	12.08	254
8	350	9.57	405	1300	11.94	260
9	400	9.93	376	1400	11.91	261
10	450	9.90	378	1500	11.72	270
11	500	9.90	378			
12	550	9.97	373			

Tablo E.7.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA7 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	6.43	6.4 \pm 0.12	906 \pm 33.42	12.87	15.27 \pm 0.23	159 \pm 4.58
2	50	6.6	851	24.9	15.28	159
3	100	6.57	859	50	13.36	208
4	150	7.33	690	100	12.57	235
5	200	7.36	684	400	12.54	236
6	250	7.59	643	700	11.91	261
7	300	8.45	519	1000	11.85	264
8	350	8.56	506	1300	12.47	238
9	400	9.24	434	1600	13.6	200
10	450	9.21	437	1800	12.87	223
11	500	9.34	425	1900	12.31	245
12	550	9.74	391	2000	12.54	236
13	600	10.23	354			

Tablo E.8.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA8 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	9.24	5.83±0.1	1091±37.9	11.05	13.44±8.0	205±2.5
2	50	6.47	885	24.9	13.53	202
3	100	6.73	818	33.2	13.63	199
4	150	7.5	659	50	12.37	242
5	200	7.72	622	100	12.04	255
6	250	7.92	591	400	11.88	262
7	300	8.05	572	700	11.72	269
8	350	8.75	484	1000	12.01	257
9	400	8.61	500	1300	12.24	247
10	450	9.11	446	1600	12.21	248
11	500	10.03	368	1700	12.21	248
12	550	10.39	343			
13	600	10.39	343			
14	650	10.7	323			
15	700	10.39	343			

Tablo E.9.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SA9 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	5.11	5.89±0.05	1069±18.5	9.24	14.43±0.12	178±3.24
2	50	6.8	802	16.6	15.34	157
3	100	7.56	649	50	13.3	210
4	150	7.59	644	100	12.67	231
5	200	8.09	566	400	11.72	270
6	250	8.32	536	700	12.87	224
7	300	8.88	470	1000	12.84	225
8	350	9.17	441	1300	12.87	224
9	400	10.2	356	1600	12.77	227
10	450	9.41	419	1800	12.34	243
11	500	10.39	343	1900	13.36	208
12				2000	13.03	218

Tablo E.10.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB1 numunesi için kaynak bölgesindeki Sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	7.92	7.61 \pm 0.13	641 \pm 22.19	8.58	13.39 \pm 0.03	207 \pm 1.0
2	500	7.56	643	16.6	14.67	172
3	100	7.59	644	50	13.36	208
4	150	7.92	591	100	13.33	209
5	200	8.61	500	400	12.34	243
6	250	8.81	4.78	700	12.31	245
7	300	8.58	504	1000	12.47	238
8	350	10.06	366	1300	12.51	237
9	400	9.9	378	1400		

Tablo E.11.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB2 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	7.59	6.35 \pm 0.08	920 \pm 23.0	7.59	13.67 \pm 0.02	199 \pm 0.7
2	50	8.25	545	24.9	14.91	167
3	100	8.58	504	50	14.26	182
4	150	8.74	485	100	13.96	190
5	200	9.04	454	400	12.87	224
6	250	10.13	361	700	13.04	218
7	300	10.13	361	1000	13.0	219
8	350	10.23	354	1300	11.72	270
9				1400	12.87	224
10				1500	13.04	218

Tablo E.12.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB3 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	5.87	6.38 \pm 0.08	910 \pm 24.0	9.3	14.04 \pm 0.05	188 \pm 1.0
2	50	7.13	729	16.6	15.25	159
3	100	7.26	703	50	12.94	221
4	150	7.82	606	100	12.94	221
5	200	9.47	413	400	11.55	278
6	250	9.74	391	700	13.2	213
7	300	9.7	394	1000	12.74	228
8	350	10.2	356	1300	13.17	214
9	400	10.07	366	1400	13.2	213

Tablo E.13.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB4 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	5.44	6.39 \pm 0.09	907 \pm 25.4	12.3	14.58 \pm 0.29	174 \pm 7.1
2	50	6.44	894	16.6	16.5	136
3	100	7.26	703	50	13.36	208
4	150	8.09	566	100	12.8	226
5	200	8.25	545	400	12.8	226
6	250	8.25	545	700	13.43	206
7	300	9.37	422	1000	12.74	228
8	350	9.9	378	1300	12.87	224
9	400	9.77	388	1400	12.87	224
10	450	9.9	378			

Tablo E.14.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB5 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	7.82	6.38±0.09	912±26.9	12.21	14.74±0.12	171±3.24
2	50	7.36	684	16.6	15.31	158
3	100	7.92	591	50	12.97	220
4	150	8.25	545	100	12.94	221
5	200	8.91	467	400	12.34	243
6	250	9.08	550	700	13.66	199
7	300	9.74	391	1000	12.94	221
8	350	9.67	396	1300	12.24	247
9	400	9.9	378	1400	12.83	225
10	450	10.23	354			
11	500	10.19	357			
12	550	10.89	313			
13	600	10.76	320			
14	650	10.53	334			

Tablo E.15.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB6 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	4.62	5.85±0.1	1084±37.6	9.07	14.56±0.12	175±2.15
2	50	6.5	8.78	16.6	14.85	168
3	100	6.9	779	50	14.02	189
4	150	7.92	591	100	12.67	231
5	200	8.12	562	400	13.86	193
6	250	8.74	485	700	12.57	235
7	300	9.21	437	1000	13.36	208
8	400	9.73	392	1600	13.86	193
9	450	9.87	381	1700	13.86	193
10	500	9.74	391			
11	550	10.46	339			
12	600	10.56	332			
13	650	10.73	322			

Tablo E.16.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB7 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	4.45	6.26±0.02	948±4.5	13.36	14.49±0.02	177±3.53
2	50	6.47	886	16.6	15.14	162
3	100	6.5	878	50	12.71	229
4	150	6.57	859	100	12.74	228
5	200	6.86	788	400	11.88	263
6	250	7.16	723	700	12.57	235
7	300	7.62	639	1000	13.46	205
8	350	7.76	616	1300	13.2	213
9	400	7.82	606	1600	12.54	236
10	500	8.58	504	1800	11.98	258
11	600	9.34	425			
12	650	9.74	391			
13	700	10.39	343			
14	750	9.74	391			

Tablo E.17.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB8 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	7.42	6.69±0.07	829±16.8	12.37	15.11±0.09	163±2.12
2	50	6.86	788	16.6	15.77	149
3	100	7.72	622	50	15.34	158
4	150	7.59	644	100	15.01	165
5	200	7.62	639	150	13.66	199
6	250	8.48	516	200	13.0	219
7	300	8.88	470	500	13.43	206
8	350	9.74	391	800	13.43	206
9	400	9.74	391	1100	13.99	189
10	450	10.0	371	1400	13.53	203
11	550	10.2	356	1800	12.87	224
12	700	10.86	314			
13	750	10.92	311			

Tablo E.18.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SB9 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02
1	3.46	5.87±0.06	1075±23.5	6.76	12.73±0.03	228±1.22
2	50	5.97	1040	16.6	14.09	186
3	100	5.97	1040	50	12.87	224
4	150	6.02	1023	100	12.87	224
5	200	6.27	943	400	12.21	249
6	250	6.83	795	700	13.04	218
7	300	7.39	679	1000	12.71	229
8	350	7.39	679	1300	12.17	250
9	400	8.25	545	1600	12.54	236
10	450	8.28	541	1700	13.04	213
11	500	8.45	519	1800	12.57	235
12	550	8.88	470	1900	13.04	213
13	600	9.57	405			
14	650	10.13	361			
15	700	9.73	392			
16	1000	10.89	313			

Tablo E.19- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC1 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02
1	5.44	6.71±0.09	824±23.09	8.25	14.01±0.17	189±4.52
2	50	6.5	878	16.6	14.52	175
3	100	7.09	738	50	12.77	227
4	150	7.42	673	100	12.77	227
5	200	8.15	558	400	13.33	209
6	250	8.08	568	700	13.36	208
7	300	8.88	470	1000	12.54	236
8	350	9.73	392	1100	12.04	256
9	400	10.23	354	1200	12.04	256
10	450	10.23	354			
11	2000	11.43	283			

Tablo E.20- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC2 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02
1	5.61	5.92±0.02	1056±5.5	8.25	13.52±0.16	203±5.0
2	50	6.57	859	16.6	13.36	208
3	100	7.42	675	50	13.20	213
4	150	7.66	632	100	12.04	256
5	200	7.33	690	400	12.04	256
6	250	7.66	632	700	12.04	256
7	300	8.41	524	1000	12.87	224
8	350	9.14	444	1100	12.94	221
9	400	9.70	394	1200	12.97	220
10	450	9.57	405			
11	500	10.06	366			
12	550	10.36	345			
13	2000	11.38	286			

Tablo E.21- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC3 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (µm)	İz çapı (µm)	Sertlik HV0.02
1	6.93	6.62±0.5	846±13.0	8.58	14.67±0.17	172±4.06
2	50	6.76	811	16.6	15.38	157
3	100	7.66	632	50	12.97	220
4	150	7.75	617	100	12.08	254
5	200	8.22	549	400	12.44	240
6	250	9.67	396	700	12.94	221
7	300	9.4	420	1000	13.36	208
8	350	9.44	416	1300	13.36	208
9	400	10.06	366	1400	13.1	216
10	450	10.46	339	1500	12.54	236
11	2000	11.22	294			

Tablo E.22.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC4 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	5.28	6.34 \pm 0.065	923 \pm 19.03	7.26	13.96 \pm 0.1	190 \pm 2.5
2	50	6.86	788	16.6	15.41	156
3	100	6.7	826	50	14.52	176
4	150	7.89	596	100	13.2	213
5	200	8.25	545	400	12.94	221
6	250	8.41	524	700	12.61	233
7	300	8.45	519	1000	12.61	233
8	350	8.48	516	1300	12.28	246
9	400	9.9	378	1400	12.87	224
10	450	9.07	451	1500	12.87	224
11	500	10.23	354			
12	550	10.30	349			
13	2000	10.89	313			

Tablo E.23- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC5 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	3.96	6.06 \pm 0.1	1010 \pm 33.4	8.58	14.58 \pm 0.05	174 \pm 1.5
2	50	6.7	826	16.6	15.39	156
3	100	7.06	744	50	13.0	219
4	150	7.13	729	100	12.77	227
5	200	8.08	568	400	12.77	227
6	250	8.22	549	700	11.88	263
7	300	8.58	504	1000	12.21	249
8	350	8.68	492	1300	12.7	230
9	400	10.23	354	1400	13.03	218
10	500	9.9	378			
11	2000	11.25	293			

Tablo E.24.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC6 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	4.62	6.75 \pm 0.08	813 \pm 19.08	9.9	14.28 \pm 0.23	182 \pm 6.0
2	50	6.93	772	16.6	15.18	161
3	100	8.08	568	50	13.36	208
4	150	8.25	545	100	12.21	249
5	200	8.25	545	400	11.95	260
6	250	9.11	447	700	13.36	208
7	300	9.8	386	1000	12.24	247
8	350	10.06	366	1300	12.28	246
9	400	10.26	352	14000	13.36	208
10	2000	11.75	269	1500	13.2	213

Tablo E.25.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC7 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	6.6	6.5 \pm 0.07	869 \pm 15.59	9.57	15.23 \pm 0.25	160 \pm 5.57
2	50	7.16	723	16.6	19.44	98
3	100	6.93	772	50	12.14	252
4	150	7.00	757	100	12.14	252
5	200	8.74	485	400	13.04	218
6	250	8.25	545	700	12.04	256
7	300	8.25	545	1000	12.34	243
8	350	9.64	399	1300	12.77	227
9	400	9.41	419	1400	12.61	233
10	450	9.41	419	1500	12.51	237
11	500	9.9	378			
12	1000	11.32	289			

Tablo E.26.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC8 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	4.62	7.16 \pm 0.08	723 \pm 16.82	11.88	14.54 \pm 0.29	175 \pm 7.03
2	50	6.43	897	16.6	15.64	152
3	100	6.76	811	50	13.43	206
4	150	7.23	709	100	13.13	215
5	200	7.49	661	400	12.37	242
6	250	8.12	562	700	12.41	241
7	300	9.04	454	1000	12.37	211
8	350	8.78	481	1300	13.36	208
9	400	8.78	481	1600	13.27	211
10	450	9.07	451	1700	12.57	234
11	500	9.64	399	1800	13.3	210
12	550	9.77	388			
13	600	9.87	381			
14	2000	11.72	270			

Tablo E.27.- Sürtünme kaynaklı bağlantılarda SC9 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	5.61	6.69 \pm 0.06	830 \pm 18.48	7.59	14.68 \pm 0.05	172 \pm 1.0
2	50	7.06	744	16.6	15.48	173
3	100	7.49	661	50	14.49	177
4	150	7.49	661	100	13.53	203
5	200	8.45	519	400	12.54	235
6	250	8.25	544	700	13.2	213
7	300	8.32	536	1000	12.97	220
8	350	8.91	467	1300	13.3	210
9	400	9.04	454	1600	13.36	208
10	450	9.57	405	1900	13.0	219
11	500	10.0	371	2000	13.53	203
12	550	10.3	349	2100	12.94	221
13	2000	11.78	267			

Tablo E.28.-Yakma alın kaynaklı bağlantılarda Y1 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değışimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	8.25	6.69±0.08	830±18.48	10.99	14.05±0.18	187±5.15
2	50	6.6	851	16.6	16.5	136
3	100	6.93	772	50	15.54	153
4	150	7.06	744	100	15.71	150
5	200	7.59	644	150	13.69	198
6	250	7.59	644	200	13.36	208
7	300	7.59	644	500	13.13	215
8	350	7.56	649	1000	12.37	242
9	400	7.66	632	1500	13.07	217
10	450	8.02	576	2500	12.84	225
11	500	8.25	545	3500	13.2	213
12	550	8.38	528	4500	12.77	227
13	600	8.58	504			
14	650	8.58	504			
15	700	9.17	441			
16	750	9.14	444			
17	800	8.61	500			
18	900	9.31	428			
19	1000	8.94	464			
20	1100	9.34	425			
21	1200	8.91	467			
22	1300	9.64	399			
23	1400	9.57	405			

Tablo E.29.-Yakma alın kaynaklı bağlantılarda Y2 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değişimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	7.59	6.52±0.02	873±4.64	9.57	14.06±0.07	188±1.22
2	50	6.6	851	16.5	16.07	144
3	100	7.89	596	50	14.02	189
4	150	7.89	596	100	15.01	165
5	200	7.95	587	150	14.95	166
6	300	8.15	558	200	13.89	192
7	400	8.38	528	500	14.16	185
8	500	8.25	545	1000	14.12	186
9	600	8.25	545	1500	14.22	183
10	700	8.18	554	2000	14.32	181
11	800	8.28	541	3000	14.35	180
12	1000	9.08	450	4000	14.16	185
13	1300	9.74	391	5000	14.22	183
14	1400	9.67	396	6000	14.22	183
15	1600	9.8	386			
16	2600	9.9	378			

Tablo E.30-Yakma alın kaynaklı bağlantılarda Y3 numunesi için kaynak bölgesindeki sertlik değışimleri

NO	HSS TARAFI			C45 TARAFI		
	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02	Mesafe (μm)	İz çapı (μm)	Sertlik HV0.02
1	5.94	5.88±0.1	1072±35.8	10.56	14.1±0.08	186±2.64
2	50	6.6	851	16.6	14.68	172
3	100	7.59	644	50	15.18	161
4	200	7.76	616	150	15.18	161
5	300	7.59	644	200	13.36	208
6	400	7.59	644	500	13.33	209
7	600	7.72	622	1000	14.19	189
8	800	7.75	617	1500	12.97	220
9	1000	8.08	568	2000	13.5	203
10	1200	8.08	568	3000	13.53	203
11	1400	8.05	572	4000	13.83	194
12	1600	9.01	457	5000	13.76	196
13	1800	9.24	434	6000	15.18	161
14	2000	8.91	467	8000	13.53	203
15	2500	10.39	343			
16	3000	11.25	293			

**EK 2.- Sürtünme ve Yakma Alın Kaynaklı Numunelerde EDX ve WDX
Sonuçlarını Gösterir Tablolar.**



Tablo E.31.- SA9 nolu numunede, kaynak geçiş bölgesindeki elementlerin EDX analizi (1. hatta, kütlesel olarak)

ÖLÇÜM NOKTALARI (µm)	ELEMENTLER (% WT)					
	W	Mo	Cr	V	Fe	Toplam
1	3.60	2.20	3.63	1.26	85.57	96.26
2	6.49	3.21	3.63	0.99	84.16	98.48
3	25.66	16.15	3.88	2.71	53.38	101.78
4	15.57	12.67	3.92	1.54	58.09	91.79
5	4.14	2.49	3.67	1.18	84.53	96.01
6	4.87	3.07	3.77	0.82	83.87	96.40
7	3.53	2.40	3.79	1.05	85.12	95.89
8	3.55	2.35	3.81	0.98	85.25	95.94
9	5.29	4.01	4.10	2.27	81.99	97.66
10	4.14	3.30	3.95	1.98	82.13	95.50
11	3.54	2.91	3.71	1.13	85.57	96.86
12	3.71	2.62	3.78	0.75	85.62	96.48
13	6.11	3.51	3.84	3.29	80.79	97.54
14	3.88	2.95	3.77	1.48	82.76	94.84
15	3.73	2.22	3.76	1.34	85.36	96.41
16	3.71	2.59	3.73	1.36	85.52	96.91
17	5.12	2.90	3.95	1.97	83.90	97.84
18	7.96	5.54	3.73	2.02	75.54	94.79
19	4.36	2.88	3.93	1.26	83.52	95.95
20	3.50	2.81	3.69	0.84	85.00	95.84
21	9.49	4.61	4.19	3.52	76.82	98.63
22	15.35	9.15	3.89	1.76	64.02	94.17
23	3.89	3.18	4.15	1.61	82.19	94.96
24	7.06	3.29	3.99	1.04	82.67	98.05
25	34.29	17.97	3.59	3.42	41.19	100.46
26	6.92	5.53	4.24	3.17	70.51	90.37
27	3.41	2.28	3.42	1.22	85.02	95.35
28	3.16	2.52	3.53	0.57	84.98	94.76
29	0.84	0.77	1.61	0.00	93.41	96.63
30	0.00	0.00	0.26	0.00	99.07	99.33
31	0.00	0.00	0.31	0.00	98.13	98.44
32	0.00	0.00	0.17	0.00	99.16	99.33
33	0.00	0.00	0.51	0.00	99.29	99.8
34	0.00	0.00	0.12	0.00	98.80	98.92
35	0.00	0.00	0.18	0.00	98.50	98.68
36	0.00	0.00	0.08	0.00	98.73	98.81

Tablo E.31'in devamı

ÖLÇÜM NOKTALARI (μm)	ELEMENTLER (% WT)					Toplam
	W	Mo	Cr	V	Fe	
37	0.00	0.00	0.14	0.00	99.1	99.24
38	0.00	0.00	0.06	0.00	99.62	99.68
38	0.00	0.00	0.12	0.00	98.61	98.73
40	0.00	0.00	0.05	0.00	99.06	99.11
41	0.00	0.00	0.39	0.00	99.10	99.49
42	0.00	0.00	0.03	0.00	98.52	98.55
43	0.00	0.00	0.11	0.00	98.96	99.07
44	0.00	0.00	0.02	0.00	99.40	99.42
45	0.00	0.00	0.08	0.00	99.30	99.38
46	0.00	0.00	0.01	0.00	99.24	99.25
47	0.00	0.00	0.09	0.00	99.77	99.86
48	0.00	0.00	0.00	0.00	99.35	99.35
49	0.00	0.00	0.10	0.00	99.45	99.55
50	0.00	0.00	0.02	0.00	99.61	99.63
51	0.00	0.00	0.09	0.00	99.61	99.70
52	0.00	0.00	0.00	0.00	99.57	99.57
53	0.00	0.00	0.09	0.00	99.97	100.06
54	0.00	0.00	0.00	0.00	99.58	99.58
55	0.00	0.00	0.09	0.00	97.82	97.91
56	0.00	0.00	0.00	0.00	99.27	99.27
57	0.00	0.00	0.08	0.00	98.62	98.70
58	0.00	0.00	0.00	0.00	98.06	98.06
59	0.00	0.00	0.08	0.00	98.52	98.60
60	0.00	0.00	0.00	0.00	99.82	99.82
61	0.00	0.00	0.09	0.00	99.10	99.19
62	0.00	0.00	0.00	0.00	99.65	99.65
63	0.00	0.00	0.09	0.00	99.32	99.41
64	0.00	0.00	0.00	0.00	99.29	99.29
65	0.00	0.00	0.08	0.00	99.27	99.35
66	0.00	0.00	0.00	0.00	100.1	100.10
67	0.00	0.00	0.08	0.00	98.98	99.06
68	0.00	0.00	0.01	0.00	99.36	99.37
69	0.00	0.00	0.07	0.00	100.0	100.11
70	0.00	0.00	0.00	0.00	99.08	99.08
71	0.00	0.00	0.08	0.00	99.39	99.47
72	0.00	0.00	0.00	0.00	99.24	99.24

Tablo E.32.- SA9 nolu numunede, kaynak geçiş bölgesindeki elementlerin EDX analizi (2. hatta, kütlesel olarak)

ÖLÇÜM NOKTALARI (µm)	ELEMENTLER (% WT)					Toplam
	W	Mo	Cr	V	Fe	
1	3.66	2.64	3.78	0.94	85.05	96.07
2	3.66	2.41	3.70	1.28	85.19	96.24
3	3.18	2.43	3.82	0.81	86.13	96.37
4	3.39	2.23	3.65	1.22	86.13	96.62
5	3.20	2.50	3.78	0.71	86.57	96.76
6	3.31	2.28	3.87	1.00	85.49	95.95
7	3.74	2.33	3.74	1.15	85.59	96.55
8	3.28	2.75	3.79	1.19	85.16	96.17
9	3.54	3.03	4.24	0.98	83.66	95.45
10	3.44	2.59	4.06	0.95	85.48	96.52
11	3.59	2.60	3.53	0.72	85.34	95.78
12	3.33	2.08	3.88	1.50	85.22	96.01
13	3.37	2.31	3.96	0.79	85.74	96.17
14	3.45	2.49	3.90	1.45	85.55	96.84
15	7.19	4.81	4.23	8.62	72.78	97.63
16	5.79	4.16	3.90	1.89	80.16	95.90
17	4.21	3.02	3.60	0.81	83.41	95.05
18	3.20	2.19	3.63	1.10	86.32	96.44
19	3.07	2.43	3.71	0.64	85.43	95.28
20	3.17	2.10	3.54	0.92	85.84	95.57
21	5.40	3.21	3.58	0.94	83.16	96.29
22	1.20	1.14	2.24	0.11	91.49	96.18
23	0.00	0.00	0.29	0.00	98.40	98.69
24	0.00	0.00	0.30	0.00	98.37	98.67
25	0.00	0.00	0.16	0.00	99.01	99.17
26	0.00	0.00	0.21	0.00	99.58	99.79
27	0.00	0.00	0.10	0.00	99.27	99.37
28	0.00	0.00	0.46	0.00	99.97	100.43
29	0.00	0.00	0.07	0.00	99.46	99.53
30	0.00	0.00	0.16	0.00	98.67	98.83
31	0.00	0.00	0.06	0.00	99.39	99.45
32	0.00	0.00	0.41	0.00	100.6	101.03
33	0.00	0.00	0.02	0.00	100.0	100.04
34	0.00	0.00	0.12	0.00	100.0	100.12
35	0.00	0.00	0.03	0.00	100.4	100.43
36	0.00	0.00	0.11	0.00	99.16	99.27

Tablo E.33.- Y1 nolu numunede, kaynak geçiş bölgesindeki elementlerin EDX analizi (kütlesel olarak)

ÖLÇÜM NOKTALARI (µm)	ELEMENTLER (% WT)					Toplam
	W	Mo	Cr	V	Fe	
1	3.80	2.28	2.88	1.22	85.79	95.97
2	3.72	2.12	2.82	0.80	87.90	97.36
3	3.69	2.01	2.73	1.09	86.76	96.28
4	3.74	1.97	2.83	0.80	87.00	96.34
5	3.74	2.08	2.74	1.11	86.20	95.87
6	3.96	2.54	3.01	0.97	86.27	96.75
7	4.14	2.91	2.98	1.63	84.50	96.16
8	4.07	2.35	2.69	0.97	85.78	95.86
9	3.73	2.41	2.80	1.21	86.89	97.04
10	3.80	2.54	2.71	0.79	87.02	96.86
11	3.60	2.45	2.67	1.11	86.86	96.69
12	3.63	1.93	2.69	0.78	87.51	96.54
13	3.71	2.21	2.82	1.10	86.71	96.55
14	3.74	2.24	2.84	0.76	86.78	96.36
15	3.83	2.34	2.76	1.06	86.74	96.73
16	3.61	2.14	2.84	0.78	86.35	95.72
17	3.60	2.45	2.82	1.13	87.26	97.26
18	4.11	2.53	2.74	0.77	86.20	96.35
19	4.38	2.90	2.99	1.21	85.28	96.76
20	4.35	3.00	2.99	0.80	84.21	95.35
21	4.05	2.43	2.79	1.22	84.58	95.07
22	3.93	2.27	2.73	0.74	86.67	96.34
23	3.95	2.28	2.83	1.18	86.14	96.38
24	4.16	2.26	2.82	0.82	85.67	95.73
25	4.01	2.30	2.78	1.13	85.75	95.97
26	3.70	1.89	2.66	0.77	87.43	96.45
27	3.58	2.13	2.65	1.05	87.08	96.49
28	3.75	2.22	2.62	0.89	86.83	96.31
29	3.74	2.40	2.53	1.25	86.71	96.63
30	4.17	2.70	2.74	1.19	84.97	95.77
31	3.72	2.45	2.54	1.12	86.45	96.28
32	3.45	2.09	2.58	0.70	87.30	96.12
33	3.18	1.71	2.43	0.93	88.05	96.30
34	3.06	1.60	2.24	0.62	88.96	96.48
35	3.11	1.81	2.36	0.82	88.08	96.18
36	3.30	1.64	2.33	0.63	88.53	96.43

Tablo E.33'ün devamı

ÖLÇÜM NOKTALARI (μm)	ELEMENTLER (% WT)					
	W	Mo	Cr	V	Fe	Toplam
37	3.34	1.93	2.48	0.97	87.25	95.97
38	3.39	1.95	2.40	0.67	87.70	96.11
39	3.26	1.98	2.28	0.92	88.41	96.85
40	3.06	1.57	2.07	0.55	89.07	96.32
41	3.17	1.78	2.15	0.80	88.02	95.92
42	3.12	1.77	2.20	0.55	88.63	96.27
43	2.86	1.56	2.03	0.65	89.09	96.19
44	2.36	1.15	1.76	0.28	90.44	95.99
45	1.20	0.67	1.38	0.00	94.10	97.35
46	0.12	0.00	0.35	0.00	98.07	98.54
47	0.00	0.00	0.56	0.00	98.68	99.24
48	0.00	0.00	0.16	0.00	98.30	98.46
49	0.00	0.00	0.23	0.00	98.70	98.93
50	0.00	0.00	0.12	0.00	99.74	99.86
51	0.00	0.00	0.19	0.00	98.92	99.11
52	0.00	0.00	0.10	0.00	98.16	98.26
53	0.00	0.00	0.17	0.00	98.96	99.13
54	0.00	0.00	0.07	0.00	98.82	98.89
55	0.00	0.00	0.15	0.00	99.23	99.38
56	0.00	0.00	0.05	0.00	98.54	98.59
57	0.00	0.00	0.16	0.00	99.13	99.29
58	0.00	0.00	0.06	0.00	99.10	99.16

Tablo E.34.- SA9 nolu numunedeki kaynak geçiş bölgesindeki elementlerin EDX analizi (1. hatta atomsal olarak)

ÖLÇÜM NOKTALARI (µm)	ELEMENTLER (% ATOM)					Toplam
	W-K	Mo-L	Cr-K	V-K	Fe-K	
1	1.17	1.37	4.18	1.48	91.79	99.99
2	2.12	2.01	4.19	1.17	90.51	100.00
3	10.03	12.10	5.36	3.82	68.69	100.00
4	6.22	9.69	5.53	2.22	76.34	100.00
5	1.36	1.57	4.26	1.40	91.41	100.00
6	1.61	1.94	4.40	0.98	91.08	100.01
7	1.16	1.51	4.39	1.24	91.71	100.01
8	1.16	1.47	4.41	1.16	91.80	100.00
9	1.73	2.51	4.74	2.68	88.33	99.99
10	1.37	2.09	4.63	2.37	89.54	100.00
11	1.15	1.81	4.26	1.32	91.46	100.00
12	1.21	1.64	4.36	0.88	91.91	100.00
13	2.01	2.21	4.46	3.90	87.42	100.00
14	1.29	1.88	4.43	1.78	90.62	100.00
15	1.21	1.39	4.33	1.57	91.50	100.00
16	1.20	1.61	4.28	1.59	91.32	100.00
17	1.66	1.80	4.54	2.31	89.69	100.00
18	2.77	3.69	4.58	2.53	86.43	100.00
19	1.44	1.82	4.58	1.50	90.66	100.00
20	1.15	1.77	4.28	0.99	91.81	100.00
21	3.18	2.96	4.96	4.25	84.65	100.00
22	5.82	6.65	5.22	2.41	79.91	100.01
23	1.27	2.02	4.88	1.93	89.90	100.00
24	2.33	2.08	4.65	1.24	89.71	100.01
25	14.95	15.01	5.53	5.38	59.12	99.99
26	2.51	3.84	5.43	4.14	84.08	100.00
27	1.12	1.44	3.98	1.45	92.02	100.01
28	1.05	1.60	4.13	0.68	92.55	100.01
29	0.27	0.47	1.80	0.00	97.46	100.00
30	0.00	0.00	0.28	0.00	99.72	100.00
31	0.00	0.00	0.34	0.00	99.66	100.00
32	0.00	0.00	0.18	0.00	99.82	100.00
33	0.00	0.00	0.55	0.00	99.45	100.00
34	0.00	0.00	0.13	0.00	99.87	100.00
35	0.00	0.00	0.20	0.00	99.80	100.00
36	0.00	0.00	0.09	0.00	99.91	100.00

Tablo E.34'ün devamı

ÖLÇÜM NOKTALARI (μm)	ELEMENTLER (% WT)					Toplam
	W-M	Mo-L	Cr-K	V-K	Fe-K	
37	0.00	0.00	0.15	0.00	99.85	100.00
38	0.00	0.00	0.06	0.00	99.94	100.00
39	0.00	0.00	0.13	0.00	99.87	100.00
40	0.00	0.00	0.05	0.00	99.95	100.00
41	0.00	0.00	0.42	0.00	99.58	100.00
42	0.00	0.00	0.03	0.00	99.97	100.00
43	0.00	0.00	0.12	0.00	99.88	100.00
44	0.00	0.00	0.02	0.00	99.98	100.00
45	0.00	0.00	0.09	0.00	99.91	100.00
46	0.00	0.00	0.01	0.00	99.99	100.00
47	0.00	0.00	0.10	0.00	99.90	100.00
48	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00
49	0.00	0.00	0.11	0.00	99.89	100.00
50	0.00	0.00	0.02	0.00	99.98	100.00
51	0.00	0.00	0.10	0.00	99.90	100.00
52	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00
53	0.00	0.00	0.10	0.00	99.90	100.00
54	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00
55	0.00	0.00	0.10	0.00	99.90	100.00
56	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00
57	0.00	0.00	0.09	0.00	99.91	100.00
58	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00
59	0.00	0.00	0.09	0.00	99.91	100.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00
61	0.00	0.00	0.10	0.00	99.90	100.00
62	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00
63	0.00	0.00	0.10	0.00	99.90	100.00
64	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00
65	0.00	0.00	0.09	0.00	99.91	100.00
66	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00
67	0.00	0.00	0.09	0.00	99.91	100.00
68	0.00	0.00	0.01	0.00	99.99	100.00
69	0.00	0.00	0.08	0.00	99.92	100.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00
71	0.00	0.00	0.09	0.00	99.91	100.00
72	0.00	0.00	0.00	0.00	100.0	100.00

Tablo E.35.- SA9 nolu numunedeki kaynak geçiş bölgesindeki elementlerin EDX analizi (2. hatta, atomsal olarak)

ÖLÇÜM NOKTALARI (µm)	ELEMENTLER (% ATOM)					Toplam
	W-M	Mo-L	Cr-K	V-K	Fe-K	
1	1.20	1.66	4.38	1.11	91.66	100.01
2	1.19	1.51	4.27	1.51	91.52	100.00
3	1.03	1.51	4.39	0.95	92.12	100.00
4	1.10	1.39	4.18	1.43	91.91	100.01
5	1.04	1.55	4.33	0.83	92.26	100.01
6	1.08	1.43	4.47	1.18	91.85	100.01
7	1.22	1.45	4.30	1.35	91.68	100.00
8	1.07	1.72	4.37	1.40	91.44	100.00
9	1.17	1.91	4.94	1.17	90.81	100.00
10	1.12	1.61	4.67	1.11	91.49	100.00
11	1.18	1.64	4.10	0.85	92.23	100.00
12	1.08	1.30	4.47	1.76	91.38	99.99
13	1.10	1.44	4.56	0.93	91.97	100.00
14	1.12	1.54	4.46	1.69	91.18	99.99
15	2.38	3.05	4.95	10.3	79.32	100.00
16	1.94	2.67	4.62	2.29	88.48	100.00
17	1.40	1.93	4.24	0.97	91.46	100.00
18	1.04	1.36	4.16	1.29	92.15	100.00
19	1.01	1.53	4.31	0.76	92.39	100.00
20	1.04	1.32	4.10	1.09	92.46	100.01
21	1.79	2.04	4.20	1.13	90.84	100.00
22	0.38	0.70	2.53	0.13	92.26	100.00
23	0.00	0.00	0.32	0.00	99.68	100.00
24	0.00	0.00	0.33	0.00	99.67	100.00
25	0.00	0.00	0.17	0.00	99.83	100.00
26	0.00	0.00	0.23	0.00	99.77	100.00
27	0.00	0.00	0.11	0.00	99.89	100.00
28	0.00	0.00	0.49	0.00	99.51	100.00
29	0.00	0.00	0.08	0.00	99.92	100.00
30	0.00	0.00	0.17	0.00	99.83	100.00
31	0.00	0.00	0.06	0.00	99.94	100.00
32	0.00	0.00	0.44	0.00	99.56	100.00
33	0.00	0.00	0.02	0.00	99.98	100.00
34	0.00	0.00	0.13	0.00	99.87	100.00
35	0.00	0.00	0.03	0.00	99.97	100.00
36	0.00	0.00	0.12	0.00	99.88	100.00

Tablo E.36.- Y1 nolu numunede, kaynak geçiş bölgesindeki elementlerin EDX analizi (atomsal olarak)

ÖLÇÜM NOKTALARI (µm)	ELEMENTLER (% ATOM)					Toplam
	W-M	Mo-L	Cr-K	V-K	Fe-K	
1	1.25	1.43	3.34	1.44	92.54	100.00
2	1.20	1.31	3.22	0.93	93.34	100.00
3	1.20	1.26	3.15	1.28	93.11	100.00
4	1.22	1.23	3.26	0.94	93.35	100.00
5	1.23	1.31	3.17	1.31	92.98	100.00
6	1.29	1.59	3.47	1.14	92.52	100.01
7	1.36	1.83	3.46	1.93	91.41	99.99
8	1.34	1.48	3.13	1.15	92.90	100.00
9	1.21	1.50	3.21	1.41	92.67	100.00
10	1.24	1.58	3.12	0.93	93.14	100.01
11	1.17	1.53	3.07	1.30	92.93	100.00
12	1.18	1.20	3.09	0.91	93.61	99.99
13	1.21	1.38	3.24	1.29	92.88	100.00
14	1.22	1.40	3.28	0.89	93.21	100.00
15	1.25	1.46	3.17	1.24	92.88	100.00
16	1.18	1.35	3.29	0.92	93.25	99.99
17	1.16	1.52	3.22	1.32	92.78	100.00
18	1.35	1.59	3.17	0.91	92.98	100.00
19	1.43	1.82	3.46	1.43	91.86	100.00
20	1.45	1.91	3.51	0.96	92.17	100.00
21	1.34	1.54	3.27	1.46	92.38	99.99
22	1.28	1.42	3.16	0.87	93.27	100.00
23	1.29	1.43	3.27	1.39	92.62	100.00
24	1.37	1.43	3.29	0.98	92.94	100.01
25	1.32	1.45	3.23	1.34	92.67	100.01
26	1.20	1.18	3.06	0.90	93.65	99.99
27	1.16	1.33	3.05	1.23	93.23	100.00
28	1.22	1.39	3.02	1.05	93.31	99.99
29	1.22	1.50	2.91	1.47	92.91	100.01
30	1.38	1.71	3.20	1.42	92.30	100.01
31	1.22	1.53	2.93	1.32	92.99	99.99
32	1.13	1.31	2.98	0.92	93.77	100.01
33	1.03	1.06	2.79	1.09	94.03	100.00
34	0.99	0.99	2.56	0.72	94.73	99.99
35	1.01	1.13	2.71	0.96	94.19	100.00
36	1.07	1.02	2.67	0.74	94.50	100.00

Tablo E.36'nın devamı

ÖLÇÜM NOKTALARI (μm)	ELEMENTLER (% ATOM)					Toplam
	W-M	Mo-L	Cr-K	V-K	Fe-K	
37	1.09	1.21	2.86	1.14	93.70	100.00
38	1.11	1.22	2.77	0.79	94.12	100.01
39	1.05	1.23	2.60	1.07	94.04	99.99
40	0.99	0.97	2.37	0.64	95.02	99.99
41	1.03	1.11	2.48	0.94	94.44	100.00
42	1.01	1.10	2.53	0.64	94.72	100.00
43	0.93	0.97	2.33	0.76	95.02	100.01
44	0.76	0.71	2.01	0.33	96.19	100.00
45	0.38	0.40	1.54	0.00	97.68	100.00
46	0.04	0.00	0.38	0.00	99.58	100.00
47	0.00	0.00	0.61	0.00	99.39	100.00
48	0.00	0.00	0.17	0.00	99.83	100.00
49	0.00	0.00	0.25	0.00	99.75	100.00
50	0.00	0.00	0.13	0.00	99.87	100.00
51	0.00	0.00	0.21	0.00	99.79	100.00
52	0.00	0.00	0.11	0.00	99.89	100.00
53	0.00	0.00	0.18	0.00	99.82	100.00
54	0.00	0.00	0.08	0.00	99.92	100.00
55	0.00	0.00	0.16	0.00	99.84	100.00
56	0.00	0.00	0.05	0.00	99.95	100.00
57	0.00	0.00	0.17	0.00	99.83	100.00
58	0.00	0.00	0.06	0.00	99.94	100.00

Tablo E.37.- SA9 nolu numunede, kaynak geçiş bölgesindeki elementlerin WDX analizi (%Atom)

ÖLÇÜM NOKTALARI	ORANLAR			ÖLÇÜM NOKTALARI	ORANLAR		
	C (%)	Fe (%)	Topl. (%)		C (%)	Fe (%)	Topl. (%)
1	1.34	98.66	100.00	32	1.85	98.16	100.01
2	0.58	99.42	100.00	33	1.76	98.24	100.00
3	0.71	99.29	100.00	34	1.30	98.70	100.00
4	0.83	99.17	100.00	35	1.72	98.28	100.00
5	0.72	99.28	100.00	36	1.20	98.80	100.00
6	1.16	98.84	100.00	37	1.21	98.79	100.00
7	1.34	98.66	100.00	38	2.12	97.88	100.00
8	0.78	99.22	100.00	39	1.15	98.85	100.00
9	0.57	99.43	100.00	40	1.48	98.52	100.00
10	0.83	99.18	100.01	41	1.32	98.68	100.00
11	0.38	99.62	100.00	42	1.23	98.77	100.00
12	0.81	99.19	100.00	43	1.11	98.89	100.00
13	1.37	98.63	100.00	44	1.10	98.90	100.00
14	0.82	99.18	100.00	45	1.11	98.89	100.00
15	0.45	99.55	100.00	46	1.06	98.94	100.00
16	0.56	99.44	100.00	47	1.52	98.48	100.00
17	0.60	99.40	100.00	48	1.00	99.00	100.00
18	0.73	99.27	100.00	49	1.12	98.88	100.00
19	0.63	99.37	100.00	50	0.96	99.04	100.00
20	0.71	99.29	100.00	51	1.07	98.93	100.00
21	0.86	99.14	100.00	52	0.93	99.07	100.00
22	0.78	99.22	100.00	53	1.23	98.77	100.00
23	0.43	99.57	100.00	54	0.90	99.10	100.00
24	0.35	99.65	100.00	55	1.36	98.14	100.00
25	0.25	99.75	100.00	56	1.71	98.29	100.00
26	0.46	99.54	100.00	57	1.09	98.91	100.00
27	0.35	99.65	100.00	58	3.42	96.59	100.01
28	0.38	99.62	100.00	59	1.23	98.77	100.00
29	0.18	99.82	100.00	60	0.78	99.22	100.00
30	0.27	99.73	100.00	61	4.34	95.66	100.00
31	0.49	99.51	100.00				

Tablo E.38.- Y1 nolu numunede, kaynak geçiş bölgesindeki elementlerin WDX analizi (%Atom)

ÖLÇÜM NOKTALARI	ORANLAR			ÖLÇÜM NOKTALARI	ORANLAR		
	C (%)	Fe (%)	Topl. (%)		C (%)	Fe (%)	Topl. (%)
1	0.61	99.39	100.00	32	0.91	99.09	100.00
2	0.50	99.50	100.00	33	0.68	99.32	100.00
3	0.19	99.81	100.00	34	1.09	98.91	100.00
4	0.51	99.49	100.00	35	1.14	98.86	100.00
5	0.30	99.70	100.00	36	1.00	99.00	100.00
6	0.34	99.66	100.00	37	1.17	98.83	100.00
7	0.43	99.57	100.00	38	0.96	99.04	100.00
8	0.44	99.56	100.00	39	1.03	98.97	100.00
9	0.40	99.60	100.00	40	0.99	99.01	100.00
10	0.46	99.54	100.00	41	0.88	99.12	100.00
11	0.40	99.60	100.00	42	0.93	99.07	100.00
12	0.29	99.71	100.00	43	0.97	99.03	100.00
13	0.20	99.80	100.00	44	1.12	98.88	100.00
14	0.39	99.61	100.00	45	0.99	99.01	100.00
15	0.31	99.69	100.00	46	0.96	99.04	100.00
16	0.34	99.66	100.00	47	1.05	98.95	100.00
17	0.22	99.78	100.00	48	1.05	98.95	100.00
18	0.26	99.74	100.00	49	1.09	98.91	100.00
19	0.23	99.77	100.00	50	0.96	99.04	100.00
20	0.22	99.78	100.00	51	1.20	98.80	100.00
21	0.24	99.76	100.00	52	1.07	98.93	100.00
22	0.20	99.80	100.00	53	0.87	99.13	100.00
23	0.18	99.82	100.00	54	0.80	99.20	100.00
24	0.33	99.67	100.00	55	0.95	99.05	100.00
25	0.28	99.72	100.00	56	0.97	99.03	100.00
26	0.23	99.77	100.00	57	0.89	99.11	100.00
27	0.23	99.77	100.00	58	0.83	99.17	100.00
28	0.40	99.60	100.00	59	1.14	98.86	100.00
29	0.75	99.25	100.00	60	0.96	99.04	100.00
30	1.03	98.97	100.00	61	2.19	97.81	100.00
31	0.98	99.02	100.00				

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muharrem YILMAZ
Doğum Yeri : İzmit
Doğum Tarihi : 12.06.1962
Medeni Durumu : Evli

Öğrenim Durumu

1968-1973 : Hızır Reis İlkokulu - Kocaeli
1973-1976 : İzmit Ortaokulu - Kocaeli
1976-1979 : İzmit Lisesi - Kocaeli
1979-1983 : Y.Ü. Kocaeli Müh. Fak., Makina Müh. Böl. - Kocaeli
1984-1986 : Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans - İstanbul

Akademik Görevler

Ağustos 1985

Y.Ü. Kocaeli Müh. Fak.
Makina Mühendisliği Bölümü
Konstrüksiyon ve İmalat A.B.D.
Araştırma Görüvlisi

Bilimsel Çalışmalar

- 1.- Tülbentçi, K., Yılmaz, M., Mart 1989, Farklı bileşimdeki takım çeliklerinin sürtünme kaynağı, 3. Malzeme Sempozyumu Bildiri Kitabı, Makina Mühendisliği Sektörünü, D.E.Ü. Denizli Müh. Fak., Denizli: 313-323.
- 2.- Tülbentçi K., Yılmaz, M., Kasım 1989, Farklı takım çeliklerinin katı hal kaynağı, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı, İ.T.Ü. İstanbul: 303-314.
- 3.- Tülbentçi, K., Yılmaz, M., 1990, Malzemenin gerilme gevşemesi özeliğinin kaynak sonrası oluşan iç gerilmelere etkisi, A.Ü. Isparta Müh. Fak. Dergisi, Isparta: 1-17.

- 4.- Tülbentçi, K., Yılmaz, M., Kasım 1990, Farklı bileşimdeki takım çeliklerinin sürtünme kaynağı, Kaynak Dünyası, Gedik Holding, 25-28.
- 5.- Tülbentçi, K., Yılmaz, M., Ocak 1991, Yakma alın kaynağı, Kaynak Dünyası, Gedik Holding, 28-31.
- 6.- Tülbentçi, K., Yılmaz, M., Nisan 1991, İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağı, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiri Kitabı, D.E.. Denizli Müh. Fak., Denizli: 136-145.
- 7.- Yılmaz, M., Nisan 1991, Farklı takım çeliklerinin birleştirilmesinde yakma alın ve sürtünme kaynak yöntemlerinin karşılaştırılması, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiri Kitabı, D.E.. Denizli Müh. Fak., Denizli: 156-168.
- 8.- Yılmaz, M., Akdoğan, A., Nisan 1991, Kalay katkılı Alüminyum bronzlarının kaynak kabiliyeti ve kalay katkısının kaynak kabiliyeti üzerine etkisi, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiri Kitabı, D.E.. Denizli Müh. Fak., Denizli: 30-37.
- 9.- Tülbentçi, K., Yılmaz, M., Mayıs 1991, Düşük sıcaklıklarda kullanılan çeliklerin kaynağı, II. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu Bildiri Kitabı, İmalat ve Konstrüksiyon Grubu, U.. Balıkesir Müh. Fak., Balıkesir: 11-16.
- 10.- Tülbentçi, K., Yılmaz, M., Kasım 1991, Raylı taşıt yapımında kullanılan ince taneli ve dual fazlı çeliklerin kaynaklanabilirliği, 2. Raylı Taşıt Sempozyumu, Raytaş'91, Eskişehir: s.294.
- 11.- Saraç, H.İ., Yılmaz, M., Haziran 1992, Asansör dizaynında bilgisayar yardımı ile halat seçimi, Birinci Ulusal Asansör Sempozyumu, Y.. Kocaeli Müh. Fak. İzmit: 165-172.
- 12.- Tülbentçi, K., Kaluç, E., Yılmaz, M., Haziran 1992, Sürtünme kaynaklı bağlantıların muayenesi ve mekanik zelikleri, Meta 44, Kaynak Tekniği, 21-24.
- 13.- Yılmaz, M., Karagöz, ř., Eylül 1993, Katı hal kaynağında mikroanaliz uygulaması, XI. Ulusal Elektronik Mikroskopik Kongresi Kitabı, Edirne: 163-165