

**ZİNCİR ÜRETİMİNDE KULLANILAN 16MnCr5 ÇELİĞİNE YAKMA ALIN
KAYNAK UYGULAMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

133378

Uğur ARABACI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2003

ANKARA

133378

Uğur ARABACI tarafından hazırlanan “ZİNCİR ÜRETİMİNDE KULLANILAN 16MnCr5 ÇELİĞİNE YAKMA ALIN KAYNAK UYGULAMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Doç. Dr. Cemil ÇETİNKAYA
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ERTÜRK



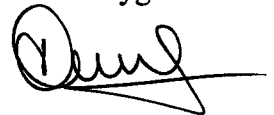
Üye : Doç. Dr. Cemil ÇETİNKAYA



Üye : Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENC



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.





İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	v
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI.....	4
2.1. Elektik Direnç Kaynağı Usulleri.....	4
2.1.1. Nokta kaynağı.....	4
2.1.2. Kabartılı kaynak.....	6
2.1.3. Dikiş kaynağı.....	9
2.1.4. Alın kaynağı.....	11
3. YAKMA ALIN KAYNAĞI.....	12
3.1. Yakma Alın Kaynağının Prensibi.....	15
3.2. Yakma Alın Kaynağında Dirençlerin Etüdü.....	19
3.3. Yakma Alın Kaynak Makine Çeşitleri.....	20
3.4. Yakma Alın Kaynağında Yakma Olayı.....	23
3.5. Yakma Alın Kaynak Parametreleri.....	28
3.6. Yakma Alın Kaynağında Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Özellikleri.....	34
3.7. Yakma Alın Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları.....	36
3.8. Yakma Alın Kaynağının Kullanım Alanları.....	38

4. SEMENTASYON (KARBONLAMA) ÇELİKLERİ.....	42
4.1. Sementasyon (karbonlama) Çeliklerinin Çeşitleri.....	43
4.2. Sementasyon (Karbonlama) Çeliklerinin Kullanım Alanları.....	43
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	44
5.1. Materyal ve Metod.....	44
5.1.1. Materyal.....	44
5.1.2. Metod.....	47
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	49
6.1. A1 ve I-A1 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma.....	49
6.2. A2 ve I-A2 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma.....	55
6.3. A3 ve I-A3 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma.....	59
6.4. B1 ve I-B1 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma.....	64
6.5. B2 ve I-B2 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma.....	68
6.6. B3 ve I-B3 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma.....	72
6.7. C1 ve I-C1 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma.....	76
6.8. C2 ve I-C2 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma.....	80
6.9. C3 ve I-C3 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma.....	84
7. SONUÇLAR.....	88
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	94

ZİNCİR ÜRETİMİNDE KULLANILAN 16MnCr5 ÇELİĞİNE YAKMA ALIN KAYNAK UYGULAMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Uğur ARABACI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2003

ÖZET

Bu çalışmada 16MnCr5 zincir çeliklerine yakma alın kaynağı uygulanmış ve bu uygulamanın malzemelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Deney çalışmaları esnasında yığma akım zamanı ve yığma basıncı değişken parametreler olarak seçilmiştir. Ayrıca yakma alın kaynağı ile kaynatılan bu numunelere kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi uygulanarak, bu ısı işlemin kaynak kalitesi ve kaynağın mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonunda değişen parametreler ve kaynak sonrası uygulanan ısı işlemin kaynağın mekanik özellikleri üzerinde etkili olduğu ve tüm numunelerde en yüksek sertlik değerlerinin kaynak bölgesinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Yığma akım zamanı ve yığma basıncının artmasıyla malzemelerin kopma mukavemetlerinde artış olduğu görülmüştür. Bu çalışmada 16MnCr5 zincir çeliği için en uygun yakma alın kaynak parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bilim Kodu :710
Anahtar Kelimeler :Yakma alın kaynağı.
Sayfa Adedi : 94
Tez Yöneticisi :Doç. Dr. Cemil ÇETİNKAYA

**FLASH BUTT WELDING APPLICATION ON 16MnCr5 CHAIN STEEL
AND INVESTIGATIONS OF IT'S MECHANICAL PROPERTIES
(M.Sc. Thesis)**

Uğur ARABACI

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2003**

ABSTRACT

In this study flash butt welding has been applied 16MnCr5 chain steels and their micro structure and mechanical properties have been investigated. During experimental upsetting current time and upset pressure were selected as variable parameters. Further more normalisation heat treatment was applied to the samples welded and effect of heat treatment on welding quality and mechanical properties have been investigated. Experimental results showed that the variable welding parameters and applied heat treatment effected the mechanical properties of welding where highest hardness values have been observed on weldig zoon. It was found also that increasing upset current time and upset pressure, increased the tensile strenght of materials. In this study the best flash butt welding parameters for 16MnCr5 chain steel have been tried to determined.

Science Code : 710

Key Words : Flash butt welding,

Page Number: 94

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca kıymetli tecrübelerinden faydalandığım, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren sayın hocam Doç. Dr. Cemil ÇETİNKAYA'ya sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının bütün deney safhalarında YAPAŞ ZİNCİR FABRİKASI'nın bütün imkanlarını sunan sayın Mehmet KARAYİĞİT'e ve bütün çalışanlarına, tüm OSTİM KOSGEB çalışanlarına, bütün çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü bölüm başkanı sayın Prof. Dr. Mehmet TÜRKER Bey'e ve tüm öğretim elemanlarına, Makine Eğitimi Bölümü öğretim elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca beni bugünlere getiren ve tez çalışmam boyunca benden manevi desteğini hiç esirgemeyen çok değerli aileme şükranlarımı sunarım.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge. 3.1. Yumuşak çelikler için çalışma değerleri.....	15
Çizelge 3.2. Yakma alın kaynağı ile birleştirilebilecek bazı metal kombinasyonları.....	40
Çizelge 4.1. 16MnCr5 çeliğinin standart gösterilişi.....	42
Çizelge 4.2. 16MnCr5 çeliğinin kimyasal analizi (Teorik).....	42
Çizelge 4.3. 16MnCr5 çeliğinin mekanik özellikleri.....	42
Çizelge 4.4. 16MnCr5 çeliğinin ısıtıl işlem özellikleri.....	42
Çizelge 5.1. Deney parametreleri.....	46
Çizelge 5.2. 16MnCr5 çeliğinin kimyasal analizi.....	46
Çizelge 6.1. A1 ve I-A1 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.....	53
Çizelge 6.2. A2 ve I-A2 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.....	58
Çizelge 6.3. A3 ve I-A3 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.....	63
Çizelge 6.4. B1 ve I-B1 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.....	67
Çizelge 6.5. B2 ve I-B2 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.....	71
Çizelge 6.6. B3 ve I-B3 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.....	75
Çizelge 6.7. C1 ve I-C1 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.....	79
Çizelge 6.8. C2 ve I-C2 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.....	83
Çizelge 6.9. C3 ve I-C3 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.....	87

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Pnömatik basma tertibatlı bir nokta kaynağı makinesinin şematik olarak gösterilişi.....	5
Şekil 2.2. Ayak pedallı punta kaynak makinesi.....	5
Şekil 2.3. Kabartılı kaynak şematik gösterilişi.....	7
Şekil 2.4. Kabartılı kaynak uygulaması ile birleştirme örnekleri.....	7
Şekil 2.5. Kabartılı kaynak işlem esası.....	8
Şekil 2.6. Kabartılı direnç kaynak makinesi.....	8
Şekil 2.7. Dikiş kaynak türleri.....	9
Şekil 2.8. Dikiş kaynağında kaynak akımı öncesi elektrodların hareketi.....	10
Şekil 2.9. Dikiş kaynağında dikiş tipleri.....	10
Şekil 3.1. Yakma alın kaynağı ile birleştirilmiş parça örnekleri.....	12
Şekil 3.2. Yakma alın kaynak makinesinin prensibi.....	16
Şekil 3.3. Yakma alın kaynağı işlem prensipleri.....	18
Şekil 3.4. Yakma alın kaynağı akım devresi.....	20
Şekil 3.5. Çeşitli yakma alın kaynak makineleri.....	23
Şekil 3.6. Yakmanın safhaları.....	26
Şekil 3.7. Kaynak parametrelerinin zamanla değişimi.....	27
Şekil 3.8. Kaynak şekli ve kalitesi üzerine ısı ve yığmanın etkisi.....	34
Şekil 3.9. Yakma alın kaynağı ana tipleri.....	35
Şekil 3.10. Geniş parçalar için yakma olayının kolaylaştırılmasına ilişkin yüzey hazırlığı.....	36
Şekil 3.11. Bağlantı geometrisine parça merkezlenmesinin etkisi.....	36
Şekil 5.1. Yakma alın kaynağı ile kaynatılan kaynak numunesi.....	45

Şekil 6.21. B3 numunesinin mikroyapı fotoğrafları.....	72
Şekil 6.22. I-B3 numunesinin mikroyapı fotoğrafları.....	73
Şekil 6.23. B3 numunesinin sertlik grafiği.....	74
Şekil 6.24. I-B3 numunesinin sertlik grafiği.....	74
Şekil 6.25. C1 numunesinin mikroyapı fotoğrafları.....	76
Şekil 6.26. I-C1 numunesinin mikroyapı fotoğrafları.....	77
Şekil 6.27. C1 numunesinin sertlik grafiği.....	78
Şekil 6.28. I-C1 numunesinin sertlik grafiği	78
Şekil 6.29. C2 numunesinin mikroyapı fotoğrafları.....	80
Şekil 6.30. I-C2 numunesinin mikroyapı fotoğrafları.....	81
Şekil 6.31. C2 numunesinin sertlik grafiği.....	82
Şekil 6.32. I-C2 numunesinin sertlik grafiği.....	82
Şekil 6.33. C3 numunesinin mikroyapı fotoğrafları.....	84
Şekil 6.34. I-C3 numunesinin mikroyapı fotoğrafları.....	85
Şekil 6.35. C3 numunesinin sertlik grafiği.....	86
Şekil 6.36. I-C3 numunesinin sertlik grafiği.....	86

1. GİRİŞ

Kaynağın; uygulandığı malzemeye, işlemlerine ve maksadına göre çeşitleri vardır. Bilindiği üzere bazı malzemelerin özellikle farklı iki malzemenin birleştirilmesinde güçlükler oluşmaktadır Endüstride kullanılan farklı malzemelerin birleştirilmesinde doğan problemleri ortadan kaldırmak için değişik kaynak teknikleri geliştirilmiştir. Bunlardan biri de yakma alın kaynak tekniğidir.

Bu yöntem, en ilkel kaynak yöntemi olan demirci kaynağının modernize edilmiş şeklidir. Demirci kaynağında birleştirilecek parçaların uçları kaynak sıcaklığına kadar tavlansın, üst üste getirilip dövülerek bir birleştirme sağlanır. Bu dövülme sırasında arada kalan yabancı maddeler kısmen dışarı atılır ve yine dövme etkisi ile kaynak ara yüzeyi incelmış olur (1).

Yakma alın kaynağı işlemi aslında elektrik direnç kaynak işleminin bir türüdür ve ısı, dövme ve yığma işlemlerinden oluşur (2).

Yakma alın kaynağı hemen hemen her tür alaşımların kaynak edilmesinde kullanılmaktadır (3). Günümüzde talaşlı imalat endüstrisinde en çok kullanılan takım grubunu matkap uçları oluşturmaktadır. Bu takımlar kullanıldıkları yerlere göre HSS'den imal edilmektedirler. HSS çeliklerinin, normal çelikler ile kıyaslanmasında 15 katına varan bir fiyat farkı ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda da takımın tamamen HSS'den yapılması takımın fiyatını aşırı miktarda arttırmakta, özellikle bilenme sonucunda uç kısmındaki aşınmadan dolayı hurdaya atılmakta, bu da maliyetin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle özellikle 10 mm.'yi aşan çaplardaki matkap uçları sap kısmı karbonlu çelik, uç kısmı HSS olacak şekilde imal edilme yoluna gidilmektedir (4).

Aynı şekilde matkap uçlarında olduğu gibi bir shaftı tamamen paslanmaz çelik yerine sadece gerekli kısmı paslanmaz çelik, diğer önemli bir kısmı ise karbonlu çelik olarak tasarlanıp imal edildiğinde malzeme fiyatında %45'e varan bir ekonomiklik sağlanmaktadır (5). Bu nedenle bu tür birleştirmeler için yakma alın kaynağı en uygun birleştirme yöntemidir.

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 birbirinden farklı alaşımlar olması ve hatta bunların çok sayıda bileşenden oluşması sonucun önceden tahmin edilmesine olanak vermez. Ergime bölgesindeki bileşimi oluşturan malzemelerin bileşimine bağlı olarak bileşim ve özellik bakımından çok farklı kısımlar ortaya çıkar (5).

Bu yöntemin uygulanması ile kaynatılan eş malzemelerde ortaya çıkan problemlerin büyük çoğunluğunun çözülmüş olmasına karşın, farklı bileşimdeki malzemelerin kaynağında halen çözüm bekleyen çok sayıda problem vardır. Farklı metallerin yakma ve yığma karakteristikleri benzer olmak koşulu ile büyük bir sorun çıkmadan kaynaklanabilmektedir.

Buraya kadar yapılan açıklamalardan da anlaşılacağı gibi bu şekilde farklı bileşimdeki iki ayrı malzemenin ergitme kaynağı yöntemleri ile birleştirilmesi, çözümü zor olan problemleri ortaya çıkarmaktadır. Ergitme kaynağı yöntemlerinin curuf kalıntısı, porozite gibi kaynak hatalarına açık bir yöntem olması ve soğuma nedeniyle makro düzeyde iç gerilmelerin oluşması bu yöntemlerin önemli dezavantajları olup, kaynağın mukavemetini düşürmektedir (6). O halde farklı bileşimdeki malzemelerin birleştirilmesinde, eğer boyutları ve şekilleri müsaade ediyor ise ergime kaynağına nazaran bir ergitme olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi ve kaynak sonrası minimum iç gerilmelere sahip olması nedeniyle katı hal kaynak yöntemleri büyük bir üstünlük göstermektedir. Bu nedenle yakma alın kaynağı günümüzde farklı takım çeliklerinin birleştirilmesinde en ideal kaynak yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır (7).

Tabi ki bu avantajı kullanım alanını sadece farklı takım çeliklerin kaynağıyla sınırlamamaktadır. Zincir ve tel üretim sanayinde de birinci sırada tercih edilen kaynak türüdür. Özellikle silindirik parçaların alın altına kaynatılmasındaki kullanım rahatlığı , çok kısa kaynak süresi, kaynak kalitesindeki üstünlük ve üstün mekanik özellikleri yakma alın kaynağını zincir üretiminde çok avantajlı ve yaygın bir şekilde kullanılır hale getirmiştir.

Bu çalışmada, sanayide büyük ölçüde zincir halkaları imalatında kullanılan yakma alın kaynağı yöntemi incelenmiştir. Bu çalışmada zincir üretiminde kullanılan 16MnCr5 çeliğinin kaynaklanabilmesi ve önemli parametrelerden olan yığma süresi, yığma basıncı gibi değerler değiştirilerek bunların kaynağa etkileri araştırılmıştır. Daha sonra kaynatılan numunelerin bir kısmı kaynak sonrası normalizasyon ısısı işlemine tabi tutulup, tavlanan numunelerin mikroyapısı ve çekme dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Daha sonra da ısısı işleme tabi tutulmuş numunelerle, kaynak sonrası hiçbir ısısı işleme tabi tutulmamış numunelerin birbirleri ile mukayeseleri yapılmıştır.



2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

Direnç kaynağı; iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda, basıncın tatbikiyle yapılan bir kaynak usulüdür. Malzemeden geçen elektrik akımının meydana getirdiği ısının dışında, herhangi bir ısı tatbik edilmemektedir. Isı, kaynak edilecek kısımlarda meydana gelir ve basınç kaynak makinesindeki elektrodlar veya çeneler vasıtasıyla uygulanır.

Elektrik direnç kaynağı için gerekli alçak gerilim ve yüksek akım şiddetindeki elektrik gücü, kaynak transformatörlerinden elde edilir. Basınç ise hidrolik veya mekanik donanımlarla temin edilir (2).

2.1. Elektik Direnç Kaynağı Usulleri

Elektrik kaynağı usulleri, yapılış şekillerine göre şu şekilde gruplandırılabilir:

A- Nokta kaynağı

B- Kabartılı kaynak

C- Dikiş kaynağı

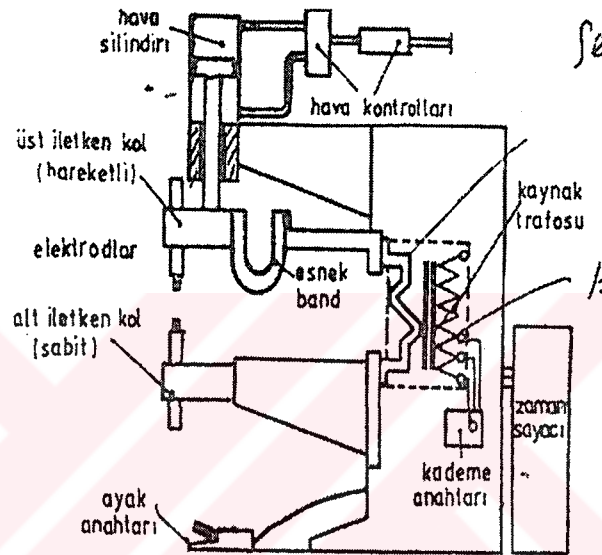
D- Alın kaynağı

Bütün direnç kaynağı usulleri için uygun bir akım şiddeti zamanının düzenlenmesi gerekir. Kaynak ara yüzeyinin ısınma ve soğuma hızları, zaman ekonomisi bakımından mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Demir esaslı malzemelerde bu hız gevrek bir kaynak dikişi meydana getirecek kadar yüksek ise, ayrıca bir temperleme işlemi gerektirir (2).

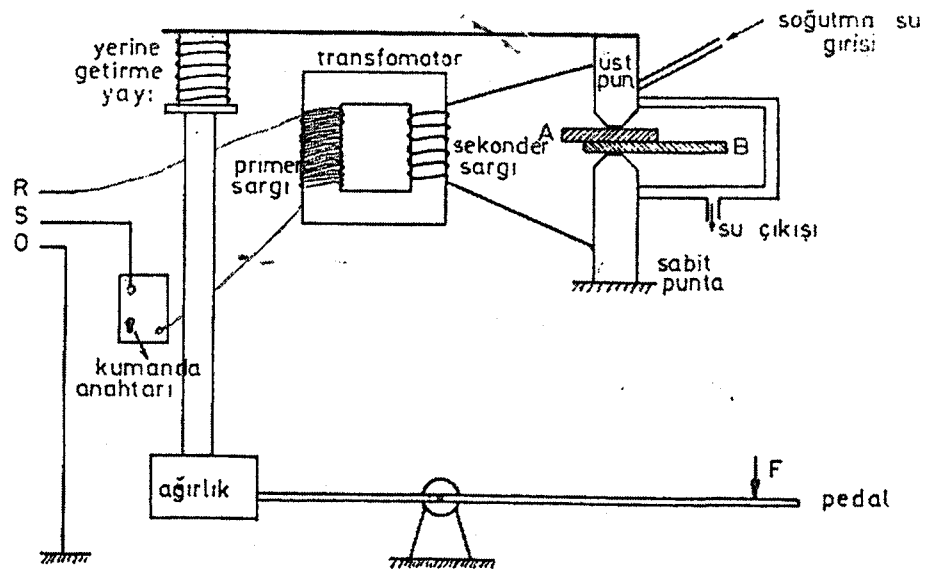
2.1.1. Nokta kaynağı

Pnömatik basma tertibatlı bir nokta kaynak makinesinin şeması Şekil 2.1'de, ayak pedallı punta kaynak makinesinin şekli ise Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekillerden anlaşılacağı gibi bu yöntemle ancak levhaların bindirme tipi kaynağı

gerçekleştirilebilir. Alt elektrod sabit olup, üst elektrod, hidrolik, pnömatik veya mekanik tertibatlar yardımıyla hareket edebilmekte ve elektrodlar arasında kaynak edilecek levhalara istenen yükü uygulamaktadır. Kaynak transformatörünün sekonder devresine elektriksel olarak da bağlı olan bu elektrodlar gerekli kaynak akımını da iletmektedirler (8).



Şekil 2.1. Pnömatik basma tertibatlı bir nokta kaynağı makinesinin şematik olarak gösterilişi (8).



Şekil 2.2. Ayak pedallı punta kaynak makinesi (8).

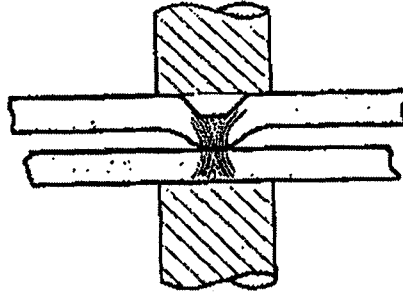
Nokta kaynağı yöntemiyle 12 mm kalınlığa kadar çelik sacların, 1 mm kalınlığa kadar bakır levhaların ve 5 mm kalınlığa kadar alüminyum levhaların kaynağı yapılabilir. Bakır ve alüminyumun yüksek ısı iletkenlikleri ve düşük elektrik dirençleri, daha kalın levhalarda kaynak işlemini zorlaştırmaktadır.

Malzeme dirençleri, kaynak yapılacak malzemelerin ve elektrodların öz dirençlerine, akım yolunun büyüklüğüne (elektrod çapı, levha kalınlığı, v.b.) ve akım yolundaki sıcaklığa bağlıdır.

İki iletkenin temas alanı boyunca ortaya çıkan temas direnci, sadece sıcaklığa ve malzemeye değil, aynı zamanda yüzey şartlarına ve elektrod kuvvetine bağlıdır. Bu direnç, yüzeylerin doğal pürüzlülükleri nedeniyle akım yollarının, temas yüzeyindeki gerçek metalik temasın olduğu çok küçük temas noktaları boyunca daralmasıyla ortaya çıkan daralma direnci ve parça yüzeyleri üzerinde mevcut olan oksit filmlerinin meydana getirdiği film direnci toplamına eşittir. Kaynak akımı öncesi uygulanan elektrod kuvveti arttıkça, temas yüzeyindeki oksit filmlerinin parçalanması, temas noktalarının sayılarının ve alanlarının artması nedeniyle temas direnci azalır (8).

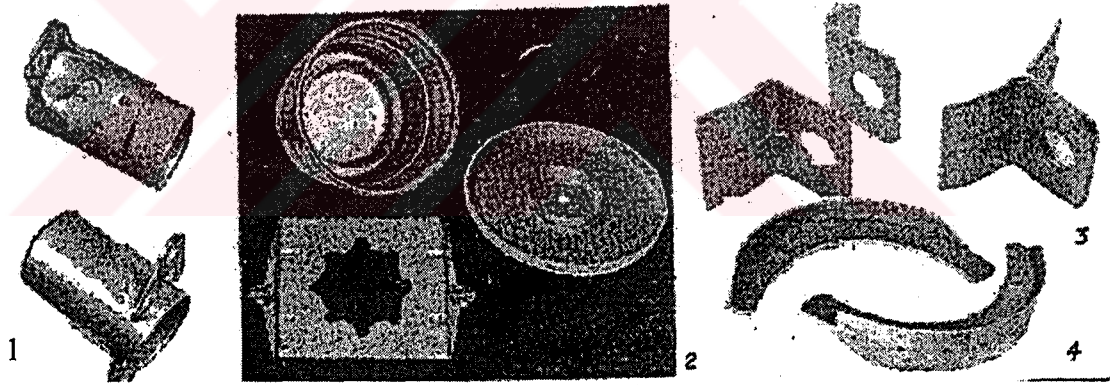
2.1.2. Kabartılı kaynak

Kabartılı kaynak, nokta kaynağına çok benzer. Kaynak yapılacak parçalardan birisinin üzerinde meydana getirilen kabartılar, elektrik akımının geçişinde akım yoğunluğunun artmasına neden olur ve kaynak basıncının iletilmesini sağlar. Normal nokta kaynağında kaynak akımının geçiş yüzeyi, elektrod uçlarının boyutları ve şekliyle sınırlanmıştır. Kabartılı kaynakta ise, basma kuvveti ve kaynak akımının geçişi, birleştirilecek parçaların birinde bulunan kabartılarla sınırlanan noktalarda gerçekleşir (Şekil 2.3). Kabartılı kaynakta, nokta kaynağında olduğu gibi, levhaların bindirme kaynağı ve ayrıca çeşitli tiplerdeki kaynakları gerçekleştirmek mümkündür.



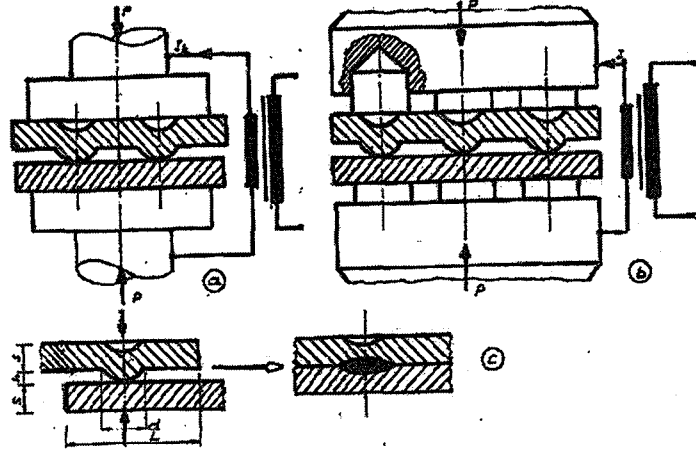
Şekil 2.3. Kabartılı kaynak (8)

Kabartılı direnç kaynağı, seri imalat için ekonomik bir birleştirme yöntemidir. Uygulamadan yararlanılarak, çoğunlukla saç malzemelerin, tek işlemde iki veya daha çok noktasının birleştirilmesi gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.4). Yöntemde kaynak akımı, oluşturulan çıkıntılardan aktığı için, kaynak belirli bir kısım olarak sınırlandırılmış olmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.4. Kabartılı kaynak uygulaması ile birleştirme örnekleri.

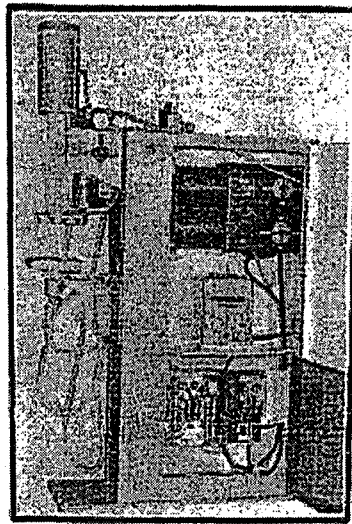
1. Boru üzerine üç noktalı kulak birleştirilmesi, 2. Üç parçanın tek işlemde birleştirilmesi (Orta parça kabartısız), 3. Dört nokta ile kelepçe birleştirilmesi, 4. Oto fren pabucu, yedi nokta ile birleştirme (8).



Şekil 2.5. Kabartılı kaynak işlemi esası.

- a. Düz elektrod düzenlemeli, b. Nokta sayısı kadar elektrod düzenlemeli,
c. İşlemin yapılışı (8).

Kabartılı kaynak makineleri elektrod kolları yerine, büyük bir baskı yüzeyi ve buna ilave basınç iletici elemanlar ile donatılmışlardır. Kabartı yüksekliklerinde küçük farklılıklar, piston ve basınç yüzeyi arasına yerleştirilmiş, bir ara parça ile dengelenmektedir. Kaynak presi olarak adlandırılan, kabartılı kaynak için düzenlenmiş bir kaynak makinesi Şekil 2.6'de görülmektedir.

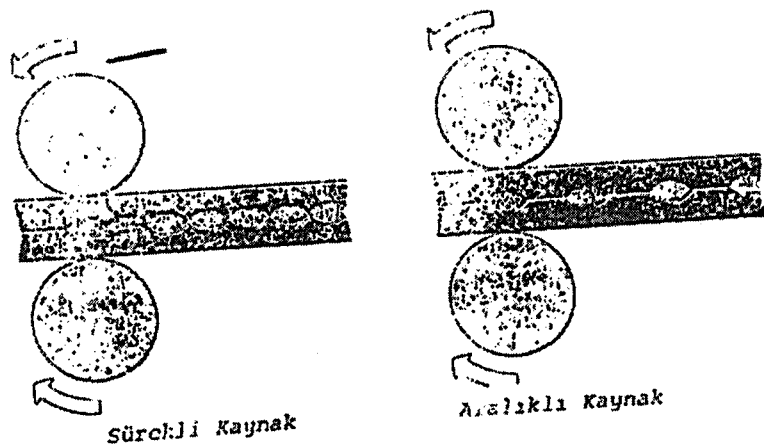


Şekil 2.6. Kabartılı direnç kaynak makinesi (Kaynak presi) (8).

Kabartılı kaynak için düzenlenmiş, tek faz beslemeli kaynak makinelerinde, en yüksek güç 800 kVA, akım şiddeti ise 100 kA'e kadar olabilmektedir. Elektroda uygulanan kuvvet ise, hidrolik olarak üretilmekte ve 40 kN'a kadar çıkabilmektedir. Bu tür kaynak makinelerinde, basınç ve akım şiddetlerinin kumandası, elektronik bir zaman ayarlayıcı aracılığıyla sağlanmaktadır. Kaynak ünitesinin kazalara karşı güven yönünden, çift kademeli sigortalarla donatılmış olmaları gerekmektedir (8).

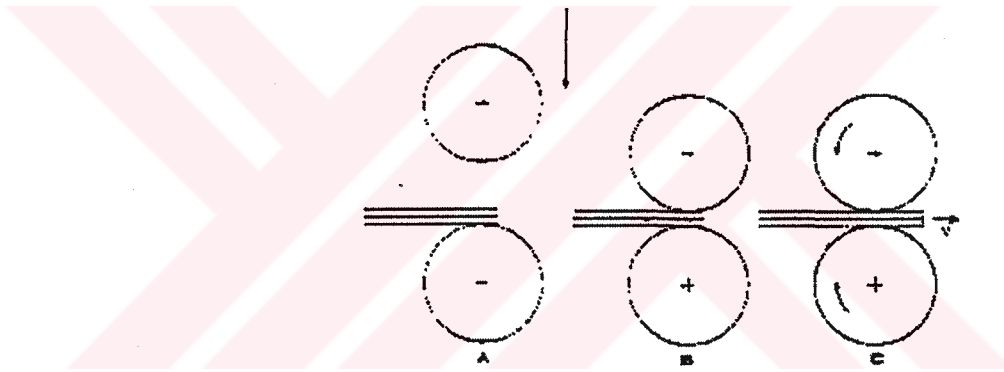
2.1.3. Dikiş kaynağı

Dikiş kaynağı yapım tekniği bakımından nokta kaynağına benzemektedir. Nokta kaynaklarının ardışık olarak sıralanması dikiş kaynağı olarak yorumlanabilir. Bu tip kaynağın amacı, genellikle ince levhalarda sızdırmaz bir birleştirme sağlaması nedeni ile, karoseri yapımından konserve kaplarına kadar uygulama alanlarına sahip bulunmaktadır. Dikiş kaynağı nokta kaynağından doğmuştur. Nokta kaynağındaki çubuk biçimindeki elektrodların yerini burada, tekerlek biçimli elektrodlar almıştır. Dikiş kaynağında birleştirilecek parçalar iki dönen yuvarlak elektrod arasında hareket ederler (Şekil 2.7). Yuvarlak bakır elektrodların dönme hareketi başlar başlamaz kaynak akımı da verilir. Dönme hızları ise parçaların kaynatma durumuna göre ayarlanmaktadır. Yüksek güçlü kaynak makinesi kullanılsa bile, çeliklerin birleştirilmesinde, 4 mm.'nin üstündeki uygulamalarda başarılı olunamamaktadır (8).

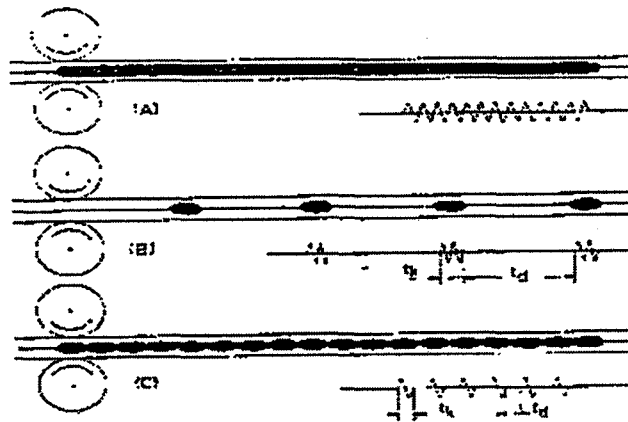


Şekil 2.7. Dikiş kaynak türleri (8).

Bindirme yerinde kaynak edilecek levhalar kaynak makinesindeki alt elektrodun üzerine yerleştirilir. Daha sonra üst elektrodun alçalması sağlanır ve levhalar belirli bir basma kuvveti ile sıkıştırılır (Şekil 2.8). Levhaların dış yüzeyi belirli bir alan boyunca elektrodlarla temas eder. Bu temas alanı elektrodların çapına, genişliğine ve basma kuvvetine bağlıdır. Elektrodlar kaynak trafosunun sekonderine bağlıdır. Bu trafo kaynak devresine yüksek şiddette bir elektrik akımı sağlar. Her iki elektroda veya sadece üst elektroda, levhaları da beraberinde sürükleyecek bir dönme hareketi verilir. Böylece levhalar bir “v” hızı ile elektrodlar arasından ilerler (8).



Şekil 2.8. Dikiş kaynağında kaynak akımı öncesi elektrodların hareketi. (A ve B: Düşey hareket, C: Dönme hareketi) (8).



Şekil 2.9. Dikiş kaynağında dikiş tipleri. (A: Sürekli dikiş, B: Aralıklı dikiş, C: Dinlenme zamanı kullanarak elde edilen sürekli dikiş) (8).

Levhaların basınç altında elektrodlar arasından hareketi sırasında, kaynak akımı ya sürekli olarak ya da kesintili olarak geçer. Bu akım hareketi dikiş kaynağındaki dikiş tiplerini belirler (Şekil 2.9).

2.1.4. Alın kaynağı

Alın kaynağı, kaynak dikişi oluşum mekanizması bakımından yığma alın kaynağı ve yakma alın kaynağı olarak iki kısımda incelenebilir. Bunlardan yığma alın kaynağı kısaca, yakma alın kaynağı ise 3. bölümden itibaren geniş bir biçimde açıklanacaktır.

2.1.4.1. Yığma alın kaynağı

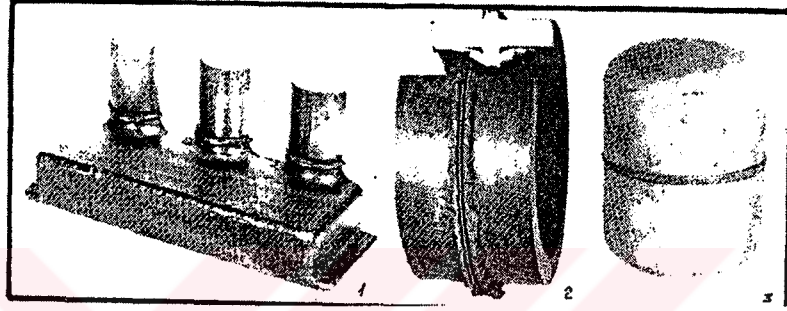
Yığma alın kaynağı pres alın kaynağı olarak ta adlandırılmaktadır. Bu yöntem, basit geometrik kesitli, düşük C'lu çeliklerin, 200 mm²'ye kadar yüzeylerinin birleştirilmesinde uygulanmakta ve demir olmayan metallerin birleştirilmesinde de kullanılmaktadır.

İşlem, iş parçalarının alın yüzeylerinin temizlenmesi ve paralel bir konumda alın altına sıkıştırılması ile başlamakta, relatif kontakt noktalarının artırılması aşamasından sonra, kaynak akımı devreye sokulmaktadır. Kontakt direnci ve kaynak akımının beraberce etkisinden, temas yüzeylerinde büyük bir ısı oluşmaktadır. Kaynak ara yüzeyindeki sıcaklığın 850-1250 ° C'ye ulaşması sonrası etki ettirilen yığma kuvveti ile birleştirme tamamlanmaktadır. Bu yöntemin kullanılması için bazı sınırlamalar ve esaslar vardır (6). Bunlar;

- a- Ekonomik açıdan, yöntem sadece küçük kesitli parçaların birleştirilmesinde uygun görülmektedir (yaklaşık 200 mm²'ye kadar).
- b- Alın yüzeylerinin, paralellik koşulunu sağlaması gerekmektedir.
- c- Yüzeylerin eş kesitli olacak şekilde işlenmesi, yabancı eleman bulunmayacak şekilde olması gerekmektedir.
- d- Elde edilen kaynaklı birleştirmenin dayanımı, özellikle dinamik zorlamalara karşı yeterli bulunmamaktadır.

3. YAKMA ALIN KAYNAĞI

Birleştirme uygulamalarında, yakma alın kaynağının kullanım alanı, yığma alın kaynağına kıyasla daha fazladır. Bu yöntem çok büyük kesitlerin birleştirilmesine uygun bulunmaktadır. Şekil 3.1' de yakma alın kaynağı ile birleştirilmiş birkaç örnek verilmektedir (6).



Şekil.3.1. Yakma alın kaynağı ile birleştirilmiş parça örnekleri, 1-) Boru-ince sac birleştirmesi. 2-) Çelik çekme boru birleştirmesi. 3-) Küçük tip bütan tüpü imali (6).

Yakma alın kaynağı, bitişik alın yüzeyinin tüm alanını kapsayan bir direnç basınç kaynağı yöntemidir. Bu yöntem, en ilkel kaynak yöntemi olan demirci kaynağının modernize olmuş şeklidir (10).

Yakma alın kaynak yöntemi, ısı, dövme ve yığma işlemlerinden oluşur. Metallerin, elektriğe karşı gösterdikleri omik ve temas dirençlerinden dolayı oluşan ısı sebebiyle yüzeylerin ergime durumuna gelmesi, daha sonra mekanik ve hidrolik sistemler yardımıyla uygulanan yığma ve dövme sonucu oluşan kaynağa yakma alın kaynağı denir.

Elektrik direnç kaynağının en önemli dallarından birini oluşturan yakma alın kaynağı, eşit veya farklı kesitteki çubukların ve boruların birleştirilmesi problemini en ekonomik şekilde gerçekleştiren yöntemlerden bir tanesidir (10).

Alın direnç kaynağında, kabartılı kaynakta olduğu gibi, parçanın toplam temas yüzeyinden akım geçirilerek bu kısım kaynak sıcaklığına getirilmektedir. Bu uygulamada elektrod olarak tanımlanan elemanlar, parçaları tamamen veya kısmen

kuşatmaktadır. Bu germe elemanlarının tipini kaynak yapılacak parçaların şekli, büyüklüğü ve bileşimleri belirlemektedir (11-12).

Yılmaz (4), C45 karbonlu çelik ile HS 6-5-2 yüksek hız çeliği çiftinin yakma alın kaynağında kaynak ara yüzeyi incelemesini yapmıştır. Bu çalışmada, endüstride kullanılan matkap uçlarının, özellikle büyük çaplı matkapların sap kısımları karbonlu çelik, uç kısımları ise yüksek hız çeliğinden imal edildiğini belirtmiştir. Araştırmasında bu tür bağlantıları yakma alın kaynağı ile gerçekleştirilmiş ve kaynak ara yüzeyini SEM, EDX ve WDX yöntemleriyle incelemiştir.

Karl ve arkadaşları (9) direnç kaynağı ile ilgili yaptıkları çalışmada çeliklerin kaynak ara yüzeyindeki özelliklerini incelemişlerdir. Burada yakma alın kaynağı ve direnç kaynağı ile kaynatılan çeliklerde tokluk özellikleri ve aynı zamanda işlemten etkilenen bölgenin genişliğinin sünekliğe etkisi araştırılmıştır. Bunun için, üç noktada eğme testi yapılmış ve çatlak çevresinde deformasyon alanları belirlenerek yönlü eleman yöntemi kullanılarak saplama yapılmıştır.

Kuchuk ve arkadaşları (13) tarafından yapılan bir çalışmada geniş çaplı ve yüksek mukavemetli malzemelerin yakma alın kaynağında kaynak ara yüzeyinin mikroyapısı incelenmiştir. Steklov (14) ise Hadfield çeliğinden imal edilmiş boruların yakma alın kaynağı için çekme deneyleri yardımıyla parametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Kuday ve arkadaşları (15), araştırmalarında tren yollarında kullanılan 700 kalitesinde, 46,303 kg/m'lik, 12 metre boyunda, demiryolu hattından çıkma eski rayları yakma alın kaynağı ile kaynatmışlardır. Bu çalışma sonucunda rayların yakma alın kaynak yöntemiyle kaynatılmasının en etkili yöntem olduğu ve kaynağın en iyi birleştirme özelliklerini sağladığını savunmuşlardır.

Trompler, Ruben Jr (16), vinç raylarının yakma alın kaynağı ile birleştirilmesini incelemiştir. Araştırmada direnç kaynağı diye bilinen yakma alın kaynağının geniş çapta raylı yol endüstrisinde kullanılmasıyla geleneksel kaynak yöntemlerine göre bazı avantajlar sunduğu belirtilmiştir. Bu avantajlar, daha yüksek verimlilik, daha düşük üretim maliyeti ve daha yüksek başarı oranıdır.

Yakma alın kaynağı (direkt yakma kaynağı), soğuk yakma kaynağı olarak ta adlandırılmaktadır. Bu yöntemin üstün yönü, birleştirilecek yüzeyler için özel bir hazırlama işlemine gerek duyulmamasıdır. Bu özelliği ile, homojen ve dayanım güvenirliği yüksek birleştirmeler elde edilebilmektedir (2).

Soğuk yakma alın kaynağında, kaynak edilecek parçalar düşük basınç altında birbirleriyle temas ettirilmektedir. Gerçek temas, parçaların bir önceki imal yöntemine bağlı olarak, sadece pürüzlülük uçlarında meydana gelebilmektedir. Büyük kontak direnci ve yoğun (yüksek) akım şiddetinin etkisi ile yüzey pürüzlülük uçları çok hızlı olarak ısınmakta, akışkan bir kontak köprüsü oluşmaktadır. Ergime sıcaklığına ulaşılma sonrası, magnetik alanın da etkisi ile kesit üzerindeki malzeme transferi başlamaktadır. Yüzey gerilimin etkisi ile köprü tabakası daima ince bir örtü oluşturmaktadır. Metal buharlaşma basıncının yüksekliği nedeni ile, ergimiş ve yanmış metalik parçacıklar alınlarda kıvılcım demetleri oluşturmaktadır. Bu oluşum, yanma işlemi süresince, birbiri ardı sıra devamlılığını korumaktadır. Yanma esnasında metal buharlaşması bir koruyucu gaz ile engellenmekte, ergiyen yüzeyde oksidasyona mani olunmaktadır. Belirli bir yanma süresinden sonra, alın yüzeyleri eşit ve yeterli bir ısıya sahip bulunmaktadır. Son aşamada, yüzeyler hızla, vuruş şeklinde kapatılmaktadır. Böylece alınlardan curuf, kav, yabancı elemanlar ve akışkan malzeme fazlalığı dışarı atılmış olmaktadır. Bu arada yanma ile oluşmuş kraterler de kapanmaktadır. Uygulamadaki yığılma oranı, alın yığılma kaynağına kıyasla daha az ve kaynak yüzeylerindedir (6).

Soğuk alın yakma kaynağında, yakma ve yığılma işlemleri bir arada yapılmaktadır. Bu özellik, özellikle relatif küçük kesit ve çevre uzunluklarına sahip yüzey birleştirmelerinde uygun görülmektedir. Dönel ve benzer kesitler, çelikler, hafif metaller, prinç ve bronz gibi alaşımlarda yaklaşık 300 mm²'ye kadar kesitler, bu tür birleştirmeler için uygun görülmektedir. Daha büyük kesitlilerin kaynağında, ön ısıtmalı alın yakma kaynağı uygulamasından yararlanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda, parçalar yakma aşamasından önce, direnç esnasından yaralanılarak bir ön tavlama işlemine tabi tutulmaktadırlar. Yeter derecede bir ön tavlama sonrası parçalar elle kumandalı makinelerde basınç altında tutulmakta, bu aşamada yanma

olayını da sağlayacak kaynak akımı defalarca devreye sokulmaktadır. Kesite bağlı olarak 0,5-1,0 s'lik periyotlarda, bu işlem 5-20 kez tekrarlanmaktadır.

Otomatik tezgahlarla yapılan uygulamalarda ise, 10-20 N/mm²'lik temas yüzeyi basınçlarında ve örnek olarak çelik için, 8-10 A/mm² akım yoğunluğunda işlemler gerçekleştirilmektedir. Çizelge 3.1'de yumuşak çelik malzemeler için, kaynak edilecek yüzeylere bağlı çalışma değerlerine ait örnekler verilmektedir (6).

Çizelge 3.1. Yumuşak çelikler için çalışma değerleri (16).

Birleşme kesiti (mm ²)	Kaynak akımı (kA)	Makine gücü (kVA)	Yığma kuvveti (kN)
500	15	50	40
1000	25	120	80
2000	35	320	160
4000	47,5	600	320
8000	55	1260	640

3.1. Yakma Alın Kaynağının Prensibi

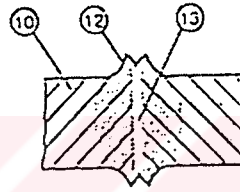
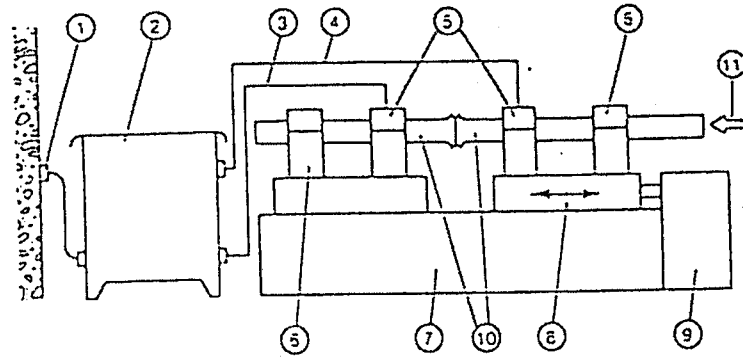
Bu kaynak yönteminde kaynak edilecek parçalar aynı kesite sahip olmalıdırlar. Kaynak edilen iki çubuğun birleştirilmesi için öncelikle alın kısımlarındaki sıcaklığı yükseltmek ve ergimeyi sağlamak gerekmektedir. Birleşecek olan alın yüzeyler ergime sıcaklığına ulaşp, uç kısımları yeterince tavlandıktan sonra iki parça eksenel yönde bastırılıp tavlanmış kısımlarda bir yığma meydana getirilir. Bu yığma işlemini sonlanmasıyla birlikte kaynak işlemi de gerçekleştirilmiş olur. Şekil 3.2'de şematik olarak yakma alın kaynak makinesinin prensibi gösterilmiştir. Bu işlem sırasında çubukların alınlarından itibaren oluşan ısı Eş 1'deki formül ile hesaplanabilir (16);

$$Q=0,239.I_s^2.R.Z.....Eş 1.$$

I_s = Sekonder efektif kaynak akımı (A).

R = Kaynak makinesinin çeneleri arasında toplam elektrik direnci (Ω).

Z = Elektrik akımının geçtiği süre (s)



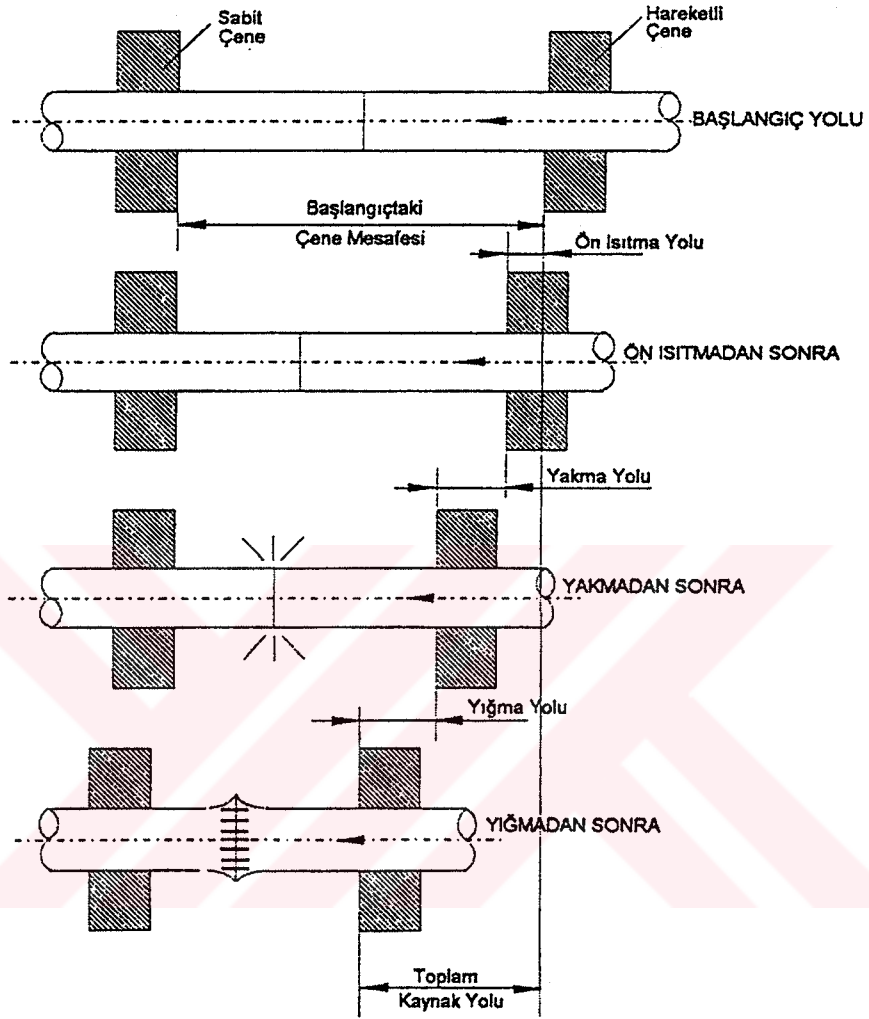
Şekil 3.2. Yakma alın kaynak makinesinin prensibi (16).

1. Şebeke bağlantısı
2. Kaynak akım membaı
3. Kaynak akımı hattı(sabit)
4. Kaynak akımı hattı (hareketli)
5. Sıkıştırma çeneleri (akım geçiren)
6. El sıkıştırma çeneleri (akım yok)
7. Makine gövdesi
8. Kızak
9. Kızak tahriki
10. Parça
11. Yığma kuvveti
12. Yığma çapağı
13. Yüksek sıcaklık bölgesi

Yakma alın kaynağının bir karakteristiği olarak kaynatılacak çubukların alnında normal veya az basınçlı bir temasın sağlanıp devam etmesi gerekir. Bu temas sayesinde yukarıda tanımlanan noktalarda ergiyen malzeme, her iki çubuk arasından elektrik akımını iletir. Bu basınçsız temas şekline yakma teması adı verilir (17).

Kaynak işlemi Şekil 3.3’de gösterilen prensiplere bağlı olarak yapılır (17).

- Parçalar birbiri ile temas etmeden çeneler arasına sıkıştırılır.
- Transformatöre, dolayısı ile parçalar akım tatbik edilir.
- Hareketli tabla yavaş yavaş hareket eder.
- Tabla hareketinin devamı ile, parçalar birbiri ile temas eder ve sekonder elektrik devresi kapanır.
- Parçaların temas noktalarında kıvılcımlar çıkarak, ergime başlar. Böylece parçaların alınları kaynak sıcaklığına ulaşır.
- Tablanın ani hareket ile birbirlerine temas eden alınlarda kaynama meydana gelir.



Şekil 3.3. Yakma alın kaynağı işlem prensipleri.

3.2. Yakma Alın Kaynağında Dirençlerin Etüdü

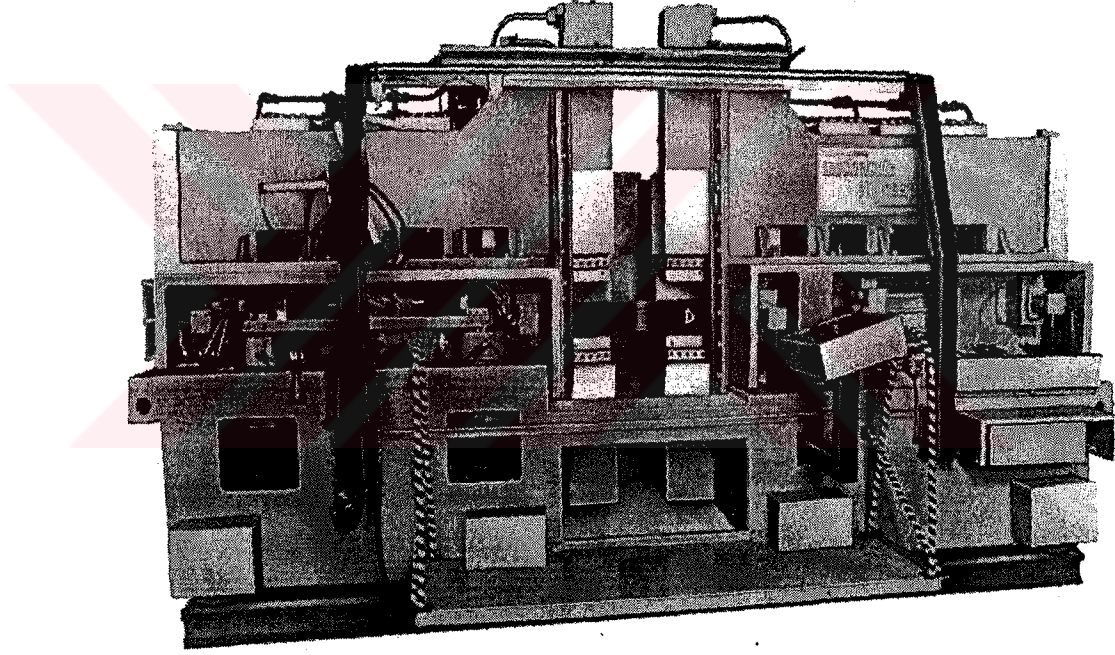
Yakma alın kaynağında kaynatılacak parçaların birbiriyle ve çenelerin parçalara temasından dolayı dirençler meydana gelmektedir. Yakma alın kaynağında meydana gelen bu dirençler;

- a- Parçaların çenelerle temas bölgesindeki temas direnci (R_m), sıkıştırma yüzeyine, sıkıştırma kuvvetine bağlıdır ve bu değişkenlerle orantılıdır. Bu bölümde meydana gelen ısı önemli değildir.
- b- Malzemelerin çenelerinden taşan kısımlarının dirençleri (R_p), malzemenin cinsine, sıcaklığına ve boyutuna bağlıdır.
- c- Birbirine temas eden yüzeylerdeki temas direnci (R_c)'dir. Bu dirençler büyüklüklerine göre; $(R_c) > (R_p) > (R_m)$ şeklinde sıralanırlar. Yüzeyleri temas halinde olan iki parçanın temas yüzeylerindeki dirençleri aşağıdaki faktörlere bağlıdır.
 - Temas halindeki metallerin sertlik, mukavemet ve iletkenlik gibi fiziksel özelliklerine,
 - Metal yüzeylerin hazırlanma şekline, yüzey curuf ve oksitlerine,
 - Temas halindeki yüzeylere etkiyen basıncın türü ve şiddetine,
 - Temas halindeki metallerin sıcaklığına bağlıdır (14).

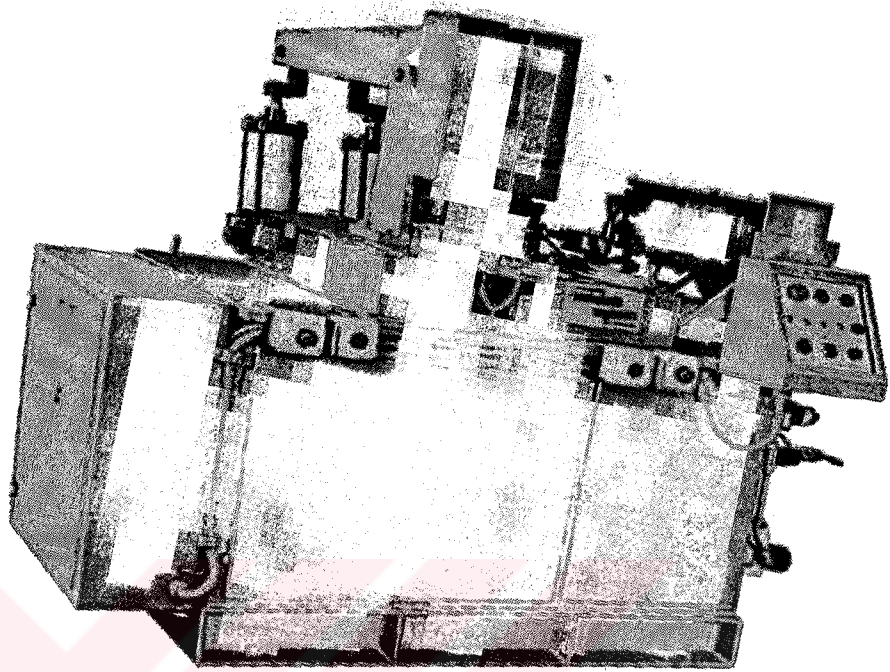
Yakma alın kaynağında ortaya çıkan dirençler Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

4- Ayar kademesi kaynak transformatörü kontrol ünitesi

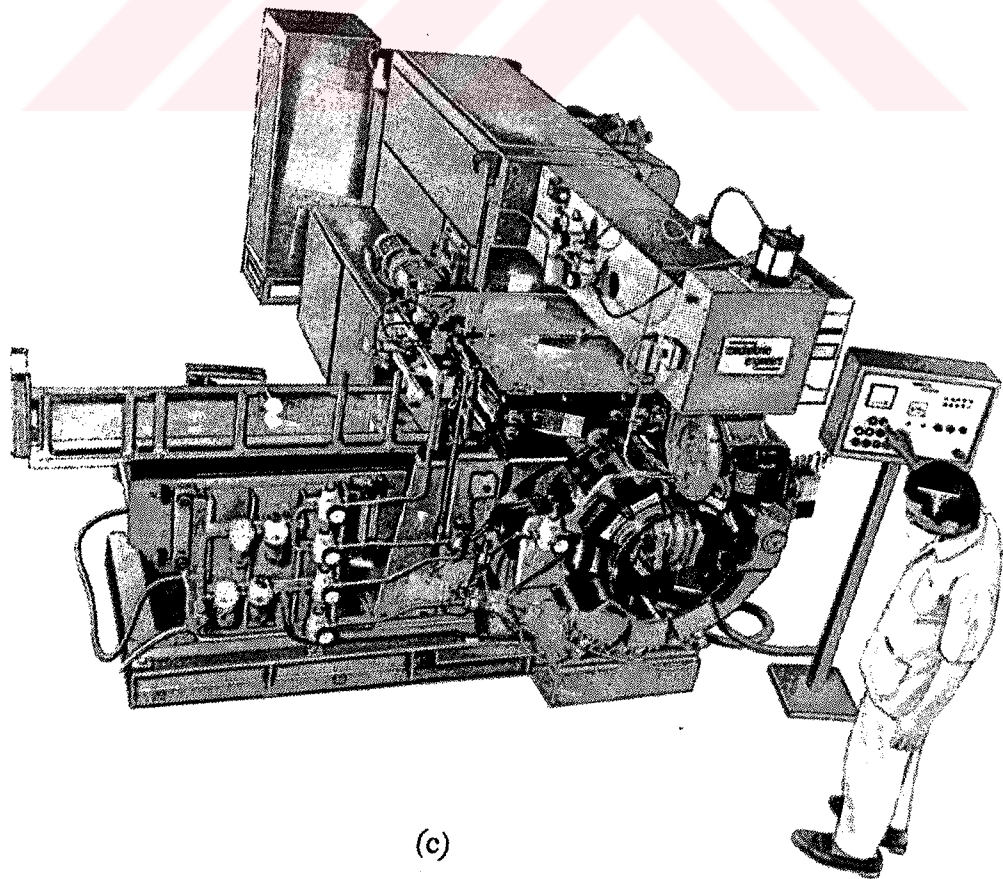
Günümüz endüstrisinde kullanılan farklı yakma alın kaynak makineleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Şekil 3.5'de gösterilmektedir. Şekil 3.5a'da rayların birleştirilmesinde kullanılan yakma alın kaynak makinesi, Şekil 3.5b'de atölye tipi yakma alın kaynak makinesi, Şekil 3.5c'de plakalar için kullanılan yakma alın kaynak makinesi ve Şekil 3.5d'de silindirik uçlu yakma alın kaynak makinesi gösterilmektedir.



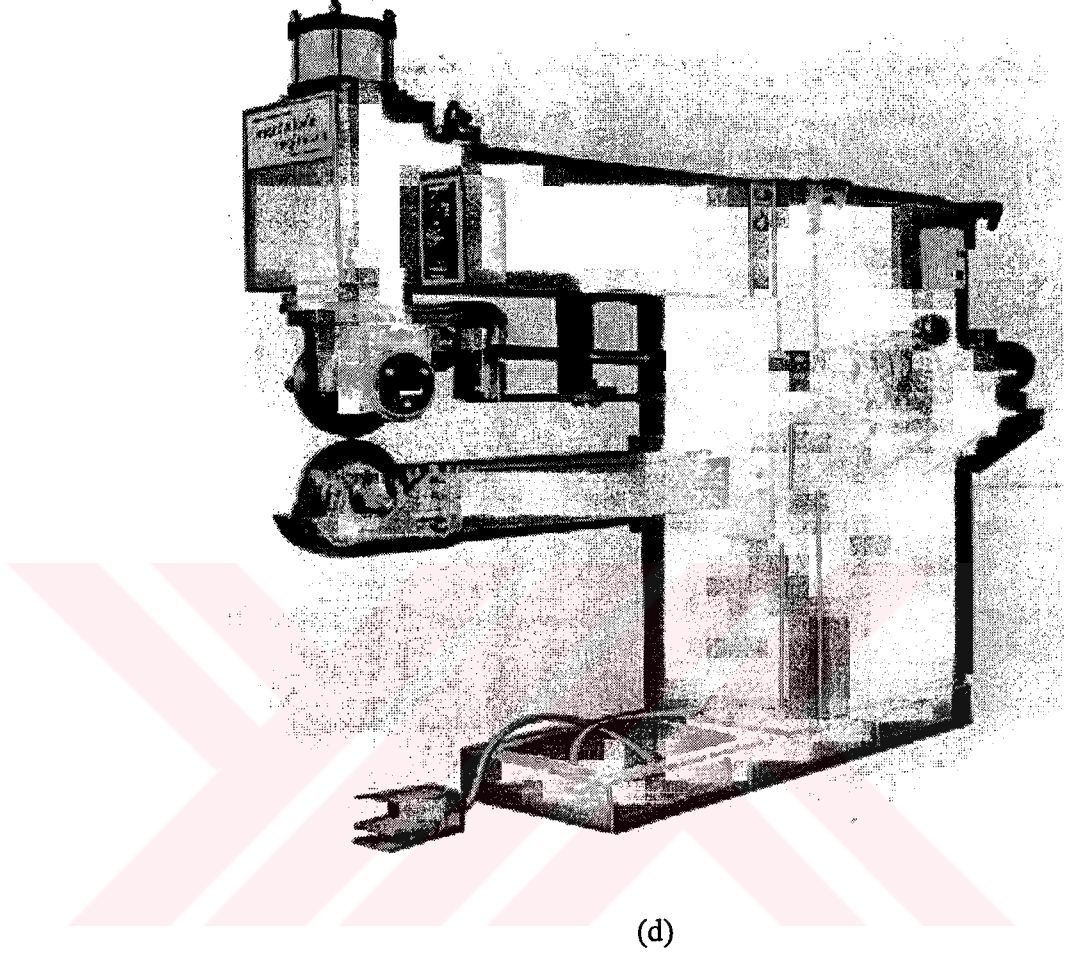
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.5. Çeşitli yakma alın kaynak makineleri.

- a) Rayların birleştirilmesinde kullanılan yakma alın kaynak makinesi,
 b) Atölye tipi yakma alın kaynak makinesi, c) Plakalar için kullanılan
 yakma alın kaynak makinesi d) Silindirik uçlu yakma alın kaynak makinesi

3.4. Yakma Alın Kaynağında Yakma Olayı

Yakma alın kaynağında aynı kesite sahip birleştirilecek parçalar bir çifti hareketli olan çenelere sıkıştırılır. Kaynak akımı, hareketli olan çeneler üzerinden iletilir. İşlem başlangıcında kaynak akımı devresi açılır ve parçalar birbirine yaklaştırılarak birkaç noktadan (yüzeydeki çıkıntılar) temas etmeleri sağlanır. Bu noktalardan yüksek yoğunlukta bir akım geçer ve temas noktalarında ergime ve kısmen buharlaşma meydana gelir (yakma). Metal buharı, ergimiş metali kıvılcımlar ve

zerrecikler halinde dışarı fırlatır. Metal buharı aynı zamanda bir koruyucu gaz tabakası oluşturarak, havanın kaynak ara yüzeyine girmesini önler.

Yakma alın kaynağı işlemlerini 4 aşamada toparlamamız mümkündür. Bunlar :

- 1) Ön ısıtma
- 2) Yakma
- 3) Basma veya yığma (Şişirme)
- 4) Soğutma

Yukarıdaki işlemler kaynak işleminin karakteristiklerindendir ve daima gereklidirler. Bu işlemler genellikle aşağıda vereceğimiz parametrelerin gerektiği şekilde ayarlanması ile kontrol edilirler (14).

- a) Transformatörün yüksüz voltajı
- b) Uçların ilerlemesi (Hız, hareket)
- c) İş parçalarının uçlarına tesir eden kuvvet

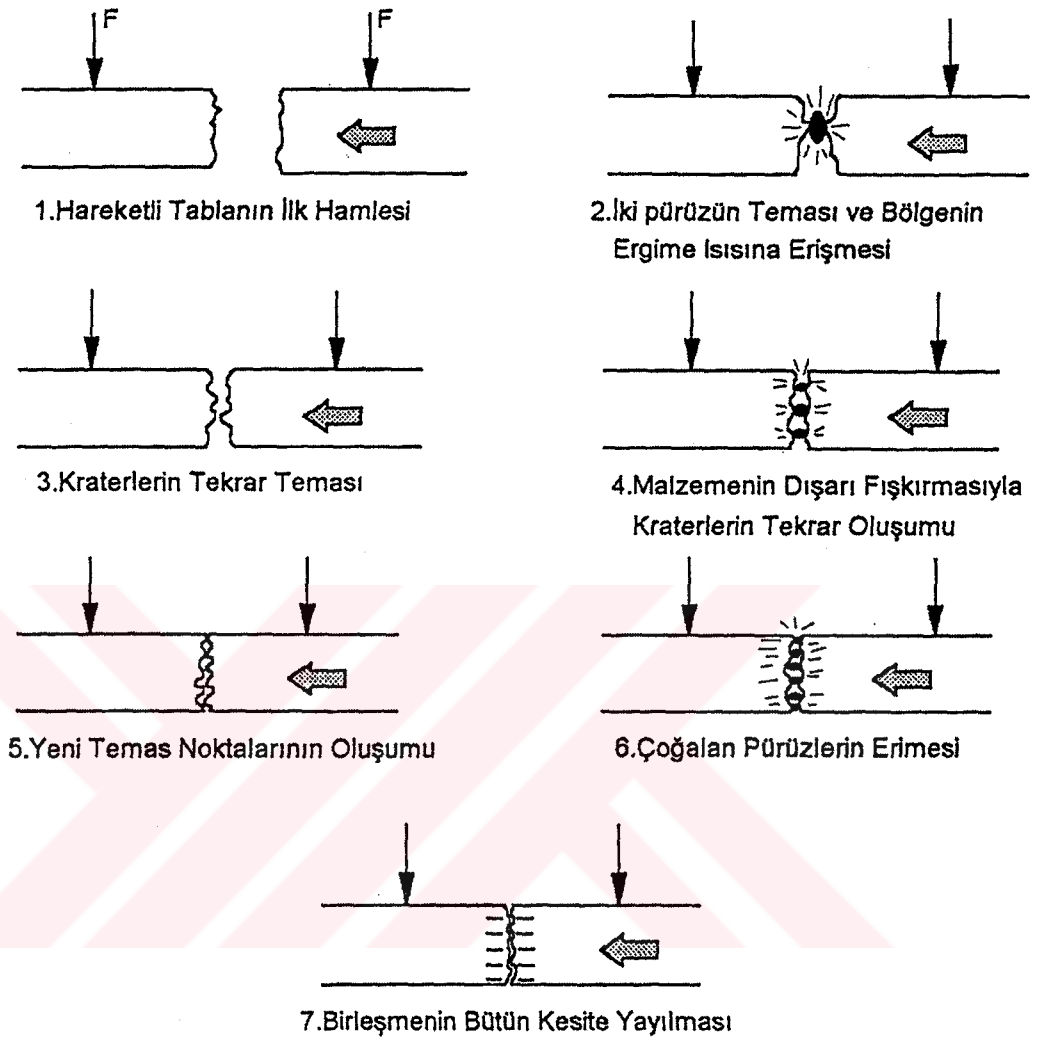
Yakma işlemi, dirençle ısıtma işleminden farklılık gösterir. Metalik bir yüzey hiçbir zaman tam bir yüzey düzgünlüğüne sahip değildir. Genelde mikro düzeydeki bir çok girinti ve çıkıntı parçanın yüzeyini kaplar. Pürüzlülüğün derecesi yüzeye uygulanan işleme bağlıdır. Yüzeydeki pürüzler temas anında temas yüzeyinin küçük oluşuna, bu da direncin artmasına neden olacaktır. Bu direncin büyük olması, ısınma işlemini yanmaya dönüştürecektir.

Parçaların yavaş yavaş birbirine yaklaştırılmasıyla oluşan yeni temas noktaları da yanar ve bu şekilde yanma giderek tüm kesite yayılır.

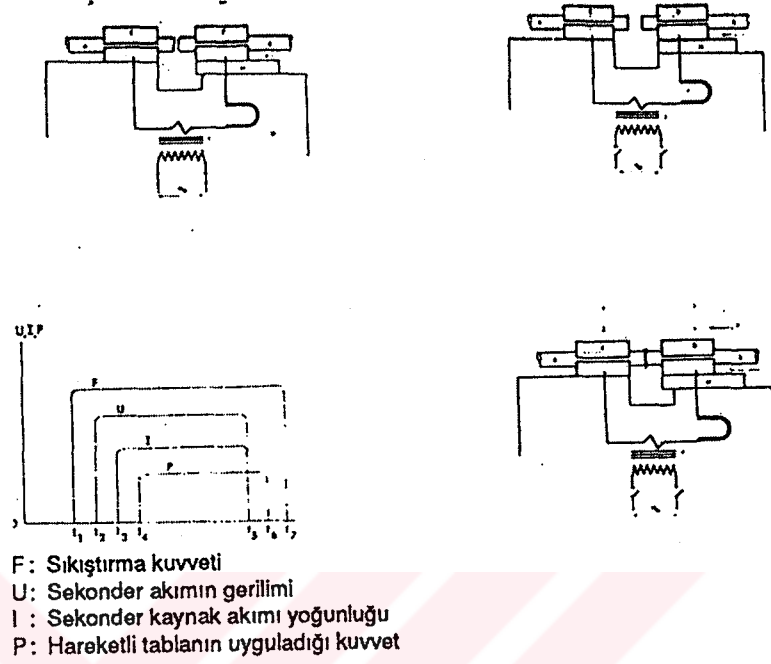
Hareketli çenenin elektrik gerilimi altında hareketiyle kaynaklanacak parçaların yüzeyleri, yüzeysel pürüzlülük vasıtasıyla temas ederler. Temas noktalarının sayısı,

hareketli çenenin itme eksenine dik yüzeylerinin geometrisine ve yüzey durumuna bağlıdır.

Parçaların toplam kesitlerinin çok az bir yüzdesini temsil eden temas yüzeyindeki bu pürüzler, sekonder elektrik devresinin kapanmasına neden olurlar. Pürüzlerin temasında kullanılan basınç çok zayıf olduğundan, temas yüzeyindeki elektrik direnci çok yüksektir. Temas yüzeylerinden çok yoğun bir akım geçtiğinden, pürüzler üzerinde çok kuvvetli bir ısınma meydana gelir. Temas noktaları ani olarak ergime sıcaklığına ulaşır. Ergime halindeki bu küçük malzeme hacimleri patlar ve yanan zerrecikler dışarı doğru fırlar. Fırlatmadan sonra bu temas noktaları tekrar yeni krater ve çukurlar oluştururlar. Bu kraterlerin uç noktaları tekrar temasa geçer ve böylece olay alın yüzeyinin kaynak sıcaklığına gelmesine kadar devam eder. Yakmanın bütün safhaları Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Ergime ve patlamalar sebebi ile meydana gelen malzeme kaybı, hareketi tablaların yaklaşması ile karşılanır. Yanmanın bütün yüzeyi kaplaması ve birleştirilecek yüzeyin tamamının ergimesinden sonra, tablanın ani hareketi ile yüksek sıcaklıktaki yüzeyler birbirine bastırılır. Böylece pürüzlerin temas dirençleri ortadan kalkar ve kıvılcımlanma da biter. Kıvılcımlanma süresi; malzemenin ısı iletkenliğine, parçaların kesitine, kıvılcımlanma çevrimine ve sekonder devre gücüne bağlıdır (17). (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Yakmanın safhaları



Şekil 3.7. Kaynak parametrelerin zamanla değişimi

Yanma olayında metal zerreciklerin yanması ve metalik buharın meydana gelmesi, birleştirilecek yüzeyleri örten sıvı metalin oksitlenmesini önler.

Ön ısıtma ve yakma işlemi çok kısa sürede meydana geldiğinden yüksek sıcaklık yalnız alın kısımlarında ve onun çok yakınında etkisini göstermiştir. İstenilen sıcaklığa ulaşıldığında parçalar eksenal olarak birbirlerine bastırılır ve malzeme yığılması başladıktan hemen sonra elektrik akımı kesilir.

Yukarıda da açıklandığı gibi çubukların alın kısımlarının kaynak ısısına kadar ısıtılması elektrik akımının malzeme dirençleriyle temas dirençlerinden yararlanılarak sağlanmış olur. Elektrik akımının ısıya dönüşmesi ise iki kademedeyi meydana gelir. Bunlar ön ısıtma ve yakma kademeleridir. Ancak yakma alın kaynak işleminin tamamlanması için son kademe olan yığma kademesinin de oluşması gerekir.

a. *Ön ısıtma kademesi:* Bu olay nispeten yavaş gerçekleşir. Kaynatılan çubuklardan geçen elektrik enerjisi joule olayı ile ısı enerjisine dönüşür.

Malzemelerin ısınması ile birlikte özgül elektrik dirençleri de yükselmeye başlar. Direncin artmasıyla azalan akım şiddeti belli bir sınır altına düşünce yakma kademesine geçilir. Bu kademe uzun sürdüğü için malzemelerin ısı iletim katsayıları da önemlidir.

b. Yakma kademesi: Bu kademe çok kısa sürelidir. Bu kademenin başında, kaynak aralığındaki metal, ergime sıcaklığına yükselmiş durumdadır. Elektrik akımının etkisi altında, kaynak aralığında metal parçacıkları buharlaşır. Buharlaşan metal parçacıkları basıncın etkisi ile dışarı fırlar. Metal parçacıklarının yeniden ayrılması ile beraber akım kesilir ve elektrik arkı oluşur. Yüksek frekans ile süren bu olayda buharlaşan metal parçacıkları aldıkları ısıнын bir kısmını çubukların alın yüzeylerine bırakırlar.

c. Yığma kademesi: Belli bir yakma süresi sonrasında yüzeyler gerekli sıcaklığa ulaştığında parçalara eksenel bir basınç uygulanarak ergimiş metal ve bağlantılar dışarı çıkarılarak ana metal yığmaya uğratılır. Yığma basıncın uygulanmasıyla yakma voltajı kesilir. Daha düşük yığma basınçlarının uygulandığı bazı durumlara yığma voltajı uygulanır.

3.5. Yakma Alın Kaynak Parametreleri

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

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) Yığma parametreleri

- Yığma hızı
- Yığma zamanı
- Yığma basıncı
- Yığma gerilimi
- Yığma akımı
- Yığma akımını kesme zamanı

D) Toplam kaynak yolu

E) Toplam kaynak süresi

F) Elektriksel değişkenler

G) Kaynak sonrası ısı işlemler

Yakma alın kaynağı özellikle ön ısıtma, yakma ve yığma kademelerinde çok sayıda değişkene sahiptir ve bunlar arasında özellikle yakma ve yığma parametreleri yöntemi en çok etkileyen ve araştırmalara en çok konu olan değişken parametrelerdir.

Tülbentçi ve Yılmaz (3) yakma alın kaynağının kaynak parametrelerini incelemiştir. Ayrıca yakma alın kaynağının avantaj ve dezavantajları hakkında bilgiler vermişlerdir.

Civelekoğlu (17) tarafından Makine takım endüstrisi A.Ş.'nin de desteği sayesinde oldukça geniş bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 22 mm çaplı S-6-5-2/Ck 60 çelik çiftini kullanmış ve yaptığı çalışmalarda öncelikle parametre optimizasyonu hedeflemiş, parametrelerin kaynaklı parçalarda mekanik ve metalürjik özellikler üzerine etkisini incelemiştir.

Yapılan bu çalışmada yumuşatma tavlama ve numunelere çekme deneyi uygulanmıştır. Kaynak sonu kırılmalar genellikle kaynak ara yüzeyinde hemen karbonlu çelik tarafında oluşmuştur. Ayrıca 3 farklı ekseninde sertlik ölçümleri yapılmış yumuşatma tavlama öncesi 650-750 HV10 değerlerinin, yumuşatma tavlama 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.

Kaynak sonu 550 °C 'deki gerilme giderme tavlama sonrası HSS tarafında martenzitin varlığından, C60 tarafında ise iri taneli ferritçe zengin bir bölgeden söz edilmektedir. Ara bölgedeki sertlik farkı yüksektir. Kaynak ara yüzeyindeki bu sertliği düşürmek amacıyla numunelere 820-860 °C'de yumuşatma tavlama işlemi uygulanmıştır.

Aynı alaşımlı çelik çubukların yakma alın kaynak işleminden sonra oluşan tav bölgelerinin genişliklerinin bağlı olduğu parametreler Wodora ve Hinspeter tarafından araştırılmıştır. Bu parametreler şunlardır;

- a- Ön ısıtma sıcaklığı ve zamanı,
- b- Akım geciktirme zamanı,
- c- Yığma kuvveti,
- d- Kaynak makinesi gücü,
- e- Yakma yolu,
- f- Çene mesafesi,

gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişen değerleri Wodora ve Hinspeter tarafından incelenmiştir (18). Aynı çalışmada yığma basıncının kaynak bağlantısının mekanik özelliklerine etkisi de incelenmiş ve 1,5-4 kg/mm² yığma basıncı aralığında,

yığma basıncının yükselmesiyle kaynak bağlantısının mekanik özelliklerinin de yükseldiği görülmüştür.

Gould ve Stotler (19) yakma alın kaynağını titanyum alüminid alaşımlarına uygulamışlar ve mikro yapısal araştırmalar yapmışlardır. Aynı zamanda yığma ve ilk çene aralığının titanyum alfa-2 alaşımları üzerine etkilerini incelemişlerdir.

Dong ve arkadaşları (21) yakma alın kaynağı işleminde çoklu parametrelerin sentetik kontrolü üzerine araştırmalar yapmıştır. Bu çalışmada yakma alın kaynağı işleminin farklı durumlarında kaynak voltajının gerekliliğine göre otomatik düzenlenmesi ve ana voltajın düzensiz dağılımlığının telafi edilmesine çalışılmıştır. Yakma esnasında dinamik işlem tartışılarak pozitif görüş işaretlerine göre kaynak voltajın düzeltilmesi sunulmuştur. Burada motor hızının düzenlenmesi ile yer değiştirme eğrisi kolayca kontrol edilebilmektedir.

Kaynak işleminden sonra kaynatılan numunelere uygulanan ısı işlemler üzerine de bir çok araştırma yapılmıştır.

Fritz ve Staundinger (22) yakma alın kaynaklı HSS- karbonlu çelik numunelere kaynak sonrası ısı 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. Yapılan bu çalışmada 550 °C'de yapılacak bir gerilim giderme işleminin kaynak ara yüzeyinin yumuşatılması açısından bir fayda olmadığı gibi aksine bir yaşlanma sertleşmesine neden olduğu tespit edilmiştir.

Yakma alın kaynak yönteminde, yakma en önemli yere sahiptir. Yapılan araştırmalar, kaynak bağlantısının mekanik özelliklerinin ideal olabilmesi için ergiyen metal miktarının her iki parçada da eşit kalınlıkta olması gerektiğini ortaya koymuştur (23).

Yakma kademesindeki yakma voltajı kaynak transformatöründeki ayar kademeleri ile ayarlanır. İyi bir yakma periyodu için voltaj mümkün olduğu için voltaj mümkün olduğu kadar küçük seçilmelidir. Çalışmalar göstermiştir ki sabit bir yakma 2,5-3 V.

civarında sağlanabilmektedir. Ancak akım makineleri için yakma voltajı 5-10 V. civarındadır (24). Yüksek yakma voltajı kullanıldığında, yakmayı başlatmak ve beslemek daha kolaydır. Fakat bu durum yakma kademesi boyunca derin kraterlerin oluşmasına ve kaba yakmaya sebep olabilir. Bu derin kraterlerin ergimiş metal ve oksitleri bünyelerinde tutmaları nedeniyle yığma sırasında ergimiş metal ve oksitler ara yüzeylerden tamamen atılamazlar ve böylelikle kaynak kalitesini de kötü yönde etkilerler (25). Bu kötü etkiyi ortadan kaldırmak için mümkün olduğunca düşük voltajla çalışılmalıdır. Ancak yakmanın başlaması için de yüksek voltaj gereklidir. Bu problemi çözmek için üç ayrı yöntem önerilmektedir (26).

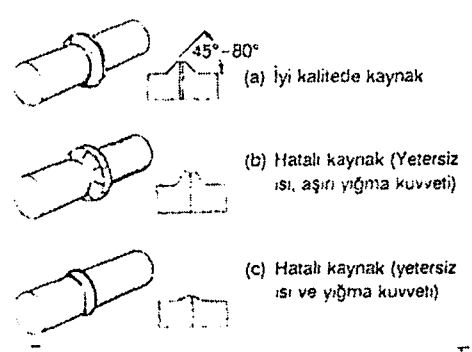
1. Yakma alın kaynağı ünitesi azalan bir voltaj kontrol ünitesine sahip ise, yakma yüksek bir voltaj ile başlatılır ve ondan sonra yakma periyodu için gerekli daha düşük bir voltaja azaltılır. İşlem için gerekli olan iki ayrı voltaj değeri, iki primer kontaktör kullanılarak sağlanır. Kontaktörlerden birisi yakmanın birinci safhasında yüksek bir sekonder gerilimi sağlamak için gerekli beslemeyi sağlar. Bu yüksek gerilim yakma olayının başlamasına yardımcı olur. Diğer kontaktör, önceden belirlenmiş bir zaman sonrasında devreye girerek yakma için gerekli norma sekonder gerilimi sağlar ve bu anda birinci kontaktör devre dışı kalır.
2. Kaynaklanacak parçaların son kısımları yivli ya da oyuklu hale getirilir. Böylece daha küçük dik kesit elde edilir. Yakma başlangıcı için daha yüksek akım yoğunluğu elde edilmiş olur.
3. Yakma için önce, çalışma parçalarının uçları sabit bir basınç altında bir araya getirilir ve direnç ön ısıtması 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 birkaç defa bir araya getirilip ayrılarak yüzeylerde arzu edilen ön ısıtma sağlanarak bundan sonra yakma kademesine geçilir.

Yakma parametresi ile birlikte yakma süresi de kaynak üzerinde önemli bir etkidir. Yakma olayı, metalde gerekli yakmanın elde edilebilmesi için bir zaman aralığında uygulanmalıdır (27). Gerekli zaman, sekonder voltaja ve metal kaybı oranına bağlıdır. Belirli minimum yakma mesafeleri için, belirli zaman aralıklarında, düzgün yakma işlemi için gereklidir(28).

Yakma alın kaynağında yığma kademesi ve buna bağlı parametreler kaynak kalitesi üzerinde etkilidir (29). Bu parametreler şunlardır;

1. *Yakma voltajı kesme süresi:* Çoğu durumda yakma voltajı, yığma işlemi başlar başlamaz kesilir. Voltaj sınırı noktası mekanik deneyler ile ayar edilmelidir.
2. *Yığma oranı:* Yığma kademesinde yüzeylerde mevcut olan ergimiş metal ve oksitler dışarı atılabilmelidir. Uygulanacak yığma oranı, metal yeterli plastisiteye sahip iken, optimum yığma gerçekleştirecek ve erimiş metali katılaşmadan önce dışarı atabilecek düzeyde olmalıdır. Ayrıca kaynak ara yüzeyinin ince olabilmesi için uygun sıcaklığa ulaşıldığı anda yığma uygulanmalıdır .
3. *Yığma mesafesi:* Uygulanan yığma mesafesi ile, oksitler ve ergimiş metal bağlantı bölgesinden uzaklaştırılabilmeli ve alın yüzeyler birbiriyle çıplak olarak temas edilebilmelidirler. Optimum bir kaynak kalitesi için yığma mesafesi uygun olmalıdır. Şayet kaynaklı parçalarda düzgün bir yakma sağlanabilmişse, daha küçük yığma mesafesi çoğu metal için tatminkar olabilecektir. Bununla birlikte bazı ısı dirençli alaşımlar için daha büyük yığma mesafeleri gerekmektedir.
4. *Yığma akımı:* Bazı durumlarda kaynak ara yüzeyi yakma işlemi sonrasında hızla soğumaya meyillidir. Bu durum elverişsiz yığma veya yığılan metalde soğuk çatlak ile sonuçlanır. Bağlantı sıcaklığı, kaynak transformatöründen sağlanan ısı ile sürdürülmelidir .

Optimum bir kaynak kalitesi için yukarıda açıklanan parametrelerin son derece iyi uyumu sağlanmalıdır. Şekil 3.8’de kaliteli kaynak dikişi kesitleri şematik olarak verilmektedir (30-32).



Şekil 3.8. Kaynak şekli ve kalitesi üzerine ısı ve yığmanın etkisi

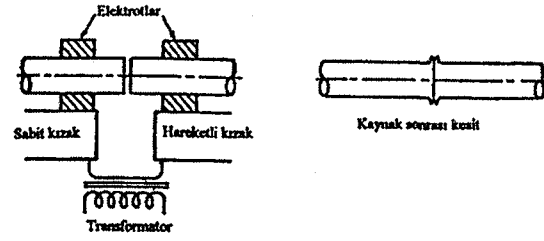
3.6. Yakma Alın Kaynağında Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Özellikleri

Yakma alın kaynağı için yüzey hazırlığı çok önemli değildir ve çoğu durumlarda gereksizdir. Buna karşın parçalarla elektrodlar arasındaki yüzey temizliği önemlidir. elektrod yüzeyleri gres, toz gibi olumsuz etkilerden temizlenmelidir. Aksi durumda daha önce belirtildiği gibi bölgesel sıcak noktalar oluşarak bağlantı kalitesini düşürür. Ayrıca bağlantısı yapılacak parçaların yüzeylerinde pullanma, gres gibi pislikler yığma sırasında parçaların kaymasına sebep olur. Temizleme işlemi için taşlama, tel fırça ile fırçalama, parlatma, buhar ile gres temizleme metotları kullanılabilir (33,34).

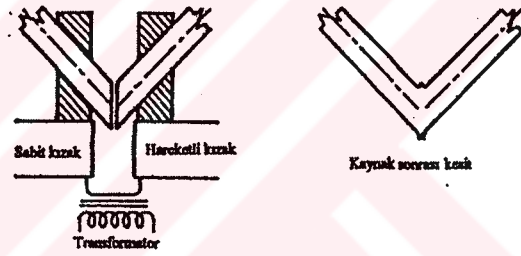
Yakma alın kaynağında Şekil 3.9’da görüldüğü gibi üç ana tip dizayn kullanılabilir (35). Genelde kaynaklanacak iki parça bağlantıda aynı dik kesite sahip olmalıdır. Büyük kesitler kaynaklanacağı zaman yakma olayının başlatılabilmesi için alın yüzeylerde pah oluşturulur. Bu gibi pahlar normalden daha yüksek yakma voltajı gerekliliğini ortadan kaldırır (Şekil 3.10) (35,36).

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 3.11).

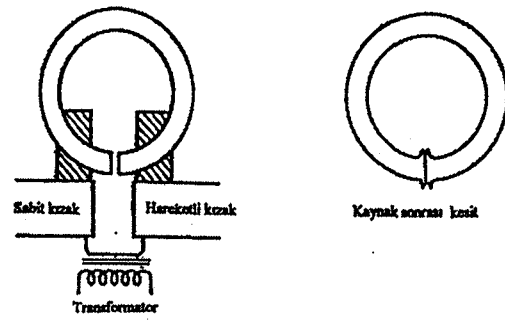
Kaynaklı bağlantıda dışarı taşan çapaklar genellikle alınmalıdır. Geniş kesitli malzemelerde yığmanın alınmaması çekme mukavemetini bir miktar artırırken, çentik etkisinden dolayı yorulma mukavemetini azaltır (37,38).



(a) Eş merkezli kaynak

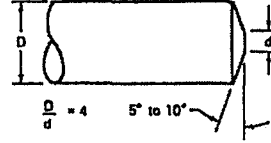


(b) Açılı kaynak

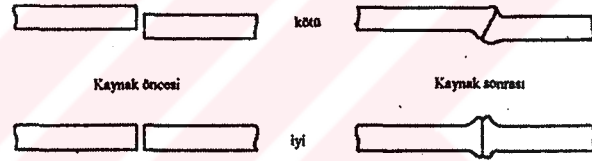


(c) Ring kaynağı

Şekil 3.9 Yakma alın kaynağı ana tipleri



Şekil 3.10. Geniş parçalar için yakma olayının kolaylaştırılmasına ilişkin yüzey hazırlığı



Şekil 3.11. Bağlantı geometrisine parça merkezlenmesinin etkisi

3.7. Yakma Alın Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

Yakma alın kaynağının uygulamalar açısından özellikleri ve üstün görülen yönleri aşağıda özetlenmiştir (39-41):

- 1) Aynı tür parçaların birleştirilmesinde yararlanılan benzer yöntemlere kıyasla, daha büyük yüzeyler kaynak edilebilmektedir. Kesit yüzeyine bağlı tezgah güçleri ile çalışılması koşulu ile, 90.000 mm²'lik kesitlere kadar birleştirmeler gerçekleştirilebilmektedir.
- 2) İşlemin yüzeysel bir yanma ve ergime olayı ile gerçekleştirilmesi, başlangıçta saptanan bir boyutsal kısılmaya müsaade edilmesi nedenleri ile, parçaların alınları için bir ön hazırlama işlemine gerek duyulmamaktadır .

- 3) Açıp-kapama periyotlarında, yanma ürünleri ve yabancı tabaka artıkları eksenden dışarıya doğru itilmektedir. Bu olay yardımı ile birleşme bölgesinde homojenlik ve ön görülen dayanıma ulaşılmaktadır.
- 4) Birleşme bölgesinde sınırlı oranda yığılma da ortaya çıkmaktadır. Birleşmenin boyca kaybında, %20-30 yığılma ve %70-80 yanma pay sahibi olmaktadır. Bu oranlar malzeme türlerine göre değişiklik göstermektedir .
- 5) Uygulama ile dinamik zorlamalar karşı daha yüksek dayanımlara sahip kaynak birleştirmeleri oluşturulmaktadır.
- 6) Kaynak dik kesitleri dairesel olmak zorunda değildir. Üçgen kesitler, H kesitler, dikdörtgen kesitli parçalar da kolaylıkla kaynaklanabilir. Ayrıca kaynaklanacak parçalar dönel olmak zorunda değildir .
- 7) ITAB dardır.

Yakma alın kaynağını sınırlayan bazı unsurlar ise şunlardır (42);

- 1) Tek fazlı güç ihtiyacı, üç fazlı primer güç hatlarında dengesizlik oluşturur.
- 2) Yakma sırasında dışarı fırlayan ergimiş metal partikülleri çevreye zarar verebilir. Koruma alınmalıdır.
- 3) Yanan ve yığılan metalin alınması genellikle gereklidir ve özel teçhizat gerektirir.
- 4) Küçük kesitli parçaların merkezlenmesi zordur.
- 5) Kaynaklanacak parçalar dik kesite sahip olmalıdır

3.8. Yakma Alın Kaynağının Kullanım Alanları

Yakma alın kaynağı, demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımları ile farklı malzeme çiftlerinin birleştirilmesi için rahatlıkla kullanılabilir. Düşük karbonlu çeliklerin yanı sıra, orta ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, takım çelikleri, östenitik, martenzitik ve paslanmaz çelikler, alüminyum alaşımları, nikel ve titanyum alaşımları da yakma alın kaynağı için uygun malzeme türleridir (43).

Yakma alın kaynağı ile kaynatılan bazı demir ve demir dışı metaller üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir;

Az karbonlu çeliklerin yakma alın kaynağında Mantel ve Rietsch (44) tarafından yapılan araştırmada, kaynak ara yüzeyinde gözüken 1 mm.'den dar parlak şeridin dekarbürize bir kısım olduğundan söz edilmekte ancak olayın nedeninden açıkça bahsedilmemektedir.

Barrett (45) tarafından alaşımlı çelikler için yapılan çalışmada kaynak ara yüzeyindeki sertlikleri, tav bölgeleri, tav bölgelerinin mikro ve makro yapıları dekarbürize olan kaynak birleşme çizgisi incelenmiştir. Yakma alın kaynağı ile kaynatılmış numunelerde, kaynak ara yüzeyindeki sertlik yükselmeleri ve dekarbürize olan birleşme çizgisi ısıtılardan sonra tamamen kaybolmuş ve kaynak ara yüzeyinin fiziksel ve mekanik özellikleri ana malzemeninkine eşit olmuştur. Kaynak çizgisine yayılma ile geçen karbondan dolayı dekarbürize kaynak çizgisi de ısıtılardan dolayı kaybolmuştur.

Savage (46) tarafından alaşımlı çelikler için yukarıdaki çalışmaya benzer bir çalışma yapılmış ve yine benzer sonuçlar alınmıştır.

Çalışkan (47) ise Marmara Üniversitesinde alüminyum ve alaşımlarının yakma alın kaynağı ile kaynaklanabilirliği üzerine bir çalışma yapmıştır.

Böckenhoff (48), yüksek karbonlu çelik tellerin direnç alın kaynağı ile ilgili yaptığı çalışmalarda bu bölgeyi karbon konsantrasyon bölgesi olarak nitelendirmiştir. Böckenhoff oluşan parlak şerit bölgesini teorik olarak açıklamış ve yaptığı deneylerle bunu ispatlamıştır.

Sertleştirilebilir karbonlu ve alaşımlı çeliklere yakma alın kaynağı uygulandığında, ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) özellikler esas metalin özelliklerinden farklılıklar gösterir ve kaynak sonrası üniform özellikler elde edebilmek için parçaya ısıtma işlemi uygulanması gerekebilir. Uygun metalürjik özellikler elde edebilmek için, kaynak makinesinde ısıtma işlemi yapmak olanaksızdır. Ancak uzun ısıtma ve soğutma periyodu gerektiren durumlarda özel olarak kaynak makinesinde ısıtma işlemi yapılabilmektedir (49).

Dökme demirlerin yakma alın kaynağı yeterli derecede iyi sonuçlar vermez, ancak laboratuvar koşullarında bazı kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir.

Düşük karbonlu çeliklerin yakma alın kaynağı ön ısıtmasız olarak kolayca uygulanabilir. Kabul edilebilir bir kaynaklı bağlantı, maksimum kaynak kalitesi elde etmek için malzemenin kimyasal bileşimine bağlı olarak, son ısıtma ya da ön ısıtmayı takiben bir son ısıtma gerekebilir. Değişik çelik türlerinin kaynağı için gereken yığılma basıncı, çeliklerin yığılma bölgesindeki sıcaklık gradyanına ve yüksek sıcaklıklardaki çeliğin yığılma dayanımına bağlıdır. Benzer veya farklı çelik çiftlerine yakma alın kaynağı kolaylıkla uygulanabilir. Ancak, bazı çelik çiftleri için özel işlemler gerekmektedir. Özellikle kütük kalınlığı 0.05 inç'ten daha fazla olan ekstrüzyon yöntemi ile şekillendirilmiş alüminyum ve alaşımları için de yakma alın kaynağı uygun bir birleştirme yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Genel olarak yüksek zirkonyum içerikli bakır alaşımlarının kaynak kabiliyeti, düşük zirkonyum içerenlere oranla daha iyidir. Ayrıca yüksek kurşun miktarı kaynaklı bağlantının kırılmasına neden olur (50-52).

Kurşun, zirkonyum, bizmut, antimuan ile bu metallerin oluşturduğu alaşımların yakma alın kaynağı ile birleştirilmeleri imkansız veya oldukça zordur.

Bu metallerin kaynağındaki en büyük olumsuz etki kaynak yapan kişinin soluduğu havaya ve kullandığı ekipmana ulaşması yönünden bu tür metallerle yakma alın kaynağının uygulanması doğru değildir (53).

Farklı metal kombinasyonlarına uygun kaynak koşullarında ve düzgün iş parçası dizaynlarında kolaylıkla yakma alın kaynağı uygulanabilir. Yakma alın kaynağı ile birleştirilebilecek bazı metal kombinasyonları Çizelge 2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yakma alın kaynağı ile birleştirilebilecek bazı metal kombinasyonları

Ana metal	Al	Cu	Mg	Ni	Pas. Çelik	Mo	Ti	W
Al	♦	♦	♦	♦			♦	
Cu	♦	♦	♦	♦	♦		♦	
Mg	♦	♦	♦					
Ni	♦	♦		♦	♦	♦		♦
Pas. Çelik		♦		♦	♦	♦	♦	♦
Ti	♦	♦			♦			
W				♦	♦			♦

4. SEMENTASYON (KARBONLAMA) ÇELİKLERİ

Tez çalışmasında kullanılan 16MnCr5 kodlu çelik sementasyon (karbonlama) çeliği grubu altında bulunmaktadır. Karbonlama çeliklerinin karbon oranları 0,10-0,20 arasındadır. Karbonlanmış çeliklerin gövde sertleşebilirlikleri çeliğin özgül karbon yüzdelere ve su verme işlemindeki soğutma hızına bağlıdır. Çelik seçimi ise uygulama ve tasarım etmenlerine bağlıdır. Genel olarak yüksek basma yüklerinin olduğu uygulamalarda, kabuğa destek sağlamak için, yüksek gövde sertliği ve bunun içinde % 0,20 civarında karbon içeren çeliklerin seçilmesi gerekir. Düşük gövde sertlikleri ise tokluğun önemli olduğu uygulamalar için yararlıdır. Bu nedenle de düşük karbon yüzdeli çelikler tokluk özelliğinin önemli olduğu uygulamalar için seçilirler (54).

İçersinde % 0,15-0,30 C bileşim aralığındaki düşük orta karbonlu çelikler, düşük karbonlu çeliklere oranla daha yüksek dayanım ve sertliğe fakat, daha düşük biçimlenebilme özelliğine sahiptirler. Karbonlu çeliklerin sementasyon işlemine en uygun olan çelikleri 1016,1018,1020,1025,1030 ile 1518,1522 ve 1524 no 'lu çeliklerdir (54).

Alaşımli çeliklerin karbonlama (sementasyon) için kullanımlarının nedeni, karbonlu çeliklerin yağda su verme gibi işlemlerdeki yavaş soğutma hızlarında oluşturamadığı yüksek yüzey sertliklerine ulaşabilmeleridir. Düşük alaşımlı sementasyon çeliklerinin su verildiklerinde çarpılma ve çatlama olasılıkları daha azdır. Sementasyona uygun çelik seçimlerinde genel yaklaşım şudur; semente edilmiş çelikler yağda su verildiklerinde yüzey sertliği en az 58 HRc değerine ulaşabilmelidir. Kesit alanı büyüdükçe daha yüksek alaşımlı çelik kullanılmalıdır. Böylece gerekli olan daha yüksek sertleşebilirlik elde edilmiş olur (54).

Bu çalışmada kullanılan 16MnCr5 çeliği de 5115 SAE/AISI numarasıyla düşük sertleşebilirlikli sementasyon çelikleri grubuna girmektedir. 16MnCr5 çeliğinin literatürdeki standart gösterilişi Çizelge 4.1'de, teorik kimyasal analizi Çizelge

4.2’de, mekanik özellikleri Çizelge 4.3’te, ısıt işlemler özellikleri ise Çizelge 4.4’te verilmektedir (54-55).

Çizelge 4.1. 16MnCr5 çeliğinin standartlardaki gösterilişi

Türkiye TS		Almanya DIN		Fransa	İngiltere	İtalya	Bağım. Devl. Top.	A.B.D
Malz. No	Sembol	Malz. No	Sembol	AFNOR	B.S.	UNI	GOST	AISI/SAE/ ASTM
1.7131	16MnCr5	1.7131	16MnCr5	16MC5	527M17	16MnCr5	18ChG	5140

Çizelge 4.2. 16MnCr5 çeliğinin kimyasal analizi (Teorik)

% Cr	% C	% Si	% Mn	% P (Max.)	% S (Max.)
0,80-1,10	0,14-0,19	0,15-0,40	1,00-1,30	0,035	0,035

Çizelge 4. 3. 16MnCr5 çeliğinin mekanik özellikleri

Akma dayanımı ($\geq N/mm^2$)			Çekme dayanımı (N/mm^2)			Uzama $\geq \%$			Tokluk $\geq J$		Alan daralması $\geq \%$		
Φ11	Φ30	Φ63	Φ11	Φ30	Φ63	Φ11	Φ30	Φ63	Φ11	Φ30	Φ11	Φ30	Φ63
635	590	640	880-1180	780-1080	640-930	9	10	11	41	41	35	40	40

Çizelge 4.4. 16MnCr5 çeliğinin ısıt işlemler özellikleri

Haddeleme sıc. ($^{\circ}C$)	Normalize tav. ($^{\circ}C$)	Yumuşatma tav. ($^{\circ}C$)	Gerilim gid. tav. ($^{\circ}C$)	Yüzey sert. sıc. ($^{\circ}C$)	Menevişleme sıcaklığı ($^{\circ}C$)
1100-850	840-870	650-700	650-700	870-930	170-210

4.1. Sementasyon (karbonlama) Çeliklerinin Çeşitleri

Sementasyon (karbonlama) çelikleri kabuk sertliklerine göre üç bölüme ayrılabilirler. Bunlar düşük sertleşebilirlikli, orta sertleşebilirlikli ve yüksek sertleşebilirlikli sementasyon çelikleridir (55).

Düşük sertleşebilirlikli sementasyon çelikleri küçük çaplı ve küçük kesit alanlı parçalar için seçilmektedirler.

Düşük alaşımlı sementasyon çeliklerine karbonlama öncesi normalleme işlemi uygulanır. 40XX - 88XX arasındaki tüm sementasyon (karbonlama) çelikleri ile borlu çelikler genellikle 900-925 °C sıcaklıklarda karbonlanırlar.

Düşük orta karbonlu çeliklerin arasında düşük Mn'lıların talaşlı işlenebilirliği diğerine oranla daha yüksektir. Biçimlenebilme özelliği de belirli bir karbon düzeyinde, düşük Mn'lılardan daha iyidir. Düşük orta sertleşebilirlikli sementasyon çelikleri sorunsuz olarak rahatça kaynatılabilmektedir (55).

4.2. Sementasyon (Karbonlama) Çeliklerinin Kullanım Alanları

16MnCr5 sementasyon çeliğinin kullanım alanları genelde iletim ve taşıma organlarını kapsamaktadır. Başlıca küçük çarklar, zincirler, miller, kordon mafsalları, kontrol üniteleri, bütün dişliler ve zincir dişli çarklar, motor hız kutuları, pernolar, orta zorlamalı nakil vasıtalarının, takım tezgahlarının ve iş makinelerinin parçalarında kullanılır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, yakma alın kaynağı yöntemiyle Çizelge 5.1’de gösterilen kaynak parametreleri ile kaynatılan ve Çizelge 5.2’ de kimyasal bileşimi verilen 16MnCr5 sementasyon çeliğinin, kaynak kalitesi ve kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir.

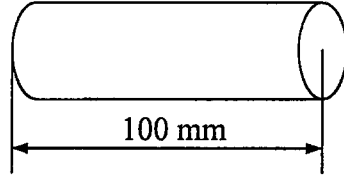
5.1. Materyal ve Metod

5.1.1. Materyal

Aşağıda (Çizelge 5.2) kimyasal bileşimi verilen ve yüzey temizliği yapılan parçadan Şekil 5.1’de gösterildiği gibi 100 mm. boyunda ve 18 mm. çapında (270) adet kesilen numuneler, OSTİM’ deki YAPAŞ ZİNCİR FABRİKASI’NDA, SCHLATTER marka yakma alın kaynak makinesi ile Çizelge 5.1’deki değişken kaynak parametrelerine göre kaynatılmıştır. Bu kaynak makinesine ait özellikler ise aşağıda verilmektedir.

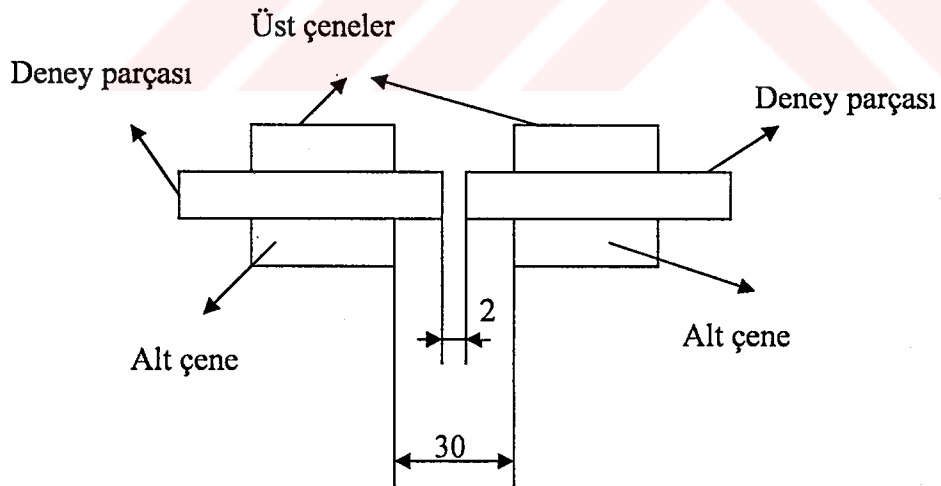
Yakma alın kaynak makinesinin özellikleri.

Makine adı	Schlatter Aa 9/
Ön ısıtma, yakma ve yığma kademeleri	Otomatik.
Yığma gücü	90 kN
Kenetleme gücü	230 kN
İlerleme mesafesi	30 mm.
Hidrolik basıncı	5 Bar
Transformatör gücü	56 kVA
Akım kademesi	3
Max. sekonder akımı	7,1 V
Nominal sekonder akımı	11,3 kA



Şekil 5.1. Yakma alın kaynağı ile kaynatılan kaynak numunesi

Kaynak işleminde parçaların çenelere uzaklık mesafeleri kaynak makinesi firmasınınca verilen tablolara bağlı olarak belirlenmiştir. Buna göre Şekil 5.2 'de gösterildiği gibi iki çene arası uzaklık 30 mm., parçaların alın yüzeyleri arasındaki uzaklık ise 2 mm. olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.2. Numunelerin çeneye bağlanması.

Çizelge 5.1. Deney parametreleri

KOD	Yığma Basıncı (Bar)	Yığma akım zamanı (saniye)	Kaynak sonrası ısıtıl işlem durumu	Numune Adeti
A1	2	1,6	Görmemiş	15
A2	2	1,8	Görmemiş	15
A3	2	2	Görmemiş	15
B1	2,5	1,6	Görmemiş	15
B2	2,5	1,8	Görmemiş	15
B3	2,5	2	Görmemiş	15
C1	3	1,6	Görmemiş	15
C2	3	1,8	Görmemiş	15
C3	3	2	Görmemiş	15
I-A1	2	1,6	Görmüş	15
I-A2	2	1,8	Görmüş	15
I-A3	2	2	Görmüş	15
I-B1	2,5	1,6	Görmüş	15
I-B2	2,5	1,8	Görmüş	15
I-B3	2,5	2	Görmüş	15
I-C1	3	1,6	Görmüş	15
I-C2	3	1,8	Görmüş	15
I-C3	3	2	Görmüş	15

Çizelge 5.2. 16MnCr5 çeliğinin kimyasal analizi

% Cr	% C	% Mn	% Si	% Mo	% Ni	% Co	% P	% Al	% S
1,04	0,143	1,17	0,188	0,0301	0,0619	0,0205	0,010	0,0234	0,019

Bütün kaynak işlemi boyunca çenelerin sıkma yüzeylerinin temas direnci oluşturmaması için daima temiz tutulmaya çalışılmıştır. Yapılan kaynak işlemlerinde aşağıda verilen kaynak parametreleri deney boyunca sabit tutulmuştur.

Voltaj.....3 Volt

Ampermetre.....30 A

Ön ısıtma zamanı.....3 Saniye

Temas zamanı.....1,2 Saniye

Çene sıkma basıncı.....3 Bar.

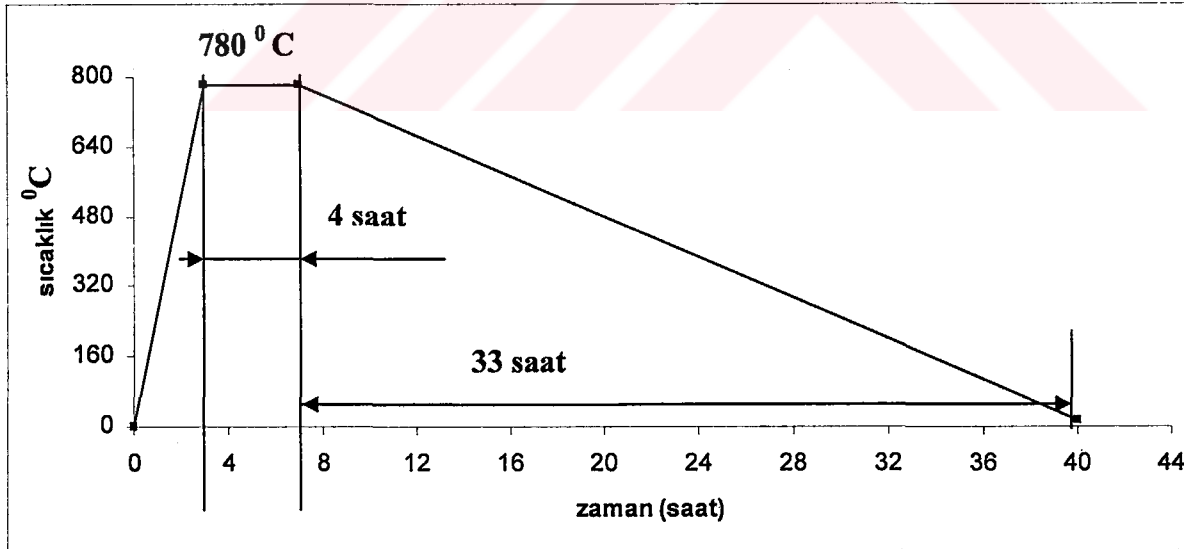
Makine basıncı6 Bar.

5.1.2. Metod

Verilen bütün değişken ve sabit kaynak parametreler altında kaynatılan deney numuneleri kaynak işleminden sonra, bütün parametrelerden birer tane alınarak bir bölümü ısıtım işlemi, bir bölümü mikroyapı fotoğrafları, bir bölümü de sertlik ölçümleri için ayrılmıştır. Isıtım işlemi görecekle numuneler fırına bırakılmış, mikroyapı fotoğrafları için ayrılmış numuneler de gerekli işlemlere tabi tutulmuştur. Bütün bu yapılan işlemlerin detayları konu başlıkları altında aşağıda verilmiştir. Sertlik ölçümleri için ise her bir parametredeki deney numunesinin üzerinden 4 ayrı noktadan sertlik değeri alınmış ve bu değerlerin ortalamaları sonucunda sertlik grafikleri çıkarılmıştır.

5.1.2.1. Isıtım işlemi

Yukarıda Çizelge 5.1'deki (I) kodu ile verilen deney numuneleri kaynak işleminden sonra 780°C 'de 4 saat tavllanmış, daha sonra fırın içerisinde yavaş soğutulmaya bırakılmıştır (Şekil 5.3).



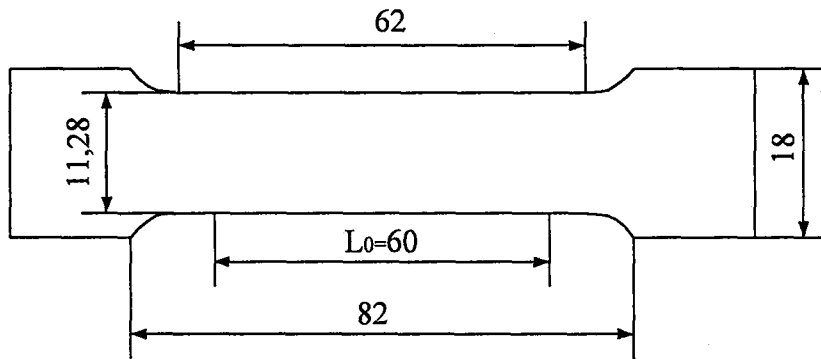
Şekil 5.3. Kaynak sonrası numunelere uygulanan ısıtım işlemi grafiği.

5.1.2.2. Metalografik uygulama

Yukarıda verilen sabit ve değişken kaynak parametrelerine bağlı kalınarak yapılan deneylerden sonra numunelerden mikro yapı fotoğrafları ve sertlik ölçümleri alınmıştır. Mikro yapı fotoğrafları için numuneler sırasıyla 200, 400, 600, 800 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanmış ve daha sonra % 2 Nital çözeltisiyle dağlama yapılmıştır. Daęlanan bu numunelerin mikro yapı fotoğrafları Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakóltesi Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalı Laboratuvarında bulunan PRIOR marka optik mikroskop yardımıyla çekilmiştir.

5.1.2.3. Çekme numunesi hazırlama

Verilen parametrelerde (Çizelge 5.1) yakma alın kaynağı ile kaynatılan numuneler, daha sonra Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakóltesi Makine Eğitimi Bölümünde, TS 138 standartlarına uygun olarak CNC tezgahlarında çekmeye hazır hale getirilmiştir. Bu standartlara göre hazırlanan çekme numunesinin grafiği Şekil 5.3'te verilmektedir.



Şekil 5.4. Çekme numuneleri standardı (TS138).

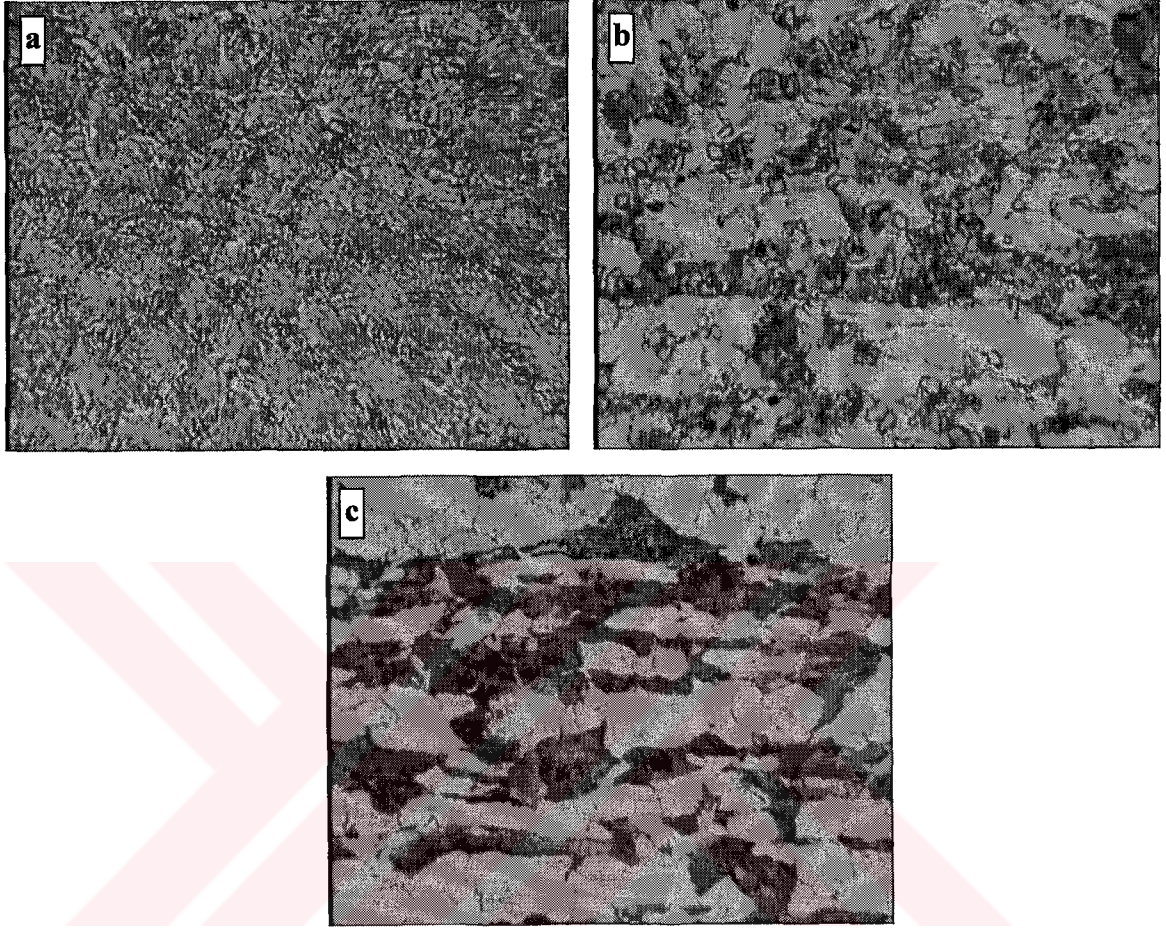
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Zincir imalatında kullanılan 16MnCr5 sementasyon çeliği yakma alın kaynağı ile kaynatılmış, yığma akım zamanının ve yığma basıncının malzemenin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiş ve bütün numunelere ait deney sonuçları ve tartışmaları ayrı ayrı aşağıda verilmiştir.

6.1. A1 ve I-A1 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma

A1, A2 ve A3 numunelerinde yığma basıncı 2 bar, yığma akım zamanı 1.6, 1.8 ve 2 saniye olarak seçilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerdeki değişikliklerin malzeme mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

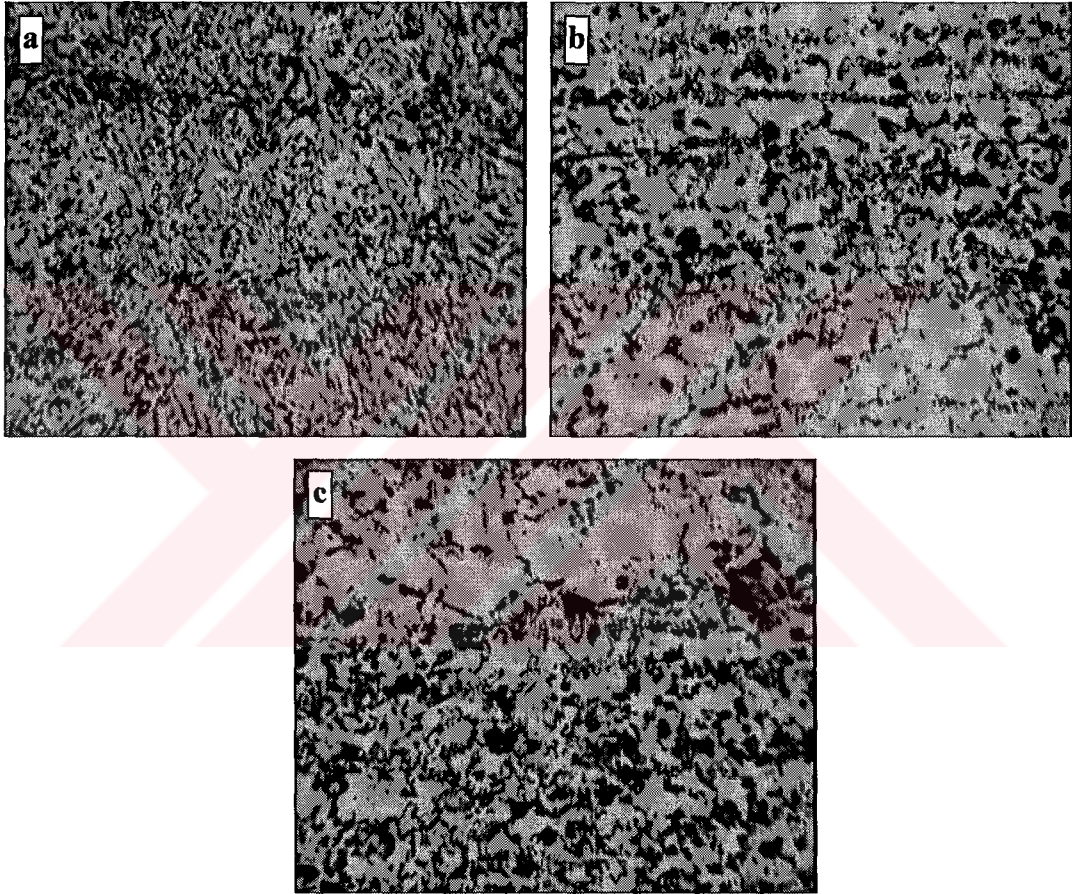
1.6 saniyelik yığma akım zamanına sahip A1 numunesine ait kaynak ara yüzeyi, ITAB ve ana malzeme mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.1'de, aynı numunenin ısıtma işlem sonrası mikroyapı fotoğrafları ise Şekil 6.2'de verilmektedir.



Şekil 6.1. A1 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280), (a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

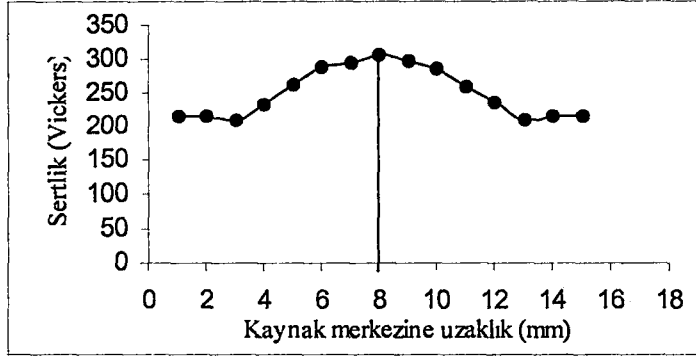
Şekil 6.1'deki A1 numunesinin mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde malzemenin yapısında ferrit ve perlit fazlarının olduğu görülmektedir. Mikroyapı fotoğraflarında siyah görülen bölgeler perlit, açık renkli bölgeler ise ferrit fazını temsil etmektedir. Numunenin ana malzeme mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde (Şekil 6.1c), iri ferrit taneleri arasında perlit fazının bulunduğu ancak homojen olarak dağılmadığı ve bu tanelerin ısı akış yönünde yönlendiği görülmektedir. Aynı numunenin ITAB mikroyapı fotoğrafında (Şekil 6.1b), kaynak sırasındaki sıcaklık ve basıncın etkisiyle ana malzemeye göre perlit tanelerinin küçüldüğü, kaynak ara yüzeyi mikroyapı fotoğrafı (Şekil 6.1a) incelendiğinde ise tane yapısının daha ince ve uzun şekilli tanelerden oluştuğu görülmektedir. Bu ince ve uzun şekilli tanelerin de asiküler ferrit yapıda olduğu düşünülmektedir. Asiküler ferrit metal mikroskobunda iki boyutlu

görüntüsü iğneye benzediği için asiküler adını almıştır (57). Ayrıca literatürde çelik kaynak metalinde genellikle $\Delta t_{8/5}$; 5 saniyeden az olursa mikroyapı martensit veya beynit , $\Delta t_{8/5}$; 100 saniyeden fazla olursa poligonal ferrit ve perlit yapının oluştuğu, eğer iki değişken arasındaki $\Delta t_{8/5}$ için mikroyapı çeliğin kimyasal yapısına bağlı olarak yüksek miktarda asiküler ferrit hacim oranı içerdiği belirtilmiştir. (58).

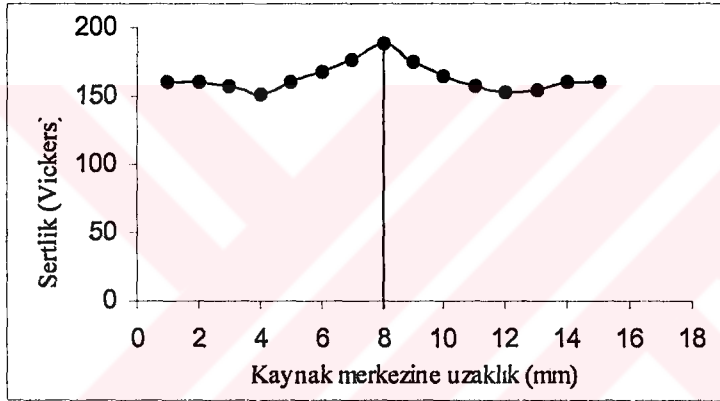


Şekil 6.2. I-A1 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Şekil 6.2’de aynı numunenin kaynak sonrası normalizasyon ısıl işlemine tabi tutulmuş mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde de tane yapılarında kaynak sonrası oluşan yönlennmelerin normalizasyon sonucu toparlandığı, ferrit ve perlit fazlarının homojen olarak dağıldığı görülmektedir.



Şekil 6.3. A1 numunesinin sertlik grafiği.



Şekil 6.4. I- A1 numunesinin sertlik grafiği.

Şekil 6.3’de verilen A1 numunesine ait sertlik grafiğinde, en yüksek sertliğe kaynak ara yüzeyinde ulaşıldığı görülmektedir. Yılmaz’ın (12) çalışmasında da kaynak çizgisi boyunca HSS tarafında maksimum sertliğin olduğu, deformasyondan dolayı da kaynak çizgisinde ve hemen yanındaki bölgedeki sertliğin yükseldiği söylenmiştir. Ayrıca Civelekoğlu’nun (17) yaptığı farklı metal çiftlerine yakma alın kaynağı uygulamasında da en sert bölgenin kaynak ara yüzeyi olduğu görülmüştür. Aynı zamanda katılaşmanın son kısmında sıvının içerisinde çözünmüş alaşım elementleri ve emprüte atom oranı yüksek olur. Bu durum son kısımda segregasyona yol açar. Bu segregasyonlar da kaynak ara yüzeyi sertliğinin yükselmesinde etkin rol oynarlar. Kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında en düşük sertlik değeri elde edilirken, daha sonra bu noktadan esas metale doğru gidildikçe sertliğin tekrar bir miktar arttığı fakat bu artışın kaynak ara yüzeyindeki sertlik kadar olmadığı

görülmektedir. Bunun sebebi ise bu bölgelerdeki ısı girdisi zamanı ve soğuma sürelerindeki farklılıktır. Yükler'in (57) ders notlarında da kaynak ara yüzeyine uygulanan ısı miktarının kaynak ara yüzeyindeki sıcaklık dağılımını ve soğuma hızını etkilediği ifade edilmiştir. Aynı numunede normalizasyon ısı işlemi sonrasında sertliğin ısı işlem görmemiş numunelerdeki büyük bölgesel sertlik farklılıklarına rastlanılmamaktadır. Fritz ve Staudinger (23), kaynak ara yüzeyindeki sertliği düşürmek amacıyla numunelere 820-880 °C'lerde yumuşatma tavlama ısı işlemi uygulamışlardır. Böylelikle ara bölgedeki sertlik farkı azaltılmıştır. Buradaki sertlik eğrilerine bakıldığında (Şekil 6.4) kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki sertlik farkı azalmış ve eğri daha doğrusal bir hal almıştır. Ancak ısı işlem sonrası malzemenin sertlik değerinde önemli oranda azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebinin malzemelerin normalizasyon ısı işlemi sonrası mikroyapılarında (Şekil 6.2) meydana gelen toparlanmadır.

Çizelge 6.1. A1 ve I-A1 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.

Numune adı	Basınç (Bar)	Yığma akım zam. (Saniye)	Çekme hızı (mm/sn.)	Akma (N/mm ²)	Max. Çekme (N/mm ²)	Lo (mm)	Ls (mm)	Uzama %
A1	2	1,6	2	-	670	60	67	11,66
I-A1	2	1,6	2	355	489	60	76	26,66

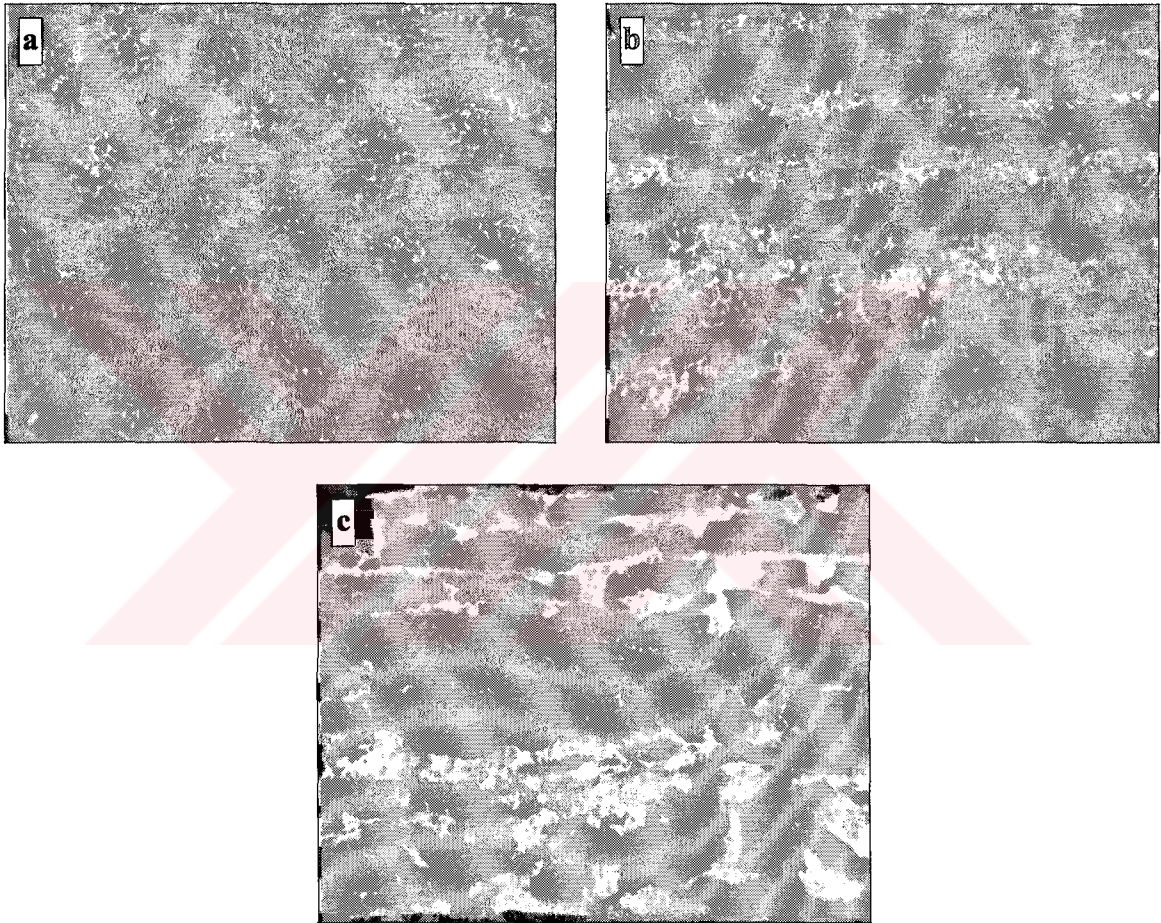
Çizelge 6.1'de A1 ve I-A1 numunelerine ait çekme testi sonuçları verilmektedir. Deneylerde bütün numunelerde kopmalar kaynak bölgesi dışından, esas malzemeden olmuştur. Bu sonuçlara göre kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi görmüş I-A1 numunesinin A1 numunesine göre daha düşük bir kopma noktasına fakat daha fazla % uzama miktarına sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak ısı işlemsiz A1 numunesindeki kopmanın ve bu çekmeden dolayı oluşan plastik deformasyonun kaynak bölgesinin dışında, esas malzemede meydana gelmesi olarak düşünülmektedir. Deformasyondan dolayı meydana gelen pekleşme dar bir alanda olduğu içinde hızlı oluşmaktadır. Pekleşmenin hızlı olmasının da dayanımı arttırdığı düşünülmektedir. Kaynak sonrası ısı işlem görmüş numunedeki kopma

noktasının düşük, yüzde uzamasının ise yüksek olmasının sebebi ise deformasyonun daha geniş bir alanda gerçekleşmesidir. Deformasyon alanı genişledikçe pekleşme hızı düşmekte, kaynak sonrası uygulanan normalizasyon işlemi numunenin sünekliği ile birlikte % uzama miktarını da arttırmıştır.



6.2. A2 ve I-A2 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma

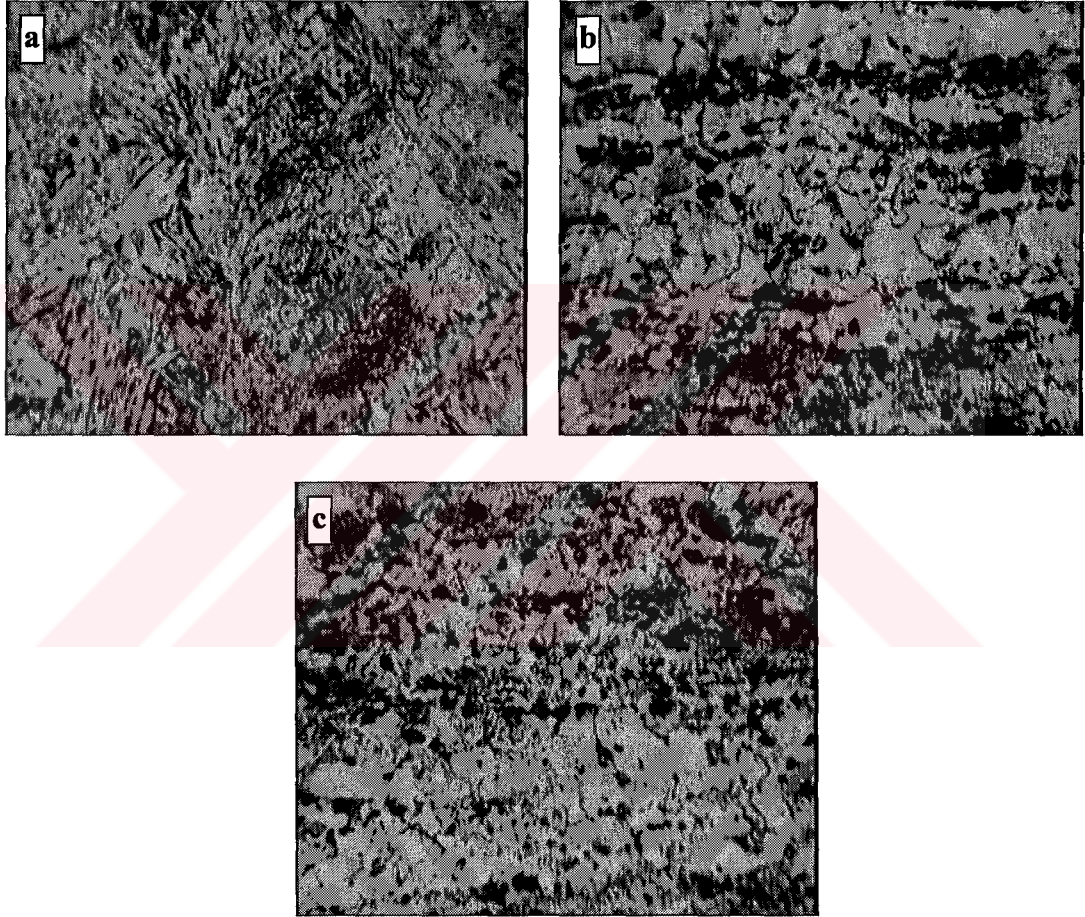
A2 numunesinin kaynak parametrelerinde yığma akım zamanı 1,6 saniyeden 1,8 saniyeye çıkartılmıştır. A2 numunesine ait kaynak ara yüzeyi, ITAB ve ana malzeme mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.5'de, aynı numunenin ısıtıl işlem sonrası mikroyapı fotoğrafları ise Şekil 6.6'da verilmektedir.



Şekil 6.5. A2 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Yığma akım zamanının artmasıyla beraber malzemeye uygulanan ısı girdisi de artmıştır. Isı girdisinin artması ile Şekil 6.5c'de mikroyapı fotoğrafı görülen ana malzemedeki tane yapısının A1 numunesine göre eşksenel bir hal aldığı, kaynak sırasında ısı akışı yönünde meydana gelen tane yönlenmesinin burada A1 numunesine göre daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca yapıdaki ferrit taneleri bir arada bulunurken, ferrit taneleri aralarındaki perlitlerin düzensiz bir şekilde dağıldığı

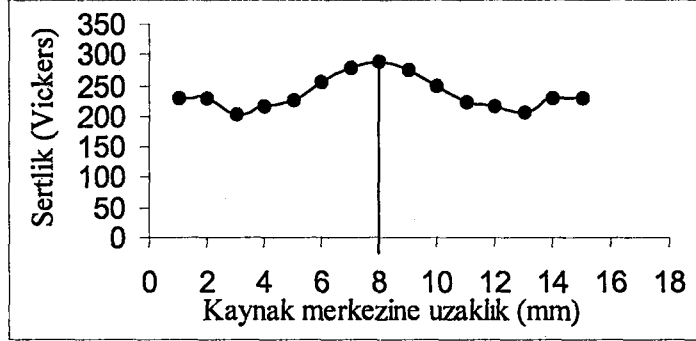
görülmektedir. Ana malzemedan kaynak ara yüzeyine yaklaştıkça ısının tesiriyle tanelerin inceldiği ve kaynak ara yüzeyinde ise tamamen ince ve uzun şekilli tane yapısının oluştuğu görülmektedir (Şekil 6.5b-a). Bu ince ve uzun şekilli tanelerin asiküler ferrit olduğu düşünülmektedir. Kaynak metalinde etkili olan 3 faz vardır. Bunlar asiküler ferrit, primer ferrit ve wismantatten kenar levhaları (57).



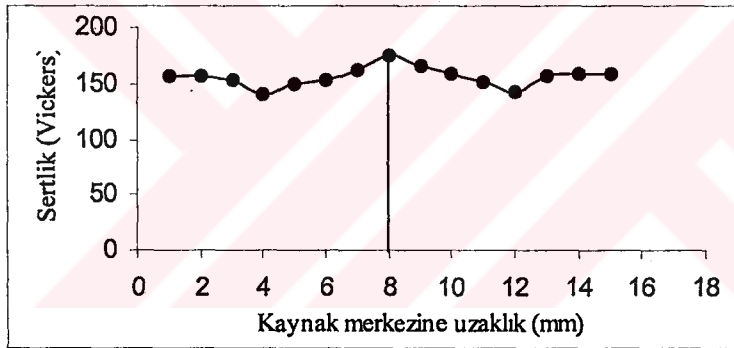
Şekil 6.6. I-A2 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Aynı numunenin kaynak sonrası ısıtıl işlem görmüş mikroyapı fotoğraflarında ise (Şekil 6.6), tanelerin uygulanan normalizasyon ısıtıl işlemin etkisiyle kaynak sırasında meydana gelen tane yönelmelerinin toplandığı, yapıdaki perlitlerin ferrit taneleri arasında homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Kaynak ısı girdisi arttıkça primer ferrit, widmanstatten kenar levhaları hacim oranı artarken asiküler ferrit oranı azalır (57). Isıl işlem görmüş bu numunenin kaynak ara yüzeyi mikroyapı fotoğrafı

incelendiğinde ise (Şekil 6.6a), ince ve uzun asiküler ferrit tanelerinin yanı sıra plaka halinde gözüken ve widmanstaten olduğu düşünülen tane yapısından söz edilebilir.



Şekil 6.7. A2 numunesinin sertlik grafiği (HV5).



Şekil 6.8. I-A2 numunesinin sertlik grafiği (HV5).

Şekil 6.7'de verilen A2 numunesine ait sertlik grafiğinde, en yüksek sertliğe, ısı girdisinin, deformasyonun ve soğuma hızının en fazla olduğu kaynak ara yüzeyinde ulaşıldığı görülmektedir. Kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında en düşük sertlik değeri elde edilirken, daha sonra bu noktadan esas metale doğru gidildikçe sertliğin tekrar bir miktar arttığı fakat bu artışın bölgeler arasındaki ısı girdisi zamanı ve soğuma sürelerindeki farklılığından dolayı kaynak ara yüzeyindeki sertlik kadar olmadığı görülmektedir. Aynı numunenin normalizasyon ısı işlemi sonrası sertliğinde ısı işlem görmemiş numunelerdeki büyük bölgesel sertlik farklılıklarına rastlanılmamaktadır. Buradaki sertlik eğrilerine bakıldığında (Şekil 6.8) kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki sertlik farkı azalarak eğri doğrusal bir hal almıştır.

ve en yumuşak bölgeleri değiştirmemiş, yine kaynak ara yüzeyinde en sert, kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki geçiş bölgesinde en düşük sertlik değerleri sergilemiştir. Ancak ısıtılma işlem sonrası malzemenin sertlik değerinde, mikroyapısında (Şekil 6.6) meydana gelen toparlanmadan dolayı önemli oranda azalmanın olduğu tespit edilmiştir. A2 numunesinin kaynak ara yüzeyinde, yığılma akım zamanının artmasıyla birlikte ısı girdisinin de artması sonucu soğuma A1 numunesine göre daha yavaş olmuştur. Bunun sonucunda da A2 numunesi kaynak ara yüzeyi sertliğinin (Şekil 6.7) A1 numunesine göre (Şekil 6.3) daha düşük olduğu görülmektedir.

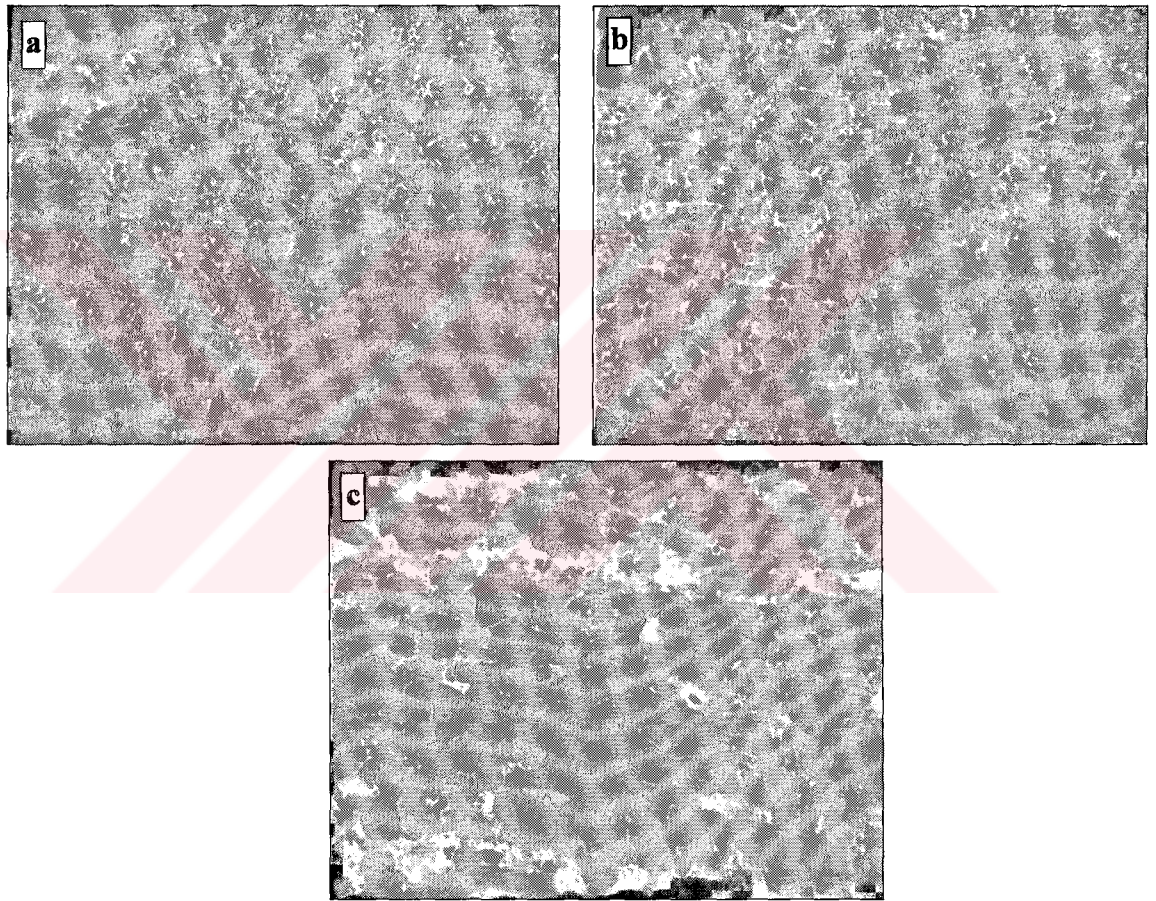
Çizelge 6.2. A2 ve I-A2 numunelerine ait kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.

Numune adı	Basınç (Bar)	Yığılma akım zam. (Saniye)	Çekme hızı (mm/sn.)	Akma (N/mm^2)	Max. Çekme (N/mm^2)	Lo (mm)	Ls (mm)	Uzama %
A2	2	1,8	2	-	690	60	67	11,66
I-A2	2	1,8	2	365	502	60	77	28,33

Çizelge 6.2'deki sonuçlar incelendiğinde kaynak sonrası normalizasyon ısıtılma işlemi görmüş I-A2 numunesinin A2 numunesine göre daha düşük bir kopma noktasına fakat daha fazla % uzama miktarına sahip olduğu görülmektedir. Aynı zamanda A1 ve A2 numuneleri karşılaştırıldığında yığılma akım zamanı arttıkça kopma noktasının da yükseldiği görülmektedir. Bunun nedeni yığılma akım zamanının artmasıyla ısı girdisi miktarı artmakta ve ITAB bölgesi genişlemektedir. Plastik şekil değişiminin dolayısıyla pekleşmenin meydana geldiği alan daha da daralmaktadır. Bu dar alanda meydana gelen pekleşme hızı A1 numunesine göre daha da artmıştır. Pekleşmenin hızlı olması da malzemenin kopma dayanımı arttırdığı düşünülmektedir. Kaynak sonrası ısıtılma işlem görmüş numunedeki kopma noktasının düşük, yüzde uzamasının ise yüksek olmasının sebebi ise deformasyonun daha geniş bir alanda gerçekleşmesidir. Deformasyon alanı genişledikçe pekleşme hızı düşmekte % uzama miktarı ise artan süneklikle birlikte yükselmektedir.

6.3. A3 ve I-A3 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma

A3 numunesinde yığma akım zamanı daha da arttırılarak 2 saniyeye çıkartılmıştır. A3 numunesine ait kaynak ara yüzeyi, ITAB ve ana malzeme mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.9'da, aynı numunenin ısıtıl işlem sonrası mikroyapı fotoğrafları ise Şekil 6.10'de verilmektedir.

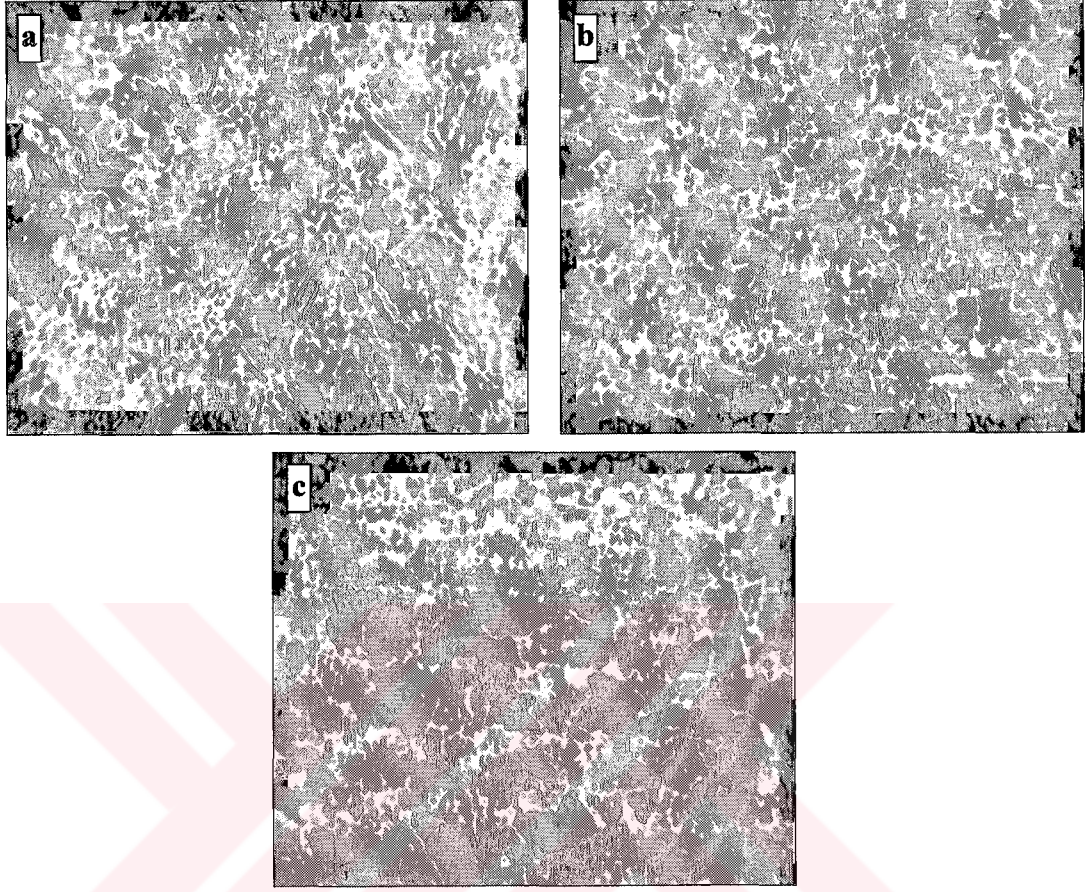


Şekil 6.9. A3 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280). (a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Yığma akım zamanındaki artış numuneye daha fazla ısı girdisine ve bu ısı girdisindeki artış da tane yapısında A2 numunesinin mikroyapısında görülen (Şekil 6.5) toparlanmanın daha da artmasına sebep olmuştur. Daha düşük yığma akım zamanlarında yapılan kaynakların (A1 ve A2 numuneleri) mikroyapı fotoğraflarında görülen ısı akışı doğrultusunda yönelme, yığma akım zamanının

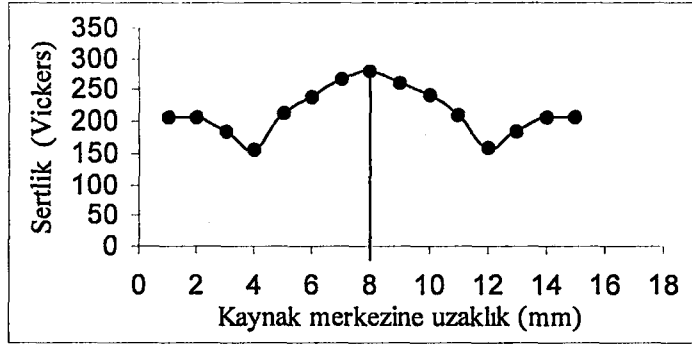
görünüm kazanmıştır. Bu toparlanmaya basıncın da etkisinin olduğu, yığma akım zamanının artmasıyla basıncın etkisinin de arttığı ve daha fazla oranda bir yığma oranı meydana getirdiği düşünülmektedir. ITAB bölgesi mikroyapı fotoğrafında ise (Şekil 6.9b), tane yapısının biraz daha inceldiği görülmektedir. Isı girdisi arttığı için soğuma A1 ve A2 numunelerine göre daha yavaş olacaktır. Literatür bilgilerinde de kaynak soğuma hızına bağlı olarak asiküler ferrit oluşmazsa yavaş soğuma sonucu primer ferrit, hızlı soğumada da beynit oluştuğu bildirilmektedir. Aynı zamanda ısı girdisi miktarı arttıkça asiküler ferrit oranı azalır, primer ferrit ve widmanstatten kenar levhaları hacim oranı artar (57). Kaynak ara yüzeyi mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde (Şekil 6.9a) ise ince ve uzun asiküler ferrit tane yapısının biraz daha azaldığından ve primer ferrit tane yapısının varlığından söz edilebilir.



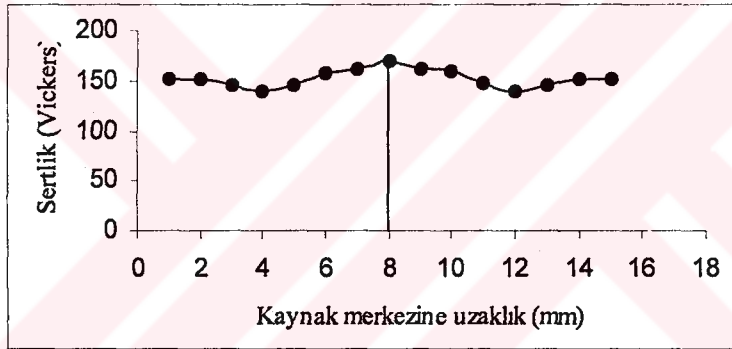


Şekil 6.10. I-A3 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Kaynak sonrası normalizasyon ısı işlem görmüş numunenin ana malzeme mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde (Şekil 6.10c) uygulanan ısı işlem sebebiyle tanelerde incelme ve yapı içerisinde homojen bir dağılım olduğu görülmektedir.



Şekil 6.11. A3 numunesinin sertlik grafiği.



Şekil 6.12. I-A3 numunesinin sertlik grafiği.

Şekil 6.11’de verilen A3 numunesine ait sertlik grafiğinde, en yüksek sertliğe kaynak ara yüzeyinde ulaşıldığı görülmektedir. En düşük sertlik değeri kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki geçiş bölgesinde elde edilmiştir. Aynı numunenin normalizasyon ısı işlemi sonrasında sertliğin ısı işlem görmemiş numunelerdeki büyük bölgesel sertlik farklılıklarına rastlanmamaktadır. Buradaki sertlik eğrilerine bakıldığında (Şekil 6.12) kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki sertlik farkı azalarak eğri doğrusal bir hal almıştır. Ancak ısı işlem sonrası malzemenin sertlik değerinde malzemelerin normalizasyon ısı işlemi sonrası mikroyapılarında (Şekil 6.10) meydana gelen toparlanmadan dolayı önemli oranda azalmanın olduğu tespit edilmiştir. A3 numunesinin kaynak ara yüzeyinde, yığılma akım zamanının artmasıyla birlikte ısı girdisinin de artması sonucu soğuma A2 numunesine göre daha

yavaş olmuştur. Bunun sonucunda da A3 numunesi kaynak ara yüzeyi sertliğinin (Şekil 6.11) A2 numunesine göre (Şekil 6.12) daha düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.3. I-A3 ve A3 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.

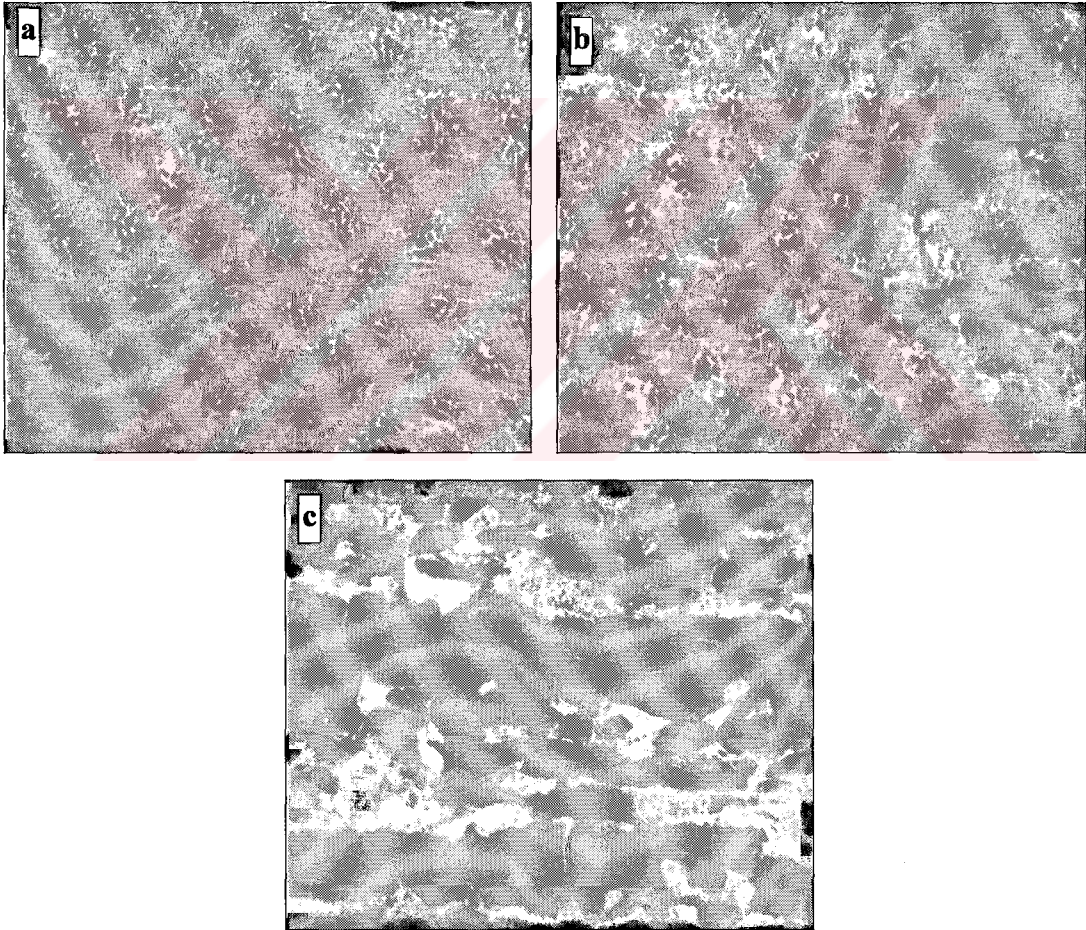
Numune adı	Basınç (Bar)	Yığma akım zam. (Saniye)	Çekme hızı (mm/sn.)	Akma (N/mm ²)	Max. Çekme (N/mm ²)	Lo (mm)	Ls (mm)	Uzama %
A3	2	2	2	-	731	60	68	13,33
I-A3	2	2	2	367,5	512	60	78	30

Çizelge 6.3'deki sonuçlar incelendiğinde burada da kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi görmüş I-A3 numunesinin A3 numunesine göre daha düşük bir kopma noktasına fakat daha fazla % uzama miktarına sahip olduğu görülmektedir. Aynı zamanda A1 ve A2 ve A3 numuneleri karşılaştırıldığında yığma akım zamanı arttıkça kopma noktasının da yükseldiği görülmektedir. Bunun nedeni yığma akım zamanının artmasıyla ısı girdisi miktarı artmakta ve ITAB bölgesi daha da genişlemektedir. Plastik şekil değişiminin dolayısıyla pekleşmenin meydana geldiği alan daha da daralmaktadır. Bu dar alanda meydana gelen pekleşme hızı A1 ve A2 numunesine göre daha da artmıştır. Pekleşmenin hızlı olması da malzemenin kopma dayanımı arttırdığı düşünülmektedir. Bu artış eğrisi kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi görmüş numuneler (I-A1, I-A2, I-A3) arasında da vardır. Yalnız bu numunelerin maksimum kopma noktalarında uygulanan ısı işlemi nedeniyle bir düşüş vardır. Kaynak sonrası ısı işlemi görmüş numunedeki kopma noktasının düşük, yüzde uzamasının ise yüksek olmasının sebebi ise deformasyonun daha geniş bir alanda gerçekleşmesidir.

6.4. B1 ve I-B1 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma

B1, B2 ve B3 numunelerinde yığma basıncı 2.5 bara çıkartılmış ve yığma süreleri de yine 1.6, 1.8 ve 2 saniye olarak denemeler yapılmıştır.

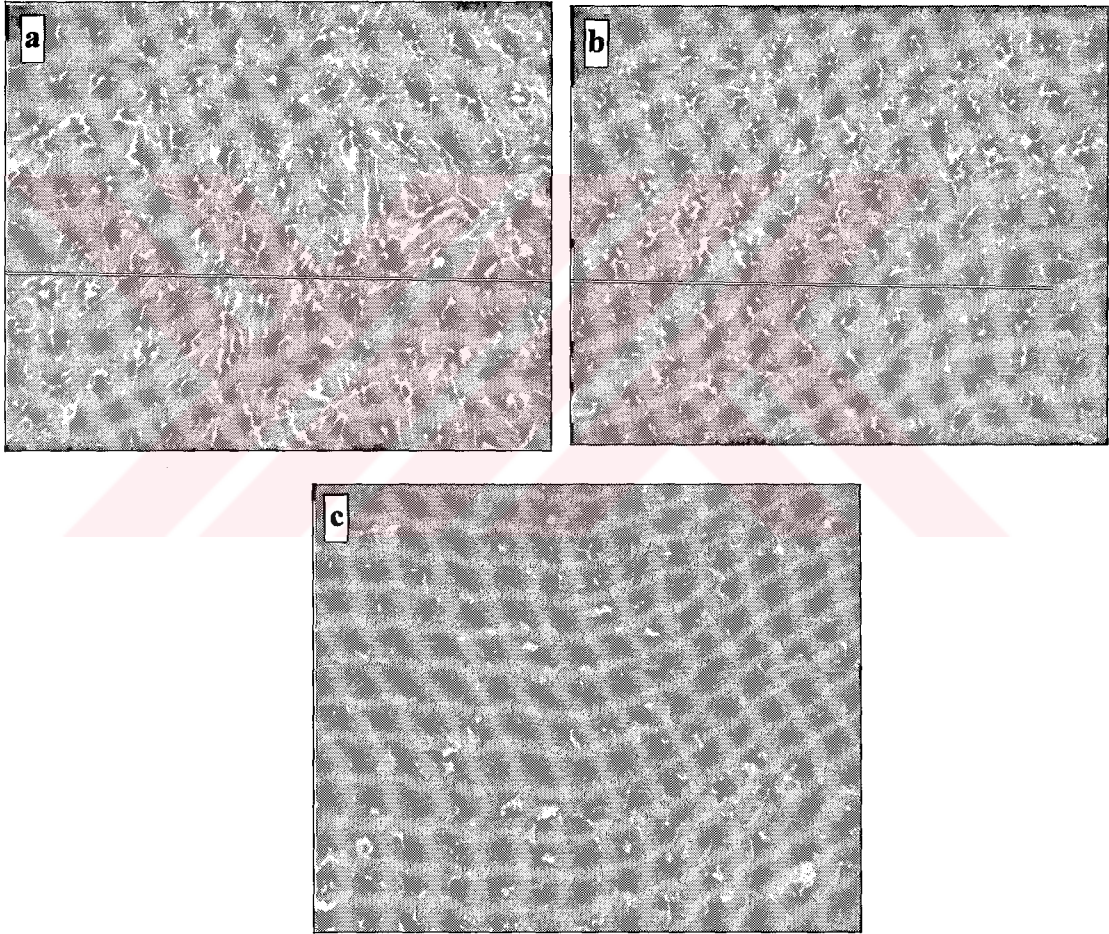
2.5 bar yığma basıncı ve 1.6 saniye yığma süresi ile kaynatılan B1 numunesine ait kaynak ara yüzeyi, ITAB ve ana malzeme mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.13'de, aynı numunenin ısıl işlem sonrası mikroyapı fotoğrafları ise Şekil 6.14'de verilmektedir.



Şekil 6.13. B1 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Şekil 6.13c incelendiğinde ana malzeme tane yapısının Şekil 6.1c'de verilen A1 numunesinin tane yapısına benzediği, burada da ısı akış yönünde yönelmelerin

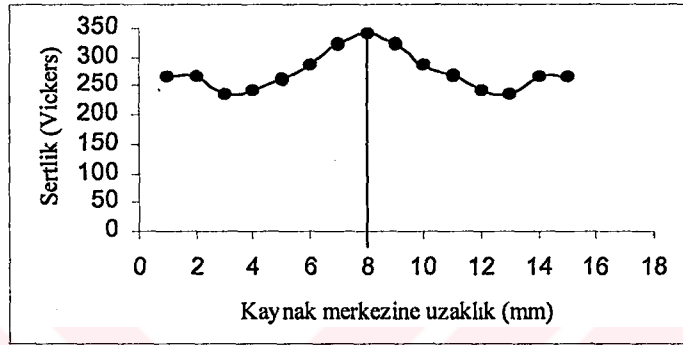
meydana geldiği, ancak burada meydana gelen tane yönelmesinin basıncın etkisiyle A1 numunesine göre daha az olduğu görülmektedir. Şekil 6.13b’de B1 numunesinin ITAB mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde A1 numunesinin ITAB mikroyapısına (Şekil 6.1b) göre daha küçük ve daha düzenli tane yapısına sahip olduğu, bu farklılığın da basıncın yüksek olmasından meydana geldiği düşünülmektedir. Kaynak ara yüzeyinin mikroyapı fotoğrafı (Şekil 6.13a) incelendiğinde ise yapıda ince ve uzun şekilli tanelerin varlığından söz edilebilir.



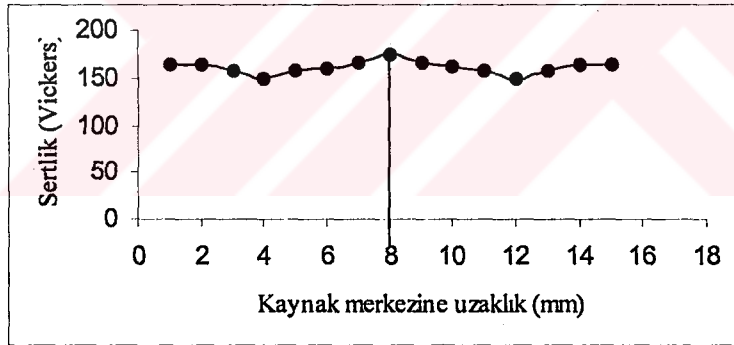
Şekil 6.14. I-B1 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280). (a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemine tabi tutulmuş numunenin mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde (Şekil 6.14) ana malzeme mikroyapı fotoğrafında (Şekil 6.14c) tanelerde küçülme olduğu ve ferrit-perlit fazlarının homojen bir

dağılımı söz konusudur. ITAB bölgesi mikroyapı fotoğrafında ise tanelerin toparlandığı ve düzenli bir hal aldığı görülmektedir (Şekil 6.14b). ısıtıl işlem görmüş bu numunenin kaynak ara yüzeyi mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde ise (Şekil 6.14a) bir parça tane irileşmesinin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 6.15. B1 numunesinin sertlik grafiği (HV5).



Şekil 6.16. I-B1 numunesinin sertlik grafiği (HV5).

Şekil 6.15'de verilen B1 numunesine ait sertlik grafiğinde, en yüksek sertliğe, kaynak ara yüzeyinde ulaşıldığı görülmektedir. Bu yüksek sertliğe deformasyonun yanı sıra soğuma hızının da neden olduğu düşünülmektedir. Kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında bölgeler arasındaki ısı girdisi oranı ve soğuma sürelerindeki farklılığından dolayı sertlik farklılıkları görülmektedir. Aynı numunenin normalizasyon ısıtıl işlemi sonrasında sertlik eğrilerine bakıldığında (Şekil 6.16) kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki sertlik farkı azalarak uygulanan ısıtıl işlem nedeniyle eğri doğrusal bir hal almıştır. Kaynak sonrası normalizasyon ısıtıl işlemi görmüş deney numunelerinde de yine kaynak ara yüzeyinde en sert bölge ve kaynak

ara yüzeyi ile esas metal arasındaki geçiş bölgesinde ise en düşük sertlik değeri elde edilmiştir. Ancak ısıtılma işlemi sonrası malzemenin sertlik değerinde malzemelerin normalizasyon ısıtılma işlemi sonrası mikroyapılarında (Şekil 6.14) meydana gelen toparlanmadan dolayı önemli oranda azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

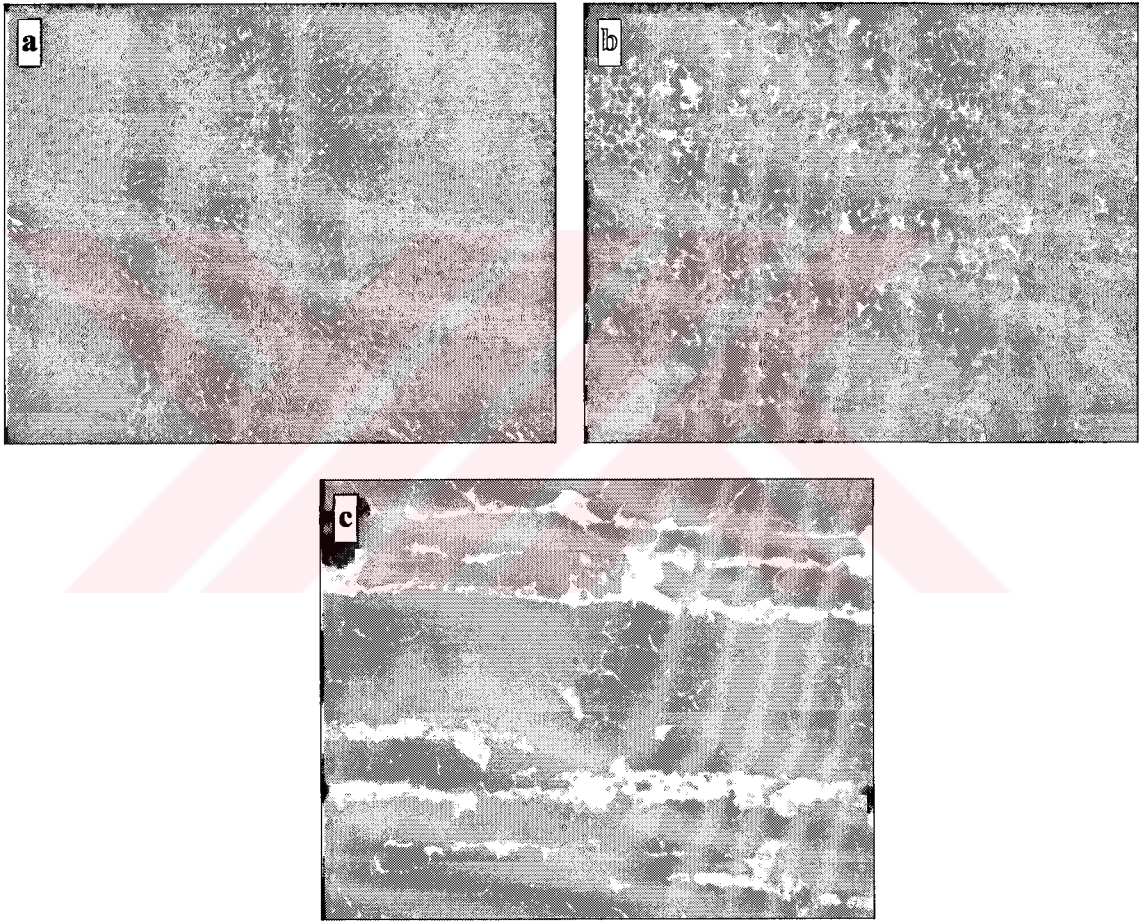
Çizelge 6.4. I-B1 ve B1 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları

Numune adı	Basınç (Bar)	Yığılma akım zam. (Saniye)	Çekme hızı (mm/sn.)	Akma (N/mm^2)	Max. Çekme (N/mm^2)	Lo (mm)	Ls (mm)	Uzama %
B1	2,5	1,6	2	-	670	70	78	11,42
I-B1	2,5	1,6	2	345	492	60	75	25

Çizelge 6.4'deki sonuçlar incelendiğinde burada da kaynak sonrası normalizasyon ısıtılma işlemi görmüş I-B1 numunesinin B1 numunesine göre daha düşük bir kopma noktasına fakat daha fazla % uzama miktarına sahip olduğu, aynı zamanda B1 numunesinin kopma noktasının aynı yığılma akım zamanında fakat daha düşük yığılma basıncında kaynatılan A1 numunesiyle aynı kopma noktasına sahip olduğu görülmektedir. Bir tek bu deney sonucu böyle çıkmıştır. Diğer numunelerde yığılma akım zamanı sabit tutulup basınç arttığında kopma noktasının da arttığı görülmektedir. Yalnız bu numunelerin maksimum kopma noktalarında uygulanan ısıtılma işlemi nedeniyle bir düşüş vardır. Numuneye kaynak sonrası uygulanan normalizasyon ısıtılma işlemi tane yapısının incelmeye, malzemenin sünekliğinin artmasına, % uzama miktarının da artan süneklikle birlikte yükselmeye sebep olmuştur.

6.5. B2 ve I-B2 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma

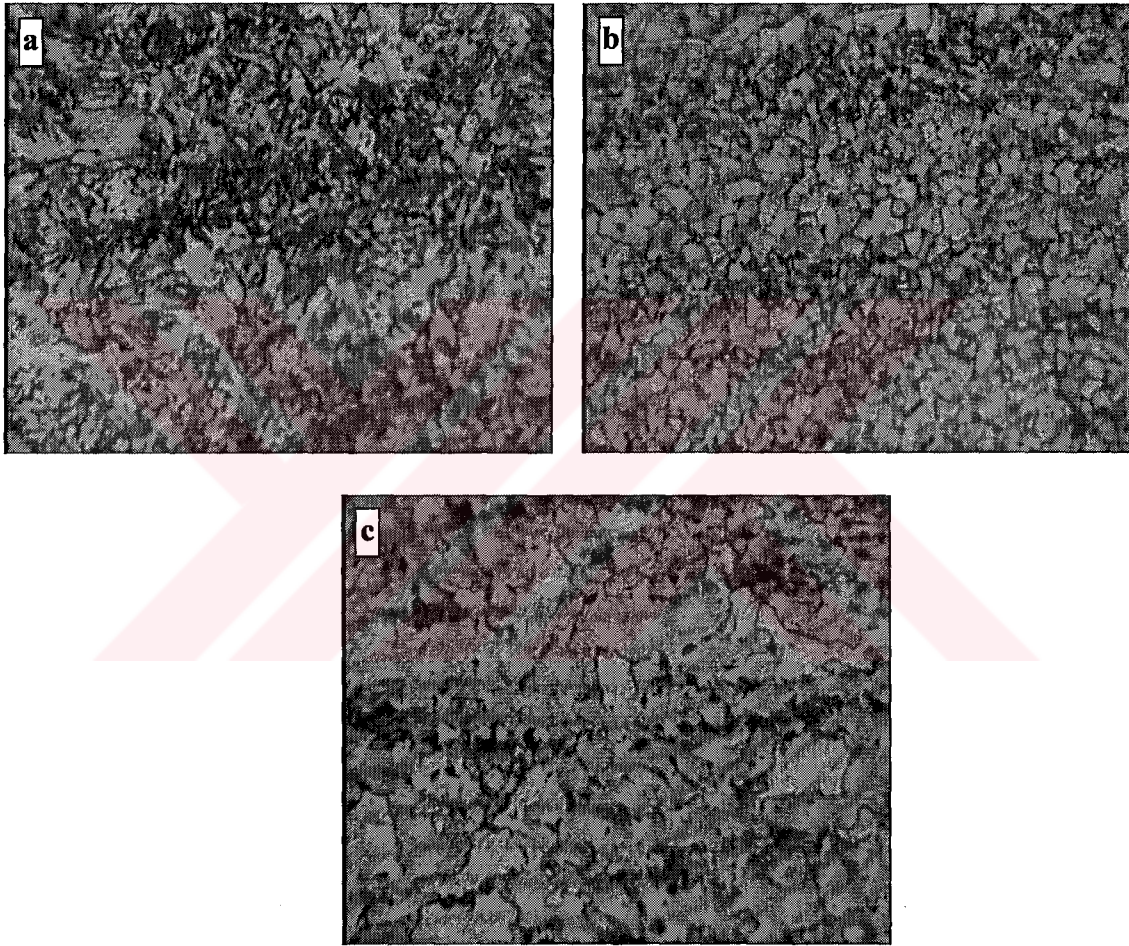
B2 numunesine ait kaynak ara yüzeyi, ITAB ve ana malzeme mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.17’de, aynı numunenin ısıtılma işlem sonrası mikroyapı fotoğrafları ise Şekil 6.18’de verilmektedir.



Şekil 6.17. B2 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

B2 numunesinde yığma akım zamanı 1,8 saniyeye çıkartılarak kaynak işlemi yapılmıştır. B2 numunesinin mikroyapı fotoğrafı (Şekil 6.17) incelendiğinde yığma akım zamanının artmasıyla ana malzemede tanelerin bir parça küçüldüğü, daha eşeksiz bir hal aldığı fakat ısı akışı yönünde yönelmenin hala devam ettiği

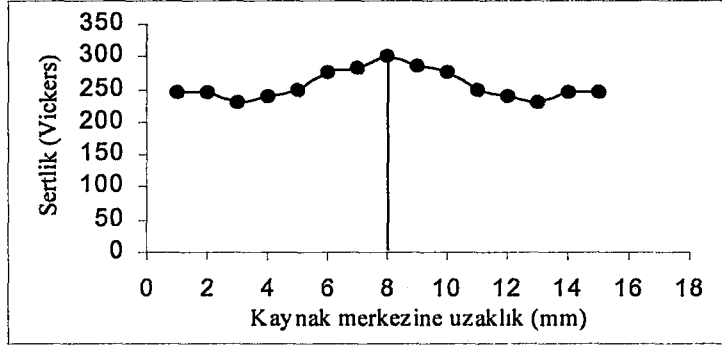
görülmektedir. Şekil 6.17b'deki ITAB bölgesi mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde ise tanelerin incelendiği görülmektedir. Kaynak ara yüzeyi mikroyapısı fotoğrafı (Şekil 6.17a) incelendiğinde ise yine ince ve uzun asiküler ferrit yapının yanı sıra ısı girdisinin artmasıyla (57) primer ferrit ve widmanstatten yapının da bulunduğu görülmektedir.



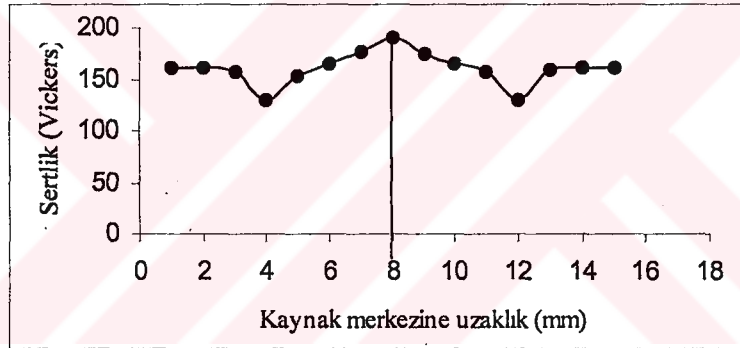
Şekil 6.18. I-B2 Numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Kaynak sonrası ısıtıl işlem görmüş I-B2 numunesinin mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde (Şekil 6.18), ana malzeme mikroyapısında (Şekil 6.18c) yapıda ferritler ve perlitlerin ısıtıl işlem görmemiş numunenin mikroyapısına göre (Şekil 6.17c) daha homojen dağıldığı görülmektedir. Bu numunenin ITAB mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde (Şekil 6.18b) tane yapısının daha ince ve homojen dağılımlı bir hal aldığı görülmektedir. Kaynak ara yüzeyinde ise (Şekil 6.18a) ısıtıl işlem

görmemiş numunenin kaynak ara yüzeyindeki mikroyapı fotoğrafına (Şekil 6.17a) göre tane irileşmesinin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 6.19. B2 numunesinin sertlik grafiği (HV5)



Şekil 6.20. I-B2 numunesinin sertlik grafiği (HV5).

Şekil 6.19'da verilen B2 numunesine ait sertlik grafiğinde en yüksek sertliğe, segregasyon ve deformasyon yoğunluğundan ayrıca soğuma hızına bağlı olarak kaynak ara yüzeyinde ulaşıldığı görülmektedir. Kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında bölgeler arasındaki ısı girdisi zamanı ve soğuma sürelerindeki farklılığından dolayı sertlik farklılıkları görülmektedir. Aynı numunenin normalizasyon ısıl işlemi sonrasında sertlik eğrilerine bakıldığında (Şekil 6.20) kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki sertlik farkı azalarak uygulanan ısıl işlem nedeniyle eğri doğrusal bir hal aldığı tespit edilmiştir. Ancak ısıl işlem sonrası malzemenin sertlik değerinde malzemelerin normalizasyon ısıl işlemi sonrası mikroyapılarında (Şekil 6.18) meydana gelen toparlanmadan dolayı önemli oranda azalmanın olduğu tespit edilmiştir. B2 numunesinin kaynak ara yüzeyinde, yığılma akım zamanının artmasıyla

birlikte ısı girdisinin de artması sonucu soğuma B1 numunesine göre daha yavaş olmuştur. Bunun sonucunda da B2 numunesi kaynak ara yüzeyi sertliğinin (Şekil 6.19) B1 numunesine göre (Şekil 6.15) daha düşük olduğu görülmektedir.

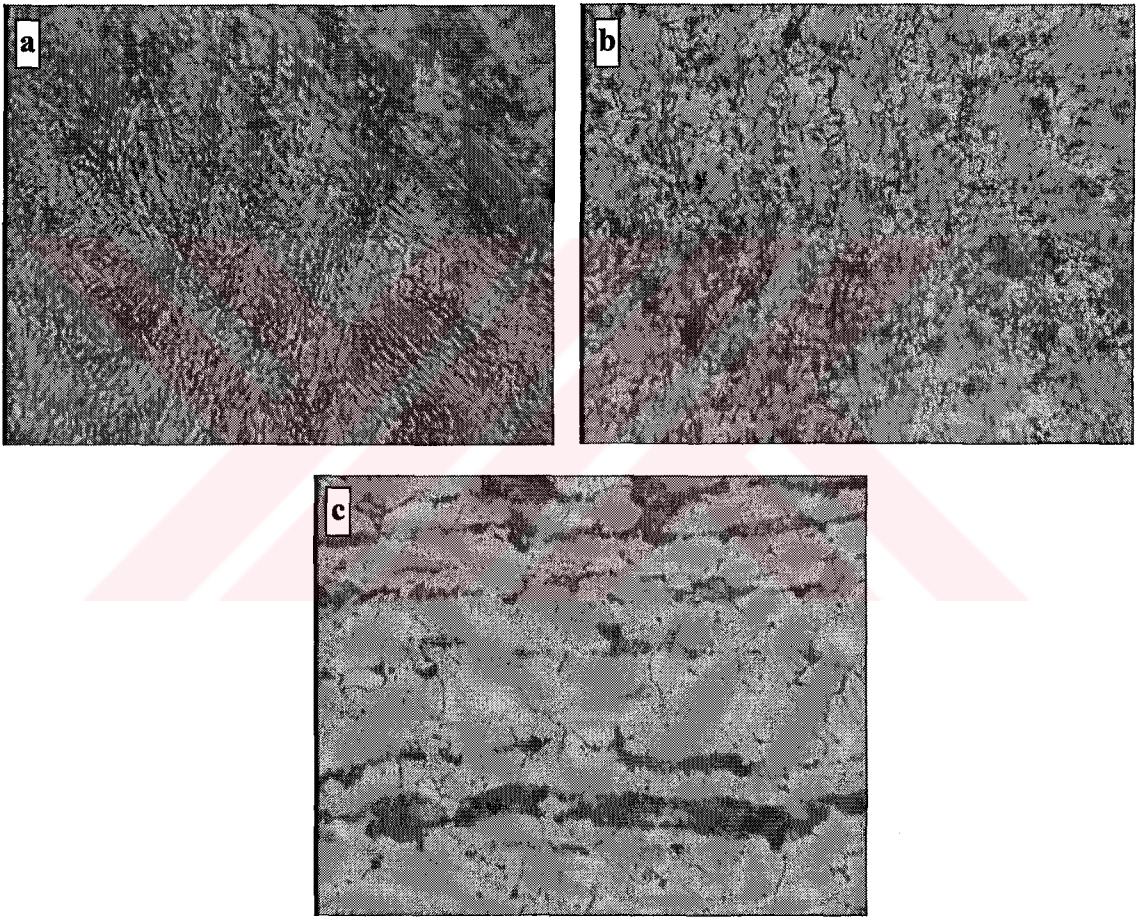
Çizelge 6.5 B2 ve I-B2 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.

Numune adı	Basınç (Bar)	Yığma akım zam. (Saniye)	Çekme hızı (mm/sn.)	Akma (N/mm^2)	Max. Çekme (N/mm^2)	Lo (mm)	Ls (mm)	Uzama %
B2	2,5	1,8	2	-	700	60	67	11,66
I-B2	2,5	1,8	2	365	500	60	76	26,66

Çizelge 6.5'deki sonuçlar incelendiğinde burada da kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi görmüş I-B2 numunesinin B2 numunesine göre daha düşük bir kopma noktasına fakat daha fazla % uzama miktarına sahip olduğu görülmektedir. Aynı zamanda B1 ve B2 numuneleri karşılaştırıldığında yığma akım zamanı arttıkça kopma noktasının da yükseldiği görülmektedir. Uygulanan yığma basınçları bakımından karşılaştırıldığında da A2 numunesine göre daha yüksek bir kopma noktasına sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni yığma akım zamanının artmasıyla ısı girdisi miktarı artmakta, ITAB bölgesi genişlemekte ve plastik şekil değişiminin meydana geldiği alan daha da daralmaktadır. Bu dar alanda meydana gelen pekleşme hızı B1 numunesine göre daha da artmıştır. Pekleşmenin hızlı olması da malzemenin kopma dayanımı arttırdığı düşünülmektedir. Bu artış eğrisi kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi görmüş numuneler (I-B1, I-B2) arasında da vardır. Yalnız bu numunelerin maksimum kopma noktalarında uygulanan ısı işlemi nedeniyle bir düşüş vardır. Kaynak sonrası ısı işlem görmüş numunedeki kopma noktasını düşük, yüzde uzamasının ise B2 numunesine göre yüksektir.

6.6. B3 ve I-B3 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma

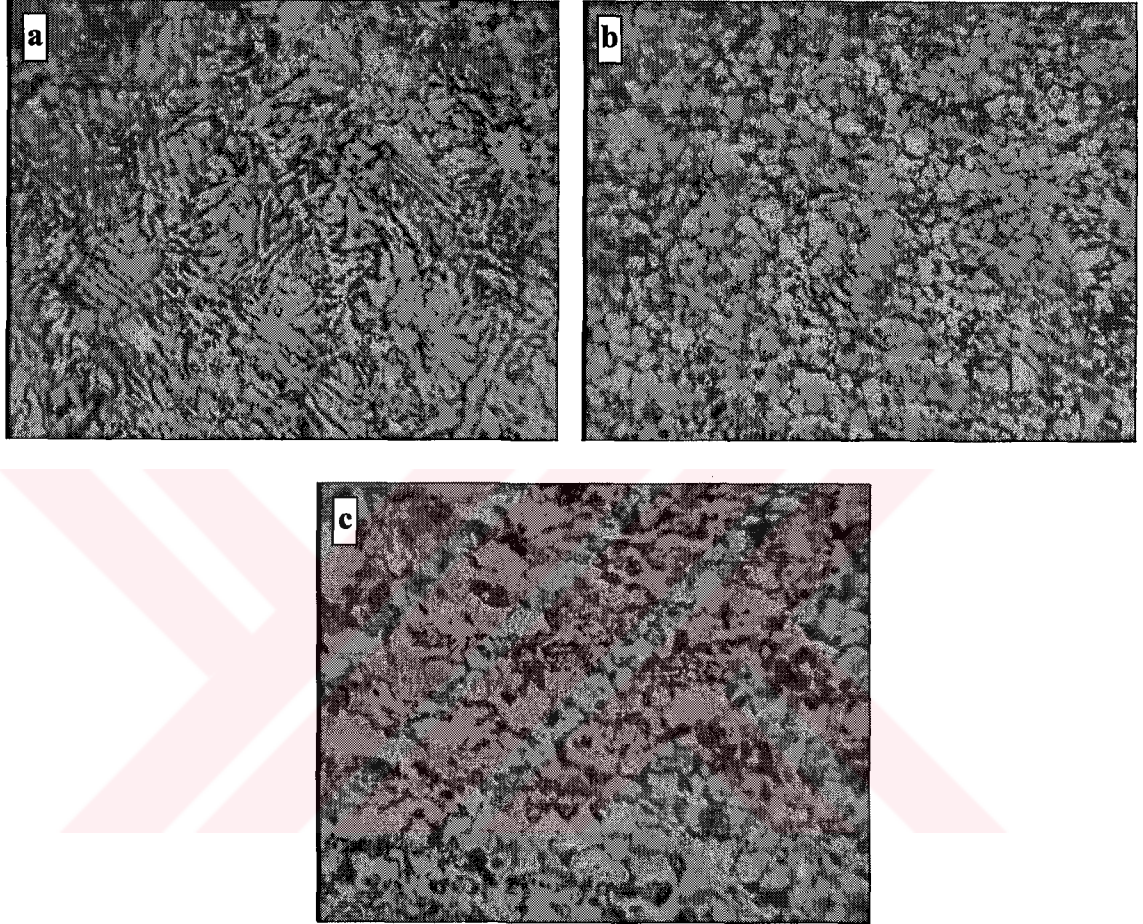
B3 numunesine ait kaynak ara yüzeyi, ITAB ve ana malzeme mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.21’de, aynı numunenin ısıtılma sonrası mikroyapı fotoğrafları ise Şekil 6.22’de verilmektedir.



Şekil 6.21. B3 numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

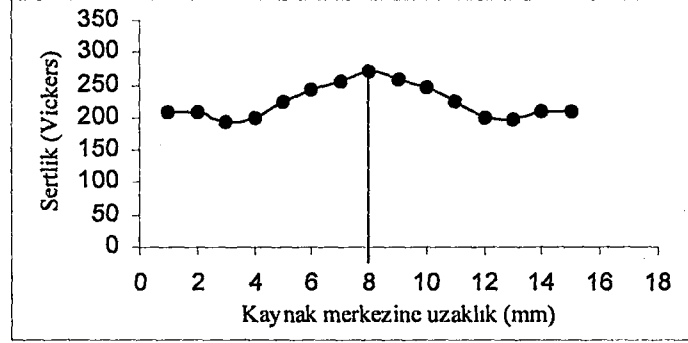
Yığılma akım zamanı B2 numunesine göre arttırılan ve 1,8 saniyeden 2 saniyeye çıkarılan B3 numunesinin mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde (Şekil 6.21) numunenin ana malzeme mikroyapısında (Şekil 6.21c) ısı akışı yönündeki uzamaların artık artan ısı girdisi ve basıncın etkisiyle toparlandığı, ITAB bölgesinde

tanelerin ısıdan dolayı bir parça incelendiği (Şekil 6.21b) ve kaynak ara yüzeyinde ise ince ve uzun tane yapısının irileştiği (Şekil 6.21a) görülmektedir.

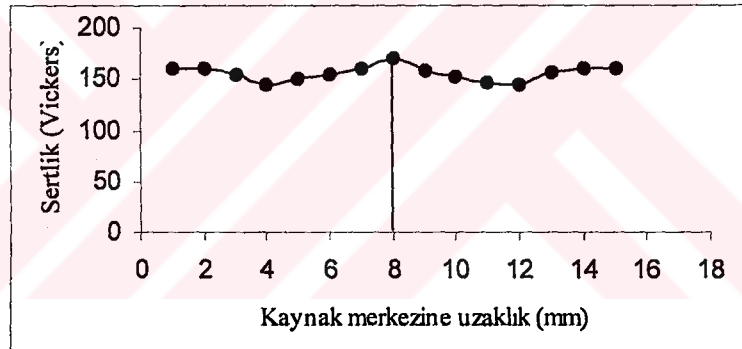


Şekil 6.22. I-B3 numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Kaynak sonrası ısıtıl işlem uygulanmış numunenin mikroyapı fotoğrafında ise (Şekil 6.22) tanelerin ısıdan dolayı bir parça küçüldüğü ve daha homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu numunenin kaynak ara yüzeyi mikroyapı fotoğrafında ise (Şekil 6.22a) ince ve uzun yapıdaki tane yapısında irileşme görülmektedir.



Şekil 6.23. B3 numunesinin sertlik grafiği (HV5).



Şekil 6.24. I-B3 numunesinin sertlik grafiği (HV5).

Şekil 6.23'de verilen B3 numunesine ait sertlik grafiğinde de, en yüksek sertliğe kaynak ara yüzeyinde ulaşıldığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak ta kaynak ara yüzeyinde oluşan segregasyonlar, deformasyon miktarının yoğunluğu ve soğuma hızı verilebilir. Kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında bölgeler arasındaki ısı girdisi zamanı ve soğuma sürelerindeki farklılığından dolayı sertlik farklılıkları görülmektedir. Aynı numunenin normalizasyon ısı işlemi sonrasında sertlik eğrilerine bakıldığında (Şekil 6.24) kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki sertlik farkı azalarak uygulanan ısı işlem nedeniyle eğri doğrusal bir hal almıştır. Kaynak sonrası numuneye uygulanan normalizasyon ısı işlemi sonucunda kaynak ara yüzeyinde en sert ve kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında da en düşük sertlik değeri elde edilmiştir. Ancak ısı işlem sonrası malzemenin sertlik değerinde

malzemelerin normalizasyon ısı işlemi sonrası mikroyapılarında (Şekil 6.22) meydana gelen toparlanmadan dolayı önemli oranda azalmanın olduğu tespit edilmiştir. B3 numunesinin kaynak ara yüzeyinde, yığma akım zamanının artmasıyla birlikte ısı girdisinin de artması sonucu soğuma B1 ve B2 numunesine göre daha yavaş olmuştur. Bunun sonucunda da B3 numunesi kaynak ara yüzeyi sertliğinin (Şekil 6.23) B1 (Şekil 6.15) ve B2 numunesine göre (Şekil 6.24) daha düşük olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.6. B3 ve I-B3 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.

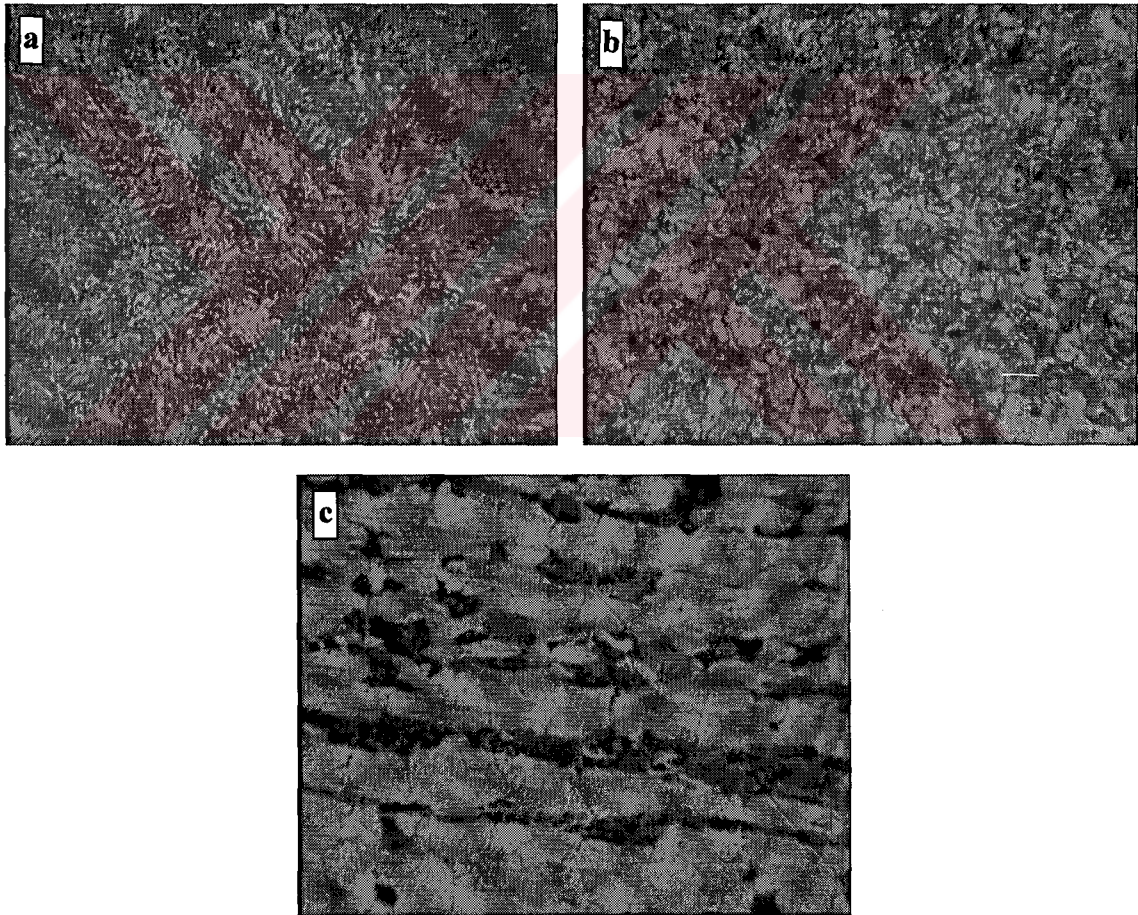
Numune adı	Basınç (Bar)	Yığma akım zam. (Saniye)	Çekme hızı (mm/sn.)	Akma (N/mm^2)	Max. Çekme (N/mm^2)	Lo (mm)	Ls (mm)	Uzama %
B3	2,5	2	2	-	751	60	68	13,33
I-B3	2,5	2	2	365	505	60	76	26,66

Çizelge 6.6'daki sonuçlar incelendiğinde burada da kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi görmüş I-B3 numunesinin B3 numunesine göre daha düşük bir kopma noktasına fakat daha fazla % uzama miktarına sahip olduğu görülmektedir. Aynı zamanda B1, B2 ve B3 numuneleri karşılaştırıldığında yığma akım zamanı arttıkça kopma noktasının da yükseldiği görülmektedir. Yığma basınçları bakımından incelendiğinde de A3 numunesine göre daha yüksek kopma noktasının elde edildiği görülmüştür. Bunun nedeni yığma akım zamanının artmasıyla ısı girdisi miktarı ile uygulanan basıncın etkisi artmakta ve ITAB bölgesi genişlemektedir. Plastik şekil değişiminin meydana geldiği alan daha da daralmaktadır. Bu dar alanda meydana gelen pekleşme hızı B1 ve B2 numunesine göre daha da artmıştır. Pekleşmenin hızlı olması da malzemenin kopma dayanımı arttırdığı düşünülmektedir. Bu artış eğrisi kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi görmüş numuneler (I-B1, I-B2, I-B3) arasında da vardır. Kaynak sonrası uygulanan ısı işlem maksimum kopma noktalarında bir düşüşe sebep olmuştur. Sünekliğin uygulanan ısı işlemle birlikte artmasıyla % uzama miktarı da artmıştır..

6.7. C1 ve I-C1 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma

C1, C2 ve C3 numunelerinde yığma basıncı 3 Bara çıkartılmış ve yığma süreleri de yine 1.6, 1.8 ve 2 saniye olarak denemeler yapılmıştır.

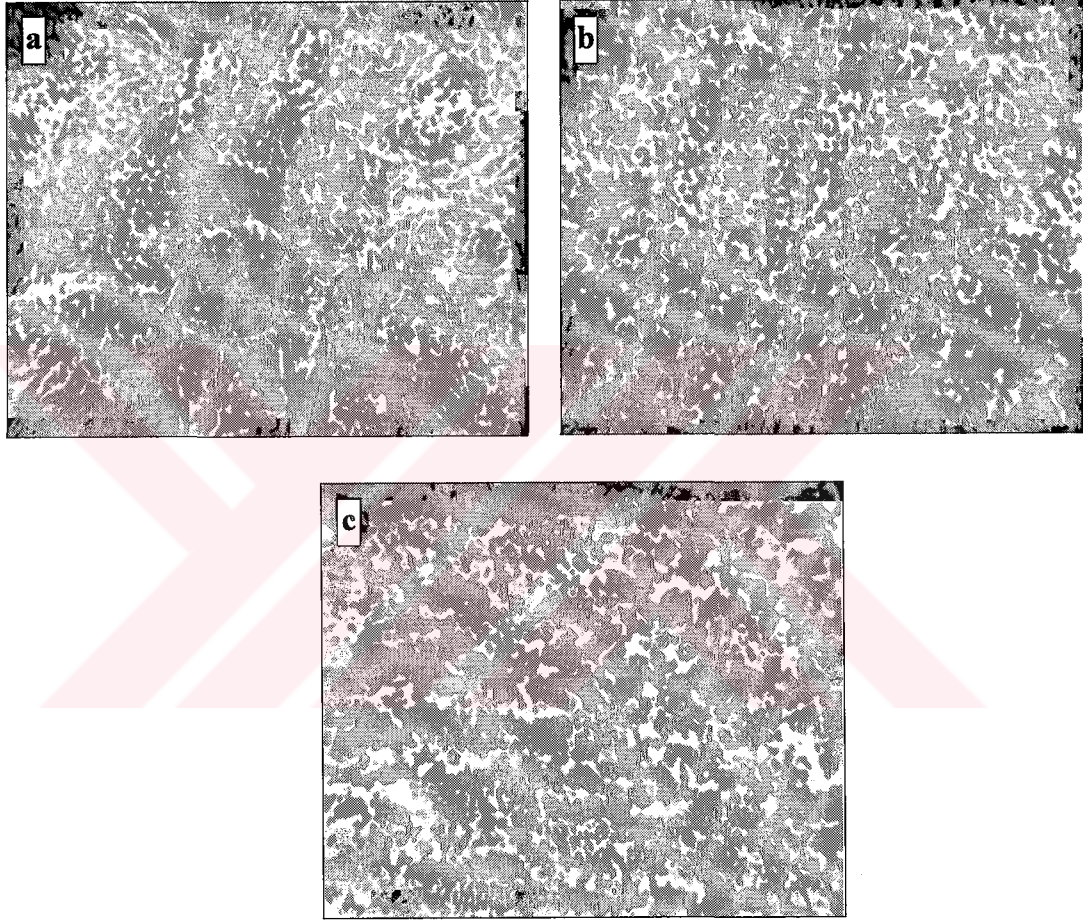
Şekil 6.25’de 3 Bar yığma basıncı ve 1.6 saniye yığma süresi ile kaynatılan C1 numunesine ait kaynak ara yüzeyi, ITAB ve ana malzeme mikroyapı fotoğrafları, aynı numunenin ısıtılma işlem sonrası mikroyapı fotoğrafları ise Şekil 6.26’de verilmektedir.



Şekil 6.25. C1 numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280). (a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

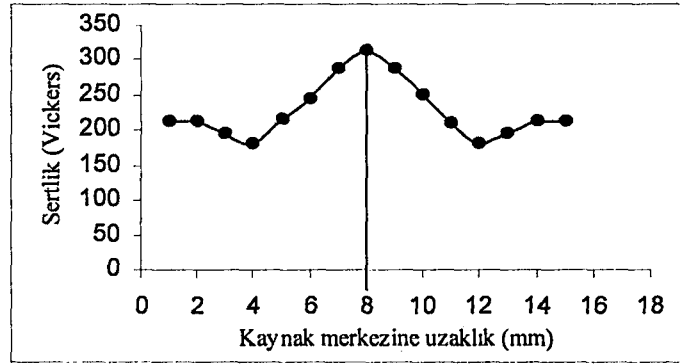
C1 numunesinin mikroyapı fotoğraflarında (Şekil 6.25), basınç artmış olmasına rağmen yığma akım zamanının düşmesi nedeniyle ısı akışı yönündeki uzamalar

numunenin ana malzeme mikroyapısında görülmektedir (Şekil 6.25c). ITAB bölgesi mikroyapı fotoğrafında ise (Şekil 6.25b) tanelerin küçüldüğü, kaynak ara yüzeyi mikroyapısında da (Şekil 6.25a) ince ve uzun asiküler ferrit tane yapısının varlığı göze çarpmaktadır.

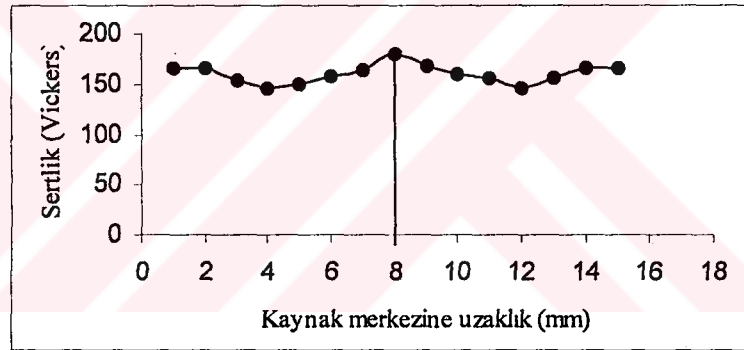


Şekil 6.26. I-C1 numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemine tabi tutulmuş I-C1 numunesinin ana malzeme ve kaynak ara yüzeyi mikroyapı fotoğraflarında (Şekil 6.26c-b) tanelerin incelendiği ve homojen bir dağılım gösterdiği, kaynak ara yüzeyi mikroyapı fotoğrafında ise (Şekil 6.26a) tanelerin B1 numunesi kaynak ara yüzeyi tane yapısına göre biraz daha irileştiği görülmektedir.



Şekil 6.27. C1 numunesinin sertlik grafiği (HV5).



Şekil 6.28. I-C1 numunesinin sertlik grafiği (HV5).

Şekil 6.27'de verilen C1 numunesine ait sertlik grafiğinde, en yüksek sertlik değeri, segregasyon ve kaynak ara yüzeyinde meydana gelen deformasyon yoğunluğu ile birlikte soğuma hızının da etkisiyle kaynak ara yüzeyinde elde edilmiştir. Kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında bölgeler arasındaki ısı girdisi zamanı ve soğuma sürelerindeki farklılığından dolayı sertlik farklılıkları görülmektedir. Aynı numunenin normalizasyon ısı işlemi sonrasında sertlik eğrilerine bakıldığında (Şekil 6.28) kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki sertlik farkı azalarak uygulanan ısı işlem nedeniyle eğri C1 numunesi sertlik grafiğine (Şekil 6.27) göre doğrusal bir hal almıştır. Kaynak sonrası numuneye uygulanan normalizasyon ısı işlemi sonucu kaynak ara yüzeyinde en sert bölge ve kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında da en düşük sertlik değeri elde edilmiştir. Ancak ısı işlem sonrası

malzemenin sertlik değeriinde malzemelerin normalizasyon ısııl işlemleri sonrası mikroyapılarında (Şekil 6.26) meydana gelen toparlanmadan dolayı önemli oranda azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

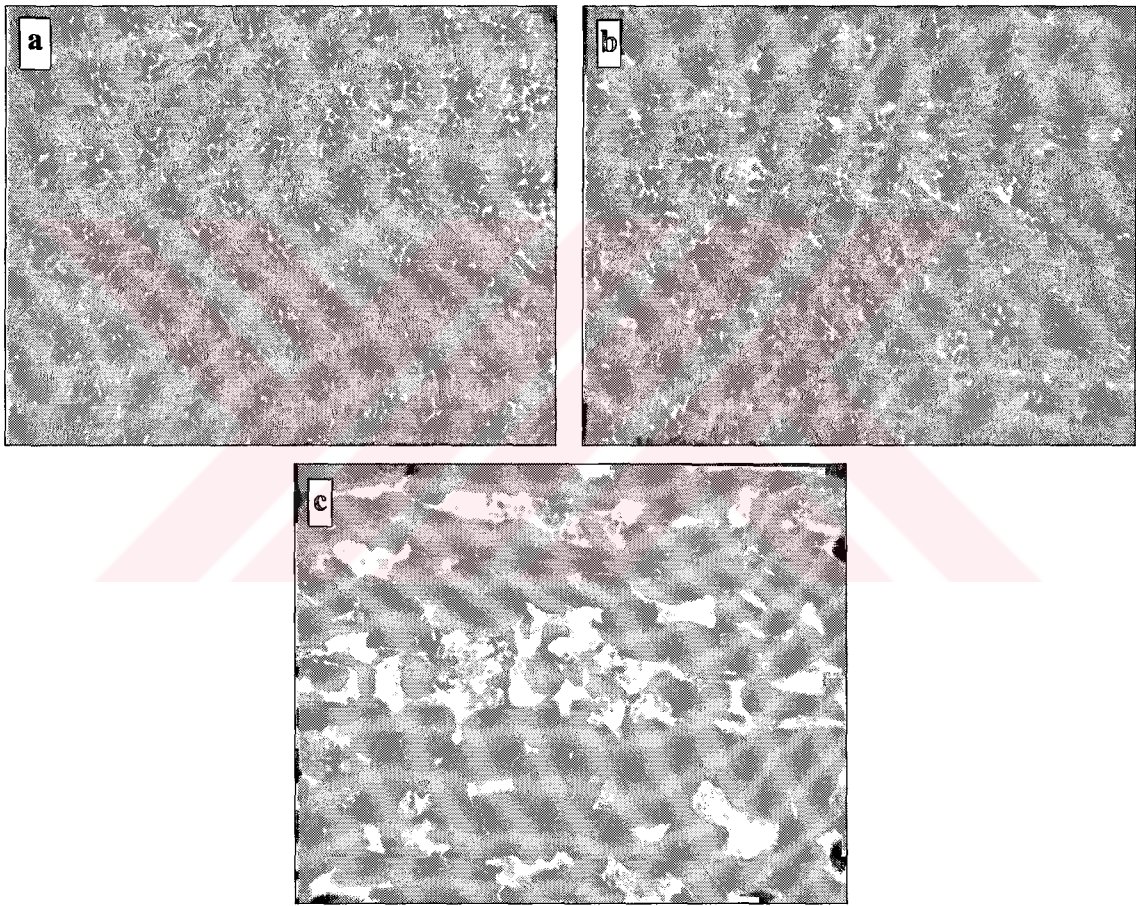
Çizelge 6.7. C1 ve I-C1 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları

Numune adı	Basınç (Bar)	Yığma akım zam. (Saniye)	Çekme hızı (mm/sn.)	Akma (N/mm^2)	Max. Çekme (N/mm^2)	Lo (mm)	Ls (mm)	Uzama %
C1	3	1,6	2	-	680	60	67	11,66
I-C1	3	1,6	2	355	472	60	76	26,66

Çizelge 6.7'deki sonuçlar incelendiğinde burada da kaynak sonrası normalizasyon ısııl işlemleri görmüş I-C1 numunesinin C1 numunesine göre daha düşük bir kopma noktasına fakat daha fazla % uzama miktarına sahip olduğu görülmektedir. C1 numunesinin daha düşük yığma basıncında fakat aynı yığma akım zamanlarında kaynatılan A1 ve B1 numunelerine göre daha yüksek kopma noktasına sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni yığma akım zamanının artmasıyla ısı girdisi miktarı ile uygulanan yığma basıncının etkisinin artması ve ITAB bölgesinin genişlemesidir. Plastik şekil değişiminin meydana geldiği alan daha da daralmaktadır. Bu dar alanda meydana gelen pekleşme hızı C1 numunesine göre daha da artmıştır. Pekleşmenin hızlı olması da malzemenin kopma dayanımı arttırdığı düşünülmektedir. Kaynak sonrası uygulanan ısııl işlem süneklikle birlikte % uzama miktarının da artmasına sebep olmuştur.

6.8. C2 ve I-C2 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma

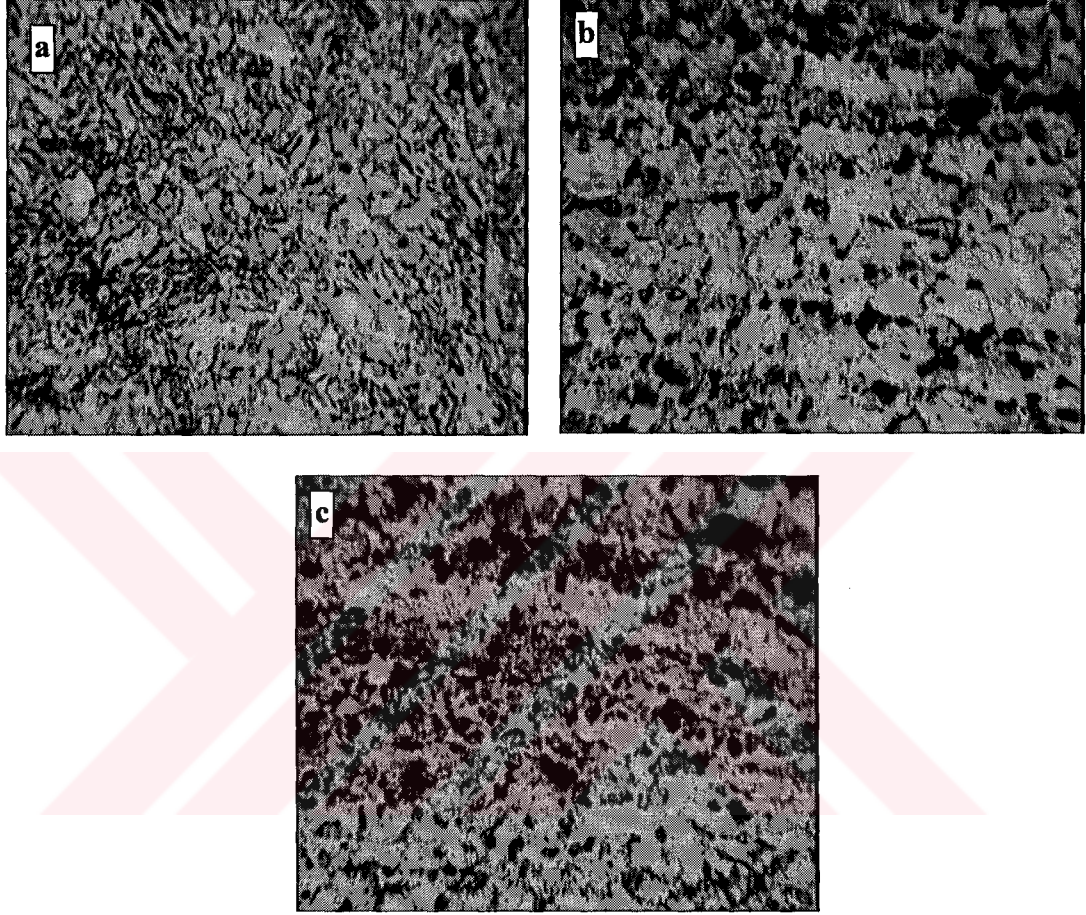
Şekil 6.29'da 3 Bar yığma basıncı ve 1.8 saniye yığma süresi ile kaynatılan C1 numunesine ait kaynak ara yüzeyi, ITAB ve ana malzeme mikroyapı fotoğrafları, aynı numunenin ısıtıl işlem sonrası mikroyapı fotoğrafları ise Şekil 6.14'de verilmektedir.



Şekil 6.29. C2 numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

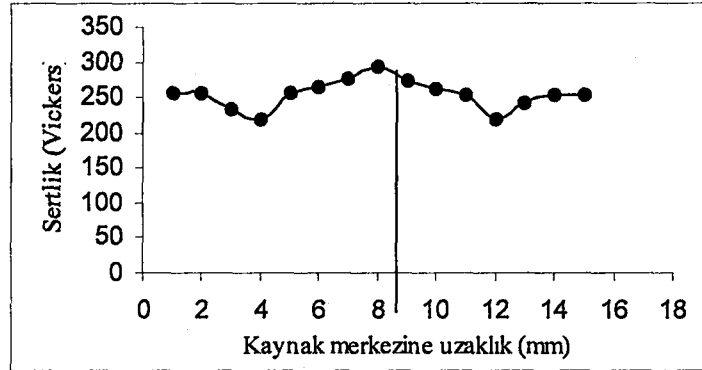
Yığma akım zamanı 1,6 saniyeden 1,8 saniyeye çıkartıldığında ısı girdisinin biraz daha artması nedeniyle ana malzeme mikroyapısında (Şekil 6.29c) tanelerin artık ısı yönünde uzamadığı, daha çok toparlandığı görülmektedir. Kaynak ara yüzeyi mikroyapısı incelendiğinde ise (Şekil 6.29a) ince ve uzun yapıdaki asiküler ferrit

tanelerinin yanı sıra ısı girdisinin artması sonucu (57) primer ferrit ve widmanstatten yapının varlığı da göze çarpmaktadır.

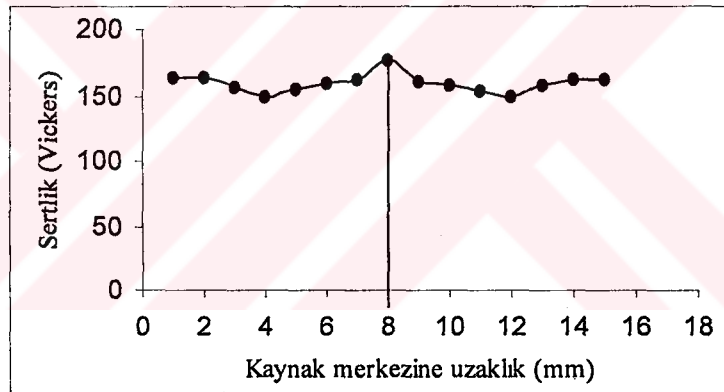


Şekil 6.30. I-C2 numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280).(a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Kaynak sonrası normalizasyon ısı işlem uyguladığımız I-C2 numunesinin mikroyapı fotoğraflarında (Şekil 6.30) tanelerin homojen dağılımında ve C2 numunesinin tane yapısına göre daha ince bir yapıda olduğu görülmektedir. Bu numunenin kaynak ara yüzeyi mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde ise (Şekil 6.30a) tanelerin C2 numunesi kaynak ara yüzeyindeki tane yapısına göre bir parça irileştiği görülmektedir.



Şekil 6.31. C2 numunesinin sertlik grafiği (HV5).



Şekil 6.32. I-C2 numunesinin sertlik grafiği (HV5).

Şekil 6.31'de verilen C2 numunesine ait sertlik grafiğinde, en yüksek sertliğe, ısı girdisinin ve segregasyonların (57) en fazla olduğu kaynak ara yüzeyinde ulaşıldığı görülmektedir. Kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında bölgeler arasındaki ısı girdisi zamanı ve soğuma sürelerindeki farklılığından dolayı sertlik farklılıkları görülmektedir. Aynı numunenin normalizasyon ısı işlemi sonrasında sertlik eğrilerine bakıldığında (Şekil 6.32) kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki sertlik farkı azalarak uygulanan ısı işlem nedeniyle C2 numunesi sertlik grafiğine göre (Şekil 6.31) eğri doğrusal bir hal almıştır. Kaynak sonrası numuneye uygulanan normalizasyon ısı işlemi sonucunda da kaynak ara yüzeyinde en sert bölge ve

kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında da en düşük sertlik değeri elde edilmiştir. Ancak ısıtıl işlem sonrası malzemenin sertlik değerinde malzemelerin normalizasyon ısıtıl işlemi sonrası mikroyapılarında (Şekil 6.30) meydana gelen toparlanmadan dolayı önemli oranda azalmanın olduğu tespit edilmiştir. C2 numunesinin kaynak ara yüzeyinde, yığılma akım zamanının artmasıyla birlikte ısı girdisinin de artması sonucu soğuma C1 numunesine göre daha yavaş olmuştur. Bunun sonucunda da C2 numunesi kaynak ara yüzeyi sertliğinin (Şekil 6.31) C1 numunesine göre (Şekil 6.27) daha düşük olduğu görülmüştür.

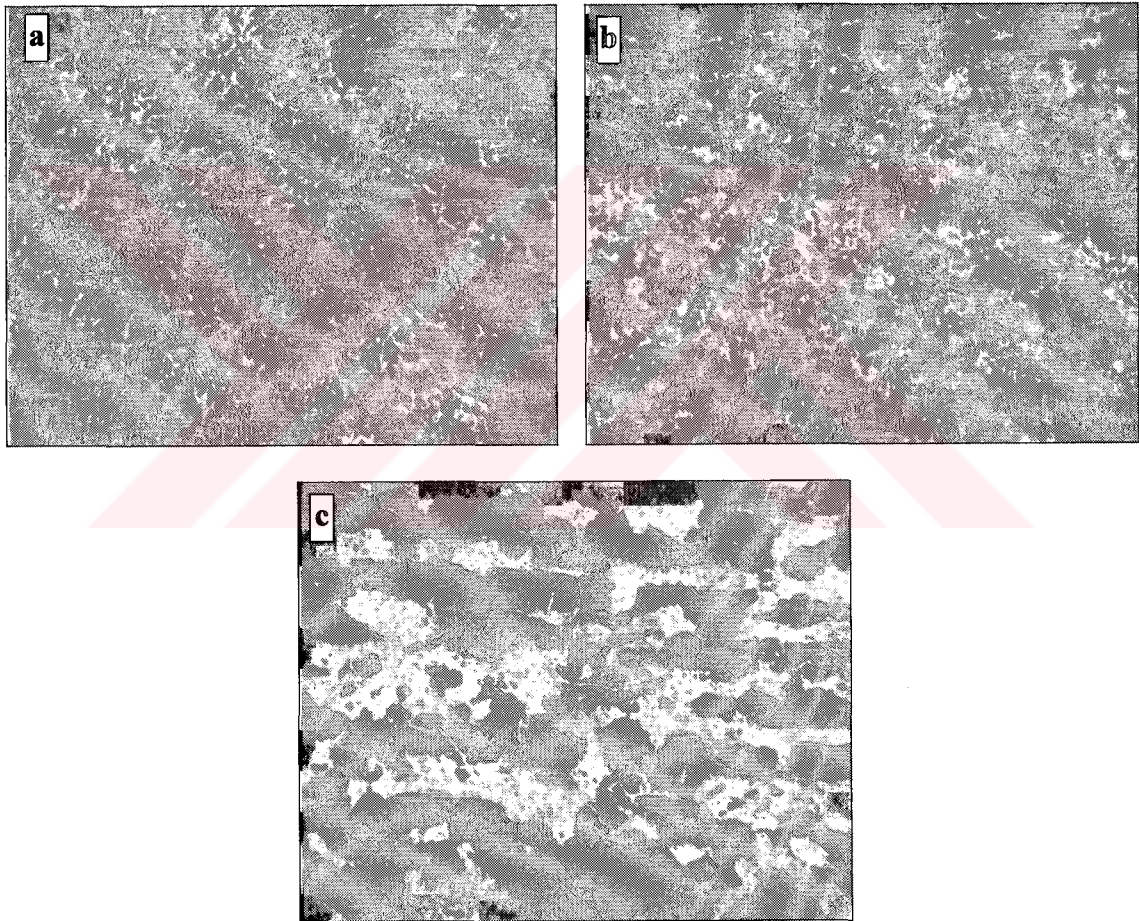
Çizelge 6.8. C2 ve I-C2 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.

Numune adı	Basınç (Bar)	Yığılma akım zam. (Saniye)	Çekme hızı (mm/sn.)	Akma (N/mm^2)	Max. Çekme (N/mm^2)	Lo (mm)	Ls (mm)	Uzama %
C2	3	1,8	2	-	726	60	68	13,33
I-C2	3	1,8	2	365	495	60	76	26,66

Çizelge 6.8'deki sonuçlar incelendiğinde burada da kaynak sonrası normalizasyon ısıtıl işlemi görmüş I-C2 numunesinin C2 numunesine göre daha düşük bir kopma noktasına fakat daha fazla % uzama miktarına sahip olduğu görülmektedir. C2 numunesinin daha düşük yığılma basıncında fakat aynı yığılma akım zamanlarında kaynatılan A2 ve B2 numunelerine göre daha yüksek kopma noktasına sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni yığılma akım zamanının artmasıyla ısı girdisi miktarı ile uygulanan yığılma basıncının etkisinin artması ve ITAB bölgesinin genişlemesidir. Plastik şekil değişiminin meydana geldiği alan daha da daralmaktadır. Bu dar alanda meydana gelen pekleşme hızı C1 numunesine göre daha da artmıştır. Pekleşmenin hızlı olması da malzemenin kopma dayanımı arttırdığı düşünülmektedir.

6.9. C3 ve I-C3 Numunelerine Ait Deney Sonuçları ve Tartışma

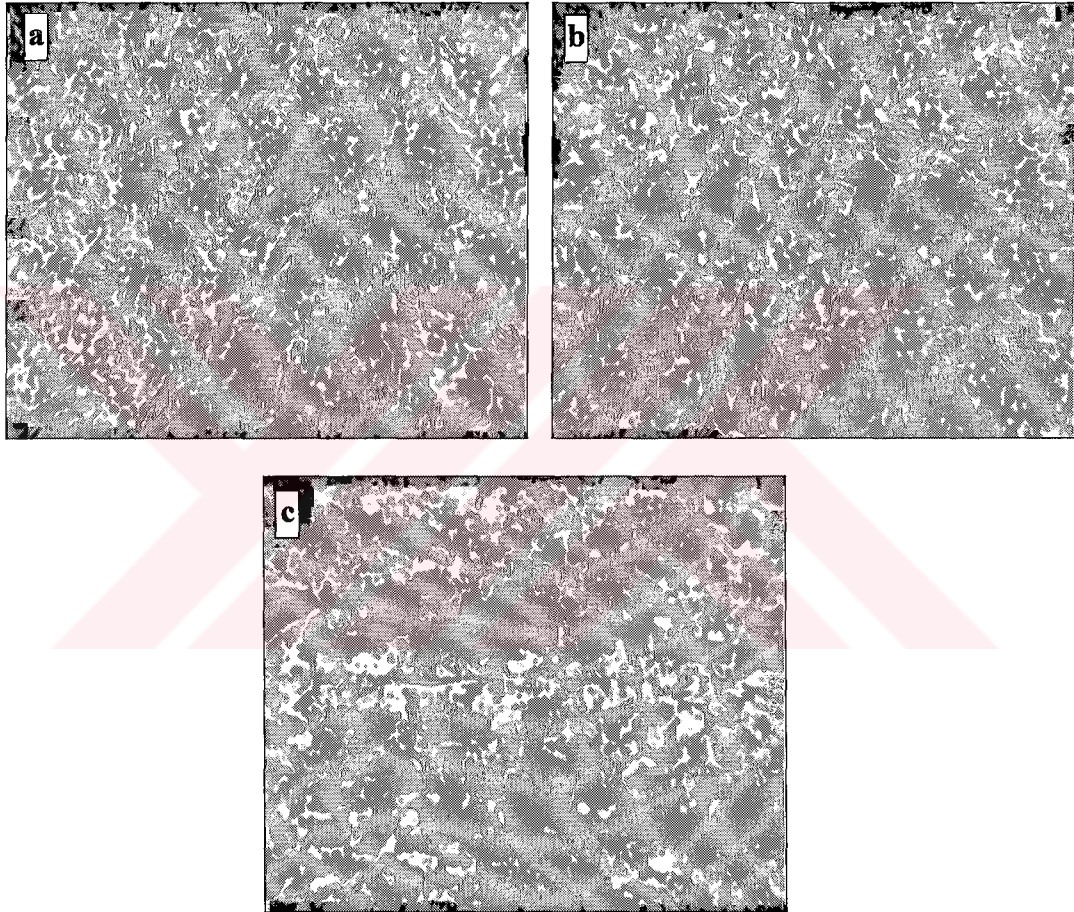
Şekil 6.33'de 3 Bar yığma basıncı ve 2 saniye yığma süresi ile kaynatılan C3 numunesine ait kaynak ara yüzeyi, ITAB ve ana malzeme mikroyapı fotoğrafları, aynı numunenin ısıtılma işlem sonrası mikroyapı fotoğrafları ise Şekil 6.34'de verilmektedir



Şekil 6.33. C3 numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280). (a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

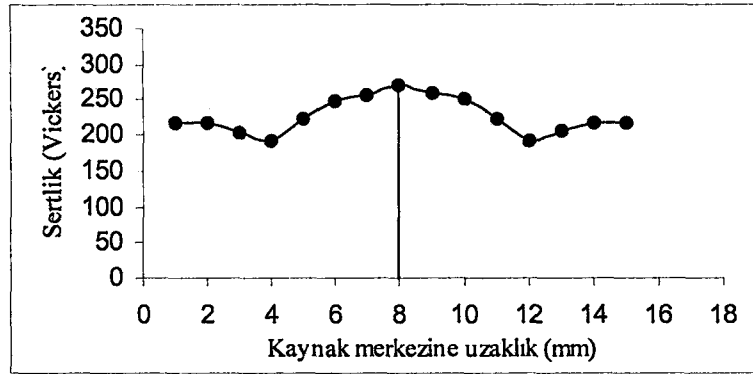
Yığma akım zamanı C2 numunesine göre bir kademe daha da arttırılarak 2 saniyede kaynatılan C3 numunesinin ana malzeme mikroyapı fotoğrafında (Şekil 6.33c) ısı girdisinin artması sebebiyle toparlanmanın C2 numunesi ana malzemedeki tane

yapısına göre (Şekil 6.34c) daha da arttığı görülmektedir. ITAB mikroyapı fotoğrafında da tanelerin bir parça incelendiği (Şekil 6.33b), kaynak ara yüzeyinde ise (Şekil 6.33a) ince ve uzun tane aisküler ferritin yanı sıra ısı girdisinin C1 numunesine göre artmasından dolayı primer ferrit ve widmanstatten yapının da varlığından söz edilebilir (57).

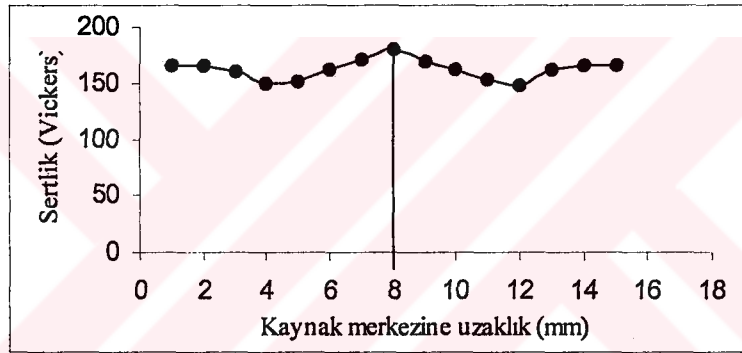


Şekil 6.34. I-C3 numunesinin mikroyapı fotoğrafları (X280). (a) Kaynak ara yüzeyi, (b) ITAB, (c) Ana malzeme.

Kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemine tuttuğumuz I-C3 numunesinin mikroyapı fotoğraflarında tanelerin daha homojen ve ince bir yapıda olduğu (Şekil 6.34c-b), kaynak ara yüzeyi mikroyapı fotoğrafında da C3 numunesi kaynak ara yüzeyi tane yapısına göre bir parça irileştiği görülmektedir.



Şekil 6.35. C3 numunesinin sertlik grafiği (HV5).



Şekil 6.36. I-C3 numunesinin sertlik grafiği (HV5).

Şekil 6.35'de verilen C3 numunesine ait sertlik grafiğinde, en yüksek sertliğe, ısı girdisinin en fazla olduğu kaynak ara yüzeyinde ulaşıldığı görülmektedir. Kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında bölgeler arasındaki ısı girdisi zamanı ve soğuma sürelerindeki farklılığından dolayı sertlik farklılıkları görülmektedir. Aynı numunenin normalizasyon ısı işlemi sonrasında sertlik eğrilerine bakıldığında (Şekil 6.36) kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasındaki sertlik farkı azalarak uygulanan ısı işlem nedeniyle eğri doğrusal bir hal almıştır. Normalizasyon ısı işlemi sonucunda kaynak ara yüzeyinde en sert bölge ve kaynak ara yüzeyi ile esas metal arasında da en düşük sertlik değeri elde edilmiştir. Ancak ısı işlem sonrası malzemenin sertlik değerinde malzemelerin normalizasyon ısı işlemi sonrası mikroyapılarında (Şekil 6.34) meydana gelen toparlanmadan dolayı önemli oranda azalmanın olduğu tespit edilmiştir. C3 numunesinin kaynak ara yüzeyinde, yığılma

akım zamanının artmasıyla birlikte ısı girdisinin de artması sonucu soğuma C1 ve C2 numunesine göre daha yavaş olmuştur. Bunun sonucunda da C3 numunesi kaynak ara yüzeyi sertliğinin (Şekil 6.35) C1 ve C2 numunesine göre (Şekil 6.36) daha düşük olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.9. C3 ve I-C3 numunelerinin kaynak parametreleri ve çekme testi sonuçları.

Numune adı	Basınç (Bar)	Yığma akım zam. (Saniye)	Çekme hızı (mm/sn.)	Akma (N/mm^2)	Max. Çekme (N/mm^2)	Lo (mm)	Ls (mm)	Uzama %
C3	3	2	2	-	787	60	69	15
I-C3	3	2	2	365	517	60	76	26,66

Çizelge 6.9'daki sonuçlar incelendiğinde burada da kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi görmüş I-C3 numunesinin C1 ve C3 numunelerine göre daha düşük bir kopma noktasına fakat daha fazla % uzama miktarına sahip olduğu görülmektedir. Aynı zamanda C1, C2 ve C3 numuneleri karşılaştırıldığında yığma akım zamanı arttıkça kopma noktasının da yükseldiği görülmektedir. C3 numunesinin daha düşük yığma basıncında fakat aynı yığma akım zamanlarında kaynatılan A3 ve B3 numunelerine göre daha yüksek kopma noktasına sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni yığma akım zamanının artmasıyla ısı girdisi miktarı ile uygulanan yığma basıncının etkisinin artması ve ITAB bölgesinin genişlemesidir. Plastik şekil değişiminin meydana geldiği alan daha da daralmaktadır. Bu dar alanda meydana gelen pekleşme hızı A1 numunesine göre daha da artmıştır. Pekleşmenin hızlı olması da malzemenin kopma dayanımı arttırdığı düşünülmektedir. Bu artış eğrisi kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi görmüş numuneler (I-C1, I-C2, I-C3) arasında da vardır. Yalnız bu numunelerin uygulanan ısı işlem nedeniyle yapının sünekliğinde ve % uzama miktarlarında bir artış, maksimum kopma noktalarında bir düşüş vardır.

7. SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tez çalışması sonunda elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır;

- 1- Numunelere uygulanan normalizasyon ısı işlemi ile ana malzemenin tane boyutunda küçülme meydana gelmiştir.
- 2- Esas malzemede homojen olmayan perlit fazının, normalizasyon ısı işlemi sonrası daha homojen olarak yapı içerisinde dağıldığı gözlenmiştir.
- 3- Kaynak sonrası normalizasyon ısı işlemi görmeyen ve gören tüm numunelerde en yüksek sertlik değeri kaynak ara yüzeyinde elde edilmiştir.
- 4- En yüksek sertlik değeri kaynak metali ara yüzeyinde elde edilirken, en düşük sertlik değeri esas meal ile kaynak ara yüzeyi arasındaki sınırdan elde edilmiştir.
- 5- Yığma akım zamanı arttıkça yüksek ısı girdisi ve daha yavaş soğumadan dolayı kaynak ara yüzeyi sertliğinde düşme gözlenmiştir.
- 6- Düşük yığma akım zamanında kaynatılmış numunelerde artan yığma basıncı ile kaynak ara yüzeyi sertliğinde artış tespit edilirken, yüksek yığma akım zamanında kaynatılmış numunelerde ise artan yığma basıncının kaynak ara yüzeyi sertliğini çok fazla etkilemediği gözlenmiştir.
- 7- Numunelere uygulanan normalizasyon ısı işlemi ile esas metal ve kaynak ara yüzeyi sertliğinde azalma olmuş, aynı zamanda esas metal ve kaynak ara yüzeyi arasındaki sertlik farkı çok az değerlere inmiştir.
- 8- Çekme deneylerine tabi tutulmuş numunelerin tamamında kopma, kaynak bölgesi dışında, esas metalde olmuştur.
- 9- Yığma akım zamanı ve yığma basıncının artmasıyla malzemelerin kopma mukavemetlerinde artış görülmüştür..
- 10- Kaynak sonrası uygulanan normalizasyon ısı işlemi sonucu numunelerin kopma mukavemetinde düşme olurken, % uzama miktarında önemli oranda artış gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Tülbentçi, K- Yılmaz, M. "Yakma Alın Kaynağı. Kaynak Dünyası". *Birsen Basımevi*, İstanbul, 14-25 (1990).
2. Anık, S.. "Kaynak Tekniğı El Kitabı.", "Yöntemler ve Donanımlar", Cilt 1 *Birsen Basımevi*, İstanbul, 40-50 (1983).
3. Tülbentçi, K., Yılmaz, M.; Kasım, "Farklı takım çeliklerinin katı hal kaynağı", *II. Ulusal Kaynak Sempozyumu*, İT, 303-314 (1989).
4. Yılmaz, M. Kaluç, E. Tülbentçi, K. "C45 karbonlu elik ile HSS 6-5-2 yüksek hız çeliğinin yakma alın kaynağında kaynak ara yüzeyinin incelenmesi". *Science Technolofgy weld join*, 286-288 (1993).
5. Sandal, O., "Farklı iki takım eliğın elektrik direnç yakma alın kaynağında kaynak ara yüzeyinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-60 (1988).
6. Gültekin, N. "Kaynak Tekniğı" *Y. Yayınları*. Sayı 184. İstanbul, 36-37 (1985).
7. Anık, S. "100 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı" . Cilt 1, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 7-34 (1983).
8. Gülenç, B. "Elektrik Direnç Kaynağı Ders Notları." Ankara, 3-8 (2000).
9. Thomas, K.- Michailov, V. Wohlfahrt, H. "Toughness İvestigations On Narrow Process- Affected Zones Of Resistance-Butt". *Welding And Cutting*, V 52, 254-262 (2000).
10. Anık, S. -Anık, E. Sabri. - Vural, M. "Kaynak Yöntemleri ve Donanımları". *Birsen yayınevi*, İstanbul, 30-35 (1988).
11. Anık, S. - ren, T. "Dövme alüminyum alaşımların elektrik direnç kaynağı" *Türk Kaynak Cemiyeti Yayını* , no.16, İstanbul, 27-35 (1964)
12. Yılmaz, M., Farklı takım "eliklerinin birleştirilmesinde yakma alın ve sürtünme kaynak yöntemlerinin karşılaştırılması", *4. Denizli Malzeme Sempozyumu*, Denizli. 156-168 Nisan (1991).
13. Kuchuk, S., "Experince of flash- butt welding application in pipeline construction in the USSR", *Proceeding of pipeline technology Conference*, stend, Belgium, 37-39 (1990).
14. Steklov, O. I., et. al, "Flash welding of 110G13L steel (hadfield steel)", *Weld. Int.* 892-894 (1989).

15. Kудay, N. Ertürk İ., "Raylarda Yakma Alın Kaynağı" Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-68 (1997).
16. Trompler, Ruben Jr., "Flash butt welding of crane rail" *Iron And Steel Engineer*. Oct., V:73, N:10 P: 42-44 (1996).
17. Yılmaz M., Karagöz Ş., "Katı hal kaynağında Mikro analiz uygulaması", *XI.Ulusal Elektronik Mikroskopisi Sempozyumu*, Edirne, 163-165 (1993).
18. Civelekoğlu, F., "Yükek hız çeliği (S-6-5-2) ile alaşımsız karbon çeliği (Ck60) çubuklarının yakma alın kaynağı ile birleştirilmesinde bazı kaynak parametrelerinin ve kaynak ara yüzeyinin etüdü", Doçentlik Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul. 7-59 (1971).
19. Wodora and Hinzpeter, "Einfluss der Schweißparameter auf die Ausbildung der Waermezonen bei der Abbrennstumpfsch weissung Wiss". 2. *th-Nagdeburg*, , 1-4 (1961).
20. Ruge, J. Kohl, "Christian, Awendung eines rechners beim abbrennstumpfschweissen für prozessüberwachung und numerische temperaturberechnungen", *Schweissen und Schneiden*, 26-31 (1986).
21. Hikuchi, N., "Estabilishment of scale removing device of flash butt welder at pickling line", *Journal of the iron and steel institute of Japon*. 381-382 (1987).
22. Zhang, Z.- Dong, C. – Chunlin, C.- Zhang, Y. "Sentetic Control Of Multi-Parameter Of Flash Butt Welding Process". *Welding Research Abroad*, Volume: 44, 39-40 (1998).
23. Fritz, J., Staudinger, H. "Microstructural investigations on friction welded joints between heat treatable and high speed tool steel, a coBarrison between flash butt welding and friction welding techniques including some practical investigations", *Praktische Metallographie*, 197-211 (1974).
24. Oğuz, B. "Demir Dışı Metallerin Kaynağı. Metalurji Uygulama" Oerlikon Yayınları. *Erdini Basımevi*, İstanbul, 460-462 (1990).
25. Corvino, L., Intrieri, T., "Electrical flash butt welding of rails in situ", *Rail Engineering International Edition*, 17-19 (1989).
26. Dziubinski, J., Szymonsky, A., "Flash Butt Welding Of Rails And Mecanical Properties Of The Joints", *Welding And Cutting*, 8-11 (1990).
27. Kugg P., J., Weld, M., "Deport And Welding", *Railway Industry Association*, Sec. 5, 1-13 (1989).
28. Lifshits, V., Popkov, O., "Procedure for calculatıng temperature distribution in continuous flash butt welding", *Welding production*, 4-7 (1970).

29. Matsuo, G; Okawa S., Chatterje, R. K. , "Application of endless bar rolling system at Tokyo steel", *Iron And Steel Engineer*. V:76, N: 3, P:27-30 (Mar-1999).
30. Lonsdale, C. P., "Mechanical Working And Steel Processing" *Conference Proceedings*. 1101-1109 (1997).
31. Li, Xiaofei., Kang T'ieh. "Research on weldability of U//7//1Mn and 74SiMnV rail steel", *Anshan Iron And Steel*, V:32, N: 10, P:44-47 (1997).
32. Lang, Denis D., Geier, Daniel P., Shultz, Barry L., "Butt weld inspection and weld machine diagnostic system for continuous coil processing lines", *Iron And Steel Engineer*, V: 73, N:6, P: 42-45 (Jun-1996).
33. Kramer, Jerome., "Thermite welding changes pay off", *Railway Track And Structures*. V:92, N:1, P:21-23 (Jan-1996).
34. Khomenko, V. I.; Papkov, O. S.; Drugova, I. A., "Weld property research of large diameter high strength pipes performed by flash butt welding", VNIIST, *Zandberg, A.S. Conference*, Moscow, USSR. 20-28 (1991).
35. R, Walter., "Betriebserfabungen beim reibschweissen von gelenkwellen fuer fahrzeuge", *Werkstatt Und Betrieb*., V:122, N: 6, 449-454 (Jun-1989).
36. Ghosh, P. K., "Thermal cycle and microstructure of heat affected zone(HAZ) of flash butt welded Mn-Cr-Mo dual phase steel", *ISIJ International*., V:30, N:4, P:317-324 (1990).
37. Kalvala, P Rao; Krishan, Kannurpatti N., "Effect of welding parameters on the quality and corrosion characteristics of flash butt welded austenitic steels", *Schweissen Und Schneiden*., V:42, N:1, 4-6 (Jan-1990).
38. Suzuki, M; Endo, Shigero., Yosetso G. R. "Effect of PWHT on TMCP steel flash butt welded joint", *Quarterly Journal Of The Japan Welding Society*., V: 8, N: 2, P: 58-64 (May-1990).
39. Bargel, H. J., Schulze G., Çev: Güleç, Ş., Aran, A. "Malzeme Bilgisi" Cilt 2, *MBEAE Matbaası*, Gebze: 110-121 (1988).
40. Chernenko, I. A., et al, "Inertia friction welding R6M5 steel to grade steel", *Automatic Weld.*, 52-54 (1984).
41. Dziubinski, J., "Fatigue failure criterion based on plastic strain energy density applied to welds", *Int. J. Fatigue*, 223-226 (1991).
42. Mantel ve Rietsch, "Das Werkstoffverhalten beim Abbrennstumpfschweissen; Aus Erdmann-jesnitzer": *Werkstoff und Schweisseung*, Bd.1, Akademie-Verlag, Berlin 14-17 (1951).

43. Kuchuk, S. I., et. al, "Flash welding of large high-strenght steel pipe", *Weld. Journal*, 47-50 (July-1990).
44. Barret, "Flash welding of alloy steels (Physical and Metallurgical Characteristics)", *Welding journal*, 1-3 (1945).
45. Mazet, A. G., "Welding pipelines in the USSR", *Proceeding of pipeline technology Conference*, Östend, Belgium, 1-5 (1990).
46. Savage, "Flash welding (process variable and weld properties)", *Welding Journall*, 3-6 (1962).
47. Çalışkan, Ö. "Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynaklanabilirliği ve Bunlara Uygulanan Kaynak Yöntemleri" Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-65 (1994).
48. Böckenhoff, "Das widerstandstumpfschweissen Von stahldraekten mit höherem kohlenstoffgehalt", *Stahl und eisen*, 6-9 (1961).
49. Nack. N., "Resistance and solid-state welding and joining processes", *Welding handbook, AWS*, Miami:58-76, 239-262 (1980).
50. Peters, T. J., "Ultrasonic inspection locates discontinuities in inertia welded rotating bands", *Materials Evaluation*, 1143-1146 (1981).
51. Schober, D., et. al, "Aufbau einer prozessregelung für das reibschweissen von stahlen", *Schweisstechnik*, Berlin, 340-343 (1986).
52. Sprow, D. L., "Flash-butt welding- new and future pipeline application", *Proceeding of pipeline technokogj Conference*, Östend, Belgium:112-118. (1990).
53. Nack, N., "Resistance and solid-state welding and joining processes", *Welding handbook, AWS*, Miami, 58-76, 239-262 (1980).
54. Westgate S.A.,Dunkerton, S.B., "Friction and flash welding-mechanical properties reviewed", *The Welding Instute Research Bulletin*, 49-53. (Feb-1985).
55. Oğuz, B. "Karbonlu ve Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 35-45 (1987).
56. Tekin, E. "Mühendisler için çelik seçimi", *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, Ankara. Yayın no: 119. 12-17, 25-37, 41-64 (1986).

57. Yükler, A. İrfan., “Kaynak Metali Kitabı” . *Erdini Basımevi*, İstanbul, 17-60 (1979).
58. Turner, D., “Flash butt welding of large-diameter oil and gas pipelines”, *Journal of energy resources technology*, 347-351 (1986).



ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Aydın'da doğdu. İlköğrenimini Ekrem Çiftçi ilkokulunda, ortaöğrenimini Cumhuriyet lisesinde, lise öğrenimini ise Aydın Mimar Sinan Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Makine Bölümünde tamamladı.1996 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünü kazandı. 2000 yılında bu bölümden mezun oldu. 2001 yılında da aynı fakültede araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

