

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİKEL VE MONEL MALZEMELERİN KAYNAĞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğrt. İhsani İPEK

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ramazan YILMAZ

Ocak 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NİKEL VE MONEL MALZEMELERİN KAYNAĞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğrt. İhsani İPEK

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 28 / 01 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İbrahim ÖZSERT
Jüri Başkanı

Doç. Dr. Ramazan YILMAZ
Üye

Doç. Dr. Hüseyin UZUN
Üye

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Doç. Dr. Ramazan YILMAZ'ın yürütücüsü olduğu “Nikel ve Monel Malzemelerin Kaynağı” isimli ve 2006.50.01.076 nolu Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans projesi kapsamında gerçekleşmiştir. Bu tez hazırlanırken, her aşamasında beni cesaretlendiren, tecrübeleri ile yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Ramazan YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve üzerimde emekleri olan Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü öğretim üyeleri ve elemanlarına şükranlarımı sunuyorum. Çekme deneyi ve sertlik ölçümlerinin yapılmasında yardımcı olan Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği teknikeri Ersan DEMİR'e, SEM mikroyapı çalışmalarında yardımcı olan uzman Fuat KAYIŞ'a teşekkür ediyorum. Çentik darbe deneylerinin yapılmasında yardımcı olan NOKSEL firmasına kalite kontrol şefi mühendis Emrah AKÇAY'a, teknisyen Mehmet ÇALIŞ'a minnettarlığımı sunuyorum. Malzemelerin temininde yardımcı olan ATAMAK A.Ş. yetkililerine, kaynak işlemlerinin yapılmasından dolayı ATAMAK A.Ş.'den Şakir İREN'e teşekkür ediyorum.

Öncelikle benim bu güne gelebilmem ve yetiştirilmem için emeklerini esirgemeyen değerli anneme, babama ve yardımlarından dolayı kardeşime en içten sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
NİKEL VE ALAŞIMLARI	4
2.1. Saf Nikel.....	4
2.2. Nikel–Bakır Alaşimleri.....	8
2.3. Nikel–Krom Alaşimleri.....	10
BÖLÜM 3.	
ELEKTRİK ARK VE TIG YÖNTEMLERİNDE KAYNAK PARAMETRELERİ	16
3.1. Elektrik Ark Kaynağı Kaynak Parametreleri.	16
3.1.1. Kaynak öncesi belirlenen parametreler.	16

3.1.2. Birinci derecede ayarlanabilir parametreler.	17
3.1.3. İkinci derecen ayarlanabilir parametreler.	19
3.2. TIG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Seçimi.....	19
3.2.1. TIG kaynak yönteminde erimeyen elektrot.	20
3.2.2. Birinci dereceden ayarlanabilir parametreler.	21
3.2.3. İkinci dereceden ayarlanabilir parametreler	22
3.3. Kaynak İşleminde Enerji ve Isı.	22
3.3.1. Kaynak esnasında oluşan ısıl çevrimler.	24
3.4. TIG Kaynağında Çok Pasolu Kaynak İşlemi.	27
BÖLÜM 4.	
NİKEL VE ALAŞIMLARIN KAYNAĞI	30
4.1. Nikel ve Alaşımlarının Oksi-Asetilen Kaynağı.....	30
4.2. Metal–Ark Kaynağı.	31
4.3. Örtülü Elektrotla Kaynak.	33
4.4. TIG Kaynağı.	35
4.4.1. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar ve özellikleri..	36
4.4.1.1. Argon	37
4.4.1.2. Helyum	38
4.4.1.3. Hidrojen.	38
4.5. MIG Kaynağı.	40
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Kaynak Yöntemleri.....	42
5.2. Mekaniksel Deneyler.	44
5.2.1. Çekme deneyi.	44
5.2.2. Vickers sertlik deneyi.	44
5.2.3. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanışı.	45

5.2.4. Çentik darbe deneyi.	45
5.3. Mikroyapı İncelemeleri	46
5.3.1. Optik mikroskop.	46
5.3.2 Tarama elektron mikroskobu (SEM) ve element analizleri...	47
BÖLÜM 6.	
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	48
6.1. Mikroyapı İncelemeleri.	48
6.1.1. Optik mikroskop aydınlık alan incelemeleri.	48
6.1.1.1 Nikel malzemelerin optik mikroskop karakterizasyonu.	48
6.1.1.2 Monel malzemelerin optik mikroskop karakterizasyonu.	52
6.1.2. Optik mikroskop karanlık alan incelemeleri.	56
6.1.2.1. Nikel malzemeler.	56
6.1.2.2. Monel malzemeler.	58
6.1.3. EDS analizi	59
6.1.3.1. Nikel malzemeler EDS analizleri.	59
6.1.3.2. Monel malzemeler EDS analizleri.	65
6.1.4. SEM EDS elementel çizgisel analizleri.	68
6.1.4.1. Nikel malzemeler.	68
6.1.4.2. Monel malzemeler.	72
6.2. Çekme Deneyi Sonuçları.	76
6.2.1. Saf nikel malzeme.	76
6.2.2. Monel malzeme.	81
6.3. Sertlik Deneyi Sonuçları.	87
6.4. Eğme Deneyi Sonuçları.	91
6.5. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	95

BÖLÜM 7.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	101
7.1. Sonuçlar	101
7.2. Öneriler	103
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	108

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Numune kalınlığı
c	: Ölçü uzunluğu içinde numune genişliği
$\sigma_{\text{ç}}$: Çekme dayanımı
σ_{k}	: Kopma dayanımı
σ_{a}	: Akma dayanımı
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
TIG	: Tugsten Inert Gas
MIG	: Metal Inert Gas
HMK	: Kübik Hacim Merkezli
YMK	: Kübik Yüzey Merkezli
H	: Isı girdisi (Jmm^{-1})
I	: Kaynak akımı (amp)
E	: Ark gerilimi (V)
V	: Kaynak hızı (ms^{-1})
F_1	: Ark verimi olup boyutsuz bir katsayı
Amp	: Amper

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Tavlanmış nikel 201 alaşımının tipik yüksek sıcaklık çekme özellikleri.	7
Şekil 2.2.	Cu-Ni denge diyagramı.	9
Şekil 2.3.	Sıcak haddelenmiş tavlanmış monel 400 alaşım çubuğunun tipik yüksek sıcaklık çekme özellikleri.	10
Şekil 2.4.	Nikel-krom faz diyagramı.	11
Şekil 2.5.	Nikel alaşım mikro yapısının meydana gelişi. 1940'dan 1970'e kadar çizim yaklaşık yayınlanma tarihinin bir fonksiyonu olarak alaşımın gerilme yeteneğini göstermektedir. Gösterilen yapı, en iyi yapı kopma özellikleri, sadece ana özellikler için ısıtıl işlem uygulanmış olarak gösterilmiştir.	14
Şekil 3.1.	Akım şiddeti, akım yoğunluğu, ark gerilimi, kaynak hızının dikiş biçimine etkileri.	18
Şekil 3.2.	Kaynak akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızının dikişin görünüşüne ve biçimine etkileri.	19
Şekil 3.3.	a) Kaynak bölgesindeki ısınma eğrisi. b) IEB bölgesindeki ısı yayılımı.	25
Şekil 3.4.	Çok pasolu birleştirmelerde ITAB bölgesinin iri taneli bölgede farklı bölgelerin oluşumunun şematik olarak gösterilmesi a) Ana metal ve kaynak metaline bağlı olarak bölgelerin konumu. b) Isıl çevrimin grafiksel olarak gösterimi. c) Farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri.	28
Şekil 3.5.	a) Tek b) çok pasolu kaynakta kaynak ve ITAB daki mikroyapının şematik olarak Karşılaştırılması, çok pasolu kaynakta ITAB daki bir noktada oluşan ısıl çevrimin etkisi.	29

Şekil 3.6.	Çok pasolu kaynaklardaki bir noktanın maruz kaldığı ısıl çevrim..	29
Şekil 4.1.	Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazların sıcaklığa bağlı olarak ısıl iletkenliklerinin değişimi.	39
Şekil 5.1.	Kaynakla birleştirilmiş parçalardan çıkarılan çekme, eğme sertlik ve mikroyapı numuneleri.	44
Şekil 5.2.	Şematik olarak gösterilen birleştirilmiş nikel ve monel numunenin Vickers sertlik değerlerinin alındığı bölgeler.	45
Şekil 6.1.	Saf döküm nikel elektrotu kullanılarak elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin mikroyapı görüntüsü.	49
Şekil 6.2.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında örtüsü soyularak çıplak hale getirilen ilave tel kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin mikroyapı görüntüsü.	50
Şekil 6.3.	Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin mikroyapı görüntüsü.	51
Şekil 6.4.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin mikroyapı görüntüsü.	52
Şekil 6.5.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak tek paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin mikroyapı görüntüsü.	53
Şekil 6.6.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak iki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin mikroyapı görüntüsü.	54
Şekil 6.7.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak üç paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin mikroyapı görüntüsü.	55
Şekil 6.8.	Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak üç paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin mikroyapı görüntüsü.	55

Şekil 6.9.	Saf döküm nikel elektrotu kullanılarak elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.	56
Şekil 6.10.	Argon+%5H ₂ koruyucu gazı altında örtüsü kırılarak çıplak hale getirilen ilave tel kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.	57
Şekil 6.11.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.	57
Şekil 6.12.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak tek paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.	58
Şekil 6.13.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak İki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.	58
Şekil 6.14.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak Üç paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.	59
Şekil 6.15.	Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak iki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.....	59
Şekil 6.16.	Saf döküm nikel elektrotu kullanılarak elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin EDS analizi sonuçları.	60
Şekil 6.17.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında örtüsü soyularak çıplak hale getirilen ilave tel kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin EDS analizi	62

Şekil 6.18. Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin EDS analizi sonuçları.	63
Şekil 6.19. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin EDS analizi sonuçları.	64
Şekil 6.20. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak tek paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin EDS analizi sonuçları.	66
Şekil 6.21. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak üç paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin EDS analizi sonuçları.	67
Şekil 6.22. Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak iki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin EDS analizi sonuçları.	68
Şekil 6.23. Saf döküm nikel elektrotu kullanılarak elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.	69
Şekil 6.24. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında örtüsü soyularak çıplak hale getirilen ilave tel kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.	70
Şekil 6.25. Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.	71
Şekil 6.26. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.	72

Şekil 6.27.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak tek paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.	73
Şekil 6.28.	Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak üç paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.	74
Şekil 6.29.	Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak iki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.	75
Şekil 6.30.	Saf nikel malzemenin kaynaklı birleştirmesinden sonraki Görüntüsü.	77
Şekil 6.31.	Çeşitli kaynak parametreleri ile birleştirilen nikel malzemenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.	78
Şekil 6.32.	a) Elektrik ark ve nikel elektrot b)TIG ve örtüsü soyulmuş elektrot c) TIG, monel ilave metal ve argon d) TIG, monel ilave metal ve argon %5 H ₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen saf nikel malzemenin çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama eğrileri.	79
Şekil 6.33.	a) Elektrik ark ve nikel elektrot b)TIG ve örtüsü soyulmuş elektrot c) TIG, monel ilave metal ve argon d) TIG, monel ilave metal ve argon %5 H ₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen saf nikel malzemenin çekme deneyinde sonrasında elde edilen SEM kırılma yüzeylerinin görüntüleri.	80
Şekil 6.34.	a) Elektrik ark ve nikel elektrot b)TIG ve örtüsü soyulmuş elektrot c) TIG, monel ilave metal ve argon d) TIG, monel ilave metal ve argon %5 H ₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen saf nikel malzemenin çekme deneyinde sonrasında elde edilen SEM kırılma yüzeylerinin büyütülmüş görüntüleri.....	81

Şekil 6.35. Monel malzeme farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin kaynatıldıktan sonraki görüntüsü.	83
Şekil 6.36. a) Monel b) TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen monel malzemenin çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama eğrileri.	84
Şekil 6.37. Monel malzemenin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gaz ve paso sayısının a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.	85
Şekil 6.38. a) Tek paso b) iki paso c) üç paso ve argon + %5 H ₂ koruyucu gaz d) iki paso ve argon koruyucu gaz kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen monel malzemenin çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama eğrileri.	86
Şekil 6.39. a) Üç paso ve argon+ %5 H ₂ koruyucu gaz b) iki paso ve argon koruyucu gaz koruyucu gaz kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen monel malzemenin ve c) monel ana malzemenin çekme deneyi sonrasında elde edilen kırılma yüzeylerinin görüntüleri.	87
Şekil 6.40. Farklı kaynak yöntemi, ilave metal ve koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin mikrosertlik değerlerinin dağılımı.	88
Şekil 6.41. Farklı kaynak yöntemi, ilave metal ve koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen nikel malzemedan dikey olarak alınan sertlik değerleri.	89
Şekil 6.42. Farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin mikrosertlik değerlerinin dağılımı.	90
Şekil 6.43. Farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemedan dikey olarak alınan sertlik değerleri.	91
Şekil 6.44. a) Çıplak elektrot b) monel ilave metal ve argon + %5 H ₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen saf nikel numunenin eğme deneyinde elde edilen yük uzama eğrisi.	92

Şekil 6.45.	TIG kaynak yöntemi a) örtüsü soyulmuş elektrot ve argon+%5H ₂ koruyucu gaz b) monel ilave metal ve argon koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin eğme deneyinden sonraki görüntüsü.	93
Şekil 6.46.	a) Tek paso b) üç paso ile TIG kaynak yöntemi ve argon+%5 H ₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen monel malzemenin eğme deneyinde elde edilen yük uzama eğrisi.	94
Şekil 6.47.	a) Tek paso b) üç paso ile TIG kaynak yöntemi ve argon+%5 H ₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen monel malzemenin eğme deneyinden sonraki görüntüsü.	94
Şekil 6.48.	Monel malzeme farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen 12 mm kalınlığındaki monel malzemenin kaynatıldıktan sonraki görüntüsü.	96
Şekil 6.49.	Farklı koruyucu gaz ve paso sayısı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen monel malzemelere uygulanan çentik darbe deney sonuçlarının grafiksel gösterimi.	96
Şekil 6.50.	Monel ana malzeme ve kaynak edilen malzemeye uygulanan çentik darbe deneyi sonrası numune resimleri.	97
Şekil 6.51.	Argon+%5 H ₂ koruyucu gaz ve 5 paso ile birleştirilen malzemenin a) 0°C b) 20°C sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzeyi görüntüsü.	98
Şekil 6.52.	Argon koruyucu gaz kullanılarak ve 6 paso ile birleştirilen malzemenin a) -40°C b) 0°C c) 20°C sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzeyi görüntüsü.	99
Şekil 6.53.	Argon+%5H ₂ koruyucu gaz kullanılarak ve 7 paso ile birleştirilen malzemenin a) -40°C b) 0°C c) 20°C sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzeyi görüntüsü.	100

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Saf nikel'in özellikleri.	5
Tablo 2.2.	Bazı Önemli ticari saflık esaslı nikel alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları	6
Tablo 2.3.	Monel 400, inconel 600, hastelloy'in özellikleri.	8
Tablo 2.4.	Bazı önemli Ni-Cr alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları.	12
Tablo 4.1.	Yerde yatay pozisyonda kaynak için yaklaşık akım değerleri.	32
Tablo 4.2.	Nikel ve alaşımlarının örtülü elektrot ile birleştirilmesinde kullanılan elektrotların kimyasal bileşimleri.	33
Tablo 4.3.	TIG kaynağı için ilave dolgu metali ve elektrot için kimyasal bileşim değerleri.	36
Tablo 4.4.	Nikel 200 ve Monel 400 alaşımlarının MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılabilir kaynak metal geçiş şekilleri ile kaynak parametreleri verilmektedir.	40
Tablo 5.1.	Çalışmada kullanılan nikel ve monel malzemelerin kimyasal birleşimi.	42
Tablo 5.2.	Çalışmalarda kullanılan ilave metallerin kimyasal birleşimleri....	42
Tablo 5.3.	Elektrik ark kaynak yöntemiyle örtülü elektrot ile birleştirilen nikel malzemeye uygulanan kaynak parametresi.	43
Tablo 5.4.	Birleştirilen nikel malzemelere uygulanan TIG kaynak yönteminde kullanılan parametreler.	43
Tablo 5.5.	Birleştirilen monel malzemelere uygulanan TIG kaynak yönteminde kullanılan parametreler.	43
Tablo 5.6.	Charpy çentik deneyi yapılan numunelere uygulanan kaynak yöntemleri, şartlar ve ilgili kaynak parametreleri.	46

Tablo 6.1.	Farklı kaynak yöntemi, ilave metal ve koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin çekme deneyi sonrasında elde edilen değerler.	77
Tablo 6.2.	Farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin çekme deneyi sonrasında elde edilen değerler.	83
Tablo 6.3.	Farklı kaynak yöntemi, ilave metal ve koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin eğme deneyi sonrasında ulaşılan maksimum yük.	92
Tablo 6.4.	Farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin eğme deneyi sonrasında ulaşılan maksimum yük.	94

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Nikel, Monel, TIG, Kaynak, Mekanik Özellikler, Mikroyapı

Nikel ve nikel bakır alaşımı olan monel malzemeler endüstrinin bazı alanlarında kullanılan önemli malzemelerdir. Bu çalışmada, saf nikel plakalar elektrik ark ve tungsten inert gas (TIG) kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Ayrıca, monel malzemeler TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirmeler, küt alın kaynak dizaynında ve yatay pozisyonda gerçekleştirilmiştir. Nikel plakaların elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde nikel döküm elektrotu ile TIG kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmede örtüsü kırılarak soyulmuş nikel döküm elektrotu ve ER NiCu7 monel ilave metal kullanılmıştır. Monel parçaların birleştirilmesinde ise sadece ER NiCu7 monel ilave metali kullanılmıştır. Birleştirme esnasında koruyucu gaz olarak argon ve argon+%5H₂ kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada ilave metal ve koruyucu gaz kompozisyonları, kaynak hızı gibi parametrelerin kaynaklı birleştirmelerin çekme dayanımı, % uzama, sertlik ve darbe enerji değerleri gibi mekanik özelliklerine etkisini araştırılmıştır. Birleştirilen parçaların çekme, mikrosertlik ile monel parçalara çentik darbe gibi mekanik deneyler uygulanmıştır. Bu çalışmalara paralel olarak optik mikroskopta aydınlık alan ve karanlık alan, tarama elektron mikroskobu (SEM) da hem mikroyapı ve kırılma yüzey morfolojileri hem de noktasal ve çizgisel enerji dağılımı spektrometre (EDS) element analizleri yürütülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, saf nikel malzemenin birleştirme esnasında kullanılan kaynak yöntemi, ilave metal ve koruyucu gaz kompozisyonunun gibi kaynak parametreleri birleştirilen parçaların hem mikroyapı hem de çekme dayanımı, ulaşılan maksimum eğme yükü ve mikrosertlik değerlerini etkilediği görülmüştür. Monel malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan gaz kompozisyonu ve paso sayısının mekanik özellikleri az da olsa etkilemektedir.

WELDING OF NICKEL AND MONEL MATERIALS

SUMMARY

Key words: Nickel, Monel, GTAW, Welding, Mechanical properties, Microstructure

Nickel and nickel and copper alloy named monel is one of the most important materials that is used in some industrial areas. In this study, pure nickel plates were welded by shielded arc welding and gas tungsten arc welding (GTAW) methods. Monel plates were also welded by gas tungsten arc welding method. All those weldments were carried out on but joined and flat position. Nickel casting shielded electrode was used for arc welding of nickel. On the other hand, naked nickel electrode and ER NiCu7 monel filler materials were used for the GTAW method. Argon and argon+5% H_2 were used as shielding gases. In this study, the effect of the compositions shielding gas and filler materials, travel speeds on the mechanical properties of the weldments were investigated. Various characterization techniques such as, tensile testing, bending testing and microhardness measurements have been carried out and Charpy impact test were applied on monel weldments at various temperatures. Parallel microstructural studies were carried out on welded work pieces. Basic microstructural investigations were performed using optical microscopy with the techniques of light area and dark areas. Both detailed microstructural studies and fracture surface morphologies were also carried out using scanning electron microscope (SEM) with the techniques of point and linear elemental energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis. It is seen from the results obtained in the experimental work that welding methods and parameter used in this study have an effect on microstructures and mechanical properties such as tensile strength and microhardness values of the nickel weldments. On the other hand, gas composition and number of passes have a little effect on the mechanical properties of the monel weldments.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Nikel birçok mühendislik uygulamalarında kullanılan üstün özelliklere sahip yapısal malzemedir. Nikel malzemeler yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip olduğundan mekanik zorlanmalara maruz kaldıklarında tok ve sünek davranışlar gösterirler. Aynı zamanda nikel malzemeler şiddetli ortamlarda kullanılabilir olmaları, çok düşük ve çok yüksek sıcaklıklarda iyi bir dayanım göstermekle beraber yüksek oksidasyon ve korozyon direncine sahiptir. Nikelin yukarıda bahsedilen cazip özelliklerini sadece birkaç metal türü gösterebilmektedir. Nikelin sahip olduğu üstün özelliklere karşılık pahalı olması çeşitli endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmasını sınırlamaktadır [1].

Bu nikel malzemeler yiyecek proses donanımı, kimyasalları taşıma fiçileri, elektrik elektronik parçalar, uçak ve füze parçaları, kostik tutma ekipmanları, roket motor kılıfları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Nikel çeşitli elementlerle alaşımlar oluşturularak ve endüstrinin birçok önemli alanlarında kullanılmaktadır. Nikel'in bakır ile yaptığı alaşımlara 'monel' denilmekte olup, valfler, pompalar, gemi donanımları, kimyasal madde proses donanımları, benzin ve taze su tankları, kaynar su ısıtıcıları ve ısı değiştirici eşanjörler gibi birçok alanda kullanılmaktadır [1, 2].

Nikelin krom ile yaptığı alaşımlara 'Inconel' denilmekte olup, bu alaşımlar fırın sargıları, ısı değiştirici boruları, kimya ve gıda ekipmanları, karbürleme sepeti gibi alanda kullanılmaktadır. Nikel esaslı bu malzemeler süper alaşımlar olarak da isimlendirilmekte ve yüksek sıcaklıklarda üstün mekanik özelliklerini koruyabilen yüksek sıcaklığa karşı dirençli alaşımlardır. Çözelti ile sertleştirilebilen nikel esaslı süper alaşımlara 'Nimonic' denilmektedir [1].

Nikel alaşımlarının çeşitli konstrüksiyonlarda kullanılabilmesi için kaynaklı birleştirmelerin yapılması gerekmektedir. Bu bakımdan nikel ve alaşımlarının

birleştirilmesinde çeşitli kaynak yöntemlerinin kullanılması daha önemli hale gelmektedir. Nikel ve alaşımları örtülü elektrot kullanılarak birleştirilebildikleri gibi gazaltı kaynak yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [3–7]. Bu kaynak yöntemlerinden TIG kaynak yöntemi el ile ya da otomatik olarak çeşitli türlerdeki parçaların başarılı bir şekilde birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Gazaltı kaynaklarında kaliteli birleşmenin sağlanabilmesi için kullanılan ilave metalin ve koruyucu gaz kompozisyonu oldukça önemlidir. Daha önceden yapılan çalışmalarda [8, 9], nikel ve alaşımları gibi YMK yapıya sahip paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gaz kompozisyonunun birleştirilen malzemelerin mikroyapısına ve mekanik özelliklerine etki ettiği belirtilmektedir. Nikel ve alaşımların birleştirilmesi esnasında en çok kullanılan koruyucu gaz saf argondur. Son zamanlarda argon gazı içerisine helyum ilave edilerek nikel ve alaşımları başarılı bir şekilde birleştirilmektedir [3, 4, 6, 7]. Önceki çalışmalar da belirtildiği gibi, paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi esnasında saf argona belirli oranlarda hidrojen ilavesi kaynak hızının arttırılmasına katkıda bulunmaktadır. Aynı zamanda kaynak esnasında eriyen metal miktarının artmasını sağlayarak, kaynak banyosunun daha akışkan olması sonucu hem birleştirmenin daha estetik bir görünüme sahip olmasını, hem de birleştirmenin daha üstün mukavemet değerlerinin elde edilmesine katkı sağlamaktadır [10, 11].

Gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen nikel ve nikel alaşımlarından oluşan konstrüksiyonların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, o konstrüksiyonun daha güvenli ve verimli kullanılması açısından oldukça önemlidir. Bu bakımdan çeşitli kaynak yöntemleri kullanılarak nikel ve nikel alaşımlarının çekme mukavemeti, çentik darbe dayanımları, kaynak metali ve ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB)'deki sertlik dağılımının belirlenmesi ile gerçekleştirilen birleştirmelerin daha verimli ve güvenli kullanılmasını sağlayacaktır. Bu amaçla bu çalışmada, saf nikel malzeme elektrik ark ve TIG (Tungsten Inert Gas) yöntemiyle birleştirilmiştir. TIG kaynak yönteminde argon ve argon+%5 hidrojen koruyucu gaz atmosferi kullanılmış, ilave metal olarak örtülü elektrot örtüsü kırılarak soyulmuş saf nikel elektrot kullanılmıştır. Nikel-bakır alaşımı olan monel malzemelerin birleştirilmesinde koruyucu gaz olarak argon ve argon+%5 hidrojen koruyucu gaz atmosferi, ilave metal olarak monel tel kullanılmıştır. Birleştirmeler yatay pozisyonda düz alın dizaynında

gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kaynak yönteminin, ilave metalin ve koruyucu gaz kompozisyonunun birleştirilen nikel ve monel malzemelerin mekanik özelliklerine ve mikroyapısına olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen mekanik deney sonuçları literatür bilgilerinden faydalanılarak yorumlanmıştır.

Bu çalışma sonucunda hazırlanan tez 7 bölümden oluşmaktadır. Nikel ve monel malzemelerin tanımı, endüstriyel önemi ve yapılan çalışmanın gerekçesi ile ilgili bilgiler giriş bölümde verilmiştir. İkinci bölümde ise nikel ve monel malzemeler hakkında mekanik genel bilgiler, çeşitleri, kullanım yerleri ve çeşitli fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler sunulmaktadır. Üçüncü bölümde ise kaynak parametreleri ve kaynaklı birleştirme yapılan malzemenin ısı tesiri altında kalan bölgelerin kaynaklı birleştirmeye etkileri hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde nikel ve monel malzemelerin kaynağı, kaynaklı birleştirmelerde karşılaşılan problemler, kullanılan koruyucu gazlar ve kaynaklı birleştirmelere etkileri ile bu çalışmada kullanılan yöntemlerden olan elektrik ark kaynağı ve TIG kaynağı, kaynak parametreleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde, yapılan deney çalışmalarında kullanılan malzeme, kaynak parametreleri ve deneylerde kullanılan karakterizasyon tekniklerinde izlenen yöntemler açıklanmıştır. Altıncı bölümde ise bu çalışmanın en can alıcı kısmını oluşturmaktadır. Çalışmada çeşitli kaynak yöntemleri ve parametreleri seçilerek birleştirilen nikel ve monel parçaların sertlik, çekme, eğme ve çentik darbe deneylerinde elde edilen sonuçlar ile bu çalışmalara paralel olarak gerçekleştirilen mikroyapı incelemeleri, kaynak yöntemleri ilave teller ve farklı koruyucu gazlarla yapılan kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklere etkileri verilmiş ve literatür bilgilerine dayanılarak elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Bu çalışmanın son kısmı olan yedinci bölümde çalışmada elde edilen genel sonuçlar ile gelecekte aynı konuda araştırma yapacaklara hitap eden öneriler kısmı bulunmaktadır.

BÖLÜM 2. NİKEL VE ALAŞIMLARI

2.1. Saf Nikel

Nikel yüzey merkezi kübik yapıya sahip metaldir. Nikelin yoğunluğu $8,9 \text{ gcm}^{-3}$, atom numarası 28, atom ağırlığı 58.69 olup erime sıcaklığı 1455°C 'dir. Bu malzeme 1000°C 'ye kadar mekanik özelliklerini koruyabilmektedir. Demir ve kobalt gibi ferromanyetik özellikler gösterir. Nikel malzemenin sertliği düşük karbonlu çeliklere benzer olup yumuşak bir metaldir. Nikel diğer metallerle karşılaştırıldığında bazı üstün özelliklere sahiptir. Nikel yüksek aşınma direnci, yüksek korozyon direnci, yüksek sıcaklıklardaki sürünme direnci iyi olup demir ve kobalt gibi ferromanyetik özellikleri göstermektedir [1, 12].

Saf nikel genelde sülfürlü cevherlerden kavurma ve indirgeme işlemleri ile kazanılmaktadır. Cevherden demir, kobalt ve bakır gibi metal ve metal olmayan katkıları bulunmaktadır. Saf nikel, üretimi esnasında eritme fırınlarından kaynaklanan az miktarda kükürt içermektedir. Nikel içerisindeki kükürt, çeliklerdekine benzer bir davranış gösterip sülfür olarak tane sınırlarında çökeldiğinden, yapıyı gevrekletmektedir. Ancak gevrekliğe neden olan sülfürler mikroyapı incelemelerle ayırt edilemeyecek düzeydedir. Nikel içerisine %0,05 Mn ilave edilerek MnS çökeltilerinin dağılımı sağlanarak gevrek davranış gösteren bir yapı oluşturularak nikelin mikroyapısı süreklilik kazanmakta ve daha sünek bir davranış göstermektedir [4]. Saf nikelin sahip olduğu bazı özellikler Tablo 2.1'de verilmektedir.

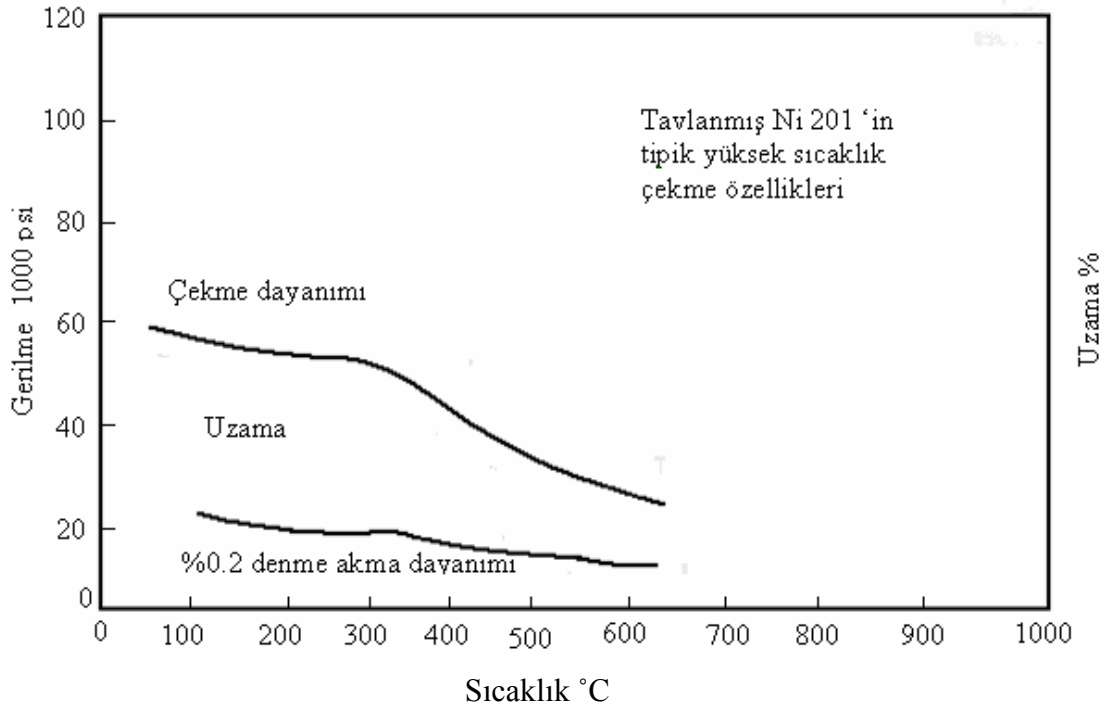
Tablo 2.1. Saf nikel'in özellikleri [13].

Fiziksel özellikler	
Özgül ağırlık	8,88 gr/cm ³
Mekanik özellikler	
Çekme dayanımı	317 MPa
Akma dayanımı	59 MPa
Kırıldığı andaki uzama	%30
Elastiklik modülü	2076 Pa
Poisson oranı	0,310
Kesme modülü	76,6 Pa
Elektriksel özellikleri	
Elektrik direnci	64x10 ⁻⁵ ohm/cm
Magnetik perrabiliti	1240
Curie sıcaklığı	358 °C
Termal özellikler	
Fusin ısısı	305,6 J/g
CTE 20 °C	13,1 mm/m°C
Isı kapasitesi	0,460 J/g - °C
Isıl iletkenlik	60,7 W/m-K
Ergime derecesi	1455 °C

Tavlanmış ticari saf nikel alaşımlarının kimyasal kompozisyonları ve uygulama alanları, Tablo 2.2'de gösterilmiştir. Bu alaşımlardan nikel 201 nikel 200'e benzemektedir. Ancak, nikel 201 daha az miktarda karbon içerdiğinden pekleşme hızı azalmakta ve sünekliği artmaktadır. Böylece, soğuk şekillendirmeye elverişli hale getirilmektedir. Diğer taraftan nikel 270 % 99,98 saflığa sahip olup, tavlama ağır deformasyona izin veren mükemmel ısıl iletkenlik ve sünekliğe sahiptir. Tablo 2.2'de bazı ticari saflık esaslı nikel alaşımların kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları sıralanmaktadır [1]. Tavlanmış nikel 201 alaşımının çekme ve uzama değerlerinin sıcaklığa göre değişimi Şekil 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Bazı önemli ticari saflık esaslı nikel alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları [1].

Nikel alaşımı	% Ni	% C	% Mn	% Fe	% Si	% Cu	Tipik Uygulamalar
200	99,5	0,08	0,2	0,2	0,2	0,13	Yiyecek proses ekipmanları, kimyasal nakil fiçları elektrik ve elektronik parçalar, uçak ve füze parçaları, kostik tutma ekipmanları ve borular; roket motor kılıflar, güç çeviriciler.
201	99,5	0,01	0,2	0,2	0,2	0,13	Kostik buharlaştırıcılar, çubukların kaplanması, yanma botları.
205	99,5	0,08	0,2	0,1	0,08	0,08	Destek telleri ve çubukları, kurşun teller, saplamalar, anotlar, katot koruyucuları ve redresör lambaları (ultrasonik güç dönüştürücüler).
220	99,5	0,04	0,1	0,05	0,08	0,05	Elektronik alıcı tüpleri için esas malzeme.
230	99,5	0,05	0,08	0,05	0,02	0,05	Özel elektron tüp uygulamaları, bu alaşım esas olarak titanyum içermemektedirler.
211	95,0	0,1	4,8	0,4	0,08	0,13	Ni 205'den yüksek dayanım, kıvılcım elektrotları, destek telleri, grid yanal sarma telleri, araştırma ışıkları için karbon tutucular.
270	99,98	0,01	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	Yüksek saflıkta nikel; katot kolları, floresan lambaları; hidrojen uç elektrotlu lamba parçalar; ısı değiştiriciler, ısı koruyucular.



Şekil 2.1. Tavlanmış nikel 201 alaşımının tipik yüksek sıcaklık çekme özellikleri [1].

Nikel pahalı malzemelerden biri olduğundan dolayı çeşitli endüstriyel alanlarda kullanımı sınırlıdır. Her ne kadar sınırlı olarak kullanılsa da önemli uygulamalardan biri yüzey kaplamalardır. Metal yüzeyi elektrolitik olarak nikel kaplandığında, malzemenin aşınma direnci yükselmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen krom kaplama ile metal yüzeyinde parlaklık sağlanmaktadır [1].

Nikel sıvı halden katı hale geçerken gazları absorbe ederek katılaşma esnasında içyapıdan çıkamayan gazlar gözenek oluşturmaktadır. Özellikle kaynaklı birleştirmeler de gözenek önemli bir hata olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumun önlenmesi amacıyla nikel malzemelerde titanyum, Ni-Cu alaşımlarında ise alüminyum oksijen giderici olarak kullanılmaktadır. Böylece, kaynaklı malzemelerin mukavemetinin artmasında önemli katkı sağlamaktadır [12].

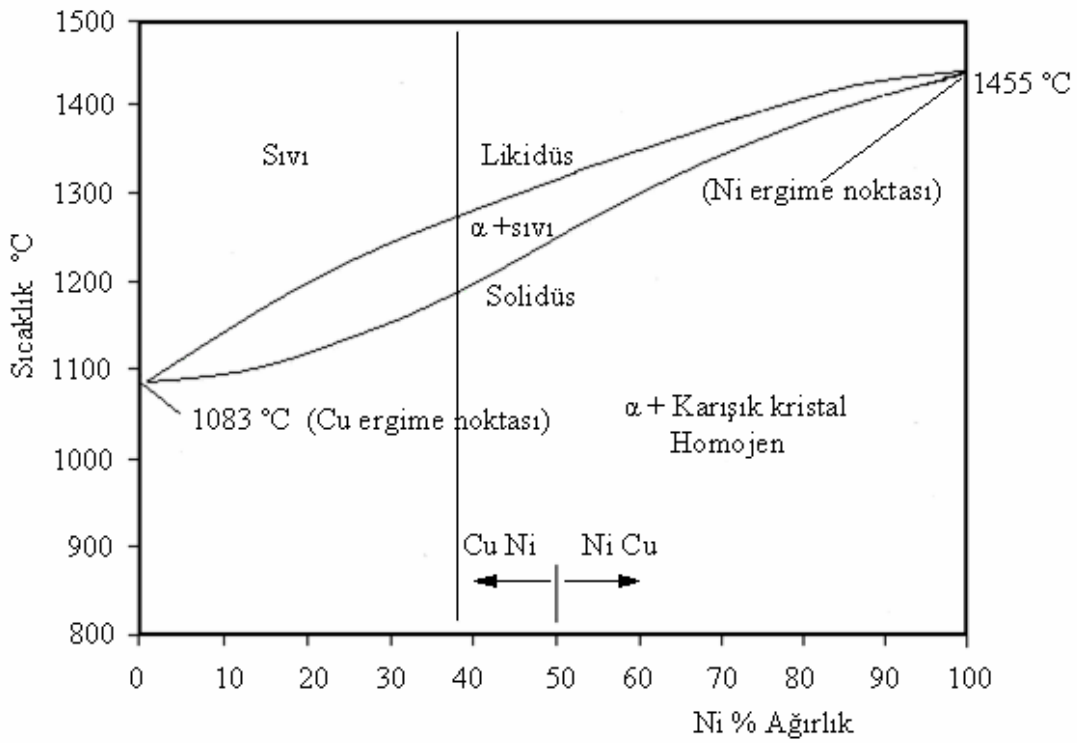
Nikel malzemeler içerisine belirli oranlarda elementler katılarak alaşımlı olarak kullanılmaktadırlar. Bunlar: Nikel-bakır alaşımları 'monel', nikel-krom alaşımları 'inconel', hastalloy ve wastalloy bu alaşımlardan bir kaçına örnektir. Tablo 2.3'de bu alaşımların bazıları ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Tablo 2.3. Monel 400, inconel 600, hastelloy'in özellikleri [13].

	Monel 400	Inconel 600	Hastelloy
Fiziksel özellikler			
Yoğunluk	8.80 g/cc	8.47 g/cc	8.98 g/cc
Mekanik özellikler			
Akma dayanımı	170 MPa	180 MPa	355.8 MPa
Kopma dayanımı	550 MPa	655 MPa	792.2 MPa
Kırıldığı andaki uzama	% 48	% 45	% 61
Elektriksel özellikleri			
Elektik direnci	547×10^{-7} ohm-cm	103×10^{-6} ohm-cm	130×10^{-6} ohm-cm
Curie sıcaklığı	35	-194	
Termal özellikler			
CTE 20 °C	13.9 $\mu\text{m}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$	13.3 $\mu\text{m}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$	11.2 $\mu\text{m}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$
Isı kapasitesi	0.427 J/g-°C	0.444 J/g-°C	0.427 J/g-°C
Isıl iletkenlik	21.8 W/m-K	14.9 W/m-K	7.20 W/m-K
Ergime derecesi	1300-1350°C	1354-1413°C	1323-1371°C
Solidüs sıcaklığı	1300°C	1354°C	1323°C

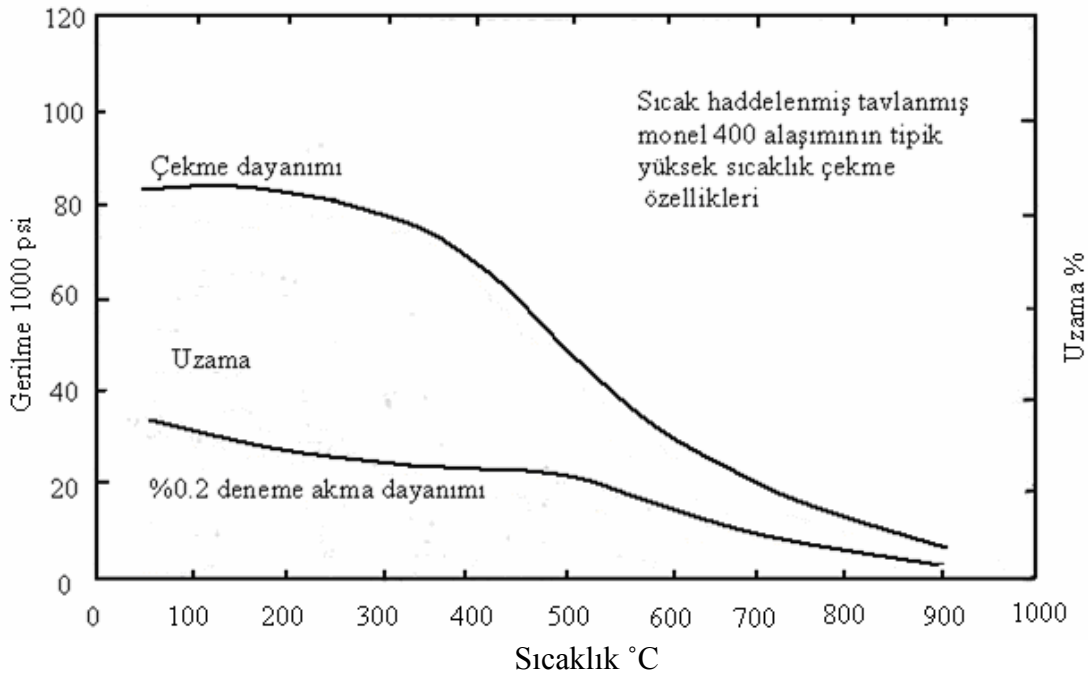
2.2. Nikel–Bakır Alaşımları

Nikelin YMK yapıya sahip olduğu daha önce bahsedilmiştir. Bakırda YMK yapıya sahip olduğundan nikel ($a=3.62 \text{ \AA}$), bakırın ($a=3.62 \text{ \AA}$) çok yakın değerlere sahiptir. Böylece nikel ve bakır her oranda katı çözeltili oluşturmakta olup bunların tümü tek fazlı yapıya sahiptir. Bakır esaslı % Cu (%50) alaşımlar bakır–nikel alaşımları olarak isimlendirilir. Nikel esaslı % Ni (%50) alaşımlar nikel–bakır (monel) olarak isimlendirilmiştir [14]. Nikel-bakır denge diyagramı Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Cu-Ni denge diyagramı [14].

Monel 400 geniş bir sıcaklık aralığında yüksek dayanım, yüksek korozyon direnci, iyi kaynak kabiliyeti ve tokluk gibi önemli özelliklere sahip olup, özellikle monel malzemenin korozyon direncine sahip olmasından dolayı deniz suyu, klorlanmış çözücülerle, sülfirik asit ve diğer oksitlere karşı korozyon direnci oldukça yüksektir. Monel oksitleyici atmosferde ve indirgeyici ortamda 538°C' ye kadar problemsiz bir şekilde kullanılabilir. Monel 400 alaşımının mekanik özellikleri Şekil 2.3'de verilmiştir [1].



Şekil 2.3. Sıcak haddelenmiş tavllanmış monel 400 alaşım çubuğunun tipik yüksek sıcaklık çekme özellikleri [1].

Monel R-405, monel 400'e benzemektedir. İşlenme özelliğini iyileştirmek için yapıya kükürt ilavesi yapılır. Monel K 500 Ni₃ (Al, Ti) yaşlandırma çözeltilerinin oluşması için %3 Al ve %8 Ti ilavelerinin dışında monellerin genel yapısal özelliklerine sahiptir [1].

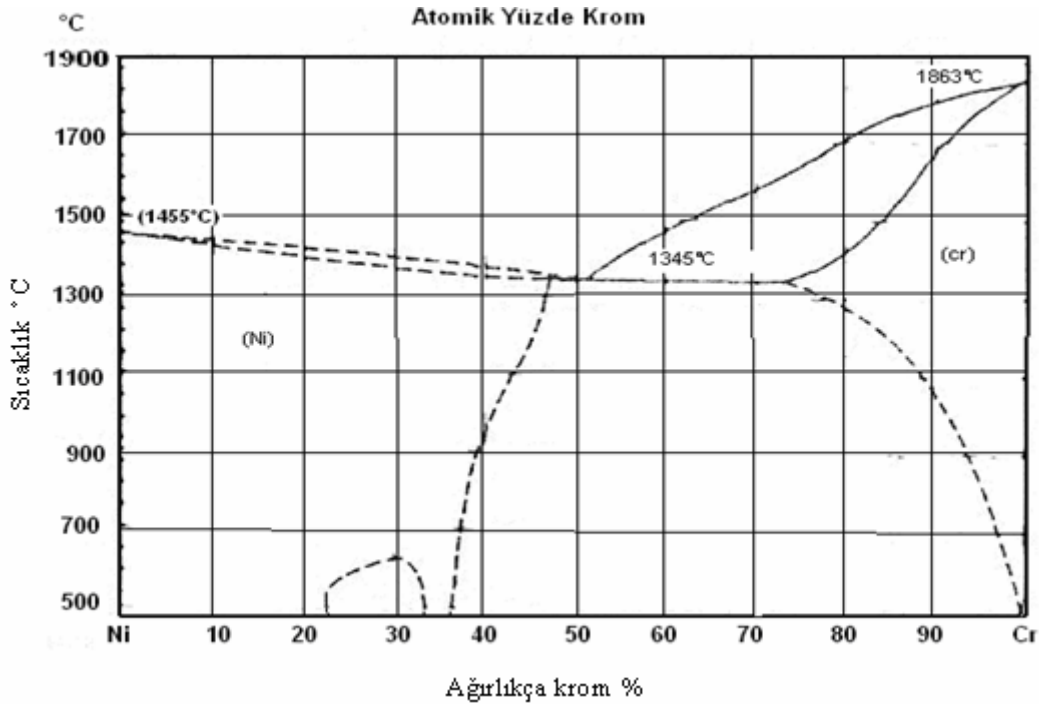
2.3. Nikel-Krom Alaşımları

Bu nikel-krom alaşımları nikel esaslı süper alaşımlar olup, bu malzemeler genel olarak düşük alaşımlı çelikler ve paslanmaz çeliklere göre yüksek sıcaklıklarda daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Nikel esaslı bu süper alaşımlar %30–75 oranında nikel ve %30'a krom içermektedir. Nikel ve krom bir arada olması bu alaşımlara oksidasyon direnci sağlamaktadır. Nikel esaslı bu alaşımlar 650°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruyabilmektedir [1, 15].

Nikel esaslı alaşımlar, uçak motorlarının çeşitli parçalarında kullanılmaktadır. Bu malzemeler çeliklerle karşılaştırıldığında mukavemet/ağırlık oranları daha iyidir. Bu malzemeler uçak endüstrisinin yanında nükleer donanımlar, liman donanımları, petrokimya fabrikaları ve gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Nikel esaslı alaşımlar

şiddetli ortam ve şartlarda kullanılması yüksek korozyon direnci, mekanik termal yorulma, yüksek sıcaklıklarda sürünme ve erozyon direncine bağlıdır. Nikel esaslı bu alaşımlar nikelin krom, tungsten, renium gibi katı çözültü sertleştirici elementleri ile birleşimi sonucu oluşan nikel katı çözültü matrisi içerisinde $Ni_3(Al, Ta)$ intermetalik bileşimini içermektedir. İntermetalik bileşik içerisinde bulunan tantalum yüksek sıcaklık mukavemeti ve oksidasyon direncini arttırmaktadır. Bu element titanyum ile yer değiştirebilir. Böylece alaşım sıcaklığı ve oksidasyon direnci düşebilir. Nikel esaslı türbin kanatçıkları $520^{\circ}C$ civarındaki sıcaklıklarda kullanılmaktadır. [1, 16]

Nikel-krom alaşımları inconel ve nimonic gibi isimlerle bilinmektedirler. Bu alaşımlardan her biri belirli oranda alaşım elementleri içermektedir. Bazı elementlerin farklı oranda bulunması ile malzemenin mukavemeti yükselmekte olup, ancak yüksek sıcaklıklarda ve şiddetli kimyasal ortamlarda korozyon dirençleri artmaktadır. Krom elementi Ni-Cr faz diyagramında görüldüğü gibi nikel içerisinde % 30 katı eriyiğe sahip olmaktadır (Şekil 2.4) [8]. Bazı Önemli Ni-Cr alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları Tablo 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Nikel-krom faz diyagramı [1].

Tablo 2.4. Bazı Önemli Ni-Cr alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları [1].

Alaşım	% Ni	% Cr	% Fe	% Mn	% Si	% Diğer	Tipik Uygulamalar
Inconel 600	75.0	15.5	8.0	0.5	0.2		Fırın sargıları, ısı değıştirci borular, kimyasal ve yiyecek proses ekipmanları, karbürleme sepetleri, yaylar
Inconel 601	60.5	23.0	14.1	0.5	0.2	1.4 Al	Isıl işlem sepetleri, ışyan fırın boruları, fırın sargıları ve damıtma kapları, termokopul koruma boruları
Inconel 620	61.0	21.5	2.5	0.2	0.2	9.0 Mo 3.6 Cb	Kanal sistemleri, yanma sistemleri, geri çevirme mandal donanımları, petrol ağızlıkları, yanmadan sonra sprey çubukları
Inconel 690	61.5	29	9	0.5	0.2	0.5 Cu	Yüksek sıcaklık atmosferine ve pek çok sulu maddelere yüksek direnç, kükürt içeren gazlarda yüksek sıcaklık ortamında kullanılır.

Bu malzemelerden inconel 600 %15,5 Cr ve %8 Fe içeren yüksek dayanım ve işlenebilirlik özelliği iyi olan Ni-Cr-Fe alaşımı olup en önemli özelliği yüksek sıcaklıkta (1170°C) fırın atmosferinde oksitlenmeye karşı dirençli ve aynı zamanda klorürlü atmosferde özellikle gerilim yenimi çatlamlarına karşı dirençli mühendislik malzemesidir. Bu alaşım sadece soğuk şekillendirme işlemi ile mukavemeti yükseltilmektedir. Sıcak haddelenmiş ve daha sonra tavllanmış yüksek sıcaklıklarda üstün çekme dayanımı göstermekte olup bu özellikler titanyum nitrür veya karbürler ve krom karbürü bir östenitik katı eriyiği içerisindeki çökelmiş fazlar tarafından sağlanmaktadır.

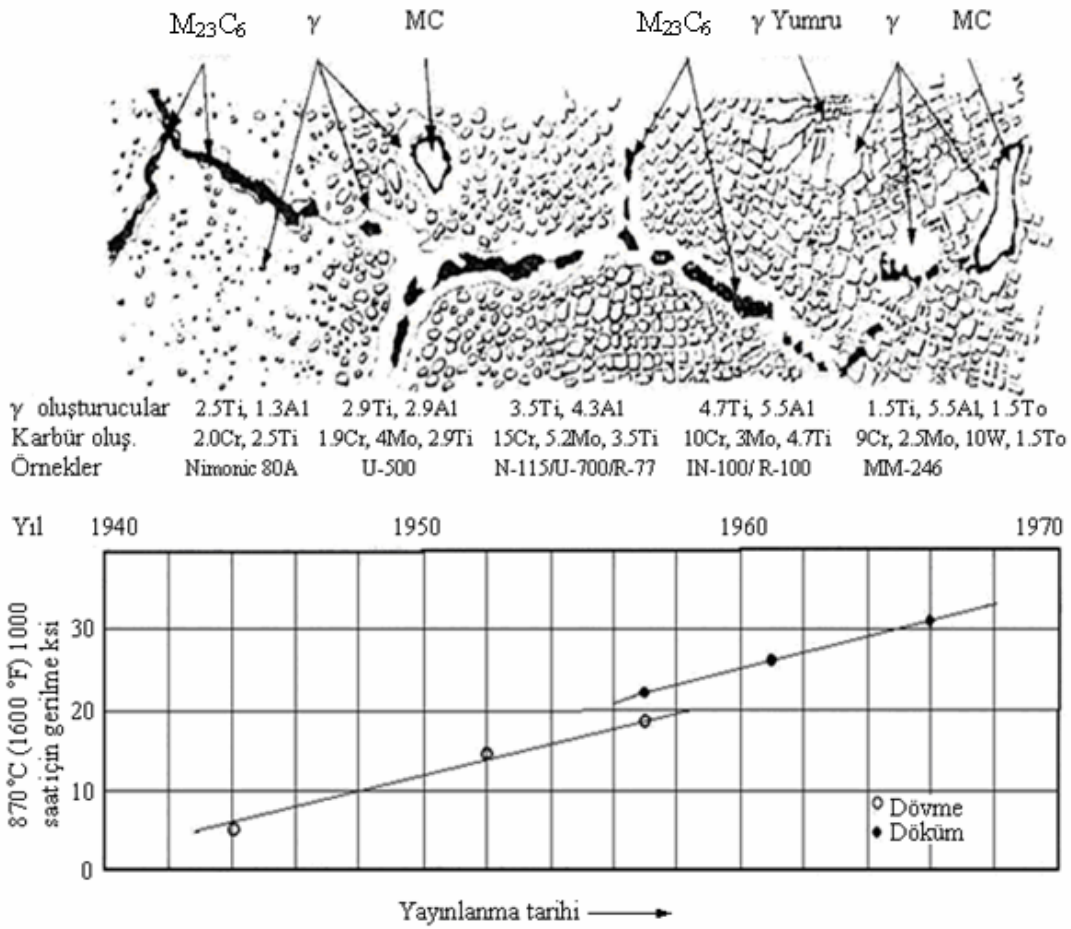
Bu tip alaşımlarda bulunan niobyum ve molibden katı eriyik ile mukavemet arttırmakta ve aynı zamanda Mo yüksek oranlardaki Cr miktarı ile deniz suyuna karşı korozyon direncinin artmasını sağlamaktadır. Kaynak işleminde tane sınırlarında krom karbür oluşumu yapıda bulunan Nb sayesinde niobyum karbür oluşturarak malzemenin kaynak kabiliyetini iyileştirmekte ve böylece tane sınırlarında korozyon direnci de artmaktadır.

Son zamanlarda en çok kullanılan nikel alaşımı olan inconel×750 alaşımı, %73 Ni 15,5 Cr, %7 Fe ve %2,5 Ti bileşimine sahip malzemedir. Bu alaşım 815°C

sıcaklıklara kadar iyi sürünme direncine sahip olduğundan bazı uygulamalarda yer bulan önemli bir mühendislik alaşımı olup, bu malzemenin çeşitli sıcaklıklardaki mukavemet değerleri diğer malzemelerle karşılaştırıldığında yüksek değerlere sahip olmaktadır [1].

Nikel esaslı süper alaşımlar yüksek sıcaklıklarda üstün mukavemet değerlerine sahiptir. Bu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda, korozyon, oksidasyon direnciyle beraber kopma dayanımı ve sürünme direncine sahip alaşımlardır [15]. Bu amaçla uygulama alanları uçak ve gaz türbinleri, uzay araçları, roket motorları, nükleer reaktörler, deniz altılar, petro-kimyasal ekipmanlar gibi korozyif ortamlar ve yüksek sıcaklık ortamlarında kullanılır.

Nikel esaslı süper alaşımların dayanımlarını artırma amaçlı yapılan çalışmalar neticesinde katı eriyik mukavemetlenmesini ve çökelti sertleşmesini artırarak ve karbürlerin optimum dağılımı sağlanarak 870°C de 1000 saatte 5 MPa kopma gerilmesi 30 MPa ye yükseltilmiştir. Genel olarak nikel esaslı süper alaşımın mikroyapısının zamanla düşük sıcaklıklarda yapılan ısıl işlemler küçük tane ve çökelti büyüklüğü yaratır (Şekil 2.5). Nikel esaslı süper alaşımlarda ana faz olarak; γ (gama) fazı-YMK ostenitin sürekli fazı, γ (ilk gama) fazı-Ana çökelti fazı, karbürler ($M_{23}C_6$ ve MC). Nikel esaslı süper alaşımların 1940'dan 1970'e kadar mikro yapısında yapılan değişiklikler ile γ 'nin kısmi hacim oranı arttırılmış, γ 'nin ilk boyutu arttırılmış ve daha sonra yaklaşık 1 μ m olarak sabitlenmiş, γ 'dan daha kübik olmuştur, daha ince bölünmüş γ ikinci bir faz çözeltisi belirlenmiştir [1].



Şekil 2.5. Nikel alaşım mikroyapısının meydana gelişi. 1940'dan 1970'e kadar çizim yaklaşık yayınlanma tarihinin bir fonksiyonu olarak alaşımın gerilme yeteneğini göstermektedir. Gösterilen yapı, en iyi yapı kopma özellikleri, sadece ana özellikler için ısıl işlem uygulanmış olarak gösterilmiştir [1].

Molibden ve tungsten yüksek sıcaklıklarda sürünmeyi azaltıcı elementlerdir. Bununda tungsten kısmı dislokasyonlar arasında istiflenme enerjisini azaltmakta çapraz kaymayı zorlaştırarak alaşımın yüksek sıcaklık kararlılığını arttırmaktadır.

γ (ilk gama) ana çökelti fazı; çökelti sertleşmesi ısıl işlemi ile olur. Nikel matrisinde γ çökeltisi YHK A_3B genel şekliyle gösterilir. "A" Ni, Co ve Fe gibi elektro negatif elementlerden, "B" Al, Ti veya Nb gibi elektro pozitif elementlerden oluşmuştur. Genellikle γ Ni_3 (Al, Ti) dir. Ancak kobalt ilave edilirse $(Ni, Co)_3$ (Al, Ti) olarak nikel için yer değiştirmektedir.

γ E Ni₃ (Al, Ti) J diziliş düzeninin gösterdiği süper kafes ve anti faz sınırı (ATS) hatalarının her ikisi de kaydırma sonucu olmaktadır, bu da ATS dislokasyon iç etkileşimi ile γ - γ alaşımlarında mukavemetleşme olur. Ni₃ (Al, Ti) sisteminde sıcaklık ortasıyla γ kısmı hacim artışıyla dayanımda iyi bir artış olur [1].

Karbürler tane sınırlarında ve tane içinde oluşur. Karbürler metristen daha sert ve kırılıgandırılar tane sınırları boyunca yeteri kadar bulunmaları yüksek sıcaklıklarda süneklik ve sürünme özellikleri bakımından önemlidir. Tane sınırlarında karbürler bulunmadığında yüksek sıcaklık deformasyonunda tane sınırları boyunca boşluklar oluşmaktadır. Aksi takdirde tane sınırları boyunca aşırı karbür çökeltilerinin bulunması yapının sert oluşundan dolayı darbe direncini düşürmekte ve sınır boyunca kırılmalar meydana gelmektedir. Burada bahsedilen her iki durumda da yapıda meydana gelebilecek olumsuzlukların olmaması için yeteri miktarda karbür bulunması gerekmektedir [1].

Nikel esaslı süper alaşımlarda genel olarak bilinen MC, M₂₃C₆, ve M₆C karbür tipleridir. Genel olarak MC şeklinde ifade edilirler titanyum, tantal, niobyum veya tungsten'dir. MC karbürü çok kararlı olup katılaşıma sıcaklığı başlangıcının altında oluştuğu düşünülmektedir. MC çözündürme ısıl işlemi esnasında katı fazda çözünür ek tane bölünmesini sınırlamaktadır [1].

M₂₃C₆ karbürü M genellikle Cr olup, M₂₃C₆ karmaşık kobalt yapıya sahip tane sınırlarına çökmekte ve 760–980°C arasında kullanılmaktadır. Düşük sıcaklık işlemlerinde M₂₃C₆ alaşım karbürlerine bağlı olarak demirle az miktarda tungsten, molibden, kobalt yer değiştirebilmektedir. M₂₃C₆ karbürü MC karbürlerinin bozulmasından veya alaşım matrisinden çözünen karbondan oluşabilmektedir. M₆C karbürleri M₂₃C₆ karbürlerine benzer karmaşık kübik yapıya sahip ve tane sınırlarında çökelmektedir. 815–980°C arasında ana alaşımın molibden ve tungsten elementlerinin fazla olmasıyla oluşma eğilimi yüksek olan karbürdür. Inconelx750 alaşımı çökelti ile sertleşebilen nikel esaslı süper alaşımdır. Alaşım 815°C'ye kadar korozyon, oksidasyon ve yüksek sıcaklık dayanımını koruyabilmektedir [1].

BÖLÜM 3. ELEKTRİK ARK VE TIG YÖNTEMLERİNDE KAYNAK PARAMETRELERİ

3.1. Elektrik Ark Kaynağı Kaynak Parametreleri

Kaynak parametreleri kaynak işlemine ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesine önemli derecede etki etmektedir. Metal veya metal alaşımları ile kaynak ilave metalinin kaynak türü kaynak ağız türü, kaynak ağız ve parça geometrisi dikkate alınarak kaynak parametreleri belirlenir. Uygun parametrelerin seçimi kaynakçının işini kolaylaştırdığı gibi kaynak bağlantısının da istenilen özellikte olmasını sağlamaktadır [17].

Kaynak parametreleri, kaynak öncesinde belirlenen ve kaynak işlemi esnasında değiştirilemeyen parametreler ile 1. ve 2. dereceden ayarlanabilir parametreler olmak üzere 3 grupta incelenebilir. Kaynak öncesi belirlenen parametreler elektrot türü, elektrot çapı ve kaynak akımı türüdür. 1.dereceden ayarlanabilir parametreler; kaynak dikişinin biçimini, boyutlarını, ark dengesini, etkileyen parametrelerdir. Bu parametreler akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızıdır. Üçüncü gruba giren bu parametreler kaynak işlemi esnasında değiştirilebilen, kaynak dikişinin biçimini etkileyen, ölçümleri zor olan parametreler olup, örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak işlemi esnasında elektrotun konumu, çalışma ve hareket açıları örnek olarak verilebilir [17].

3.1.1. Kaynak öncesi belirlenen parametreler

Kaynak öncesi belirlenen parametrelerden olan elektrot türünün seçimi, kaynaklanacak malzemenin türü, kalınlığı, geometrisi, bulunduğu ortam kaynağı uygulama şekline göre belirlenmektedir, derin nüfuziyet isteyen birleştirmelerde selülozik örtülü, erime gücü gerektiren elektrotlar tercih edilmektedir. Demir tozu veya potasyum içeren rutil örtülü elektrot nüfuziyeti daha zayıf olup, bazik ve rutil

karakterli örtülü elektrotlarda orta nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilmektedir.

Elektrot çapı kaynatılacak parçanın kalınlığı ve kaynak pozisyonuna göre belirlenmektedir. Kalın çaplı elektrotlar yüksek akım şiddeti ile kullanıldıklarından kalın parçaların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Yatay pozisyonun dışında yapılan kaynak işlemlerinde yer çekimi etkisiyle kaynak banyosu akmaya meyillidir. Bu nedenle dik, tavan ve korniş pozisyonlarında banyonun akmasının önlenmesi daha küçük çaplı elektrotların kullanılması gerekmektedir. Bazı tür malzemelerin kaynağında ısı girdisinin kontrolü uygun elektrot çapı seçimi ile sağlanabilmektedir. “V” alın birleştirmelerinin kök pasolarında elektrot hareketinin kolaylaştırılması ve kaynak metalinin iyi işleyebilmesi için küçük çaplı elektrotlar kullanılmaktadır. Ancak, kapak ve dolgu pozisyonlarında iş parçasının kalınlığı, türü ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak mümkün olduğunca büyük çaplı elektrotlar seçilmelidir. Esasında kaynak edilecek parçaların birden fazla paso ile kaynak edilmesi temperleme etkisi ile mekanik özelliklerini geliştirildiğinden tercih edilmektedir. Bu nedenle özellikle bazı tür çeliklerin kaynağında elektrot çapının seçiminde dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca gereğinden fazla büyük çaplı elektrot seçimi ekonomik olmadığı gibi çarpılma ve iç gerilme oluşumuna neden olduğundan dikkat edilmelidir.

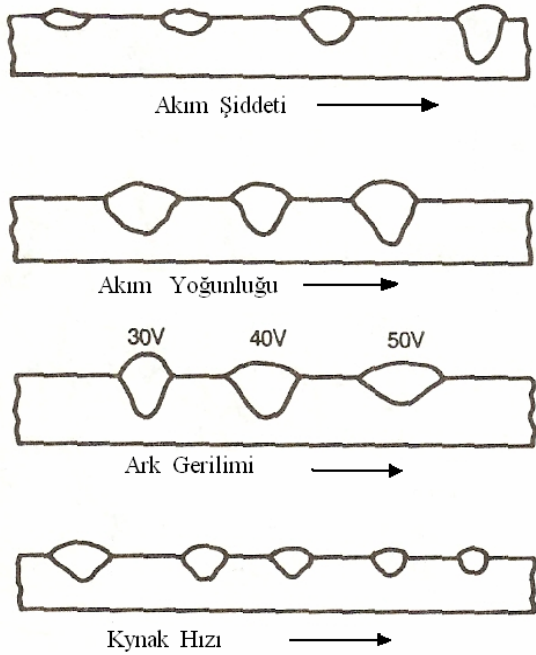
Örtülü elektrot ile kaynağın da doğru akım ve alternatif akım kullanılmaktadır. Kaynak akım türü, kutuplama ve elektrot örtü bileşimi, erime gücü ve dikişin nüfuziyetini etkileyen önemli faktördür. Doğru akım türü ile elektrot daha dengeli ark oluşturmakta ve kaynak metalinin taşınımı daha yüksek bir şekilde gerçekleştiğinden sıçrama kayıpları az olmaktadır. Ancak, ark üfleme tehlikesi bulunmaktadır. Ters kutuplama (elektrot +) ile doğru akımda en derin nüfuziyet elde edilmektedir. Buna karşılık en az erime gücü sağlamaktadır [17].

3.1.2. Birinci derecede ayarlanabilir parametreler

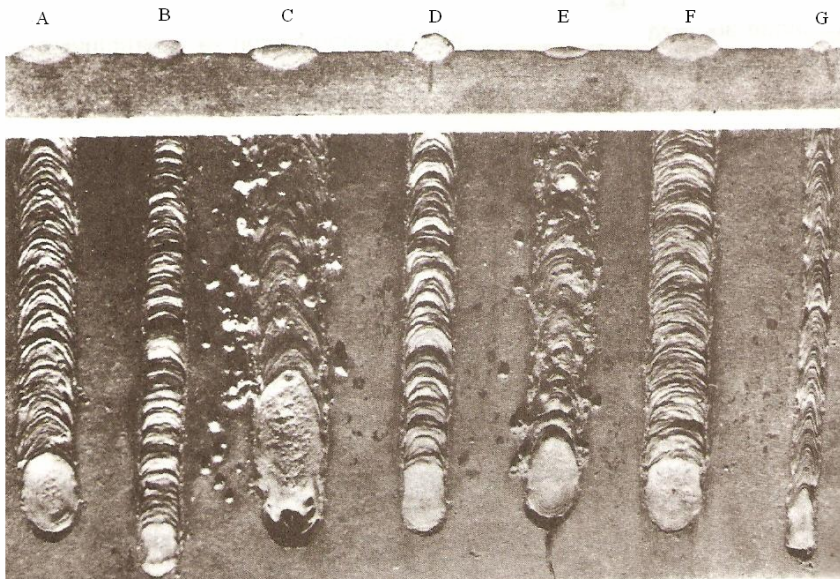
Kaynak dikişinin karakteristiklerin belirlenmesinde en önemli faktör kaynak akım şiddetidir. Her çaptaki elektrot belirli bir kaynak akım şiddeti aralığına sahiptir. Bu aralık içerisinde uygun değer seçilmesi elektrot örtü türü ve kalınlığı, kaynak

pozisyonu ile kaynak ağız biçimi önemli etkenlerdir. Akım şiddetinin artmasına paralel olarak kaynak dikişinin nufuziyetide artmaktadır. Buna karşılık akım şiddetinin aşırı yükselmesi sıçramaların artmasına, yanma oluklarının oluşmasına ve düzgün olmayan kaynak dikişine ve dikişte çatlakların oluşmasına neden olabilir. Ayrıca ince örtülü elektrotlarda, elektrot örtüsünün ark bölgesine gelmeden yanmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan kaynak akım şiddetinin azalması eriyen metal miktarına ve nufuziyetin azalmasına neden olmaktadır.

Ark gerilimi (ark boyu) kaynak esnasında erimiş kaynak banyosunun yüzeyi ile elektrot teli arasındaki uzaklık olup, ark gerilimi belirlenmektedir. Ark gerilimi ark kaynağında dikişin biçim ve kalitesini etkilemektedir. Şekil 3.1' de ark şiddeti akım yoğunluğu, ark gerilimi ve kaynak hızının dikiş biçimine etkileri şematik olarak verilmektedir. Ark geriliminin artması geniş ve yaygın bir kaynak dikişinin ortaya çıkmasına neden olur. Ark boyunun çok artması az nufuziyetli kaynak dikişine ve aşırı sıçramalara neden olmaktadır. Şekil 3.2'de verilmektedir. Kaynak akım şiddeti ve ark gerilmesi kaynak hızının görünümüne etkisi ve biçimini göstermektedir. Normal olarak örtülü elektrotla ark boyu elektrot tel çapı kadardır. Ancak bazik elektrotlarda tel çapının yarısı kadar tutulmalıdır [17].



Şekil 3.1. Akım şiddeti, akım yoğunluğu, ark gerilimi, kaynak hızının dikiş biçimine etkileri [17]



- A: Uygun akım şiddeti B: Akım şiddeti çok Küçük C: Akım şiddeti çok yüksek
 D: Ark boyu kısa E: Ark boyu çok uzun F: Kaynak hızı çok yavaş
 G: Kaynak hızı çok yüksek

Şekil 3.2. Kaynak akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızının dikişin görünüşüne ve biçimine etkileri [17].

Kaynak hızı kaynak dikişinin biçimini ve nufuziyetini etkileyen önemli faktörlerden birisi olup kaynakçı tarafından ayarlanmaktadır. Kaynak hızının artması kaynak dikişinin genişliğinin azalmasına ve optimum bir değere kadar nufuziyetin artmasına neden olmaktadır. Ancak, bu değer aşıldıktan sonra nufuziyette azalmaktadır.

3.1.3. İkinci dereceden ayarlanabilir parametreler

Elektrot açıları kaynak dikişinin biçimini etkileyen faktörlerden biridir. Kaynak dikişinin kalitesini etkilemekte, cüruf kalıntıları tek taraflı yönde kalıntıları, dikişin düzgünlüğü ve asimetrikliği yanlış açıların neden olduğu kaynak hatalarıdır. Hareket açısının pozitif yönde büyümesi dikiş yüksekliğinin artmasına ve nufuziyetin azalmasına neden olmaktadır. Çalışma açısının küçülmesi tek yanda yanma oluşunun oluşmasına ve kök pasalarda cüruf kalıntısına neden olmaktadır [17].

3.2. TIG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Seçimi

Bu Yöntemde de kaynak parametreleri üç grupta incelenmektedir. Kaynak öncesi

belirlenen parametreler TIG kaynak yönteminde erimeyen elektrot malzemesi, elektrot çapı, elektrot uç biçimi, geometrisi ve koruyucu gazdır. Bu parametreler kaynak edilecek parçanın kalınlığı, geometrisi, kaynak ağzı dikkate alınarak belirlenir.

Birinci derecede ayarlanabilir parametreler kaynak işlemini kontrol altında tutan parametreler olup, kaynak dikişinin biçimini, yüksekliğini, nufuzyetini, ark dengesini ve kaynak bağlantısının mukavemetini etkileyen parametrelerdir. Bunlar kaynak akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızıdır. İkinci dereceden ayarlanabilir parametreler elektrot serbest uzunluğu ve parçanın yatay düzlem ile olan eğimidir. Bu değişkenlerin ölçümü zor olup kaynak dikişine etkileri daha azdır.

3.2.1. TIG kaynak yönteminde erimeyen elektrot

Erimeyen elektrot türü genelde kaynak metalinin türü ile ilgili seçilmektedir. Saf tungsten elektrotların akım taşıma kapasiteleri düşük, kaynak esnasında kirlenmeye ve kaynak dikişinde kalıntı bırakmaya meyillidirler. Alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağında alüminyum alaşımlarının alternatif akım ile birleştirilmesinde saf tungsten elektrotlar daha uzun ömürlü olduklarından tercih edilirler. Toryum ile alaşımlı elektrotlar yüksek akım kapasiteleri, uzun ömürleri, kirlenmeye karşı dirençleri, arkın tutuşma kolaylığı ve oluşan arkın dengeli olmasından dolayı tercih edilir. Zirkonyum alaşımlı elektrotlar ise alternatif akım ile daha üstün karaktere sahip olduklarından alüminyum ve magnezyum alaşımlarının birleştirilmesinde tercih edilirler [18].

TIG kaynak yönteminde elektrotun çapı kullanılacak akım türüne göre seçilmektedir. Erimeyen elektrotun akım yüklenebilirliğini bileşim ve çap, uygulanan akım türü, kutuplama, elektrot serbest ucu ve kullanılan koruyucu gaz etkilemektedir. Daha önceden belirlenen bir akım şiddeti için doğru akım kullanıldığında elektrotun pozitif kutba bağlanması ısı yükü nedeniyle daha büyük çaplı elektrot gerektirmektedir.

Akım türünün seçilmesinde en önemli faktör kaynatılan malzemenin cinsidir. Doğru akım elektrot pozitif ince alüminyum ve magnezyum parçaları için uygundur. Bu tür

çalışmada arkın oksit temizleme özelliği iyi olup, nufuziyeti az geniş kaynak dikişleri elde edilir.

Koruyucu gazın türü kaynak dikişinin nufuziyetini, ısı girdisini ve kaynak dikişinin maliyetini etkileyen önemli bir faktördür. TIG kaynak yönteminde en fazla kullanılan gaz argondur. Argon helyuma göre daha az nufuziyet ve daha düşük ısı girdisi sağlamaktadır. Helyum daha çok ısıl iletkenliği yüksek, kalın parçaların kaynağında tercih edilir.

3.2.2. Birinci dereceden ayarlanabilir parametreler

Kaynak dikişinin biçimine göre en önemli etkilerden birini kaynak akım şiddeti yapmaktadır. Erimeyen elektrotun türü, tipi, çapı, akımın türü, kaynak pozisyonu, ağız biçimi, parçanın kalınlığı ve kaynak akım üreticinin gücü, akım şiddeti seçimini sınırlayan faktörlerdir. Kaynak akım şiddeti dikişin nufuziyetini ve dikişin biçimini etkileyen ana faktörlerden biridir. Akım şiddetinin artması kaynak dikiş nufuziyetinin artmasına neden olmaktadır. Akım şiddetinin çok yüksek olması kaynak dikişinin düzgünlüğünün bozulmasına ve yanma oluşu oluşmasına neden olmaktadır.

Ark gerilimi koruyucu gazın türü ile ark boyuna bağlı olarak değişmekte olup, el ile yapılan kaynak işleminde ark boyu kaynakçı tarafından ayarlanmakta, otomatik kaynak halinde ise elektrot ucu ile iş parçası arasındaki mesafe değiştirilerek ark gerilimi ayarlanmaktadır. Koruyucu gazın ark gerilimi üzerine etkisi olup, aynı ark boyunda helyum gazı kullanılması halinde daha yüksek ark gerilimi elde edilmektedir. Ark gerilimine en büyük etki ark boyu tarafından yapılmakta olup, uzun ark (yüksek ark) gerilimi ile çalışma durumunda nufuziyet azalmakta, koruyucu gaz kaynak banyosunu gerektiği şekilde koruyamadığından kaynak dikişi gözenekli olmakta ve renklenme gözlenmektedir. Ark boyunun kısalması durumunda nufuziyet ve elektrotun kaynak banyosunda kirlenme riski artmakta, aşırı ısınmadan dolayı torcun gaz lülesi ve elektrotun serbest ömrü kısalmaktadır. Kaynak hızı kaynak arkının iş parçası üzerindeki hızıdır. Aynı akım şiddeti ve ark gerilimi halinde hızın azalması iş parçasına olan ısı girdisi artmaktadır. Hızın artması nufuziyetin eriyen

kaynak metalinin birim kaynak boyunda azalmasına neden olmaktadır. Aşırı hız kaynak dikiş nufuziyetinin ve boyutlarının azalmasına, şeklinin bozulmasına kaynak hızının yavaş olması halinde kaynak dikiş boyutlarının aşırı artmasına ve dikiş üzerinde kaynak metalinin taşmasına neden olmaktadır [18].

3.2.3. İkinci dereceden ayarlanabilir parametreler

Elektrotun iş parçası ile yaptığı açı kaynak dikiş biçimini etkileyen faktörlerden biridir. Otomatik TIG kaynağında çalışma açısı 0° olarak belirlenmekte olup el ile yapılan kaynakta bu açı 20° civarındadır. Hareket açısı el kaynağında normal şartlarda $20\text{--}30^\circ$ civarında olup bu açı 0° dereceye doğru yaklaştıkça nufuziyet azalmaktadır. Açının artması ise kaynak dikiş yüksekliğinin artmasına neden olmaktadır. Hareket açısının negatif olması durumunda kaynak dikişinin nufuziyeti azalmakta ve genişliği artmaktadır. Hareket açısı sadece otomatik kaynak yönteminde negatif seçilebilir [18].

Elektrot serbest uç uzunluğu elektrotun torç gaz lülesi dışında kalan kısmın uzunluğu olup elektrot çapının 1 veya 2 katı seçilmektedir. Elektrot ucunun uzunluğunun büyümesi elektrotun kaynak banyosu ilave kaynak metali tarafından kirlenme riskini ve kaynak banyosunun koruyucu gaz tarafından yeterince korunmamasına neden olmaktadır. Elektrot serbest ucunun kısa tutulması halinde torcun gaz lülesinden yansıyan ışınlar elektrotun aşırı ısınmasına neden olmaktadır. Uzun serbest uçlar ise köşe kaynağında ve 'V' kaynak ağzı açılmış kalın kesitli parçaların kök pasolarında kullanılır [18].

3.3. Kaynak İşleminde Enerji ve Isı

Literatürlerde [19–22] belirtildiği gibi, kaynak dikişinin kalitesi, iyi bir nufuziyet, iyi bir ıslatma ve düzgün bir kaynak profili ile belirlenmektedir. Bu bahsedilen özellikler sağlanarak kaliteli bir birleşmenin sağlanması için belirlenen parametreler genelde akım, gerilme, kaynak ilerleme hızı ve açısı yanında kaynak dikişinin de önemli şekilde etkisi bulunmaktadır. Kaynak işlemi sırasında eriyen ve daha sonra soğuyarak katılaştıran bölge ergime bölgesi olup bu bölge esas metal ve ilave kaynak

metali karışımından oluşmaktadır. Tek pasolu kaynak dikişlerinde, şiddetli türbülans dolaylı ana metal ile ilave metal birbirlerine iyice karışarak homojen yapı göstermektedirler. Karışım bölgesini çevreleyen ve esas metal ile ilave metalin karışımına katılmadan katılan ve sadece ana metalden oluşan bölge karışmamış bölge olarak isimlendirilmekte olup, bu bölgenin kalınlığı kaynak yöntemine ve soğuma hızına bağlı olarak 0,05–2,5 mm arasında değişmektedir [19–22].

Enerji, bölgesinin katılması çevresindeki ana metale ısı iletimi sonucu gerçekleşmektedir. Isı ergiyen bölgeden ana metale doğru hızlı bir şekilde aktığından dolayı, ana metale yakın olan noktalarda çok sayıda çekirdek oluşmaktadır. Tek pasolu kaynak bağlantılarında dentritik taneler sıvı/katı faz sınırına dik olarak kaynak banyosunun ortasına doğru büyümektedir.

Metalik malzemeler kaynak edildiklerinde, ergime bölgesinin hemen yanında ısıdan etkilenen bölge bulunmaktadır. Isıl çevrimin etkisi altında kalarak, içyapı değişikliğine uğrayan bölgeye ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) adı verilmektedir. Bütün ergime kaynaklarında böyle bir bölge oluşmaktadır. Oluşan bu bölgenin boyutları kaynak işlemi esnasında uygulanan ısı girdisine, soğuma hızına, kaynatılan parçanın boyutlarına ve malzemenin ısı iletim katsayısına göre değişmektedir. Bu faktörlerin bazıları değiştirilerek ITAB bir dereceye kadar kontrol altına alınabilir.

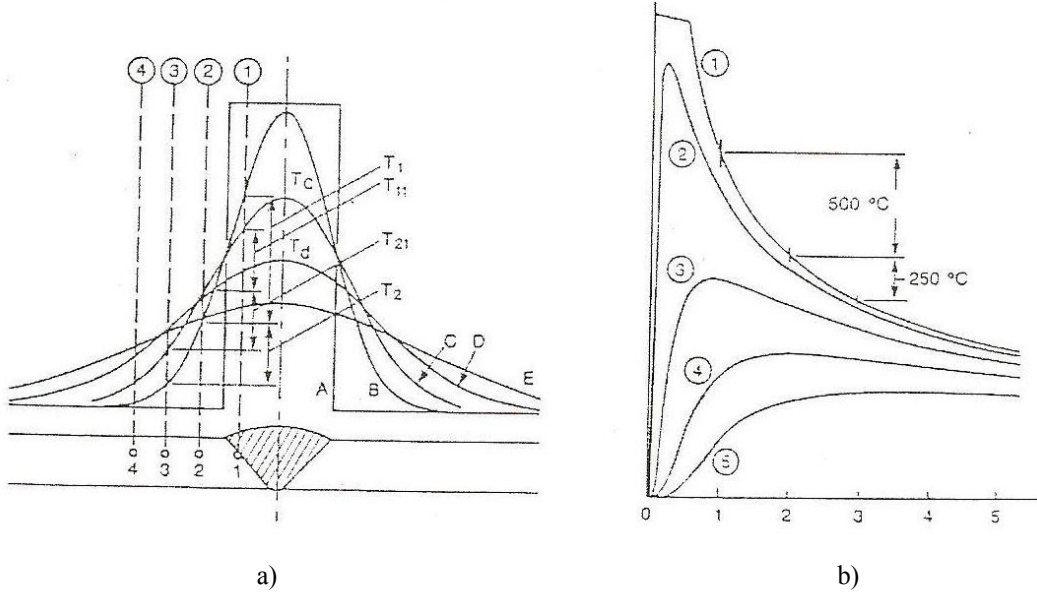
Çeliklerin kaynağında ısı tesiri altında kalan bölgenin içyapısı tane büyüklüğü açısından iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen dönüşmeye uğramış bölge ve içyapı değişikliğine uğramış bölge olmak üzere 4 farklı bölge oluşmaktadır [5, 17].

İri taneli bölge erime bölgesine bitişik olan ve kaynak işlemi esnasında 1150–1450°C kadar ısınan bölgedir. Bu sıcaklık aralığında taneler büyümektedir. Tanelerin büyüme hızı sıcaklığa paralel olarak artmaktadır ve metalin solüdis sıcaklığına yaklaştıkça büyüme oldukça hızlanmaktadır. İri taneli yapılar daha gevrek ve kırılırdır ince taneli bölge kaynak esnasında 900–1150°C arasında bir sıcaklığa kadar ısınan bir bölge olup tane büyümesi olmamaktadır. Kısmen dönüşmüş bölgede ise A₃-A₁ sıcaklığa kadar çıktığından bu bölge kısmen ostenitizasyona uğramaktadır. A₁ sıcaklığının altındaki dereceye kadar ısınmış olan bölgelerde her hangi bir iç yapı

değişikliği olmamaktadır [5].

3.3.1. Kaynak esnasında oluşan ısıl çevrimler

Şirin tezinde [19] belirtildiği gibi, çeliklerin kaynağında ITAB'ın özelliklerinin önceden belirlenebilmesi için kaynak ile birleştirilen malzemenin kimyasal bileşiminin, kaynak öncesi maruz kaldığı ısıl çevrimlerin, kaynak esnasındaki sıcaklık dağılım ve değişimlerin bilinmesi gerekmektedir. Kaynak işlemi esnasında meydana gelen ısıl değişimler bazı faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörler ısıtma hızı, tepe sıcaklığı sıcaklık dağılımı, tepe sıcaklığına maruz kalınan süre ve soğuma hızıdır. Kaynak işleminde hem malzemenin kaynak edilmesi esnasında hem de soğuması esnasında sürekli bir ısı yayılımı olmaktadır. Şekil 3.3 (a)'da bu durum gösterilmektedir, A eğrisinde her hangi bir ısıl yayılım olmadığı durum görülmekte olup, kaynak bölgesindeki sıcaklık malzemenin ergime sıcaklığının üzerinde ve ana metalde her hangi bir sıcaklık artışı olmamaktadır. Böyle bir durum gerçekçi bir yaklaşım değildir [23]. Kaynak esnasında enerji girdisi kesilmesinden sonra B eğrisinde gösterildiği gibi kaynak bölgesinde oluşan ısının daha soğuk olan ana metale doğru akmaktadır. Böylece, kaynak bölgesindeki tepe sıcaklığı düşmektedir. C eğrisinde ise ergimiş bölgeden ana metale olan ısı akışı daha fazla olmakta eriyen kaynak metalindeki tepe sıcaklığının daha düştüğü ana metalde ise sıcaklık değerleri daha da artmaktadır. D ve E eğrilerinin eriyen bölgedeki tepe sıcaklığının daha da düştüğü ve ısıdan etkilenen bölgenin arttığı görülmektedir. Sıcaklık dağılımının soğuma üzerindeki etkisi Şekil 3.3 (b)'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kaynak işlemi esnasında ısı girdisi nedeniyle 1 numaralı bölgenin sıcaklığı çok yükselmekte ve çok hızlı soğuma meydana gelmektedir. 2 numaralı eğriye bakıldığında, bu bölgede ulaşılan tepe sıcaklığının daha düşük olduğu, soğuma hızının da daha yavaş olduğu görülmektedir. 3 ve 4 numaralı eğrilerde tepe sıcaklığı düşmekte ve hem ısıtma hem de soğutma hızları azalmaktadır. Bu şekillerden anlaşılacağı gibi hem kaynak yöntemleri hem kullanılan koruyucu gazlar hem de kaynaklı birleştirme yapılan ana metalin sahip olduğu ısı iletme katsayıları kaynak metalinde ulaşılan tepe sıcaklığı ısı tesiri altında kalan bölgenin genişliği üzerinde önemli şekilde etkide bulunmaktadır.



Şekil 3.3. a) Kaynak bölgesindeki ısınma eğrisi b) IEB bölgesindeki ısı yayılımı [23].

Isı girdisi birim uzunluktaki kaynağı yapabilmek için harcanmış olan ısıyı göstermektedir. Isı girdisi oranı ergitmeli kaynaklarda en önemli değişkenlerden birisidir. Isıtma oranı soğuma oranını ve kaynak banyosu boyutlarını belirlemektedir. Kaynaklı parçanın metalurjik özelliği ısı girdisinden etkilenmekte olup ITAB'daki tane boyutunu belirlemektedir. Ergime sınırındaki katı metalin yanı başındaki taneler büyümektedir. Bu bölgenin tane büyüme sıcaklıklarında uzun süre kalması tane büyümesine etki etmektedir. Bu durum çelik malzemelerin çentik darbe tokluğunu olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca, ısı girdisi direk olarak parçanın kesitinin kalınlığı ile ilgili değişmektedir. Parça kalınlığı arttığında kaynak daha hızlı olarak soğumaktadır. Parça kalınlığının termal davranışlarındaki etkisi şöyle özetlenebilir: Saç kalınlığının artmasıyla ITAB'daki soğuma oranı artmaktadır. Saç kalınlığı arttıkça ITAB daralmakta ve yüksek sıcaklıkta kalma süresi azalmaktadır. Genel olarak yüksek ısı girdisi, düşük soğuma oranı ve geniş kaynak banyosunun oluşmasına neden olmaktadır. Isı girdisi oranının arttırılmasıyla kaynak banyosu genişletilebilir. Kaynak banyosunun genişlemesi kaynağın ve mikroyapının kontrolü açısından olumsuzluk göstermektedir. Geniş banyo tanelerin büyümesine neden olmaktadır, bu nedenle soğuma oranı ve tane boyutu ölçüsü optimum değerlerde olabilmesi için ısı girdisi miktarının belirlenmesi gerekmektedir [23]. Kaynak esnasında ark enerjisi hem esas metalde yeterli ergimeyi oluşturacak kadar yüksek hem de ITAB da istenmeyen mikroyapı değişimlerine yol açmayacak kadar düşük

olmalıdır. Her hangi bir ark kaynağında akım üretici tarafından önerilen ark enerjisi Denklem 3.1’de verilmiştir. Ancak arktaki kayıplar nedeniyle üretilen bu enerjinin tamamı malzemeye aktarılamamakta ve birim kaynak uzunluğu boyunca ark tarafında üretilen enerjinin bir kısmı ışımaya yolu ile çevreye yayılmaktadır. Tozaltı kaynağında kaynak banyosu üzerindeki koruyucu toz örtüsü sayesinde ark enerjisinin % 90-99’u faydalı enerji olarak iş parçasına aktarılmaktadır [19].

$$H = \frac{I \times E}{V} \quad (3.1)$$

Burada:

H: Isı girdisi (Jmm^{-1})

I: Kaynak akımı (Amp)

E: Ark gerilimi (V)

V: Kaynak hızını ($mmsn^{-1}$) göstermektedir.

Kaynak esnasında net ısı girdisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu denklem aşağıda verilmiştir [21].

$$H_{net} = \frac{F_1 \times I \times E}{V} \quad (3.2)$$

Burada:

F_1 : Ark verimi olup boyutsuz bir katsayıdır.

Bu değer 0,7–1 arasında değişmekte olup toz altı kaynağı için ark verimi 0,99 olarak kullanılmaktadır [19]. TIG kaynağında ise bu değer 0,7 dir [24].

Isı girdisini etkileyen önemli faktörlerden biriside kullanılan koruyucu gaz bileşimidir. Ark tarafından oluşturulan ısının en iyi şekilde iletmesi gerekmektedir. Isı iletimi koruyucu gaz tarafından sağlanmakta olup, her koruyucu gaz türünün kendisine has ır ısı iletkenliği vardır [25]. Tepe sıcaklığı kaynak esnasında meydana gelen en önemli faktörlerden biri olup, kaynak işlemi esnasında ulaşılabacak tepe sıcaklığı, ısı girdisine, ısı kayıplarına bağlı olarak değişmektedir. Isı girdisi, ısı kayıplarından fazla olduğunda malzeme sıcaklığı yükselmektedir. Her ikisi birbirine

eşit olduğunda malzeme tepe sıcaklığına erişmiş olmaktadır. Kaynak metalinde ulaşılan tepe sıcaklığı aynı zamanda ITAB'daki tane boyutları üzerinde etkilidir. Kaynak hızı arttırıldığında yeterli erimenin sağlanması için ısı girdisinin, diğer bir deyişle akım şiddetinin arttırılması gerekmektedir [22].

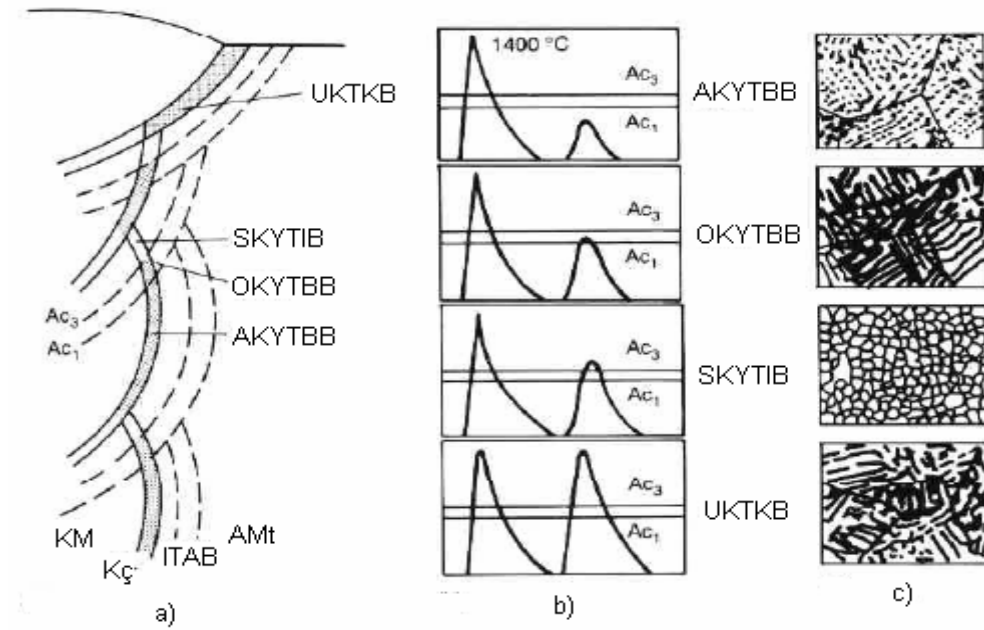
Kaynak bölgesinin soğuma oranları sonucu aşağıdaki gerçeklerin bilinmesi gerekmektedir. Martenzitik dönüşümden ya da soğuk kırılmalardan korunması çeliğin soğuma oranlarının ilişkilerinin belirlenmesi, kaynak ve ITAB da oluşacak metalurjik reaksiyonların hassasiyetinin belirlenmesi ve ITAB'da meydana gelen aşırı tane büyümesinin önlenmesi gerekmektedir [26]. Kaynak edilecek parça ne kadar kalınsa soğutma miktarı artarak soğuma hızı yükselmekte ve böylece martenzitik yapı oluşması sonucu ITAB bölgesinde sertleşme meydana gelmektedir [27]. Malzemenin ergime sıcaklığından oda sıcaklığına düşmesi belirli bir zaman almaktadır. Bu soğuma süresinin azalması sertliğin ve mukavemetin artmasına, buna karşın çatlama hassasiyetinin artmasına neden olmaktadır. Soğuma süresi fazla olduğunda soğuma hızı yavaştır. Diğer bir deyişle daha fazla ısı girdisi olmaktadır. Bu durum tane büyümesine neden olarak kaynaklı numunenin çekme mukavemeti gibi mekanik özelliklerinde düşümlere neden olmaktadır.

3.4. TIG Kaynağında Çok Pasolu Kaynak İşlemi

TIG kaynak işlemi endüstrisinin çeşitli alanlarında basınçlı kazanlardan büyük konstrüksiyonlara kadar birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmakta olup, bu işlemler çoğu zaman birleştirme işleminin yapılması için birden fazla pasonun uygulanması gerekmektedir. Çok pasolu birleştirmelerde sıcaklık dağılımı kaynaklı birleştirmenin mikroyapısına, sertliğine, mikrosertliğine, mekanik özelliklerine, kaynak banyosu geometrisine ve kalıntı gerilmelere neden olmaktadır [27, 28].

Tek pasolu birleştirmelerde tane büyümesinden dolayı tokluk değerinin düşmesine neden olmaktadır. Buna karşılık çok pasolu birleştirmelerde her paso ile yeniden ısıtmaya ve maruz kalınan sıcaklıklara bağlı olarak ITAB bölgesindeki mikroyapının değiştiğini ve daha yüksek tokluk değerine sahip olmasını sağlamaktadır. Şekil 3.4'de çok pasolu birleştirmelerde ITAB'da oluşan mikroyapı şematik olarak

göstermektedir [29].



AMt: Ana metal KÇ: Kaynak çizgisi Km: Kaynak metaline

AKYTBB: Alt kritik olarak yeniden tane büyütülen bölge.

OKYTBB: Orta kritik olarak yeniden ısıtılarak tane büyüyen bölge.

SKYTIB: Süper kritik olarak yeniden ısıtılarak tane incelen bölge.

UKTKB: Ultra kristal tane katılaştırma bölgesi.

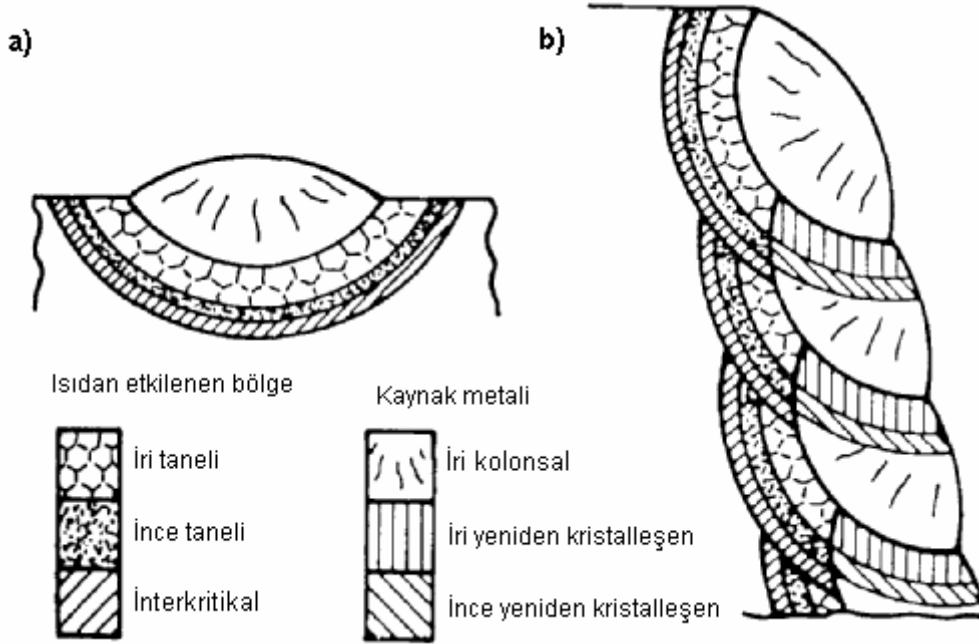
DTBB: Değişmeyen tane büyümesi bölgesi.

Şekil 3.4. Çok pasolu birleştirmelerde ITAB bölgesinin iri taneli bölgede farklı bölgelerin oluşumunun şematik olarak gösterilmesi a) Ana metal ve kaynak metaline bağlı olarak bölgelerin konumu. b) Isıl çevrimin grafiksel olarak gösterimi. c) Farklı bölgelerdeki mikroyapı görüntüleri [29].

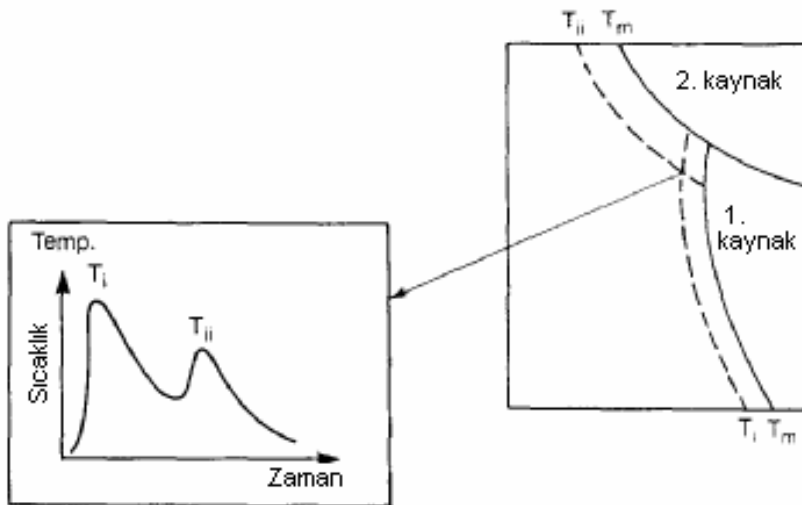
Çok pasolu kaynaklarda daha sonraki pasolar temperleme etkisi yaparak ITAB kontrol edilebilir. Böylece kaynak sonrası ısıl işlem yapılarak iç gerilmeler giderilir [27, 30]. ITAB'da ısıl işlem ile sağlanan tane incelmesi kaynaklı birleştirmenin tokluğunu arttıracaktır. Her paso ile yapılan işlemle kalıntı gerilmeler azalmaktadır. Paso sayısı gereğinden fazla olduğunda çekme ve çarpılma artmakta ve daha dolayısıyla iç gerilmeler artmaktadır [30].

Easterling [31] çalışmasında belirtildiği gibi, her paso ile oluşan ısıl çevrim tanelerin incelmeye ve bir önceki pasonun sahip olduğu yapıyı normalleştirme işlemi yapmaktadır. Toplam enerji girdisi azalmakta olduğundan tane büyümesi azalmaktadır. Her bir önceki kaynak işlemi bir şekilde ön ısıtma işlemi

görülmektedir. Şekil 3.5’de her kaynak pasosunun bir önceki kaynağa olan etkileri görülmektedir. Hem kaynak metali hem de ITAB bölgesi yeniden ısıtılmaktadır. Böylece kaynak esnasında bu bölgeler iki, üç hatta daha fazla ısıl işleme maruz kalmaktadır. Şekil 3.6’da ısıdan etkilenen bölgenin birden fazla ısıl çevrimine maruz kaldığını göstermektedir [31].



Şekil 3.5. a) Tek b) Çok pasolu kaynakta kaynak ve ITAB’deki mikroyapının şematik olarak karşılaştırılması, çok pasolu kaynakta ITAB daki bir noktada oluşan ısıl çevrimin etkisi [31].



Şekil 3.6. Çok pasolu kaynaklardaki bir noktanın maruz kaldığı ısıl çevrim [31].

BÖLÜM 4. NİKEL VE ALAŞIMLARIN KAYNAĞI

4.1. Nikel ve Alaşımlarının Oksi-Asetilen Kaynağı

Oksi-asetilen kaynağı daha çok imkânların sınırlı olduğu fabrika veya şantiye gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ancak, TIG ve Ark kaynak yöntemi daha fazla kullanım alanlarına sahip olması nedeniyle oksi-asetilen kaynağının yerini büyük ölçüde almıştır. Nikel 200 ve yüksek nikel alaşımlarının kaynağında sadece erimiş asetilen kullanılması gereklidir. Karpit kazanından elde edilen asetilende kaynağın yapılabilmesi için uygun alev ayarı yapılamaması zor olduğundan tercih edilmemektedir [14].

Nikel 200 oksi-asetilen yöntemi ile birleştirilmesi esnasında dekapana ihtiyaç yoktur. Krom içeren nikel alaşımlarda kullanılacak olan dekapanların kesinlikle bor içermemesi gerekmektedir. Çünkü bu tür dekapanlar kaynak metalinde sıcak çatlama oluşturmaya neden olabilmektedir [14]. Dekapan kullanılması düşünüldüğünde kullanılmadan önce birleştirilecek olan yüzey dekapansız olarak puntalanmalı sonra ince bir tabaka halinde birleştirilecek parçanın hem ön hem de arka yüzeyine sürülüp kuruması için beklenmesi gerekmektedir. Birleştirilmesi esnasında kullanılan ilave metalin de dekapanlanması gerekmektedir. Monel 400 ve Monel K-500 türü nikel-bakır alaşımlarının birleştirilmesi sonrasında ergimemiş fazla dekapan tel fırça ya da zımpara ile temizlenmelidir. Bu tür parçaların kaynak sonrasında kimyasal yöntemler kullanılarak yapılan temizleme, temizleyici kimyasallar ana malzemeye zarar verebileceğinden dolayı önerilmemektedir [14].

Alın kaynaklı birleştirilecek parçalar 1 mm'den ince olduğunda ilave malzeme gerekmeden kenarlar yaklaşık 2,5 mm'ye kadar 75° yukarı kıvrıldıktan sonra ve parça aralarında boşluk bırakılmadan kaynak edilmesi gerekmektedir. Malzeme kalınlığı 1-1,25 mm olan saclarda birleştirilecek yüzeyin kenarları ~ 75° yukarı

kıvrılarak birleştirilebilir. Buna imkan yoksa ilave telle birleştirme işlemi yapılır. Malzeme kalınlığı 1,25–2 mm arasında olan parçalarda 90° kaynak ağızı açılmalı ve birleştirme işleminde ilave telle yapılmalıdır. Kalınlığı 2 mm'den fazla olan parçalarda 75° kaynak ağızı açılmalı ve sağa doğru kaynak yapılması önerilmektedir. Saf nikel ve monel parçaların oksii-asetilen kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde hafif asetileni fazla redükleyici alev önerilmektedir. Buna karşılık krom içeren nikel alaşımlarda asetileni daha fazla redükleyici alev kullanılması önerilmektedir. Nikel alaşımlarının oksii-gaz kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde banyo içerisinde gözenek oluşmamasına dikkat edilmelidir. Kaynak işlemi esnasında kullanılan ilave metalin kaynak banyosuna daldırıldığında kaynak bölgesinde gözenek oluşturmaktadır. Kaynak işlemi süresince ilave metalin ucu sürekli alevin içinde kalması sağlanarak oksitlenmesinin önlenmesi gerekmektedir [14].

4.2. Metal – Ark Kaynağı

Nikel ve nikel alaşımlarının metal ark kaynağı geniş ölçüde çelik malzemelerin kaynağına benzemektedir. Kaynatılacak parçaların tavlınmış olması, kaynak işleminde kaynaktan dolayı malzemenin distorsiyona uğramaması, kenarlarından altlık malzemeye puntalanarak sabitlenmesi gerekmektedir. Elektrot doğru akım ters kutuplama (DAEP) ile kaynatılmalı olabildiğince ince çaplı elektrot ile kaynağı yapılmalı elektrotlar 100–120°C fırınlanması ve pasolar arası soğumaya bırakılması gerekmektedir [14]. Tablo 4.1'de bazı nikel alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılan çeşitli çaplara sahip elektrotlar ve kullanılması gerekli akım değerleri verilmektedir.

Tablo 4.1. Yerde yatay pozisyonda kaynak için yaklaşık akım değerleri [14].

Monel			Nikel 200 ve 201			Inconel ve Incoloy		
Ana Malzeme Kalınlığı (mm)	Elektrod Ø (mm)	Akım (amp.)	Ana Malzeme Kalınlığı (mm)	Elektrod Ø (mm)	Akım (amp.)	Ana Malzeme Kalınlığı (mm)	Elektrod Ø (mm)	Akım (amp.)
1	2.5	*	1	2.5	*	1	2.5	*
1.1	2.5	*	1.1	2.5	*	1.1	2.5	*
1.3	2.5	45	1.3	2.5	*	1.3	2.5	*
1.6	2.5	50	1.6	2.5	75	1.6	2.5	60
2	2.5	55	2	2.5	80	2.8	3.25	75
2.4	2.5	60	2.5	2.5	85	3.2	3.25	75
2.8	2.5	60	2.8	3.25	105	4	3.25	80
2.8	3.25	65	3.2	3.25	105	4.8	4	105
3.2	3.25	75	3.2	4	110	9.5	5	140
3.5	3.25	85	3.5	4	130			
4	3.25	95	4	4	135			
3.2	4	100	4.8	4	150			
3.5	4	110	daha yukarı					
4	4	115						
6.3	4	150						
daha yukarı								
9.5	5	170						
12.7	5	190						
daha yukarı								
		* Arkın kontrol edilebileceği minimum amperajı kullanın						

4.3. Örtülü Elektrotla Kaynak

Nikel ve Nikel alaşımları asgari olarak 1.25 mm ise de uygun kaynak tertibatıyla daha ince malzemelerin kaynağı da yapılabilir. Tablo 4.2’de nikel ve alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılan örtülü elektrotların kimyasal bileşimleri verilmiştir.

ENi-1 sınıf elektrotları şekillendirilmiş ve dökme nikel ve alaşımlarının kaynağı veya çeliğe kaynağında kullanılır. E NiCu-1 ve E NiCu-2 elektrotları nikel-bakır alaşımlarının kaynaklı birleştirmesinde kullanılmaktadır. E NiCuAl-1 elektrotları nikel-bakır-alüminyum alaşımlarının birbirleriyle kaynağında yaşlandırılmış haldeki kaynaklı birleştirmelerde kullanılmaktadır. Kaynak metalinde yaşlandırma işleminden önce 785°C’de ısıtılmış bir fırında uygun bir süre tutularak gerilim giderme işlemi uygulandıktan daha sonra yaşlandırma işlemi yapılmaktadır [14].

Tablo 4.2. Nikel ve alaşımlarının örtülü elektrot ile birleştirilmesinde kullanılan elektrotların kimyasal bileşimleri [14].

AWS Sınıflama	C	Mn	Fe	S	Si	Cu	Ni+Co	Al	Ti	Cb+Ta	Kalan
ENi-1	0,10	0,75	0,75	0,020	1,25	0,25	92min	1,0	1-4	-	0,50
ENiCu-1	0,15	4,0	2,5	0,025	1,25	Kalanı	62-70	1,0	1,5	3,0	0,50
ENiCu-2	0,15	6,0	2,5	0,025	1,5	Kalanı	60-68	1,0	1,0	2,5	0,50
ENiCu-4	0,40	4,0	2,5	0,025	1,0	Kalanı	62-70	1,5	1,0	-	0,50
ENiCuAl-1	0,45	4,0	2,5	0,025	1,25	Kalanı	60-68	1-4	1,0	-	0,50

Nikel ve alaşımlarının örtülü elektrot ile birleştirilmesinde doğru akım ters kutuplama (DATK elektrot +) ile kullanılmaktadır. Kaynak edilecek malzemenin kaynak şartları sağlanarak malzeme kalınlığı, kaynak pozisyonu elektrot çapı gibi parametrelerle deneysel olarak uygun amper ayarı saptanmaktadır.

Nikel ve alaşımların birleştirilmesinde kullanılan en hızlı, en ekonomik ve kaliteli kaynak için uygun kaynak yatay pozisyonda yapılandır. Yatay pozisyonda yapılacak birleştirmede elektrot pozisyonu, yatayla 70°’lik açı yapacak şekilde önerilmektedir. Bu şekilde yapılan birleştirmede kaynak banyosunun kontrolü kolaylaşmakta ve cürufun sıkışmasını önlemektedir. Bu şekilde yapılan birleştirmelerde arkın kısa tutulması gerekmektedir. Dik pozisyonda yapılan birleştirmelerde ise, %10–20 daha

düşük amper değeri seçilmeli ve elektrotun malzeme ile yaptığı açı 90° olacak şekilde birleştirme gerçekleştirilmelidir. Tavan kaynağında çok daha düşük amper değeri seçilmesi gerekmektedir [14].

Ergiyen nikel alaşımı akmadığından oluşan damlanın malzeme yüzeyine düşürülmesi için kaynak yapılırken elektrota hafif salınım hareketi vermek gerekmektedir. Salınım hareketi birleşme tasarımı, kaynak pozisyonu ve elektrot tipine bağlı olarak değişmektedir. Ancak, kök pasolarında her hangi bir salıntı yapmadan düz bir dikiş çekilir. Yapılacak birleştirmede salıntı yapıldığında elektrot çapının 3 katını geçmemesi gereklidir. Kaynak işlemi esnasında ark kesileceği zaman kaynak ilerleme hızı biraz arttırılarak kaynak banyosu hacmi azaltılır. Böylece krater oksidasyonu oluşma olasılığı azalmakta ve arkın yeniden tutuşturulmasını kolaylaştırmaktadır.

Nikel ve alaşımlarının örtülü elektrot ile birleştirilmesinde 3 mm kalınlığa kadar kaynak ağzı açılmasına gerek yoktur. Sac plakalar aralıklı küt alın şeklinde kaynak edilebilir. Metaller arasındaki ağız aralığı metal kalınlığının yarısı kadar olması tercih edilmelidir. Yüksek nikel alaşımlı elektrot ile oluşan kaynak metal, çelik elektrotlarda olduğu gibi yayılmaz ve derine nüfuz etmezler. Bundan dolayı 'V' kaynak ağzı açısını ve 'U' kaynak ağzının yan açısı ile dip radüsünün, çeliğe göre arttırılması gereklidir. Yatay alın pozisyonunda küt kaynaklarında elektrot için en iyi açı dikeyle $20-30^\circ$ açı yapacak şekilde olduğunda oluşacak curufun eriyik metal içerisinde sıkıştırılması tehlikesi azalmaktadır.

2 mm ve daha ince kalınlığa sahip nikel ve nikel alaşımlı parçalarda kaynak esnasında elektrota salıntı yapılmasına gerek yoktur [14]. Çok pasolu kaynak işlemleri sonrasında kaynak cürufu mekanik olarak tel fırça ile temizlendikten sonra kaynak işlemine devam edilmektedir.

4.4. TIG Kaynağı

Nikel ve nikel alaşımlarının tümü TIG kaynak yöntemi ile kolay bir şekilde kaynak edilebilir. Elle veya otomatik kaynakta doğru akım düz kutuplama (DAEN)

(elektrot -) önerilmektedir. Kaynak torcu ile iş parçası arasındaki açı 90° olmalı, kaynak bölgesini daha iyi görebilmek için açı biraz küçültülebilir. Ancak, böyle bir durumda koruyucu gazın kaynak banyosunu havanın kötü etkilerinden korunmasının sağlanmasına dikkat edilmelidir [14].

Nikel ve nikel alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile yapılacak birleştirmelerde koruyucu gaz olarak argon veya helyum gazı ya da bu iki gazın karışımı kullanılmalıdır. Oksijen, karbondioksit veya azot gazının argon gazına karışımı kaynakta gözenek oluşumuna sebep olması ya da elektrottan kopan parçacıkların erimeden kaynağa karışmasına neden olmaktadır. Nikel ve alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde, tek pasolu kaynaklarda argon gazına %5 kadar hidrojen gazı karışımı kullanılarak kaynak metalinde gözenek oluşumu önlenmektedir. 1.6 mm kalınlıkta Monel 400'ün TIG kaynağı ile birleştirilmesinde helyum gazı kullanılarak gözeneksiz kaynaklı birleştirmelerin elde edilmesi mümkündür. Böylece, yüksek ısı girdisi sağlanarak DADK ve uygun akım şiddeti ile argon gazına göre % 40 daha hızlı kaynak yapılabilir.

TIG kaynağı ile yapılan birleştirmelerde saf tungsten veya titanyum, zirkonyum ile diğer alaşımlı elektrotlar kullanılabilir. Elektrot ucu açısı kaynak için çok önemli olup, 30° olmalıdır. Bu şekilde elde edilen ark daha dengeli olmakta ve nüfuziyete etki etmektedir.

Kaynak işlemi esnasında pozisyon ve tasarıma göre elektrot ucu seramik nozuldaki ileri çıkartılabilmektedir. Yatay pozisyonda yapılan küt alın birleştirme kaynaklarında elektrot ucu seramik nozuldaki 5 mm dışarı, köşe kaynaklarında ise 10 mm dışarı çıkarılması uygundur [14].

Nikel ve alaşımlarını TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan ilave metaller ana malzeme ile aynı kimyasal bileşimine sahip olmasına dikkat edilmelidir. Yüksek akım şiddeti kullanılarak ulaşılan ve yüksek sıcaklıklarda kaynak metalinde oluşabilecek gözenek ve sıcak çatlağın önlenmesi için birleştirmede kullanılan ilave metaller alaşımlandırılmaktadır. Nikel ve alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan ilave metallerin kimyasal bileşimi Tablo 4.3'de

verilmiştir [14].

Tablo 4.3. TIG kaynağı için ilave dolgu metali ve elektrot için kimyasal bileşim değerleri [14].

AWS sınıflandırması	C	Mn	Fe	S	Si	Cu	Ni+Co(b)	Al	Ti	Diğer
ER Ni-3	0.15	1	1	0.01	0.75	0.25	93 min	1.5	2-3.5	0.5
ER NiCu-7	0.15	4	2.5	0.02	1.25	kalanı	62-69	1.25	1.5-3	0.5
ER NiCu-8	0.25	1.5	2	0.01	0.1	kalanı	63-70	2-4	0.25-1	0.5

Bu tabloda verilen ER Ni-3 tipi sınıfı ilave metaller nikel 200 ve 201 gibi saf nikel alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılmaktadır. ER NiCu-7 monel 400 ve 404 tipi nikel-bakır alaşımlarının ve ER NiCu-8 ise nikel-bakır alaşımlarının kaynağında kullanılmaktadır.

TIG kaynak işlemi ile yapılacak birleştirmelerinde kullanılacak olan ilave telin çapı ana malzemenin kalınlığına bağlı olarak seçilmelidir. Kaynak metalinde meydana gelebilecek gözenek oluşumunun önlemesi için ilave metali koruyucu gazın altından çıkarılmaması gereklidir. Bu kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmede ark mümkün olduğunca kısa tutulmalı ve ilave metal kullanılmıyorsa önerilen ark uzunluğu 1.30 mm civarında olması tercih edilmektedir. Gereğinden fazla seçilecek olan kaynak hızı gözenek oluşumuna sebep olmaktadır.

4.4.1. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar ve özellikleri

Gazaltı kaynak yöntemlerinde koruyucu gaz, bu kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan sarf malzemelerden bir tanesidir. Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazlar kaynaklı birleştirmenin mekanik özelliklerini belirleyen önemli faktörlerdendir [32]. Birleştirme esnasında kullanılan koruyucu gazlar ark bölgesini tamamen örterek atmosferin içinde bulunan zararlı gazların kaynak bölgesinden çıkartılarak koruması gereklidir. TIG kaynağında genellikle soy gazlar ve bunların belirli oranda karışımları kullanılmaktadır. Tezin bu bölümünde nikel ve alaşımlarının gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan argon, helyum ve hidrojen gazı gibi koruyucu gazlar ele alınmaktadır.

4.4.1.1. Argon

Gazaltı kaynak yöntemlerinde en çok kullanılan gaz olan argon tek atomlu renksiz, kokusuz, tatsız ve zehirli olmayan bir soy gazdır. Atmosferde % 0,934 oranda bulunmakta olup ekonomik olmasından dolayı atmosferden havanın sıkıştırılması ile elde edilmektedir. Havadan ağırlık olarak yaklaşık %1,3 daha ağır olup, özgül ağırlığı $1,781 \text{ gcm}^{-3}$, hacim olarak %0,92 oranında argon gazı bulunmaktadır [30]. Ergimiş kaynak banyosunu ve arkın çok etkili kararlı olmasını sağladığından özellikle yatay kaynak pozisyonlarında kaynak esnasında etkili bir örtü oluşturarak kaynak banyosunu çok iyi bir şekilde korumaktadır. Argon düşük iyonizasyon enerjisine sahip olduğundan argon atmosferi altında ark tutuşması daha kolay ve güvenilir olmaktadır [5, 33]. Argon sessiz ve düzgün bir ark sağlamaktadır. Argon gazının en önemli avantajı büyük akış hızına sahip olması ve böylece daha kararlı bir ark tutuşması sağlanmaktadır. Ark voltajı daha düşük olduğundan ince saçları yanık olmadan kaynaklı birleştirilebilmektedir [34].

Argon gazında oluşan arkın gerilim düşümü diğer gazlara nazaran daha az olup, argonun ısı iletme kabiliyetinin zayıf olması nedeniyle ark sütunu daha geniş ve sıcaklığı da özellikle dış kısımlarda düşük olmaktadır. Böylece argonun koruyucu gaz olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nufuziyeti merkezinde daha derin kenarlarında ise daha az olmaktadır. Şekil olarak şarap kadehine benzemektedir [5]. Argonun düşük iyonizasyon enerjisine sahip olması düşük ark gerilimi ile çalışılmasını sağlar. Böylece kaynak esnasında ısı girdisi azaldığından kaynak esnasında ince parçaların delinmesi azalmaktadır. Ergimiş kaynak metalinin viskozitesi daha az olduğundan “dik” ve “tavan” kaynağında banyo hâkimiyetini kolaylaştırmaktadır. Argon gazı havadan 4 kat koruma sağlamakta olup, kaynak esnasında daha az gaz sarfiyatının olmasını sağlamaktadır [5].

4.4.1.2. Helyum

Helyum atmosferde çok az miktarda bulunmakta ve ayrıştırması endüstriyel olarak imkânsız bir gaz olup, günümüzde doğal gazdan ayrıştırılarak elde edilen tek atomlu hafif bir gazdır. ABD (Amerika Birleşik Devletleri) ve eski SSCB (Sovyet Sosyalist

Cumhuriyetler Birliği) gibi ÷lkelerde daha kolay ve ekonomik olarak üretilmektedir. Helyum sıvı gibi dağılmış olmakla birlikte daha çok t÷p içerisinde sıkıştırılmış bir gaz şeklinde kullanıma sunulmaktadır. Helyumun argona göre 10 kat daha hafif olup, bu özelliği ile kaynak esnasında etkili bir korumanın sağlanması için gerekli gaz sarfiyatını arttırmaktadır. Yatay pozisyonda aynı şartlarda argonun yaptığı korumayı sağlamak için 3 kat daha fazla helyuma ihtiyaç vardır. Havadan daha hafif olan helyumun özgül ağırlığı $0,1784 \text{ gcm}^{-3}$ d÷r. Doğal gazların ayrışmasıyla elde edilen helyumun iyonlaşma potansiyeli 24,5 eV'dir. Helyumun molek÷l ağırlığı 4,003 bir atmosferde ayrışma sıcaklığı -269°C 'dir [35].

Helyum gazının ısı etki alanı daha düşük olup, daha hızlı kaynak yapılabilir. Daha kalın ve ısı iletkenliği yüksek olan malzemelerin kaynağı için uygun olup, dar ve derin nufuziyet sağlanmaktadır [5, 35].

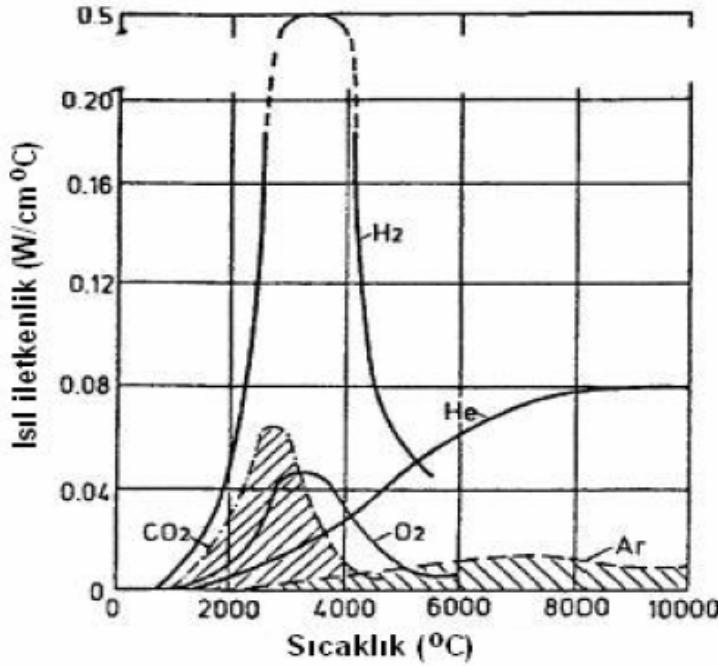
4.4.1.3. Hidrojen

Hidrojen renksiz, kokusuz ve tatsız bir gaz olup, zehirli değildir. 1 m^3 hidrojen 10 gram ve oksijenden yaklaşık olarak 16 kat daha hafif bir gazdır. Hidrojen %9–68 oranında hava ile karışımıyla patlama tehlikesi olmaktadır [36].

Arkın oluşumu sırasında kaynak bölgesine gelen molek÷l halindeki hidrojen gazı ark sıcaklığında atomlara ayrılmaktadır. Kaynak yerinden atomlara ayrılan hidrojen gazı düşük sıcaklıklarda yeniden birleşmekte ve alınan ısı tekrar verilmektedir. Böylece, kaynak işlemi kolaylaşmaktadır. Ark atom kaynağında hidrojen gazının atomlara ayrışırken aldığı ısıyı atomların tekrar birleşmesi ile kaynak yerine ısı vermesinden başka tungsten elektrotların sağladığı redükleyici atmosfer ile oksidasyona karşı koruma üstünlüğü vardır [37].

Argona belirli oranlarda hidrojen ilavesi ile arkta voltaj düşmesi sonucu ark gücü artmaktadır. Koruyucu gaz olarak hidrojen kullanıldığında, hidrojen yüksek ısı iletkenliğe sahip olması nedeniyle dar ve derin nufuziyet sağlamaktadır. Hidrojen çok iyi bir oksit giderici olduğundan son katmanın yüzeyinde oksit oluşumunu önleyerek kaynak dikişinin görüntüsünü güzelleştirmektedir. Gazaltı kaynak

yöntemlerinde kullanılan bazı gazların sahip olduğu ısı iletkenlikleri Şekil 4.1’de görülmektedir. Kaynak arkında en yaygın olarak ulaşılan 3000–4500°C sıcaklık aralığında hidrojenin diğer gazlardan çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Arkın yüksek ısı iletkenliğine sahip olması, arkın şekli ve kaynak işleminin hızını önemli bir şekilde etkilemektedir [10].



Şekil 4.1. Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazların sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenliklerinin değişimi [10].

Argona hidrojen ilavesiyle arkta voltaj düşmesi nedeniyle ark gücü artmaktadır. Aynı zamanda hidrojen yüksek ısı iletkenliğine sahip olması nedeniyle dar ve derin nüfuz yet elde edilmektedir [10]. Koruyucu gaz içerisinde hidrojen miktarının artması ile kaynak bölgesine olan ısı girişi artmaktadır. Isı girişinin artmasıyla kaynak metalinin katılma süresi artmaktadır.

4.5. MIG Kaynağı

Nikel ve nikel alaşımlarının birleştirilmesinde MIG (Metal Inert Gas) kaynak yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Sprey ark ve kısa devre metal geçişleri kullanılabilir. Güç girişleri değiştirilerek farklı metal geçişleri elde edilebilir.

[14]. Darbeli ark ile ergiyen metal damlalarını püskürtmeden kürecik şekline değiştirilebilir.

Tablo 4.4. Nikel 200 ve monel 400 alaşımlarının MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılacak kaynak metal geçiş şekilleri ile kaynak parametreleri verilmektedir [14].

	Nikel 200	Monel 400
Püskürtme tipi metal geçişi (a) ile		
Elektrot teli.....	ER Ni3	ER NiCu-7
Voltaj,V(ort)	29-31.....	28-30
Akım, A (ort).....	375.....	290
Tel sürme, (mm/dak).....	205.....	200

Kısa-devre metal geçişi (b) ile		
Elektrot teli.....	ER Ni3.....	ER NiCu-7
Voltaj,V(ort)	20-21.....	16-18
Akım, A (ort).....	160.....	130-135
Tel sürme, (mm/dak).....	360	275-290

Darbeli ark geçişi (c) ile		
Elektrot teli.....	ER Ni3.....	ER NiCu-7
Voltaj,V(ort).....	46.....	40
Akım, A (ort).....	21-22.....	21-22
Tel sürme, (mm/dak).....	160.....	140

MIG kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde doğru akım kaynak makinaları uygun olup sabit voltaj makineleri en geniş ölçüde kullanılmaktadır. Doğru akım ters kutuplama (elektrot +) kullanılmaktadır. Düz kutuplamayla yapılan birleştirmelerde ilave metal terk etme miktarı yüksek olmakla beraber çapak sıçraması tehlikesi daha fazla olmaktadır [14].

MIG kaynak işleminde argon gazı kullanmak iyi sonuçlar vermektedir. Ancak %20 helyum gazı içeren koruyucu gazı kullanılarak nufuziyet artmaktadır. Küresel veya püskürtme ile yapılan birleştirmelerde ‘U’ kaynak ağzından kök pasoları ince çaplı elektrot ile yüksek akım şiddetinin kullanılması uygundur.

Kaynağı görebilmek için tora çok az eğim verilebilmekte olup, daha fazla eğim yapılması sonucu koruyucu gaz görevini yapamadığından gözenekli ve oksitlenmiş kaynak elde edilmektedir [14].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Kaynak Yöntemleri

Bu çalışmada nikel ve nikel-bakır alaşımı olan monel malzemeler kullanılmıştır. Nikel malzeme farklı kaynak yöntemi, farklı koruyucu gaz atmosferi ve farklı ilave metaller kullanılarak birleştirilmiştir. Elektrik ark kaynak yöntemi ile nikel malzeme nikel döküm elektrot kullanılarak birleştirilmiştir. TIG kaynak yöntemi ile nikel malzeme farklı ilave tel ve farklı koruyucu gaz atmosferinde farklı sayıda kaynak pasoları ile birleştirilmiştir. TIG kaynak yöntemi ile monel malzemeler farklı koruyucu gaz atmosferinde ve farklı sayıda kaynak pasoları ile birleştirilmiştir. Birleştirilen parçalardan çekme ve eğme deneyi ile sertlik ölçümleri ve mikroyapı incelemelerinde kullanılan numuneler çıkarılmıştır. Tablo 5.1’de nikel ve monel malzemelerin kimyasal bileşimleri Tablo 5.2’de birleştirmede kullanılan ilave metallerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 5.1 Çalışmada kullanılan nikel ve monel malzemelerin kimyasal birleşimi [38].

Türü	Kimyasal Analiz Değerleri								
	C	Mn	Si	Cu	Ni	P	S	Fe	Co
Nikel	-	0,007	-	0,001	99,93	-	-	-	0,066
Monel 400	0,1	1	0,2	32,3	60,5	0,045	0,02	1,6	-

Tablo 5.2 Çalışmalarda kullanılan ilave metallerin kimyasal birleşimleri [39, 40].

İlave metaller	Kimyasal bileşim (% kütleli)									
	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Al	Fe	Ti
ER FOX GNi	0,5	-	-	-	-	-	97	-	2	-
ER NiCu7	0,01	3,28	0,001	0,0012	0,03	29,66	64,30	0,11	-	1,7

Elektrik ark kaynak yöntemi ile nikel malzemelerin birleştirilmesinde elektrot (+) kutupta seçilmiştir. 3,25 mm çapında nikel döküm örtülü elektrot kullanılmış ve yatay pozisyonda küt alın kaynak pozisyonunda kaynaklı birleştirmeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri Tablo 5.3'de verilmiştir.

TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin kaynağında farklı ilave tel ve farklı koruyucu gaz ortamlarında birleştirilmiştir. TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen nikel malzemenin 2 mm çapında ER NiCu7 monel tel ve 3,25 mm çapında Nikel döküm elektrotun örtüsü soyulup alkolle temizlenmiş ilave teller kullanılmıştır. Kaynak esnasında koruyucu gaz atmosferi olarak saf argon ve argon+%5H₂ gazları kullanılmıştır. Kullanılan nozul ise, 9mm çapındadır. Kullanılan gazın akış debisi ortalama olarak 6 ltdk⁻¹ seçilmiştir. Tablo 5.4 ve 5.5'de belirtilen kaynak parametreleri seçilerek sırasıyla nikel ve monel malzemelerin kaynaklı birleştirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.3. Elektrik ark kaynak yöntemiyle örtülü elektrot ile birleştirilen nikel malzemeye uygulanan kaynak parametresi.

Malzeme kodu	Malzeme cinsi	İlave metal cinsi	İlave metal çapı (mm)	Akım değeri (amp)	Volt (V)	Paso sayısı	Kaynak hızı (mmsn ⁻¹)	Isı girdisi (joule)
NiArk2	Nikel	ER FOX GNi	3,25	120	7.6	2	1,00	0.63
							1,02	0.62

Tablo 5.4. Birleştirilen nikel malzemelere uygulanan TIG kaynak yönteminde kullanılan parametreler.

Malzeme kodu	İlave metal cinsi	İlave metal çapı (mm)	Akım değeri (amp)	Volt (V)	Paso sayısı	Koruyucu gaz	Kaynak hızı (mmsn ⁻¹)	Isı girdisi (joule)	Gaz debisi (ltdk ⁻¹)
NiELH2	ER FOX GNİ	3,25	155	7,6	2	Ar+%5H ₂	1,40 1,24	0,58 0,66	6
NiMoH2	ER NiCu7	2	165	13,1	2	Ar+%5H ₂	1,66 1,32	0,91 1,14	
NiMoAr2	ER NiCu7	2	165	13,1	2	Ar	1,27 1,10	1,19 1,37	

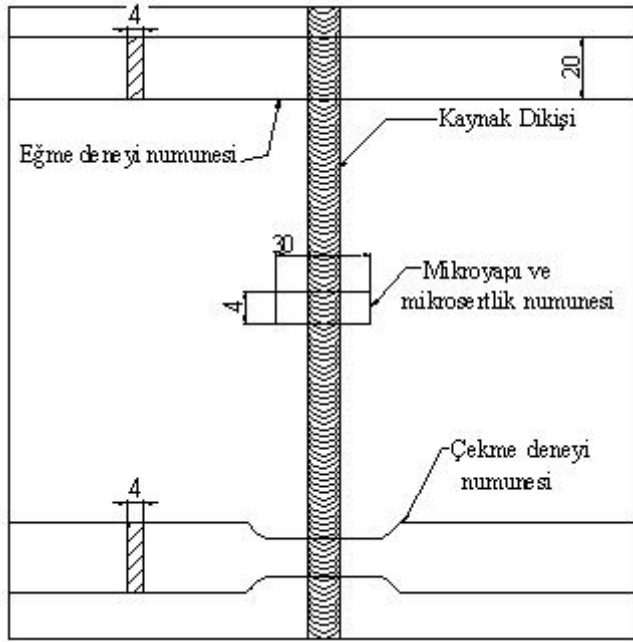
Tablo 5.5. Birleştirilen monel malzemelere uygulanan TIG kaynak yönteminde kullanılan parametreler.

Malzeme kodu	İlave metal cinsi	İlave metal çapı (mm)	Akım değeri (amp)	Volt (V)	Paso sayısı	Koruyucu gaz	Kaynak hızı (mmsn ⁻¹)	Isı girdisi (joule)	Gaz debisi (ltdk ⁻¹)
MoH1	ER NiCu7	2	165-167	14,5	1	Ar+%5H ₂	1,28	1.3	6
MoH2	ER NiCu7	2	165-167	12,5	2	Ar+%5H ₂	1,63 1,26	0,89 1,15	
MoH3	ER NiCu7	2	165-167	12,5	3	Ar+%5H ₂	1,19 1,85 1,25	1,22 0,78 1,16	
MoAr2	ER NiCu7	2	165-167	13,1	2	Ar	1,29 0,99	1.18 1,53	

5.2. Mekanik Deneyleer

5.2.1. Çekme deneyi

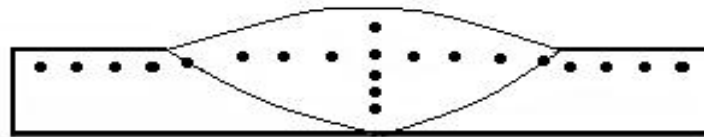
Şekil 5.1’de çekme ve çentik darbe deneylerinde kullanılacak numunelerin ebatları ve birleştirilen parçaların üzerinden deney numunelerinin nereden alındığı gösterilmektedir. Çekme deneyi için DARTECT marka deney cihazı kullanılmış olup, çekme hızı olarak 0,2 mms⁻¹ seçilmiştir. DARTECT marka deney cihazında kullanılan her bir parametre için en az üç çekme deneyi yapılmıştır.



Şekil 5.1. Kaynakla birleştirilmiş parçalardan çıkarılan çekme, eğme sertlik ve mikroyapı numuneleri.

5.2.2. Vickers sertlik deneyi

Kaynaklı birleştirilmiş nikel ve monel malzemelerin Vickers mikrosertlik ölçümleri MH3 METKON marka cihaz ile 200 gr yük ve 15 sn süre uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler kaynak kesitinden bir çizgi boyunca alınmış olup, sertlik alınan bölgeler, Şekil 5.2’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Şematik olarak gösterilen birleştirilmiş nikel ve monel numunenin Vickers sertlik değerlerinin alındığı bölgeler.

5.2.3. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanışı

Kaynaklı birleştirilen nikel ve monel malzemelerin mekanik özelliklerini inceleme amaçlı eğme deneyi yapılmıştır. Kaba ölçülerinde çıkartılan dikdörtgen kesitli eğme deneyi numuneleri TS 282 (pr EN 910)’a belirtilen şartlara göre freze tezgâhlarında işlenerek hazırlandı. Eğme deneyi için DARTECT marka deney cihazı kullanılmış olup, basma hızı olarak $0,2 \text{ mms}^{-1}$ seçilmiştir. Her deney parçasından 2’şer adet

deney numunesi hazırlanarak eğme deneyi gerçekleştirilmiştir.

5.2.4. Çentik darbe deneyi

Çentik darbe deneyi farklı koruyucu gaz kompozisyonu, kaynak hızı ve paso sayısı gibi kaynak parametreleri kullanılarak TIG kaynak yöntemi ve ERNiCu7 ilave metalleri kullanılarak gerçekleştirilerek birleştirilen parçalara uygulanmıştır. Kaynak 12 mm kalınlığındaki monel malzemeye uygulanmış olup ‘V’ kaynak ağzı açılmış ve kaynaklı birleştirmeler yatay oluk pozisyonunda gerçekleştirilmiştir. Numuneler ilgili test ölçülerine uygun olarak hazırlandıktan sonra Charpy çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Çentik darbe numuneleri TS EN 10045-1’e göre freze tezgâhlarında hazırlanmıştır. Deneylerde RKP450 300J HUMMER marka çentik darbe deney cihazı kullanılmış olup, deneyde pendulum tip cihaz kullanılmıştır. Deney esnasındaki çekicinin çarpma hızı $5,2 \text{ ms}^{-1}$ olarak ayarlanmıştır. Çentik darbe testleri en az üç test sonucunun aritmetik ortalaması alınarak çentik darbe tokluk değerleri “Joule” değeri cinsinden tespit edilmiştir.

Tablo 5.6. Charpy çentik deneyi yapılan numunelere uygulanan kaynak yöntemleri, şartlar ve ilgili kaynak parametreleri.

Malzeme kodu	İlave metal cinsi	İlave metal çapı (mm)	Koruyucu gaz	Paso	Akım değeri (amp)	Volt (V)	Kaynak hızı (mmsn^{-1})	Isı girdisi (joule)	Gaz debisi (lt dk^{-1})
Argon6paso	ER NiCu7	2	Argon	1	175	13.1	1.69	0.94	6
				2			1.34	1.19	
				3			1.32	1.21	
				4			1.68	0.95	
				5			1.43	1.12	
				6			1.95	0.85	
Ar+H7paso	ER NiCu7	2	Ar+%5H ₂	1	200	14.4	1.76	1.14	
				2			1.97	1.02	
				3			1.78	1.13	
				4			1.66	1.21	
				5			1.78	1.13	
				6			1.57	1.28	
				7			1.42	1.41	
Ar+H5paso	ER NiCu7	2	Ar+%5H ₂	1	200	14.4	2.29	0.88	
				2			1.85	1.09	
				3			1.49	1.35	
				4			1.78	1.13	
				5			1.49	1.35	

5.3. Mikroyapı İncelemeleri

5.3.1. Optik mikroskop

Kaynak edilmiş parçalardan çeşitli boyutlarda çıkarılan kaynak numuneleri mikroyapı incelemeleri için bakalite alındıktan sonra sırasıyla 220–1200 numaralı SiC zımpara ile su altında zımparalandı. Bu işlemden sonra numuneler, 1 µm'luk alümina aşındırıcı kullanılarak mikro keçe kumaş üzerinde parlatıldı. Parlatılan numuneler su ile yıkanıp yüzeylerine alkol püskürtülüp, daha sonra kurutuldu. Mikroskopik incelemeye hazır hale getirilen nikel ve monel numuneler Marble reaktifi olarak bilinen 10gr CuSO₄ 50ml HCL 50 ml su kullanılarak dağlandı. Dağlama işleminden sonra parçalar yıkanıp yüzeyleri alkol ile temizlenen daha sonra kurutulan numuneler NİKON ELIPSE L150 optik mikroskobu ile aydınlık ve karanlık alan mikroyapı çalışmaları yapılmıştır.

5.3.2 Tarama elektron mikroskobu (SEM) ve element analizleri

Farklı parametreler kullanılarak birleştirilen nikel ve monel malzemelerin ITAB içersinde kaynak metali ile ana malzeme arasındaki geçiş bölgelerde, ana malzeme ve kaynak metaline ait mikroyapı görüntüleri ile kırılma yüzey morfolojileri tarama elektron mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı çalışmaları JEOL JSM-6060LV marka SEM mikroskobunda gerçekleştirilmiştir. EDS (Elektron dağılım spektrometresi) analizleri numunelerin ana metal, kaynak geçiş ve kaynak bölgelerinden noktasal olarak, lineer element analizleri ise bir çizgi boyunca gerçekleştirilmiştir. Bu analizler SEM mikroskobuna bağlanan IXRF 500 model elektron dağılım spektrometresi yardımıyla yapılmıştır.

BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Mikroyapı İncelemeleri

6.1.1. Optik mikroskop aydınlık alan incelemeleri

Nikel ve monel malzemelerin farklı kaynak yöntemleri, farklı ilave tel ve farklı koruyucu gaz parametreleri ile birleştirilerek oluşan kaynak metalinin ve ana malzemenin aydınlık alan görüntüleri incelenmiştir. Mikroyapı görüntülerinde kaynaklı birleştirmede uygulanan kaynak parametrelerinin kaynak bölgesindeki tanelerin şekline ve boyutuna ve ITAB bölgesindeki farklılıklar nikel ve monel malzemelerin mikroyapı görüntülerinde görünmektedir.

6.1.1.1 Nikel malzemelerin optik mikroskop karakterizasyonu

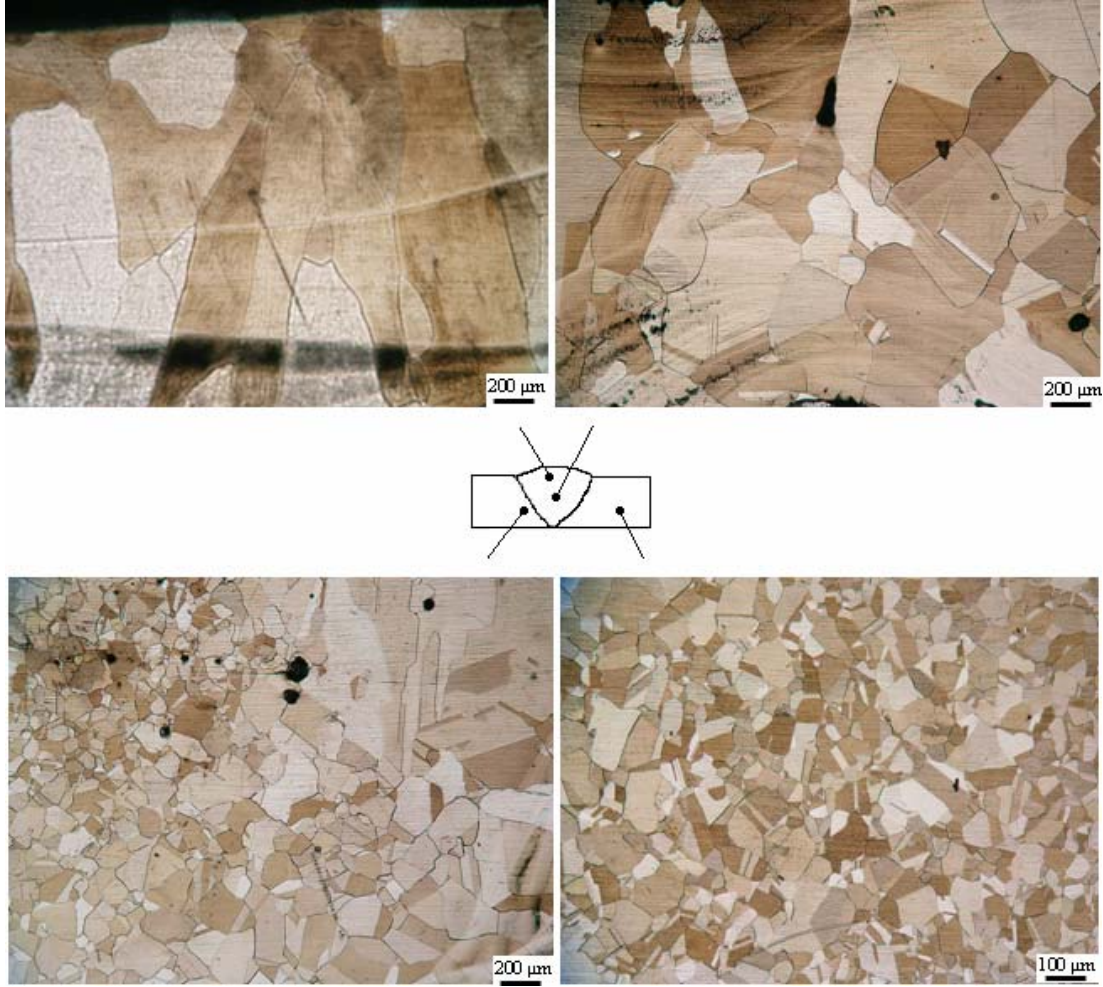
Bu çalışmada nikel malzemeler farklı koruyucu gaz ortamında ve ilave teller kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen birleştirmelerin mikroyapısı incelenmiştir. Yapılan birleştirmelerde elde edilen görüntüler Şekil 6.1–6.4’de verilmiştir. Şekillerden anlaşılacağına göre uygulanan kaynak yöntemi ve kullanılan koruyucu gaz kaynak geçiş bölgesi ile kaynak metalinin görüntüsü üzerine etkilidir ve mikroyapı görüntülerinde farklılıkların bulunduğu görülmektedir.

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi elektrik ark kaynak yöntemi ile döküm nikel elektrot kullanılarak birleştirilen saç nikel malzemenin kaynak bölgesinde iri taneler oluştuğu görülmektedir. Bu tanelerin kaynak esnasında katılma sırasında merkeze doğru yönelmeler olduğu ve tanelerin merkeze doğru büyüdüğü görülmektedir. Kaynak metalinin ana metal ile olan geçiş bölgesinde çizgisel olarak görülen bir geçiş bölgesi olmakta ve ITAB da kaynak metaline yakın bölgelerde tanelerin daha iri olduğu ve kaynak metalinden uzaklaştıkça tanelerin küçüldüğü görülmektedir.



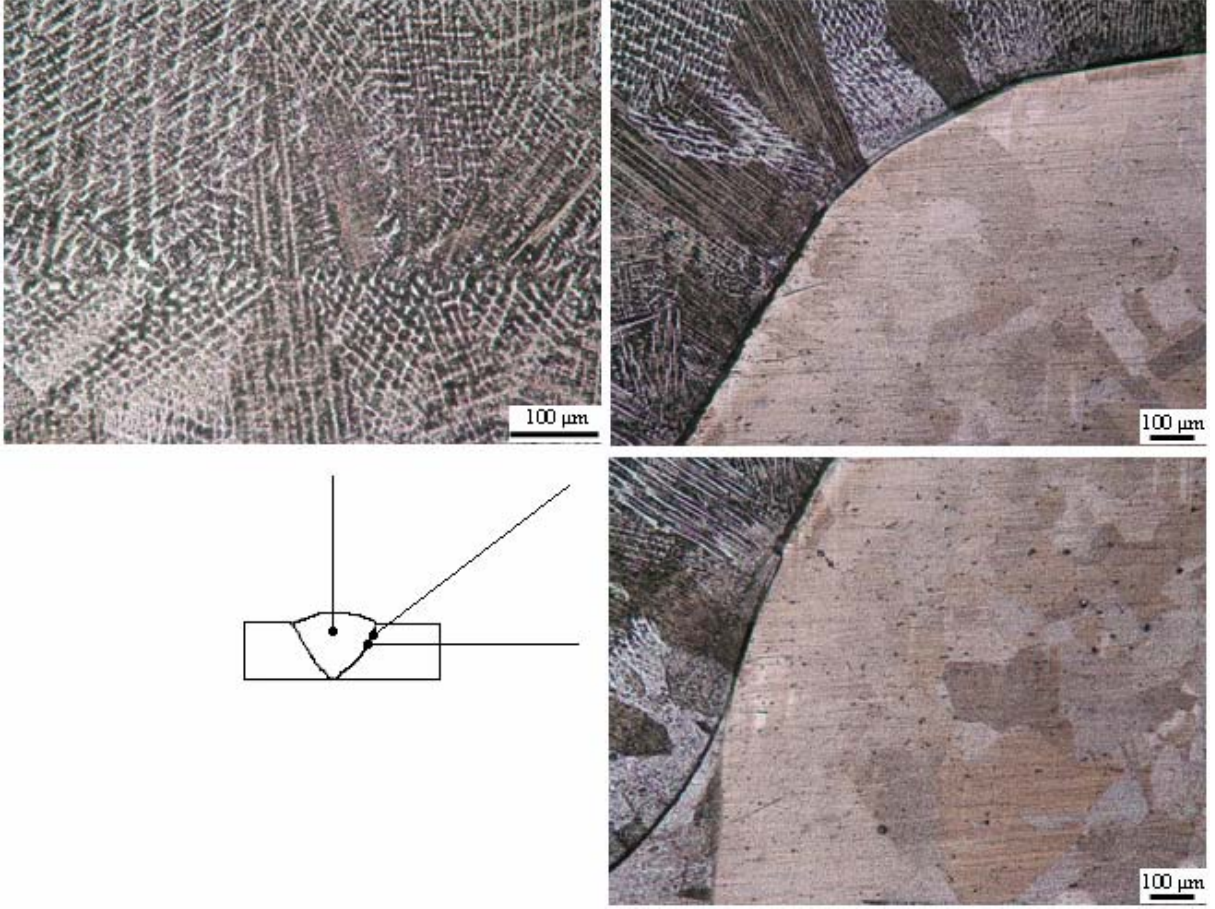
Şekil 6.1. Saf döküm nikel elektrotu kullanılarak elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin mikroyapı görüntüsü

Şekil 6.2’de örtülü nikel döküm elektrotun örtüsü kırılarak çıkartılmış alkol ile temizlendikten sonra TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen saf nikel malzemede ilave metal olarak kullanılmıştır. Kaynak esnasında eriyerek katılaştan kaynak metalinin merkezinde tanelerin çok iri olduğu her hangi yönlenme olmadığı kaynak metali ile ana metal arasında belirli bir geçiş bölgesinin bulunmadığı görülmektedir. Merkezden başlayarak ana metale doğru tanelerin incelendiği görülmektedir. Bu birleştirilen malzemelerin merkezinde yer yer gözeneklerin bulunduğu görülmüştür. Mikroyapıda bulunan gözeneklerin kaynak esnasında çıplak elektrotla yapılan bir birleştirmenin uygun olmadığı ya da koruyucu gazın kaynak esnasında görevini tam olarak yerine getiremediği düşünülmektedir.



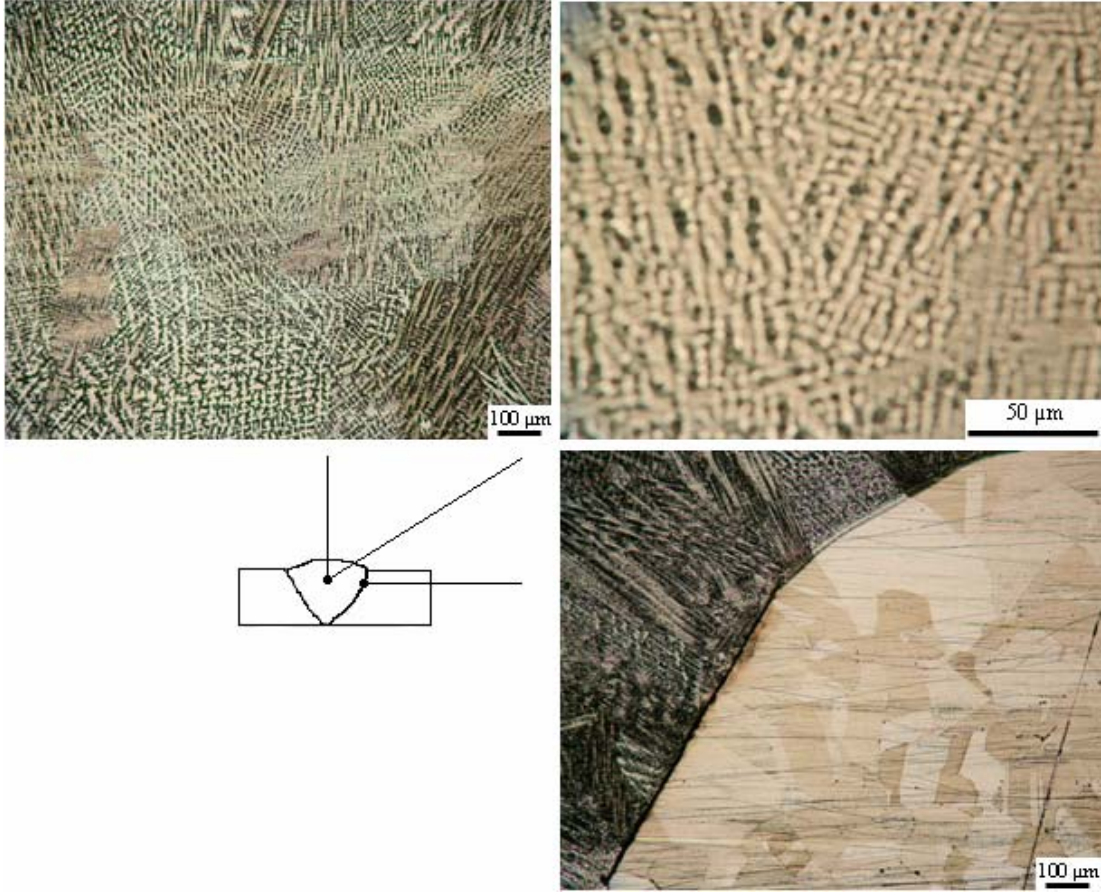
Şekil 6.2. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında örtüsü soyularak çıplak hale getirilen ilave tel kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin mikroyapı görüntüsü.

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’de TIG kaynak yöntemi ile ER NiCu7 ilave metali kullanılarak birleştirilen numuneler gözükmemektedir. Her iki malzemenin kaynak metalinde dentritik yapılar görülmektedir. Ancak, argon koruyucu gazı kullanıldığında hem pasolar arasında hem de nikel ana metal ile kaynak metali ara yüzeyinin bazı bölgelerinde boşluklar bulunmaktadır (Şekil 6.3). Bu birleştirmelerde koruyucu gaz olarak saf argon kullanılmıştır. Argon düşük ark gerilimi oluşturduğundan eriyen nikel malzemenin akıcılığına daha fazla katkı sağlayarak ilave metal ile ana metali ıslatmanın zayıf olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.3. Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin mikroyapı görüntüsü.

Şekil 6.4’de koruyucu gaz olarak argon+%5 hidrojen gazı kullanıldığında kaynak metali ile ana malzeme arasındaki ara yüzeyde argon koruyucu gaz kullanıldığında gibi olmasa da nikel ve kaynak metal ara yüzeyde boşluklar bulunmaktadır. Argon koruyucu gazı kullanıldığında hidrojenin yüksek ark gerilimi sağladığından, kaynak esnasında oluşan banyoyu daha akıcı hale getirerek hem ilave metalin ana malzemeyi ıslatmasını hem de kaynak esnasında, kaynak metalinde gözenegin ya oluşmamasını ya da daha az miktarda oluşmasını sağlamaktadır. Daha önceki çalışmalarda belirtildiği gibi nikel malzeme akıcılığı zor olan malzeme olduğundan ER NiCu7 kullanıldığında bazı bölgelerde ıslatmanın zayıf olduğu düşünülmektedir.



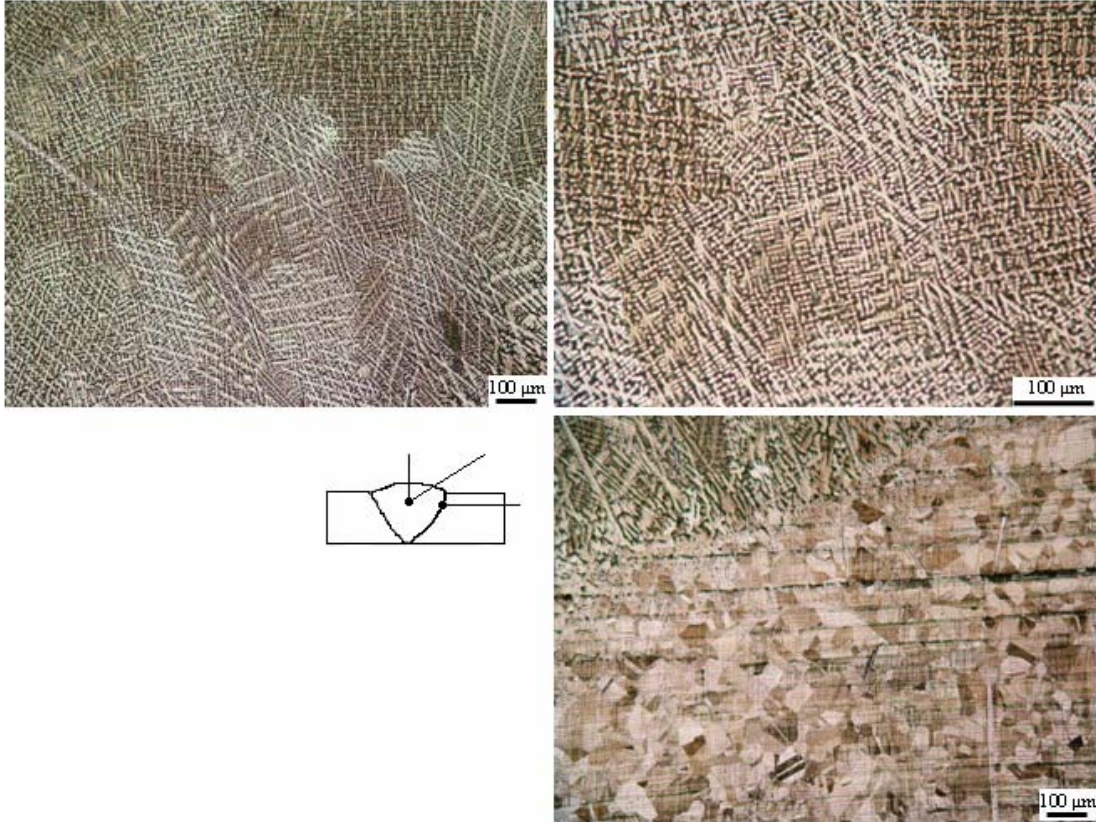
Şekil 6.4. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin mikroyapı görüntüsü

6.1.1.2 Monel malzemelerin optik mikroskop karakterizasyonu

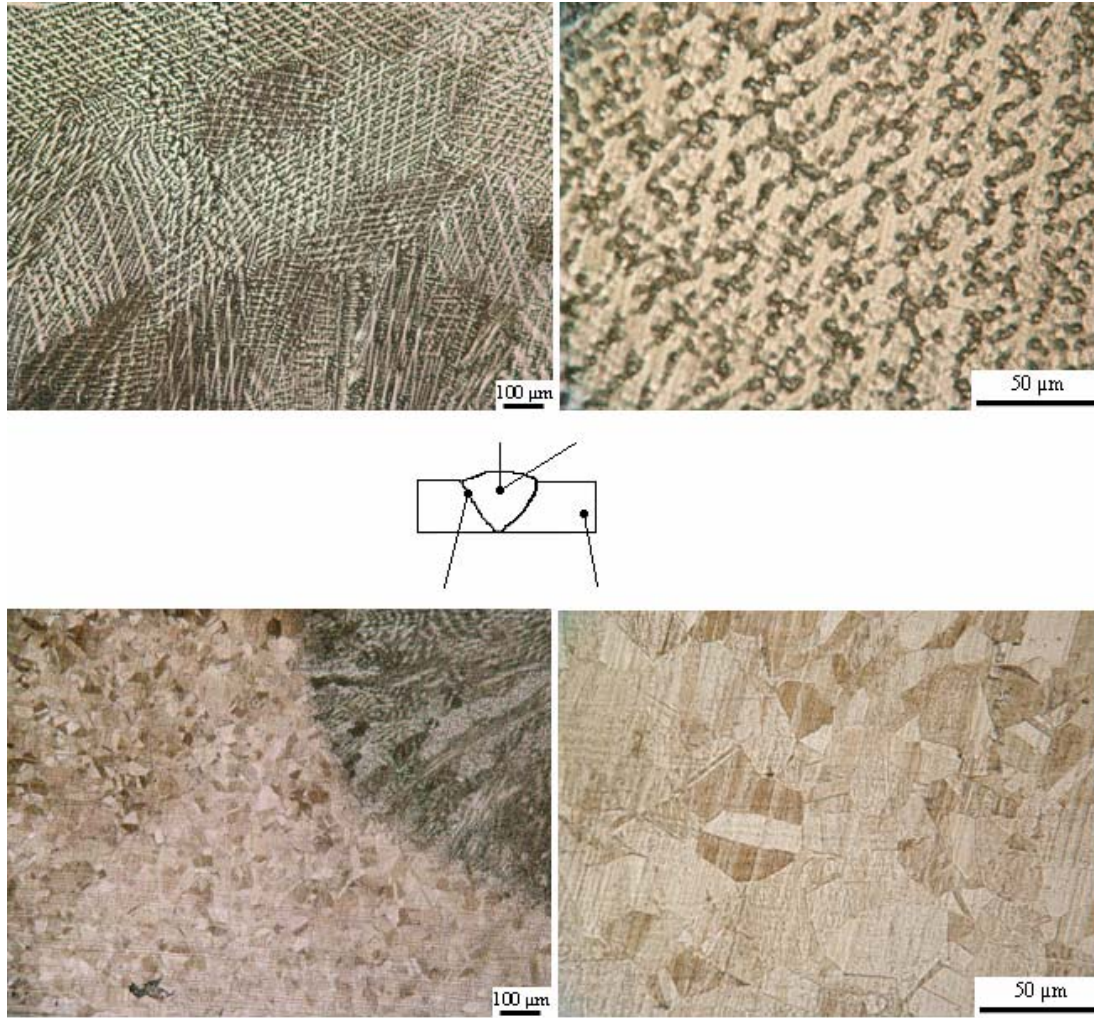
Bu çalışmada, monel malzemeler farklı koruyucu gaz ortamında farklı paso sayısı ve ER NiCu7 ilave metali kullanılarak birleştirilmiştir. Elde edilen birleştirmelerin mikroyapısı incelenmiştir. Yapılan birleştirmelerde elde edilen görüntüler Şekil 6.5–6.8’de verilmiştir. Şekillerden anlaşılacağına göre kullanılan koruyucu gaz kaynak geçiş bölgesi ile kaynak metalinin görüntüsü üzerine etkilidir ve mikroyapı görüntülerinde çok azda olsa farklılıklar görülmektedir.

Monel malzemelerin mikroyapı karakterizasyonu şekillerden görüldüğü gibi ER NiCu7 ilave teli monel malzemelerin kaynağı için uygun olduğu ve bütün resimlerde herhangi bir gözeneğe rastlanmadığı görülmektedir, bununla beraber paso sayısının kaynak metali ile ana metali arasındaki geçiş bölgesinde farklılıklar görünmektedir. Aynı şekilde ITAB’daki tane boyutu arasındaki farklılıklar bulunmaktadır, tek pasolu

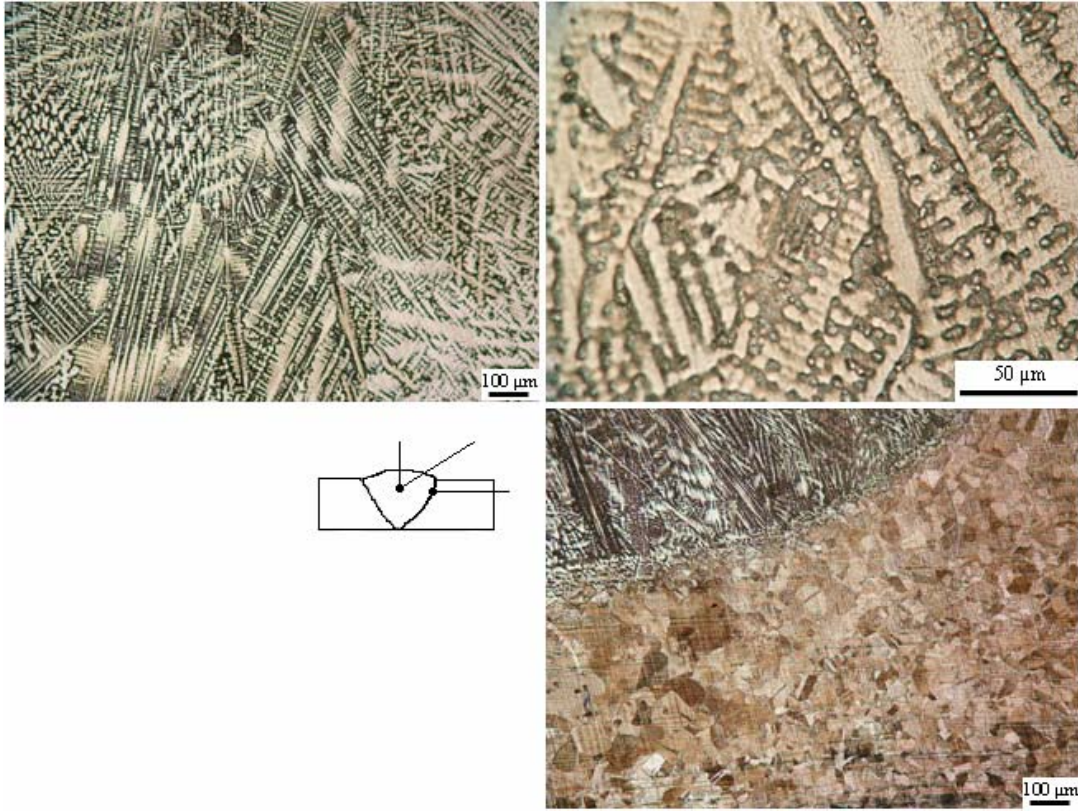
dikişlerde ITAB'daki tane boyutlarının daha büyük olduğu görülmektedir, bu durum kaynak esnasındaki kaynak metali ve ITAB'ın farklı ısıl çevrimlere maruz kalması ile açıklanabilir. Paso sayısı arttıkça kaynak metali içerisinde bulunan bazı dentritik kollarında da büyüklük farkı bulunmaktadır, koruyucu gaz olarak argon gazı kullanıldığında kaynak metalinde mikroyapı farklılıkları görülmektedir.



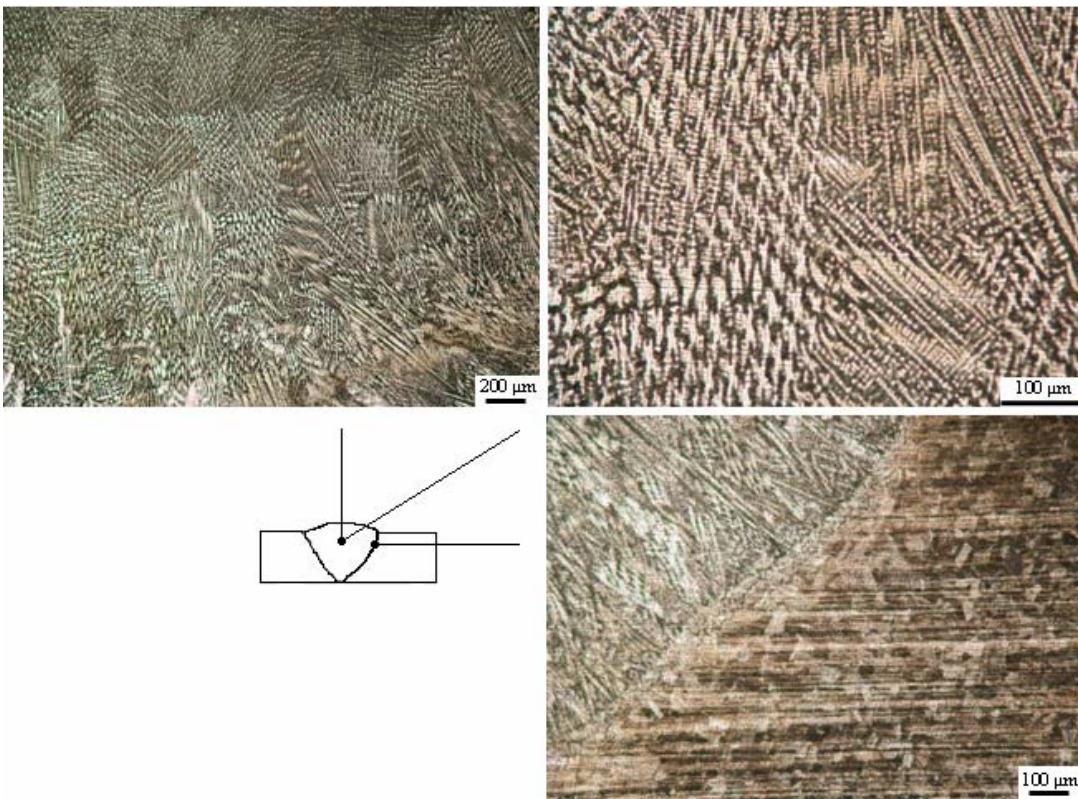
Şekil 6.5. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak tek paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.6. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak iki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.7. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak üç paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin mikroyapı görüntüsü.

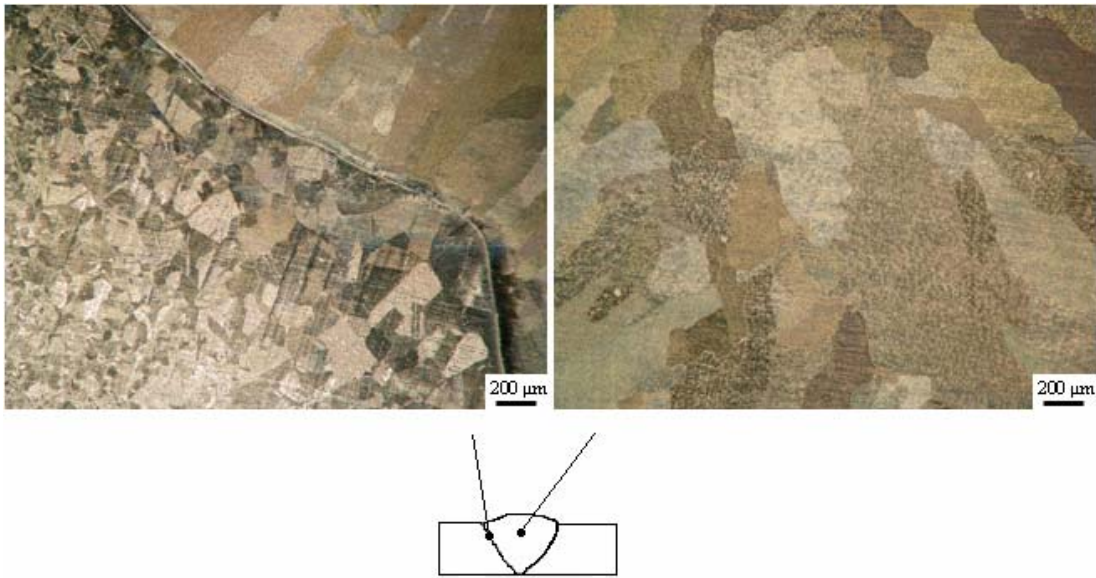


Şekil 6.8. Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak iki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin mikroyapı görüntüsü.

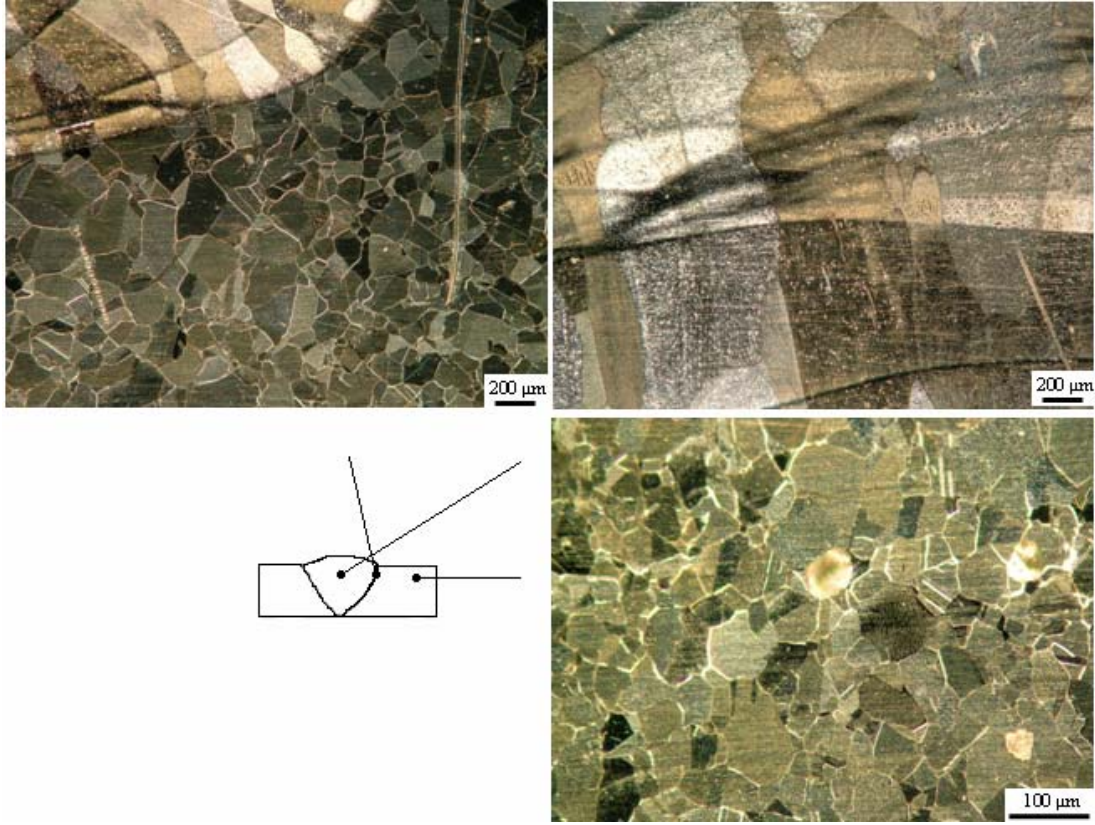
6.1.2. Optik mikroskop karanlık alan incelemeleri

6.1.2.1. Nikel malzemeler

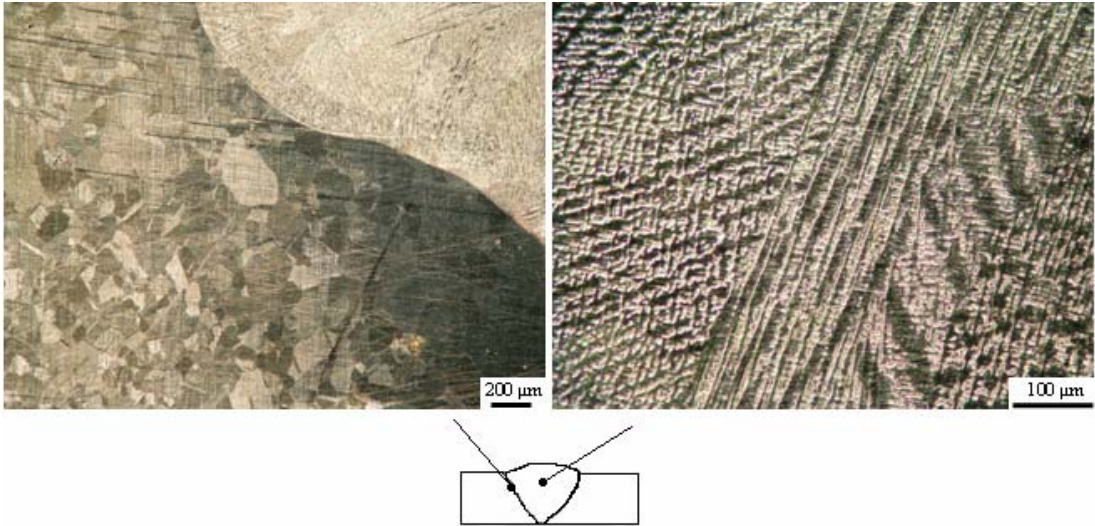
Şekil 6.9–6.11’de farklı koruyucu gazlar altında yapılan ve ilave telleri kullanılarak gerçekleştirilen nikel malzemelerin optik mikroskopta karanlık alan incelemeleri görülmektedir. Bu şekilde yapılan çalışma ile hem kaynak metali hem de kaynak geçiş bölgesindeki farklar daha net olarak görülmektedir.



Şekil 6.9. Saf döküm nikel elektrotu kullanılarak elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



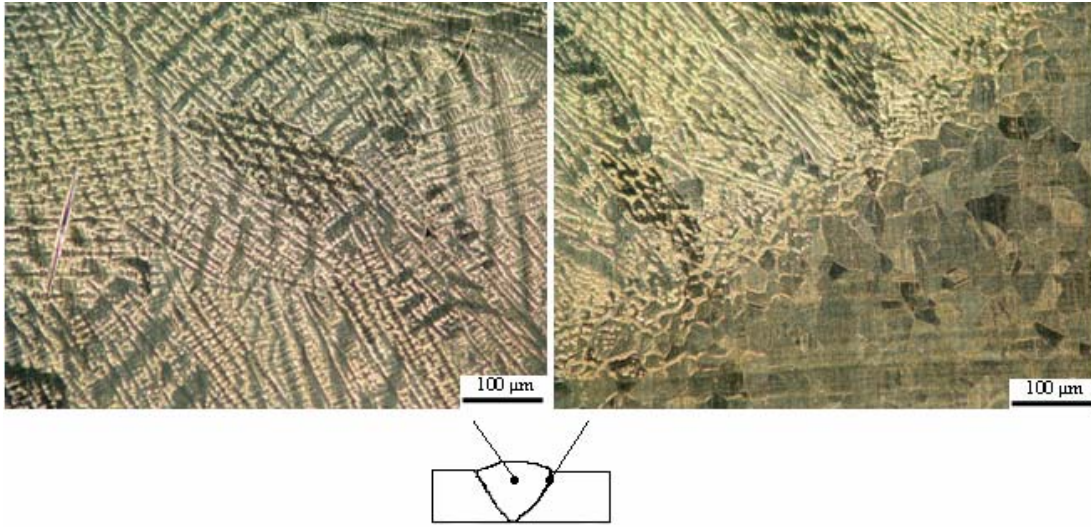
Şekil 6.10. Argon+%5hidrojen koruyucu gazı altında örtüsü kırılarak çıplak hale getirilen ilave tel kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



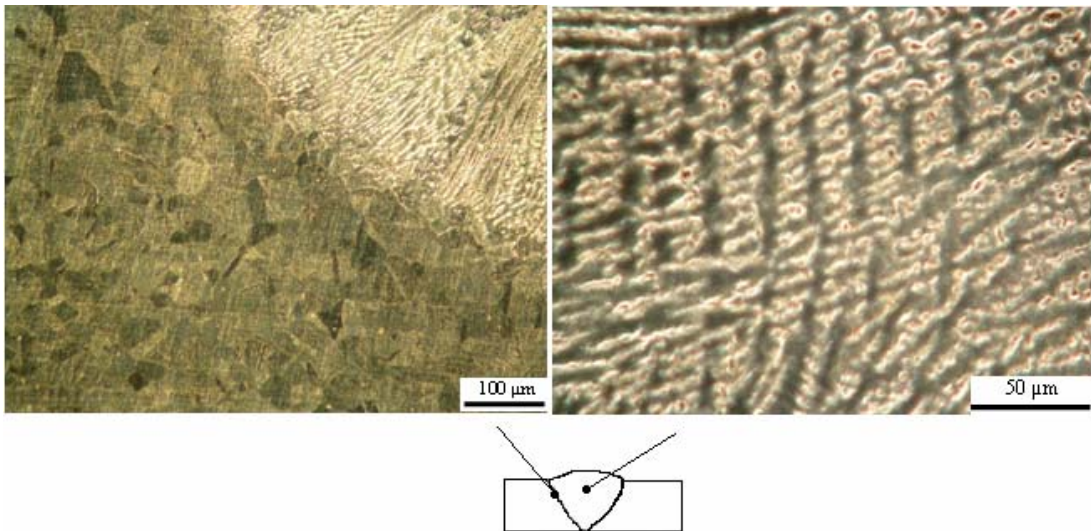
Şekil 6.11. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.

6.1.2.2 Monel malzemeler

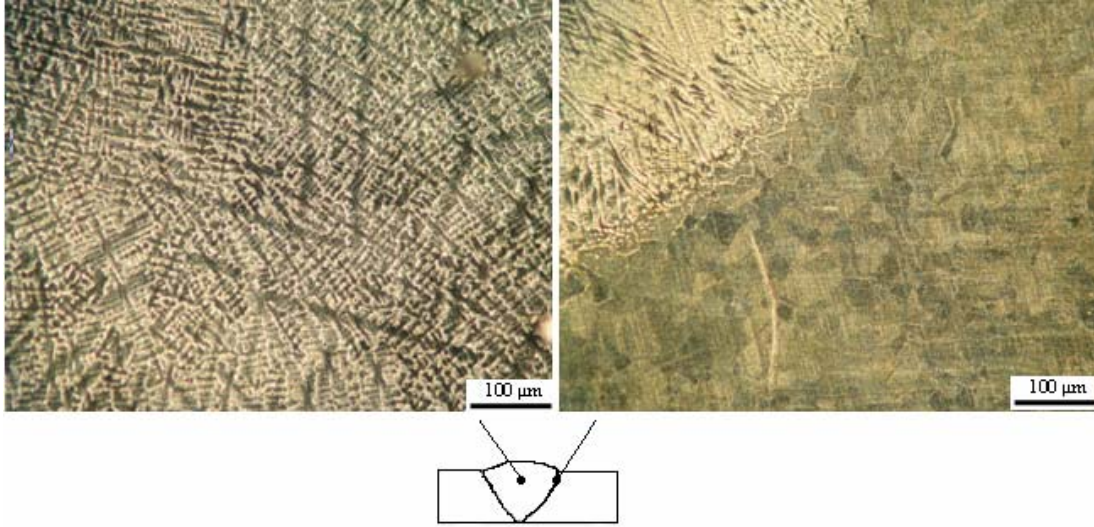
Şekil 6.12–6.15’de farklı koruyucu gazlar altında ve farklı paso sayıları ile birleştirilen nikel malzemelerin optik mikroskopta karanlık alan incelemeleri görülmektedir. Bu şekilde yapılan çalışma ile hem kaynak metali hem de kaynak geçiş bölgesindeki farklar daha net olarak görülmektedir.



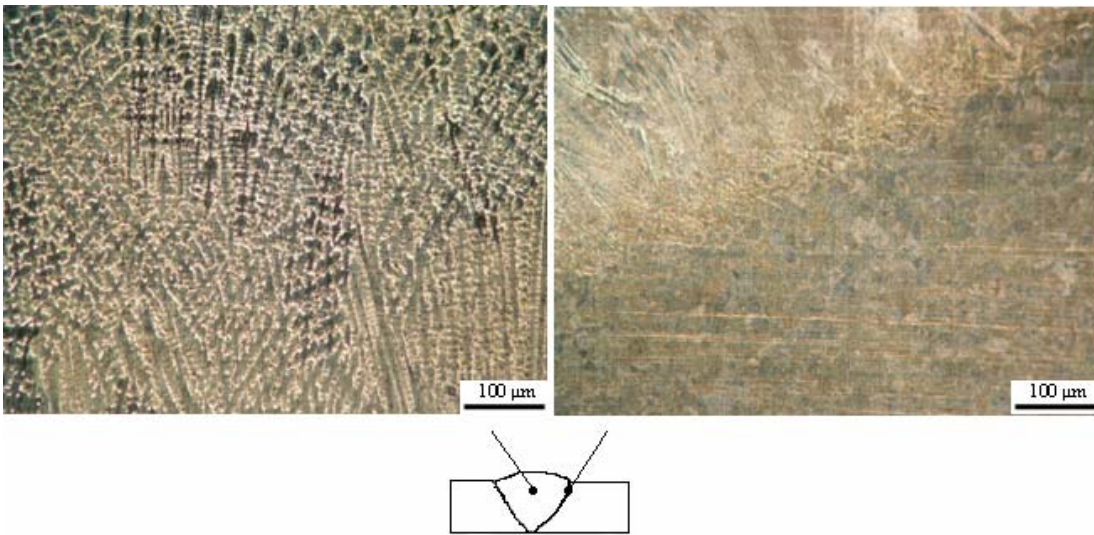
Şekil 6.12. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak tek paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.13. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı atmosferi altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak iki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.14. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı atmosferi altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak üç paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.



Şekil 6.15. Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak iki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin optik mikroskop karanlık alan mikroyapı görüntüsü.

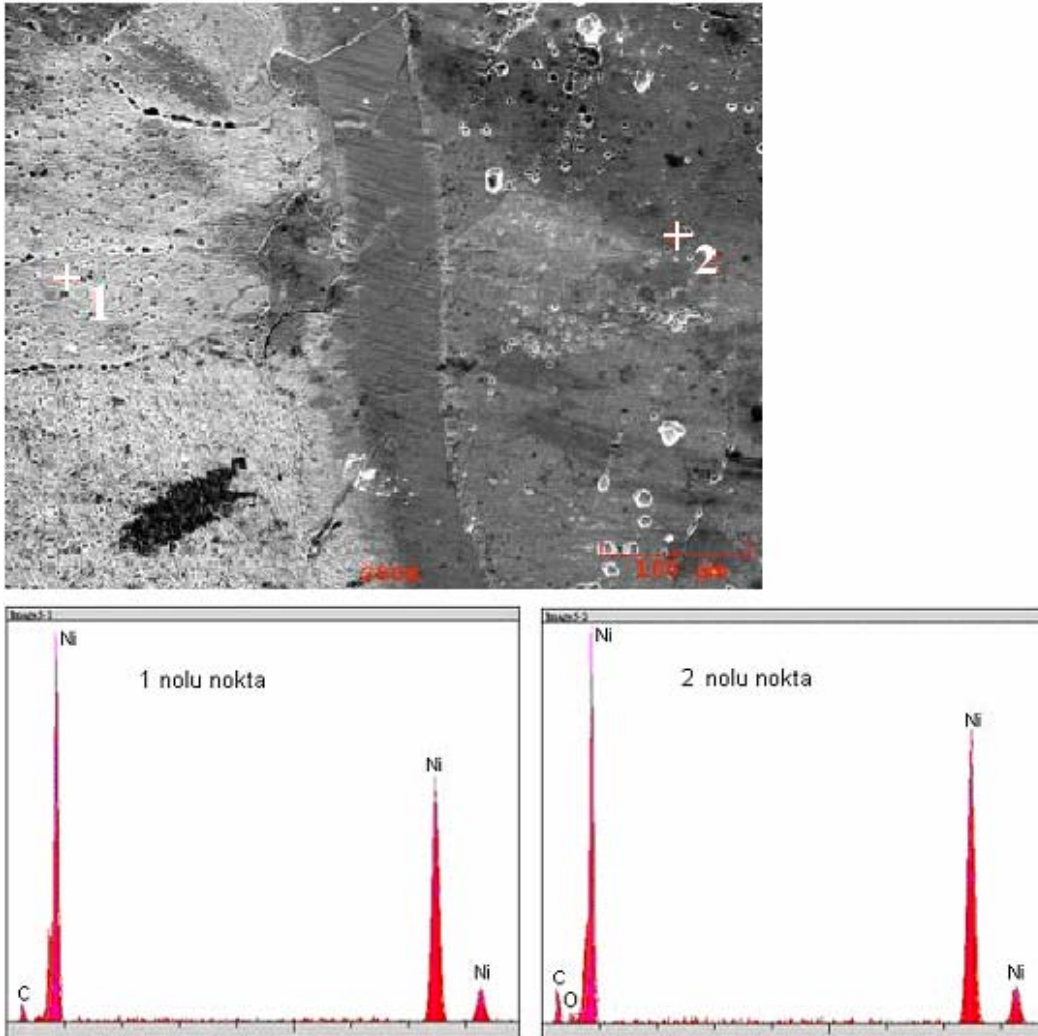
6.1.3. EDS analizleri

6.1.3.1. Nikel malzemelerin EDS analizleri

Bu çalışmada elektrik ark ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin bazılarında kaynak metal, ana metal ve geçiş bölgelerinden EDS analizleri alınmış ve görüntüleri Şekil 6.16–6.19’da verilmektedir. Analiz sonuçlarına bakıldığında bazı farklılıklar görülmektedir. Bu durum kullanılan koruyucu gazın özellikle geçiş

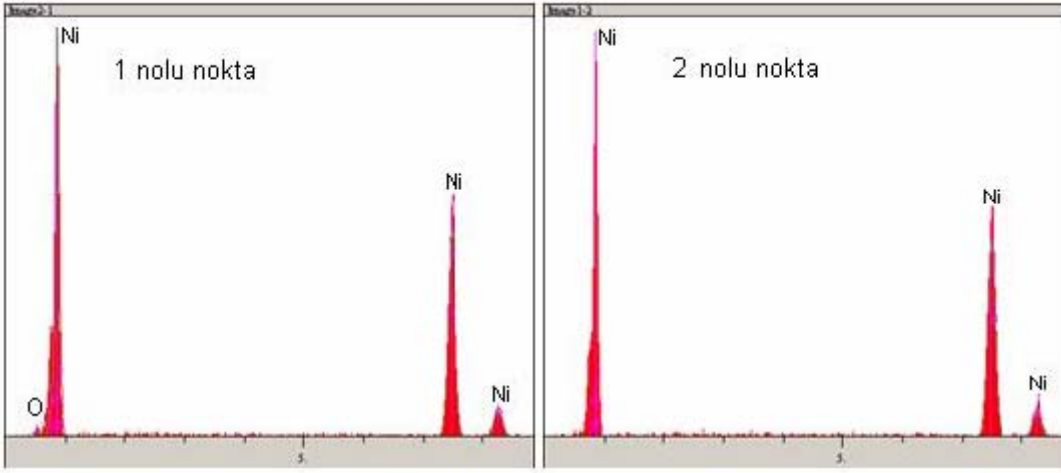
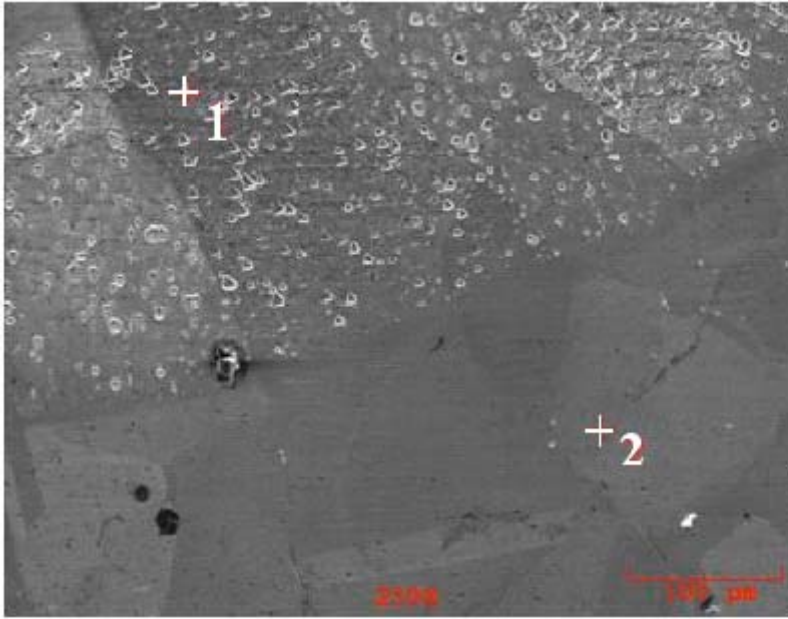
bölgelerinde ve kaynak metalinde farklı oranlarda element değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 6.16'ya bakıldığında kaynak metalini ile ana metal arasında bir geçiş bölgesi bulunmaktadır. Kaynak metalindeki bölgeden alınan EDS analizinde çok az miktarda karbon ve geri kalanının nikel olduğu görülmektedir. 2 nolu bölgedeki EDS analizine bakıldığında karbon miktarının daha fazla olduğu ve yapıda bir miktar oksijen olduğu görülmektedir. Oksijen nikel içerisinde bulunabilir, kaynak metalini içerisinde bulunmayışı kaynak esnasında karbon ve oksijenin eriyerek cürufa ayrıldığı düşünülmektedir.



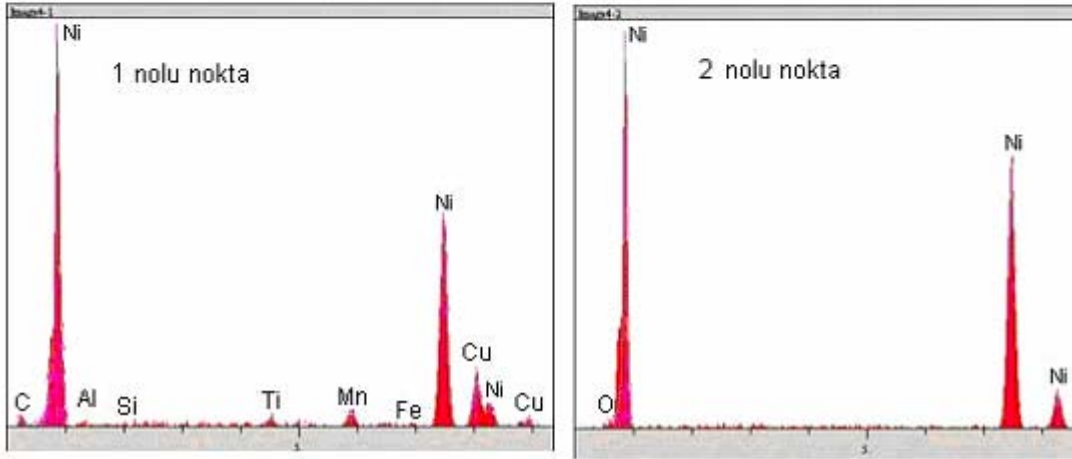
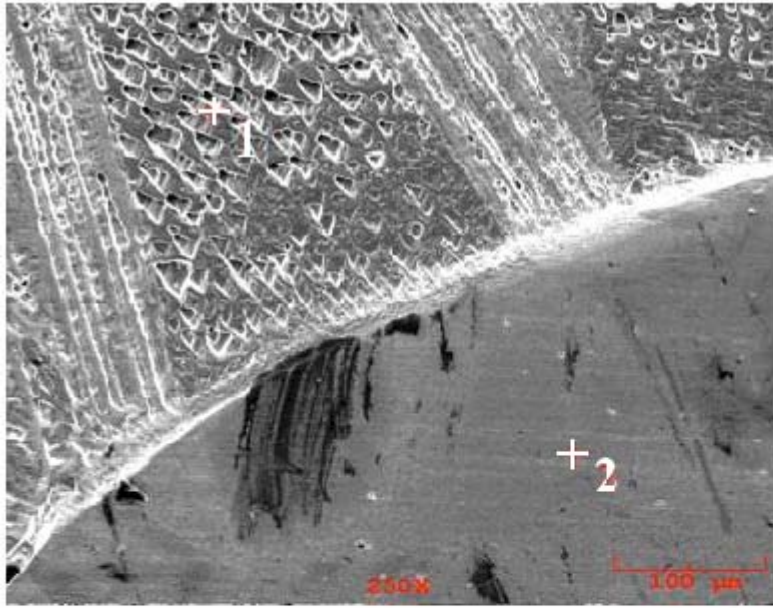
Şekil 6.16. Saf döküm nikel elektrotu kullanılarak elektrik ark kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin EDS analizi sonuçları.

Şekil 6.17’de örtüsü soğuyarak çıplak hale getirilen ilave tel TIG kaynak yöntemi ile koruyucu gaz olarak Ar+%5H₂ kullanıldığı nikel malzemede EDS analiz sonuçları verilmektedir. Bu malzemede kaynak metalinde tanelerin çok iri olduğu görülmektedir. Kaynak metalinden alınan EDS analizinde çok az miktar oksijen olduğu görülmektedir. Ayrıca, kaynak metali içerisinde gözenek ve cüruf kalıntılarına rastlanmaktadır. Kaynak metali merkezinden uzaklaşan bir noktadan alınan EDS analizinde yapının tamamıyla nikelden oluştuğu gözlenmektedir. Esasında çıplak elektrotta var olan karbon ve demirin kaynak sonrasında ortamdan uzaklaştığı görülmektedir. Örtü soyulduğunda örtüde bulunan ve kaynak esnasında kaynak metalini koruyan ortamın oluşmakta olmasını sağlamakta olup, soyulduğunda bir görevini yapamamaktadır. Ayrıca, bu numunedeki tanelerin iri olduğu ve tane yönelmelerinin elektrik ark kaynak yöntemindeki kaynak metaline benzemediği görülmektedir.



Şekil 6.17. Argon + %5 hidrojen koruyucu gazı altında örtüsü soyularak çıplak hale getirilen ilave tel kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin EDS analizi sonuçları.

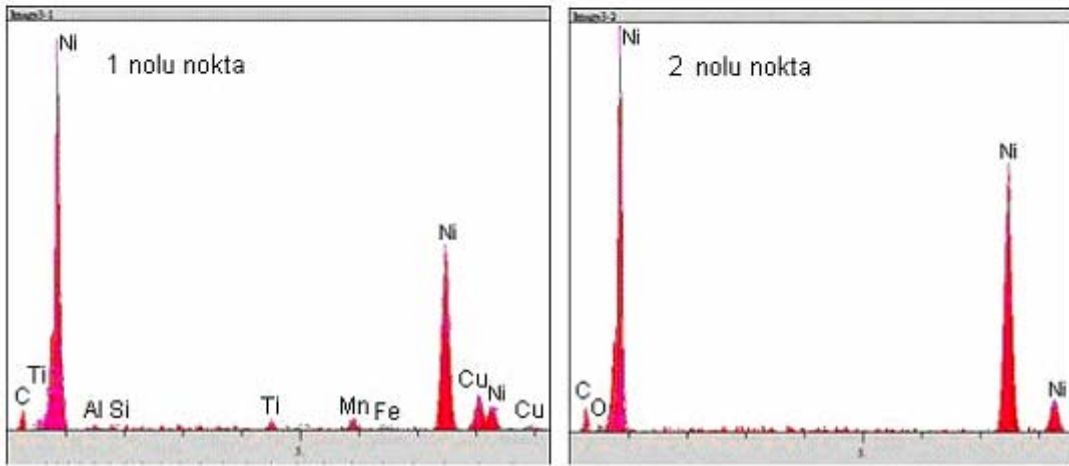
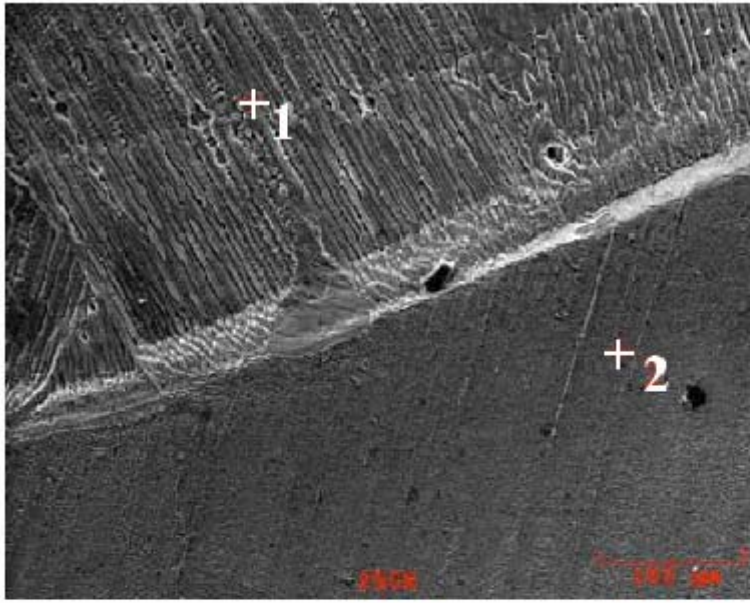
Şekil 6.18’de monel ilave tel ve argon koruyucu gaz kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen nikel malzemenin EDS analiz sonuçları görülmektedir. 1 noktalı kaynak metalinden alınan EDS analizinde ilave telde bulunan elementlerin miktarları azalarak bulunmaktadır. Ancak 2 nolu noktada EDS analizi alındığında yapıda çok az miktarda oksijen ve nikel olduğu görünmektedir. Oksijenin nikel malzemede bulunduğu ve kaynak metalindeki bazı elementlerin ya bölgeden uzaklaştığı ya da element miktarı bakımından kaynak metali tarafından farklılıklar bulunduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.18. Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin EDS analizi sonuçları.

Monel ilave tel kullanılarak yapılan bu birleştirmede nikel malzeme ile kaynak metali arasında net bir çizginin bulunduğu ve bu geçiş bölgesinde yüksek sıcaklıklara çıktığından dolayı tanelerin iri olduğu ve geçiş bölgesinde farklı mikroyapıya sahiptir. Bu bölgenin kalınlığı 10–20 µm civarında ve katılma esnasında kolonsal dentritik ve farklı mikroyapıya sahip bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca, ITAB bölgesinde nikel ile kaynak metali arasında gözenek bulunmakta olup, bunun kaynak metali esnasında nikel malzemenin akışkanlığa ulaşmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir, koruyucu gaz olarak Ar+%5H₂ kullanılarak monel ilave teli ile TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen nikel malzemenin farklı noktalarından alınan EDS analiz sonuçları Şekil 6.19’da görülmektedir. Kullanılan koruyucu gazın mikroyapıya etki ettiği görülmektedir. Argon gazına hidrojen katıldığında ark

gerilimi artarak eriyen kaynak metali daha akışkan hale gelmekte ve nikel ana malzemeyi daha iyi bir şekilde ıslatmaktadır. Ara geçiş yüzeyinde oluşan mikro yapının kalınlığı biraz daha artarak 30–40 μm civarında olmaktadır ve kaynak esnasında eriyerek katılaştan dentritlerin merkeze doğru yönlendikleri görülmektedir. Kaynak metalinde bulunan elementlerin 1 nolu noktadan alınan EDS analizlerinde görülmektedir. Kaynak metalinin hemen yanı başındaki ITAB'dan alınan EDS analizinde karbon çok az bir miktarda oksijen ve geri kalanının da nikel olduğu görülmektedir.

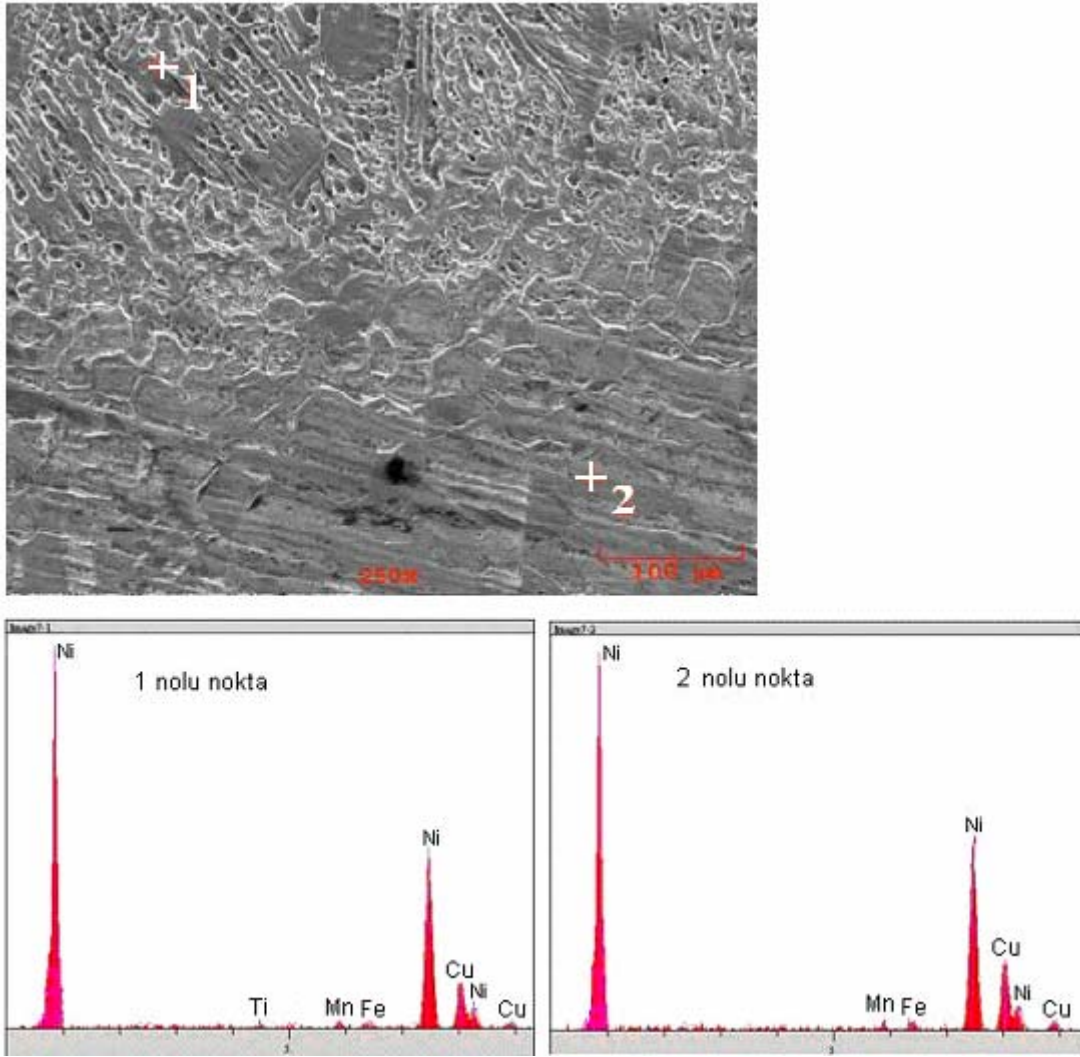


Şekil 6.19. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin EDS analizi sonuçları.

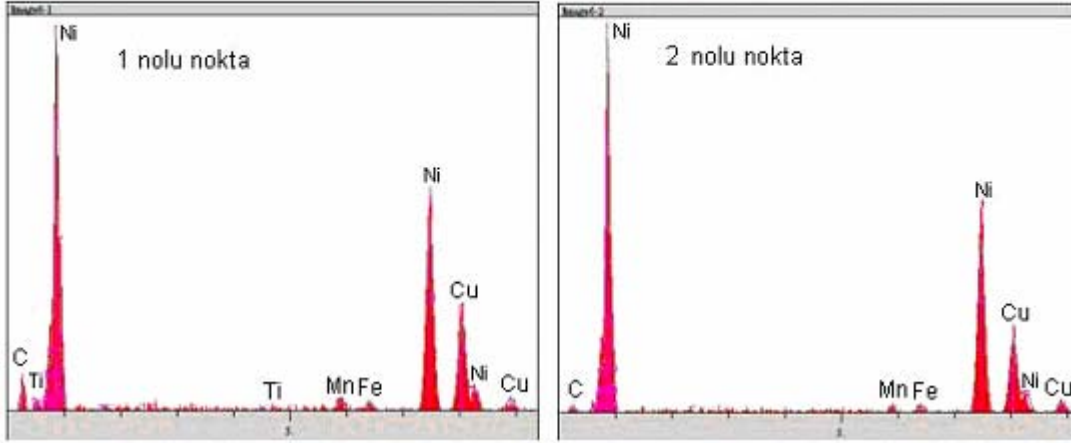
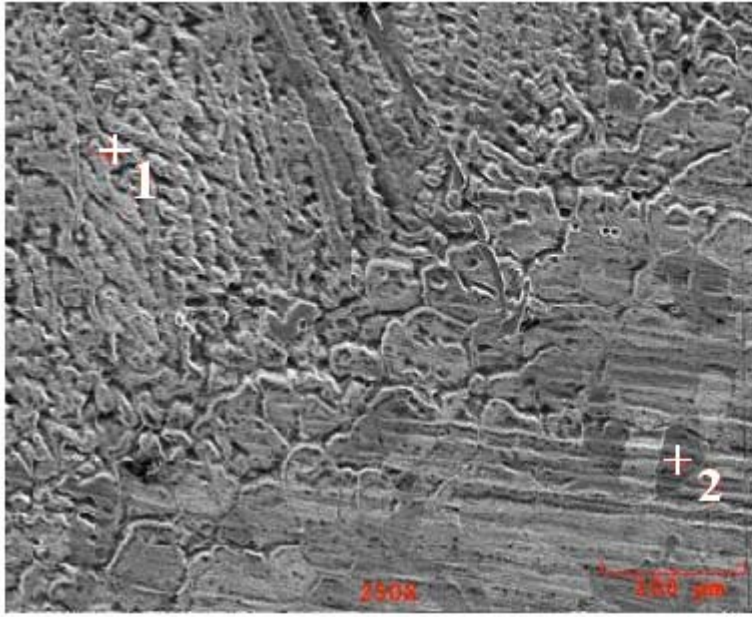
6.1.3.2. Monel malzemelerin EDS analizleri

Bu çalışmada TIG kaynağı ile birleştirilen numunelerin bazılarında kaynak metalini, ana metal ve geçiş bölgelerinden EDS analizleri alınmış ve görüntüleri Şekil 6.20-6.22'de verilmektedir. Analiz sonuçlarına bakıldığında bazı farklılıklar görülmektedir. Bu durum kullanılan koruyucu gazın özellikle geçiş bölgelerinde ve kaynak metalinde farklı oranlarda element değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.

Monel malzemelere bakıldığında ana metal ile kaynak metalini arasında tatlı bir geçişin olduğu ve bu geçiş bölgesinin kalınlığı kullanılan paso miktarına bağlı olarak çok az bir şekilde değişmektedir. Esasında kaynak esnasındaki ısı miktarındaki artış ana metalin hemen yanı başında eriyen tanelerin büyüklüğünün arttığı ve kalınlaştıran dentrit boylarının daha büyük ve kaynak merkezine doğru daha çok yönlendirmektedir. Şekil 6.20–6.22'ye bakıldığında kaynak metalini bulunan bölgede ilave metalinde olan elementlerin bulunduğu ana metalde ise sadece ana metalde bulunan elementler bulunmaktadır. Diğer bir değişle ilave metalde bulunan alüminyum ve titanyum kaynak metalinde bulunmasına karşılık ana metalde bulunmamaktadır. Ayrıca ana metale yaklaştıkça nikel ve bakır miktarında azalmalar görülmektedir. Bu durum, ilave metalindeki nikel miktarında daha fazla ana metalde ise nikel miktarı, daha az bulunmaktadır. Bakır miktarı hemen hemen aynı olmakta olup, bunun da kaynak esnasındaki bakırın daha akıcı olması ile seyrelmeyi kolaylaştırdığı düşünülmektedir.

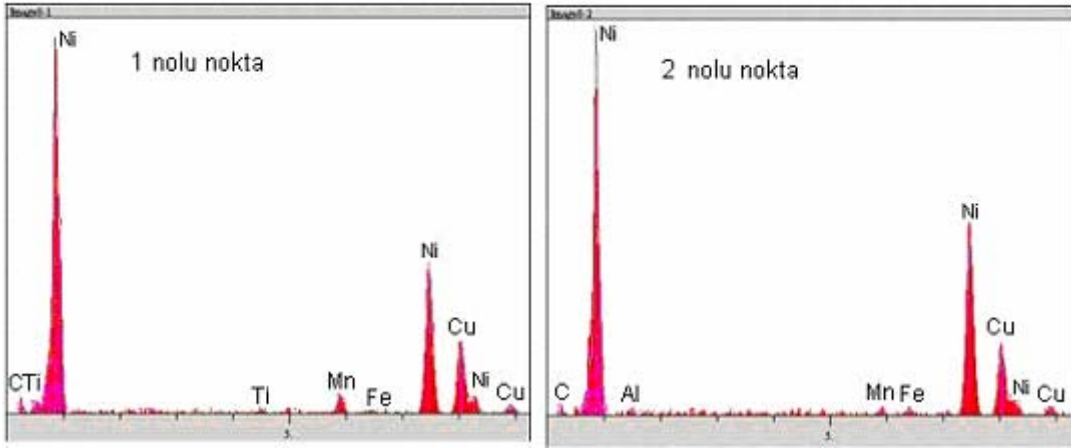
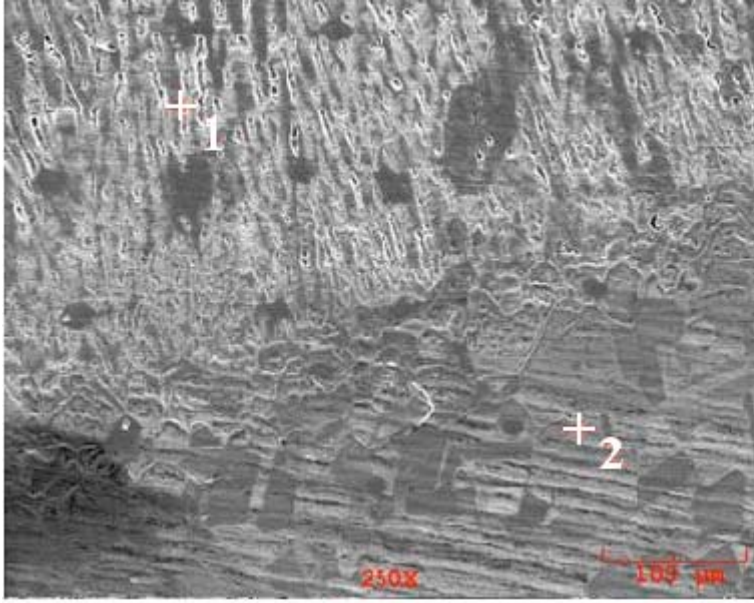


Şekil 6.20. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak tek paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin EDS analizi sonuçları.



Şekil 6.21. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak üç paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin EDS analizi sonuçları.

Argon gazı kullanıldığında ara yüzeyde oluşan geçiş bölgesinin daha dar olduğu ve kaynak metalinin erimesi ile oluşan kolonsal dentritiklerin daha ince olduğu görülmektedir. 2 nolu ITAB'daki geçiş bölgesinin hemen yanında nokta analizinde alüminyum'un bu noktaya ilerlemesiyle açıklanabilir.



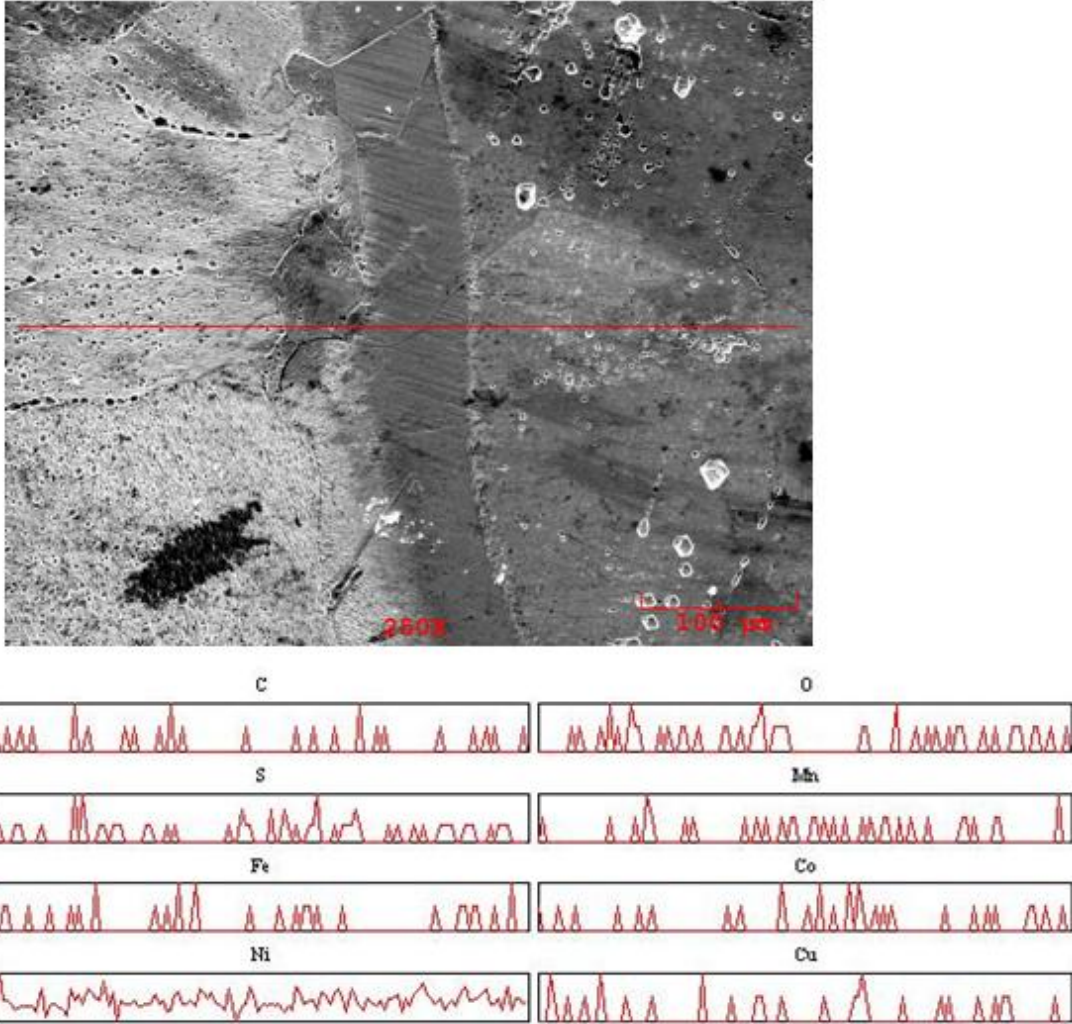
Şekil 6.22. Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak iki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin EDS analizi sonuçları.

6.1.4. SEM EDS elementel çizgisel analizleri

6.1.4.1. Nikel malzemeler

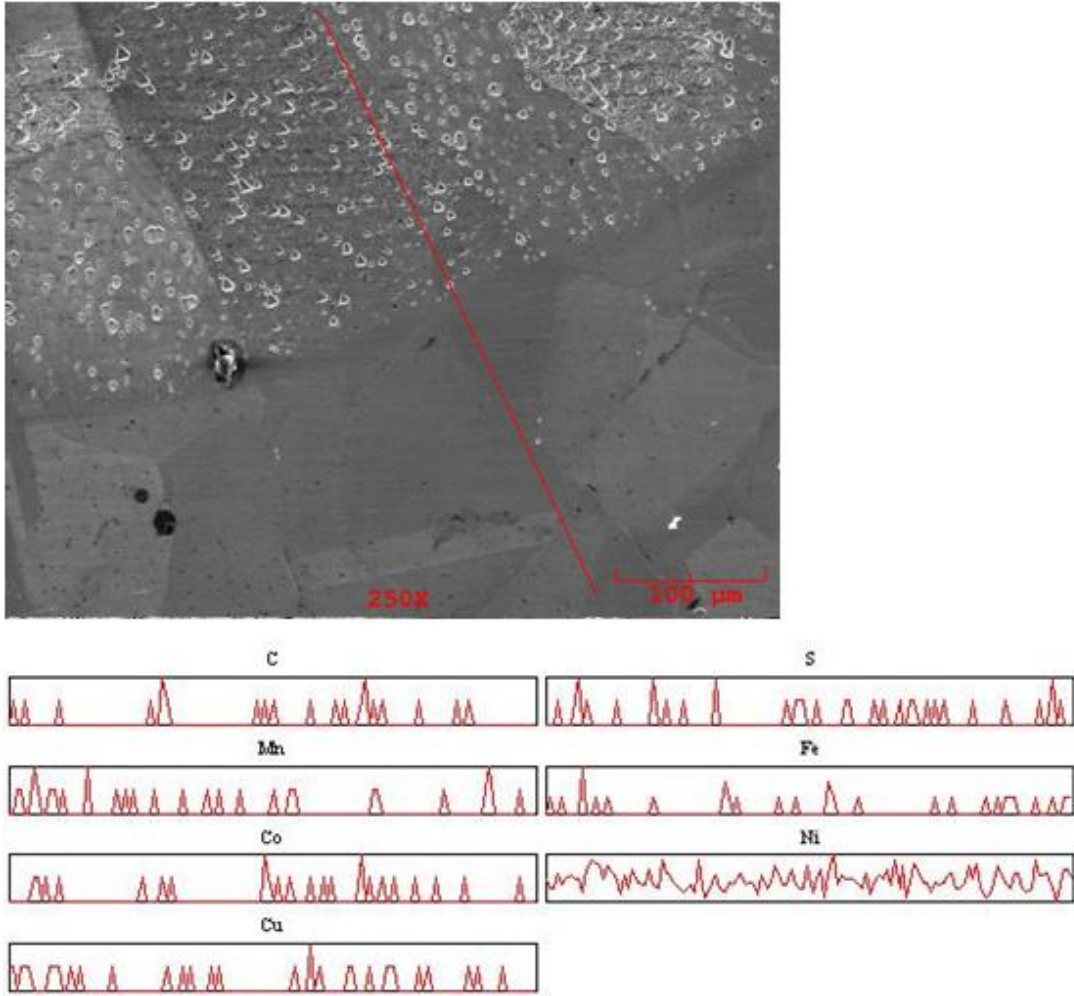
Bu çalışmada son olarak özellikle geçiş bölgelerinde malzeme içerisinde bulunan elementlerin değişiminin belirlenmesi amacıyla ana metalden kaynak metaline doğru çizgisel analizler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 6.23–6.26 arasında verilmiştir. Şekiller incelendiğinde hem kullanılan koruyucu gaza hem de ana malzemeye göre bazı farklılıkların olduğu gözlenmektedir.

Yapılan çizgi analizlerinin malzeme içerisinde incelenen bölgenin elementlerinin miktarı ile ilgili bilgiler vermekte olup çok güvenilir olmadığı düşünülmektedir. Şekil 6.23'e bakıldığında kaynak metali ile ana metali arasındaki farklı mikroyapıya sahip olan bölgenin hiç O₂ içermemekte bu bölgede Ni miktarı azalırken Mn ve Co elementlerinin miktarının arttığı görülmektedir.



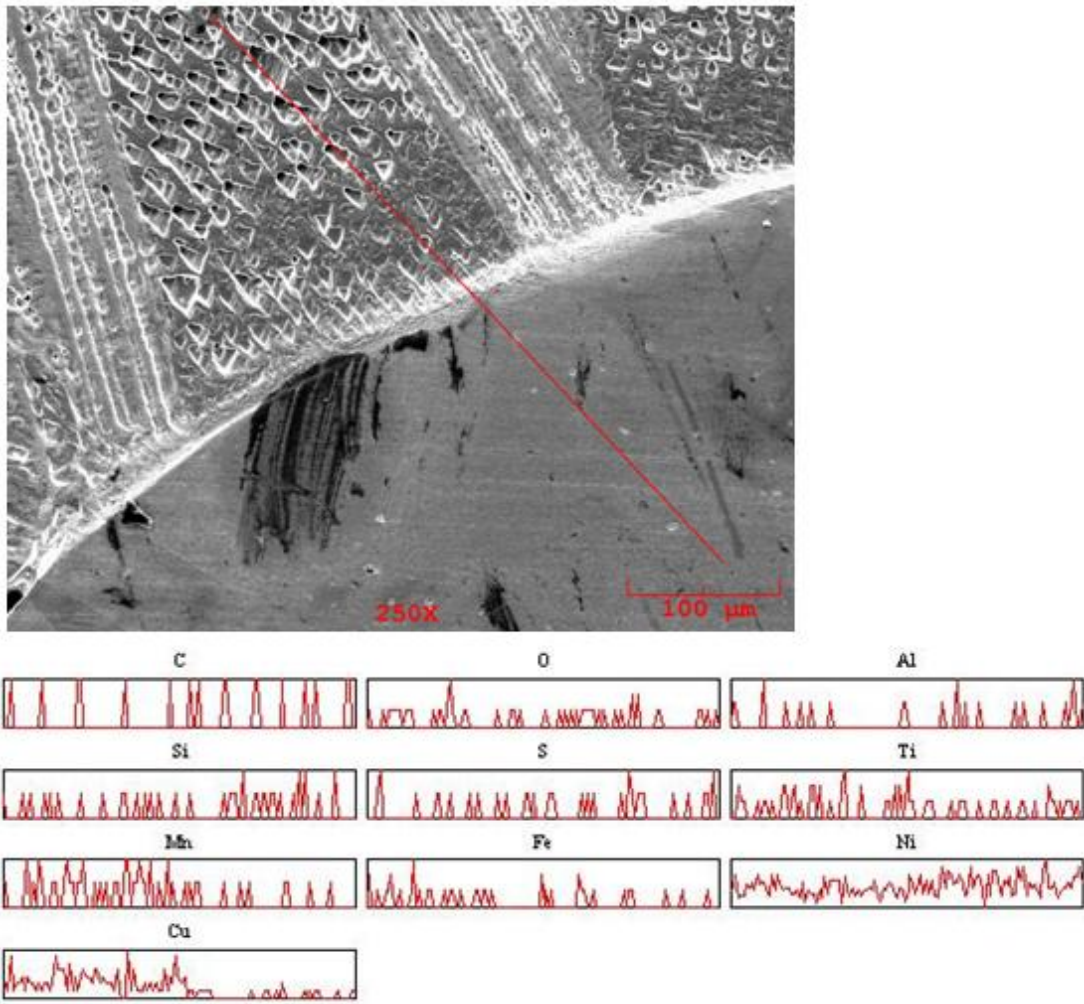
Şekil 6.23. Saf döküm nikel elektrotu kullanılarak elektrik ark kaynağı yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.

Şekil 6.24'deki görüntüde ise kaynak metali merkezinden uzaklaştıkça Mn miktarında azalma kobalt miktarında ise artışlar görülmektedir. Genelde yapı çizgi boyunca nikel esaslı olup nikel miktarı diğer elementlerin miktarına bağlı olarak azalmaktadır.



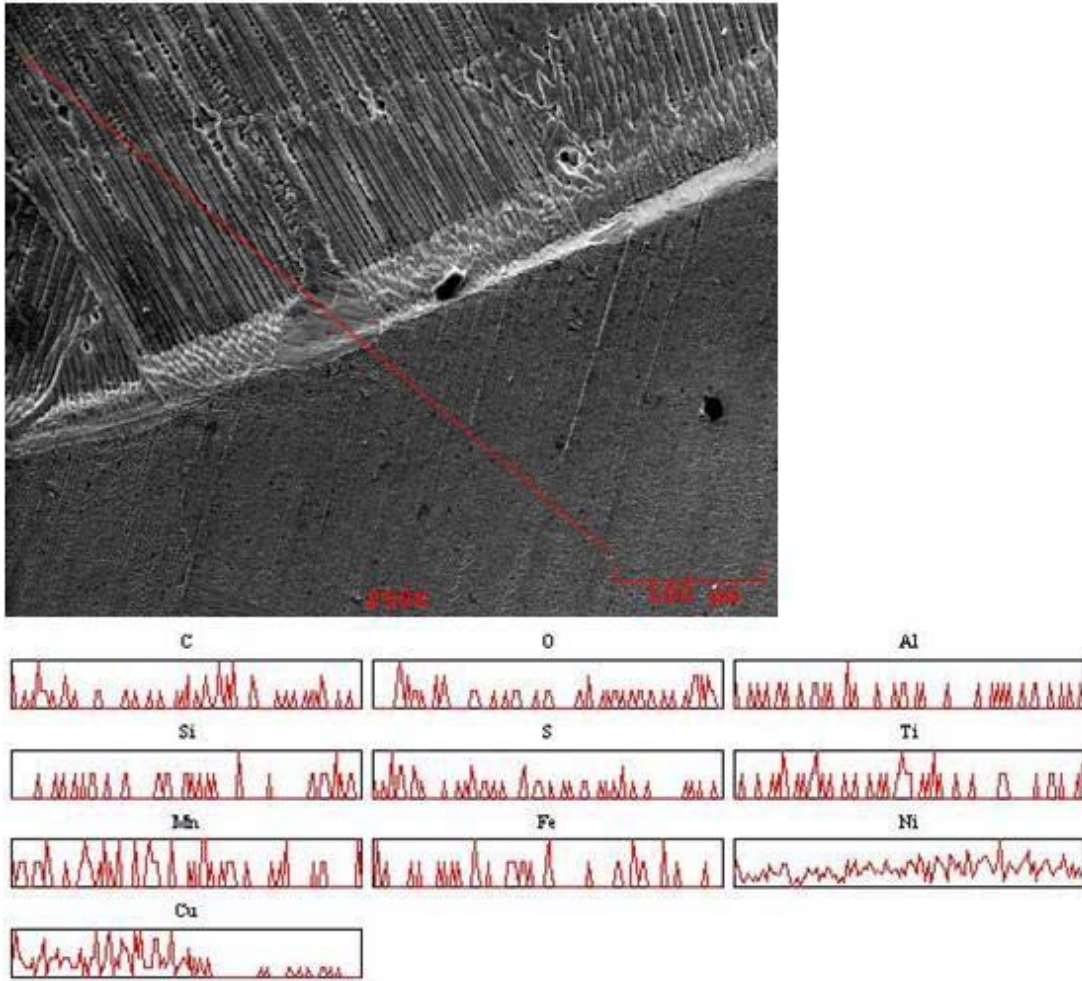
Şekil 6.24. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında örtüsü soyularak çıplak hale getirilen ilave tel kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.

Şekil 6.25’de monel ilave tel kullanılarak argon koruyucu gaz altında birleştirilen malzemenin kaynak metalinde Mn, Cu, ve Ti elementlerinin oranları daha fazla olduğu ana metal tarafına doğru Mn, Cu ve Ti miktarının azaldığı ve Ni miktarının arttığı görülmektedir.



Şekil 6.25. Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.

Şekil 6.26'de koruyucu gaz olarak Argon+%5H₂ gazı kullanıldığında kaynak metalinde Mn, Cu ve Ti elementlerinin miktarının arttığı, Ni miktarının azaldığı görülmektedir. Beyaz renkli görünen geçiş bölgesinde Ti ve C elementleri miktarı artarken Cu miktarının azaldığı ana metale doğru gidildikçe Ni miktarının arttığı görülmektedir.



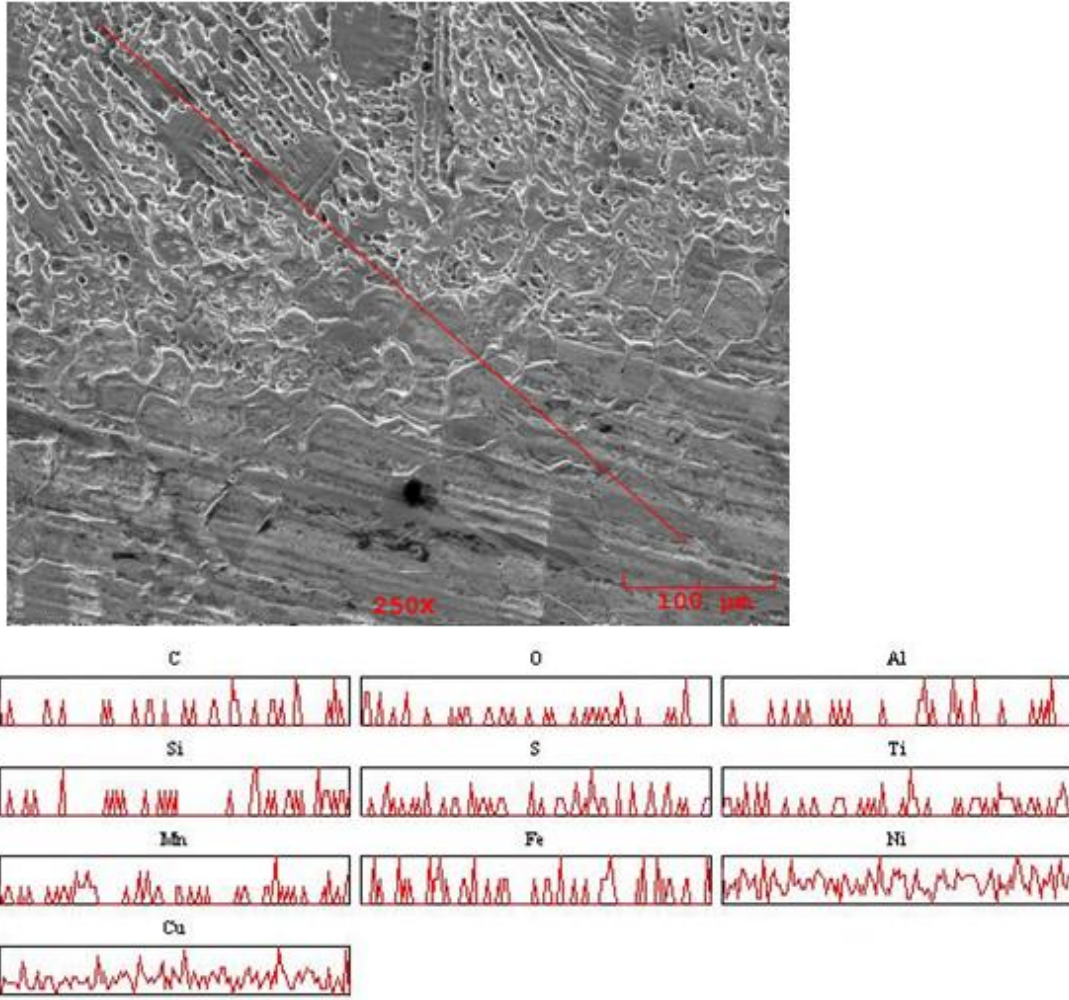
Şekil 6.26. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen nikel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.

6.1.4.2. Monel malzemeler

Bu çalışmada son olarak özellikle geçiş bölgelerinde malzeme içerisinde bulunan elementleri değişiminin belirlenmesi amacıyla ana metalden kaynak metaline doğru çizgisel analizler alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.27–6.29 arasında verilmiştir. Şekiller incelendiğinde hem kullanılan koruyucu gaza hem de ana malzemeye göre bazı farklılıkların olduğu gözlenmektedir.

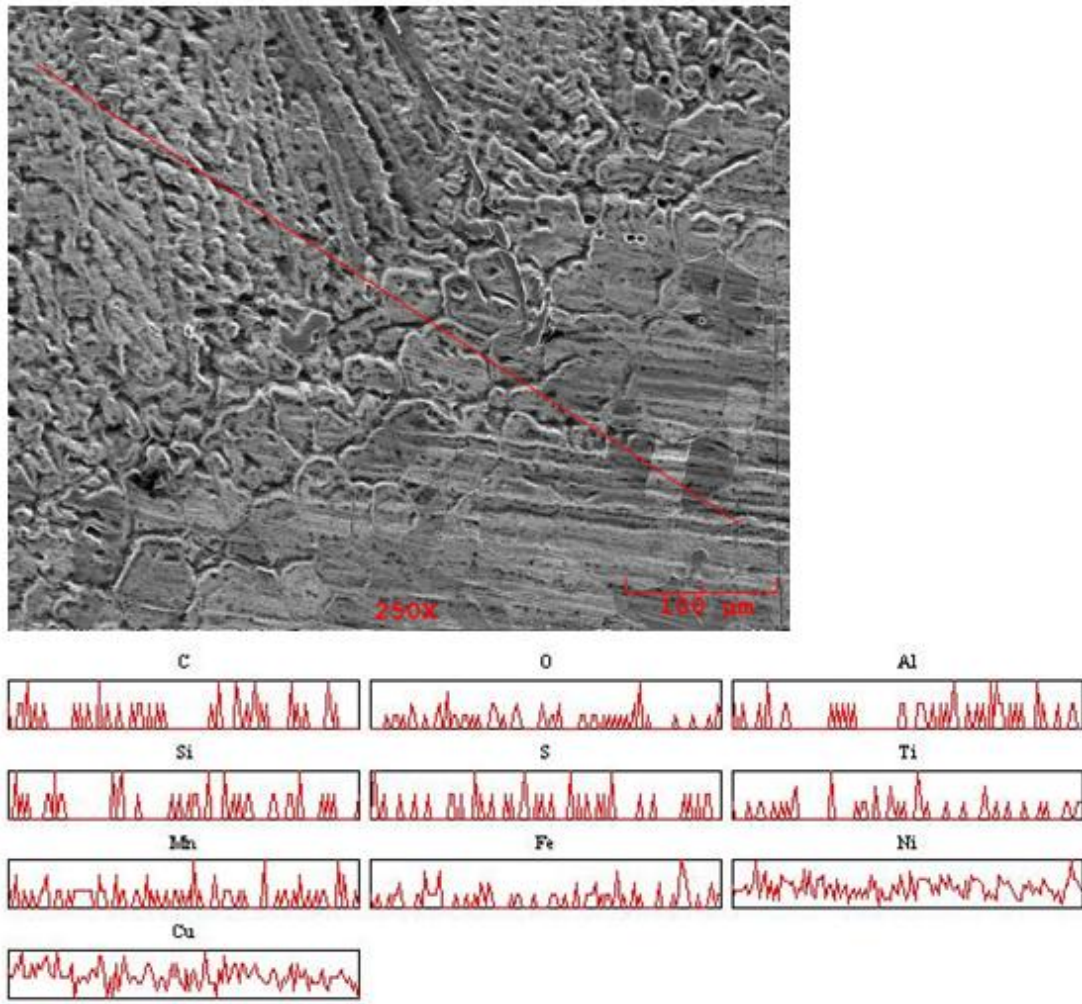
Ar+%5H₂ koruyucu gazı altında bir paso ile yapılan birleştirmenin çizgi analizi Şekil 6.27’de görülmekte olup kaynak metalinde Ti ve Mn miktarı artarken geçiş bölgesinde Ni miktarı azalırken Si, Cu ve Al miktarının arttığı görülmektedir. Ana metale doğru gidildikçe Cu miktarında artış görülmektedir. Bu durum monel 400 ana

malzemesindeki Cu miktarının ilave metalinden daha fazla olmasına bağlanabilir.



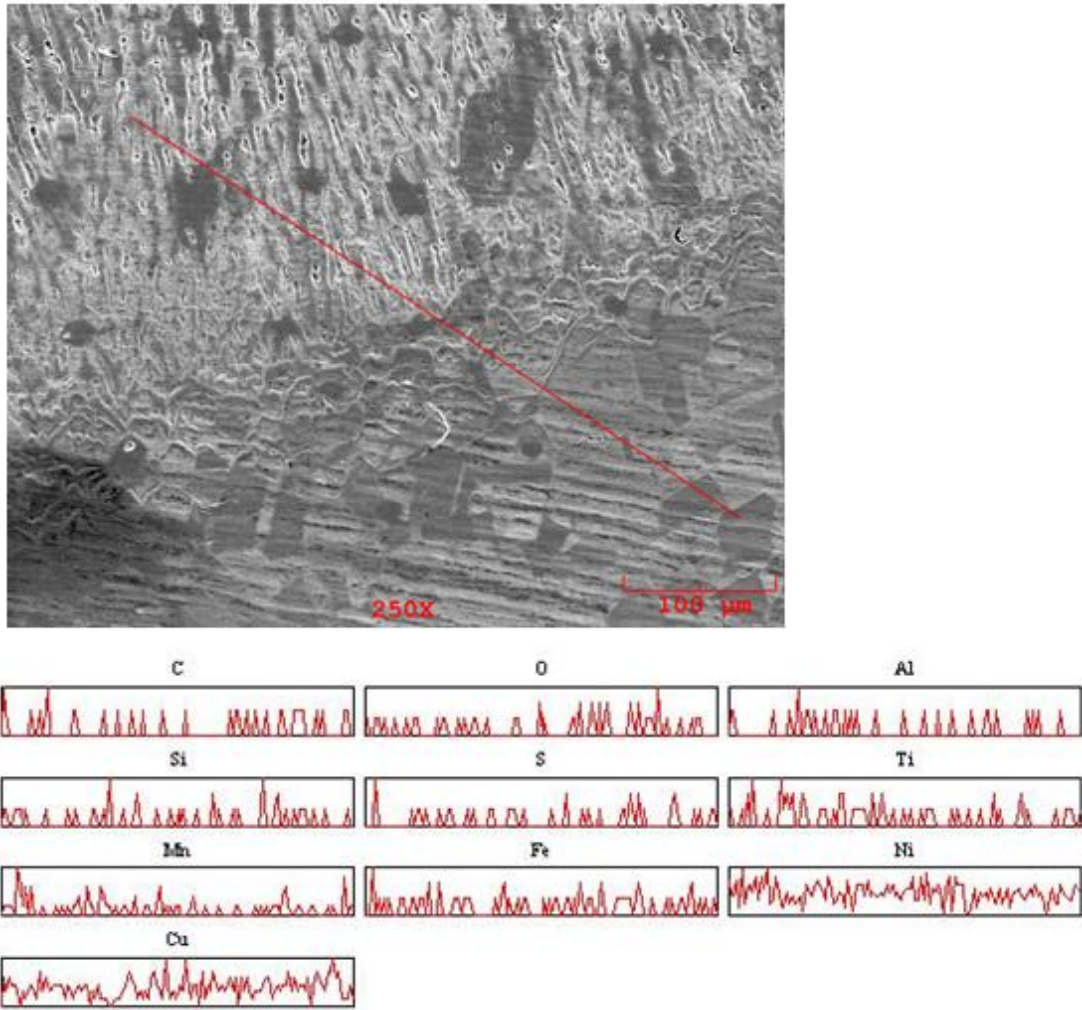
Şekil 6.27. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak bir paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.

Şekil 6.28'de verilen argon+%5 hidrojen koruyucu gazı atmosferinde 3 pasolu kaynakta kaynak metal bölgesinde Al miktarı daha az olurken geçiş bölgesinde Al miktarının azaldığı görülmektedir. Bu numunede çizgi boyunca element dağılımının daha homojen olduğu ve iyi bir seyrelmenin meydana geldiğini açıklamaktadır.



Şekil 6.28. Argon+%5 hidrojen koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak üç paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.

Şekil 6.29'da görüldüğü gibi çizgi kaynak metalinde Ni, Mn, Al ve Ti elementlerinin miktarı daha fazla iken, Cu miktarının daha düşük olduğu görülmektedir. Ana metale doğru Cu, O ve C artarken Mn, Ni, Ti ve Al elementleri azalmaktadır. Bu durumu argon koruyucu gazı kullanılarak yapılan birleştirmelerde kaynak banyosunun yeterince akıcı olmadığından daha az seyrelmenin olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.29. Argon koruyucu gazı altında ER NiCu7 ilave teli kullanılarak iki paso ile TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen monel malzemenin SEM mikroyapı üzerinde belirtilen çizgi boyunca elementlerin lineer analiz diyagramı.

6.2. Çekme Deneyi Sonuçları

6.2.1 Saf nikel malzeme

Farklı kaynak yöntemleri ve gaz kombinasyonları ve ilave metaller kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin görüntüsü Şekil 6.30'da verilmektedir. Saf nikel malzemeye uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma dayanımları ile deney sonarsında hesaplanan % uzama değerleri Tablo 6.1'de verilmiştir. Deneylerde elde edilen değerlerin ve mekanik davranışların daha net anlaşılması amacı ile elde edilen çekme dayanımı % uzama değerleri grafik olarak Şekil 6.31'da verilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde edilen çekme dayanım değerleri en yüksek elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir, en düşük değer ise TIG kaynak yöntemi ile elektrotun örtüsü kırılarak soyulan nikel döküm elektrotu kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. Bu numunede kaynak metalinde oluşan tanelerin iri olduğu ayrıca kaynak metali içerisinde gözeneklerin bulunması gerilmeye maruz kalan parçaların kolayca kopmasına neden olmakta ve daha düşük gerilmelerde kopmaktadır. Bu malzemede çekme deneyi sonucunda meydana gelen kopmanın kaynak merkezinde olduğu görülmüştür. Monel ilave metali kullanılarak yapılan birleştirmelerde sadece argon koruyucu gazı kullanılarak yapılan birleştirmeye göre daha yüksek çekme gerilmesine sahip olmakta ve bu malzeme %30'luk uzama değeri ile en yüksek değere ulaşmaktadır. Çekme deneyi sonrasında meydana gelen kopma ITAB da meydana gelmektedir. ITAB'ın mikroyapısının kaynak metalinden ve ana metalden farklı olması ve bu bölgede oluşan tane yapısının ana metale göre daha büyük olması malzemenin yüksek gerilmeye maruz kaldığında kırılmanın en zayıf olan bu bölgeden kopmasına neden olmaktadır. Koruyucu gaz olarak argon kullanılması, daha önce belirtildiği gibi kaynak esnasında eriyen nikel malzemenin az akışkan olması nedeniyle kullanılan ilave metalin yeterince ıslatmadığından kaynak metali ana metal arasında ki bağın daha zayıf olmasına neden olmakta ve böylece düşük çekme gerilmelerinde malzemenin kopmasına neden olmaktadır. Ancak % uzama miktarında elde edilen %23'lük değer elektrik ark kaynak yöntemi ile ve soyulmuş nikel döküm elektrotu kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen nikel malzemelerin sahip olduğu % uzama miktarları bakımından daha yüksektir. Bu

durumu kullanılan monel ilave çubuğun sahip olduğu % uzama ve maksimum çekme dayanım değerlerinin çıplak elektrotta göre daha iyi olduğu ve monel ilave metalinde bulunan elementlerin mukavemeti ve kaynak kabiliyetini arttırıcı özelliğe sahip olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca, nikel döküm elektrotun sahip olduğu karbon miktarı birleşmenin mekanik özelliğini olumsuz yönde etkileyebilir.



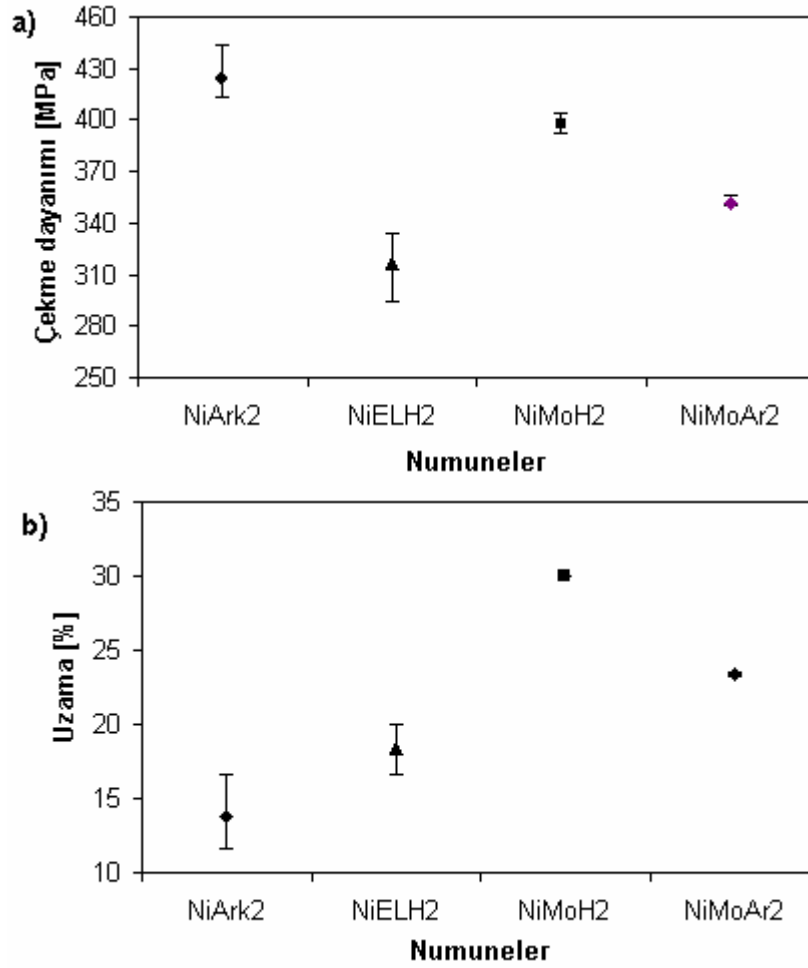
Şekil 6.30. Saf nikel malzemenin kaynaklı birleştirmeden sonraki görüntüsü.

Tablo 6.1. Farklı kaynak yöntemi, ilave metal ve koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin çekme deneyi sonrasında elde edilen değerler.

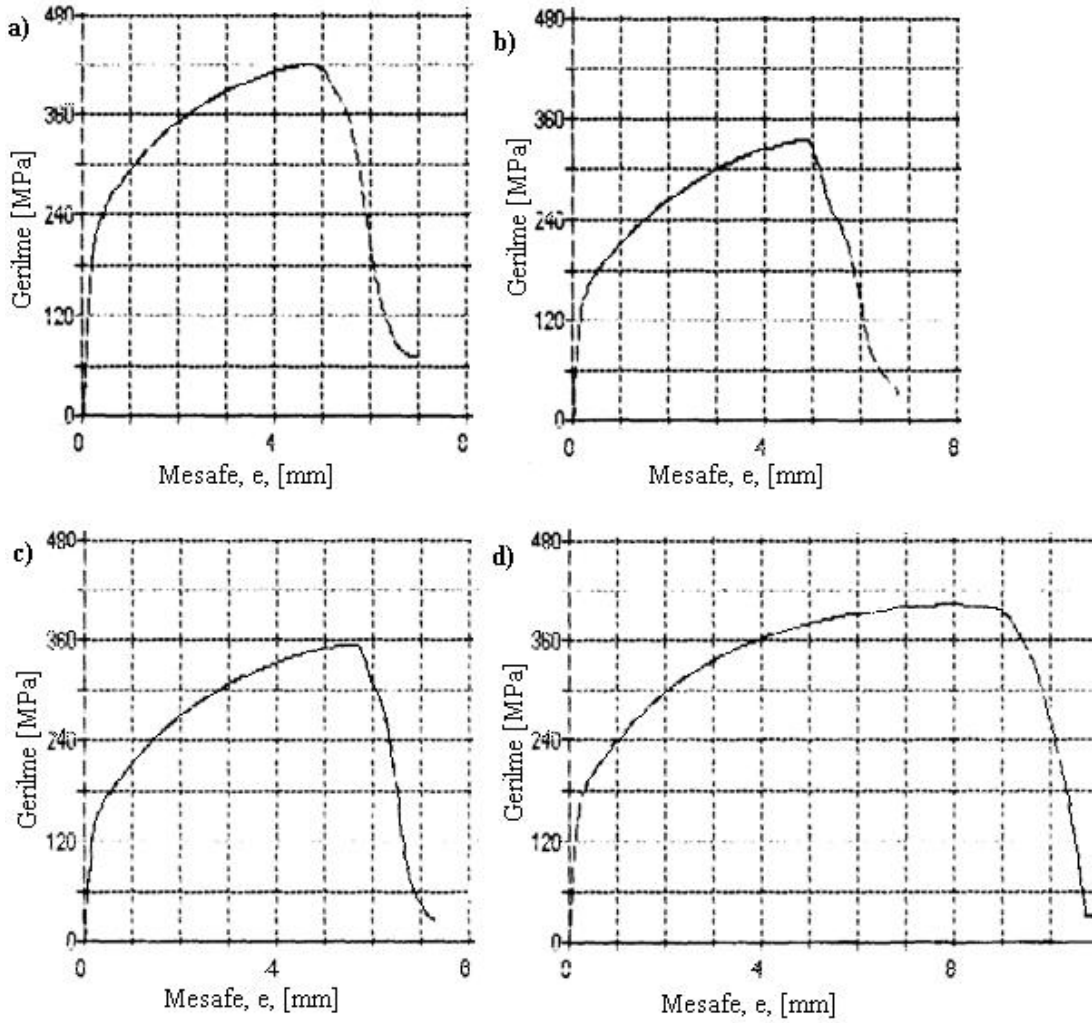
Malzeme Kodu	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	% uzama miktarı	Malzemenin deney sonrası koptuğu bölge
NiArk2	201±11	416±8	342±15	13,8±2,5	ITAB (geçiş bölgesi)
NiELH2	140±5	303±11	315±20	18,3±1,7	Kaynak merkezi
NiMoH2	173±7	398±6	341±1	30±0	ITAB (geçiş bölgesi)
NiMoAr2	150±2	352±3	292±12	23,4±0,1	ITAB (geçiş bölgesi)

Çekme deneylerinde elde edilen gerilme ve mesafe değerlerinin gösterilen diyagram Şekil 6.32’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde farklı kaynak yöntemi, ilave metali, koruyucu gaz kullanılarak yapılan birleştirmenin mekanik dayanımı hakkında bilgi vermektedir. Şekil 6.32 (b)’de gösterildiği gibi çıplak nikel döküm elektrotu ve TIG kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen birleştirmenin çekme deneyi esnasındaki davranışında malzeme belirli bir gerilim altında akma gösterdikten sonra taşıyabileceği maksimum çekme gerilmesinden hemen sonra kopmuş ve çok az uzama göstermiştir. Diğer taraftan Ar+%5H₂ koruyucu gaz atmosferinde monel ilave metal ve TIG kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen birleştirmede malzeme akma gösterdikten sonra maksimum çekme gerilmesine kadar büyük bir uzama göstermekte maksimum çekme gerilmesinden sonra biraz daha uzama göstererek

kopmaktadır. Böylece, bu numunenin diğerlerine göre çok daha yüksek % uzama miktarı göstermektedir.

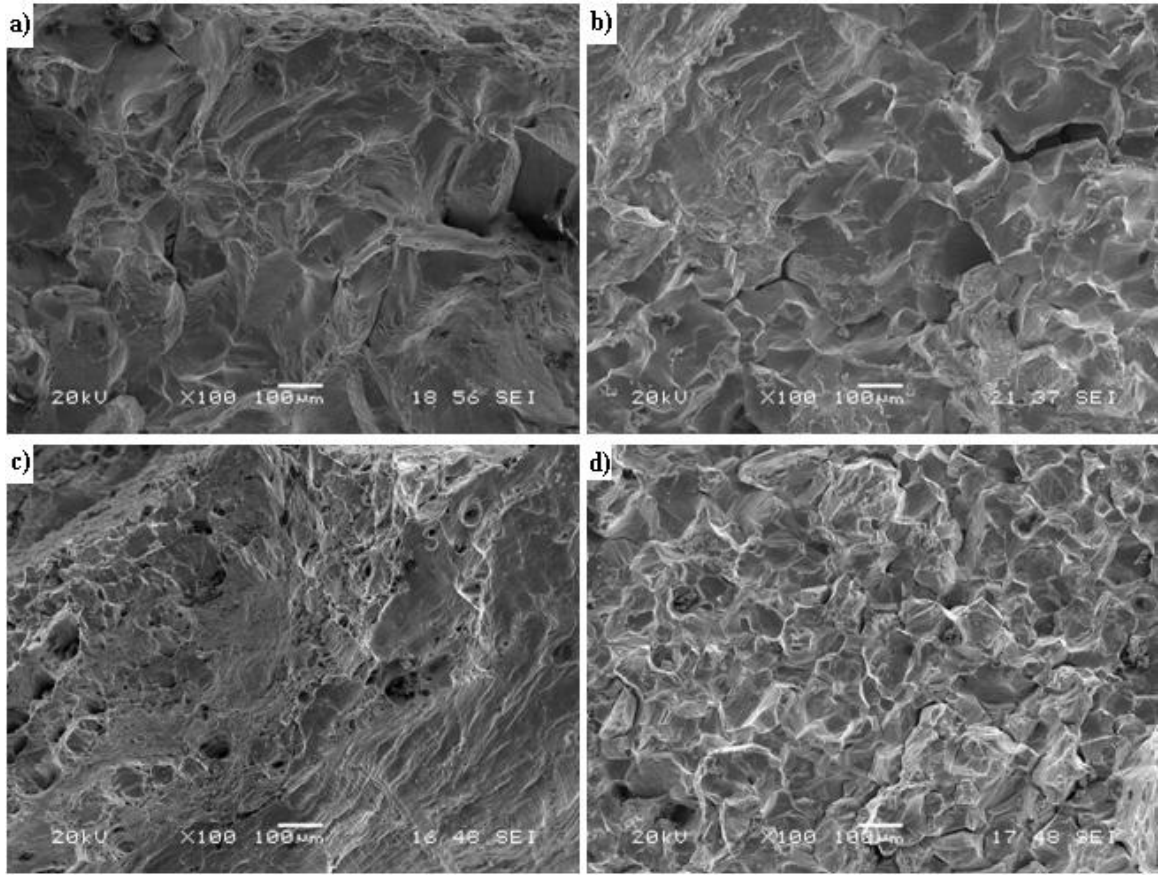


Şekil 6.31. Çeşitli kaynak parametreleri ile birleştirilen nikel malzemenin a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.

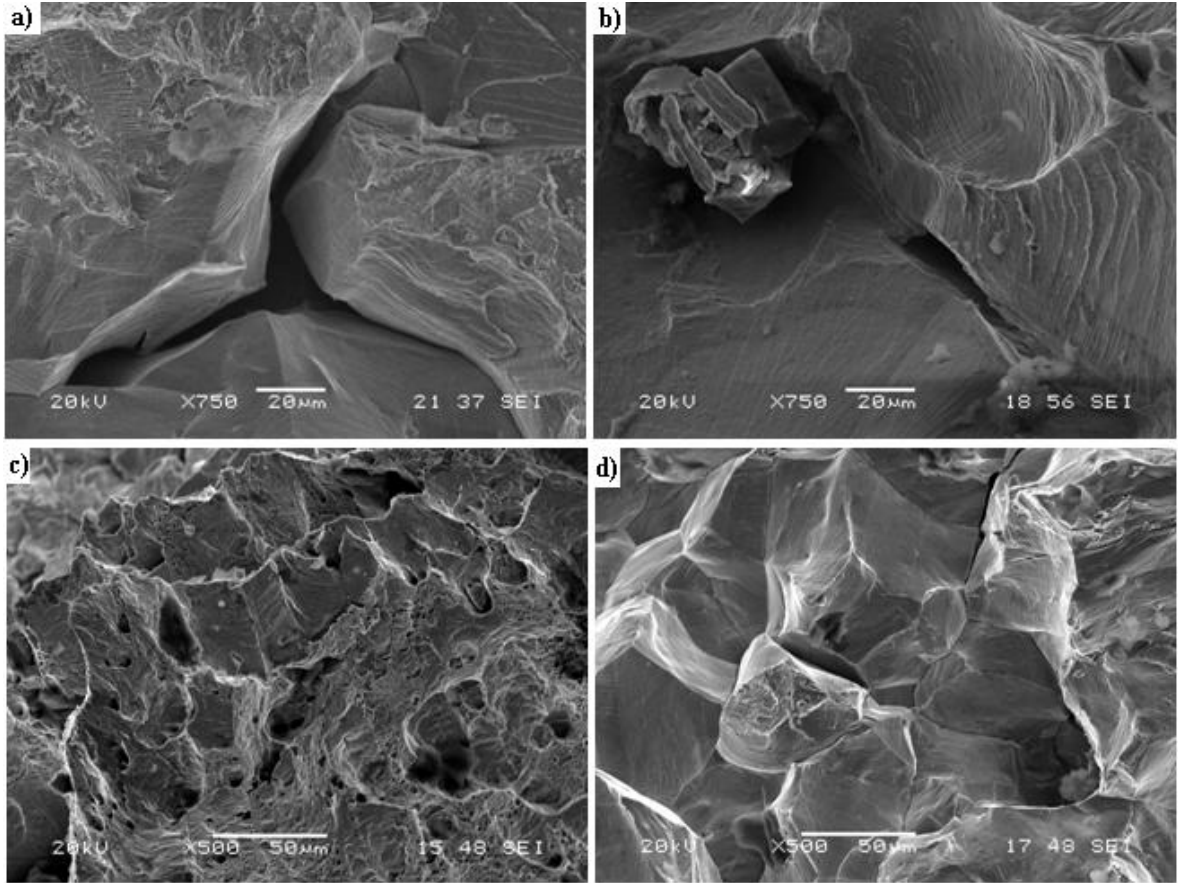


Şekil 6.32. a) Elektrik ark ve nikel elektrot b) TIG ve örtüsü soyulmuş elektrot c) TIG, monel ilave metal ve argon d) TIG, monel ilave metal ve argon %5 H₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen saf nikel malzemenin çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama eğrileri.

Monel ilave metal kullanılarak argon atmosferinde birleştirilen nikel malzemenin çekme deneyi sonrasında elde edilen görüntüsü Şekil 6.33’de verilmiştir. Kırılma yüzey morfolojisi yer yer delikli bir ağ şeklinde olup, sünek bir davranış gösterdiği şeklinde yorumlanabilir. Koruyucu gaz olarak Ar+%5H₂ gaz ve monel ilave metal kullanılarak birleştirilen saf nikel malzemede kırılmanın ITAB’dan olduğu ve yer yer delikli ve tane içinden gerçekleştiği düşünülmektedir. Şekil 6.34’de aynı numunelerin daha yüksek büyütmelelerdeki kırılma yüzey görüntüleri verilmektedir. Şekil incelendiğinde elektrik ark kaynak yöntemi ve örtüsü soyulmuş nikel elektrotla TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemelerin daha gevrek davranış gösterdiği ve soyulmuş nikel elektrot ile yapılan birleştirmenin kırılma yüzeyinde oksit taneciğinin bulunduğu daha net görünmektedir.



Şekil 6.33. a) Elektrik ark ve nikel elektrot b) TIG ve örtüsü soyulmuş elektrot c) TIG, monel ilave metal ve argon d) TIG, monel ilave metal ve argon %5 H₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen saf nikel malzemenin çekme deneyinde sonrasında elde edilen SEM kırılma yüzeylerinin görüntüleri.



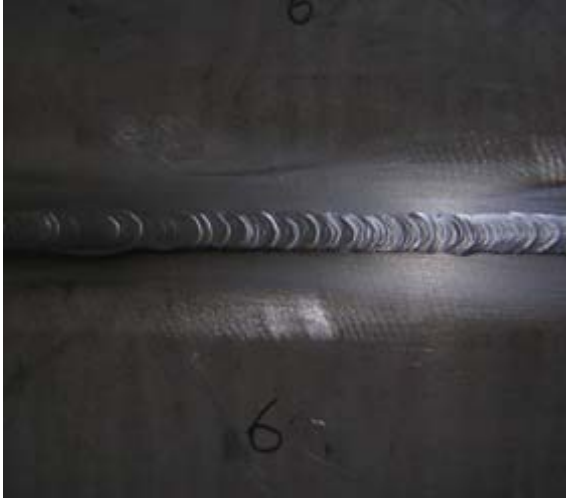
Şekil 6.34. a) Elektrik ark ve nikel elektrot b) TIG ve örtüsü soyulmuş elektrot c) TIG, monel ilave metal ve argon d) TIG, monel ilave metal ve argon+%5H₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen saf nikel malzemenin çekme deneyi sonrasında elde edilen SEM kırılma yüzeylerinin büyütülmüş görüntüleri.

6.2.2. Monel malzeme

Monel malzeme farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin kaynatıldıktan sonraki görüntüsü Şekil 6.35’de görünmektedir. Birleştirilen monel malzemenin çekme deneyi sonrasında elde edilen akma, kopma ve % uzama değerleri Tablo 6.2’de verilmektedir. Deneylerden elde edilen değerlerin daha net görülmesi için çekme ve uzama değerleri grafiksel olarak Şekil 6.36’da verilmiştir. Ana malzemenin çekme dayanımı 632 MPa olarak ölçülmüştür. Ancak, kaynakla birleştirilen malzemeler daha az çekme dayanımına sahiptir. En yüksek çekme dayanımı elde edilen üç pasolu birleştirme ile ulaşılan 553 MPa çekme dayanımı değeri ana malzemedan %15 daha düşük değere sahiptir. Bu kaynaklı malzemelerde ulaşılan kaynak metali bölgesinin süreksizliği bozduğu ve dayanımı düşürdüğü düşünülmektedir. Paso sayısı arttıkça hem ısı girdisi artmakta hem de

ilave metalin miktarında artışlar sağlanmaktadır. Böylece elde edilen mekanik değerlerde ilave metalin mekaniksel değerinde, ilave metalin mekanik özelliği daha etkili olmakta ve her paso ile sağlanan ısı etkisi bir önceki paso temper işlemi görmekte ve birleştirilen malzemenin mukavemetini arttırmaktadır. Esasında burada bulunan bütün numunelerin mukavemet değerleri birbirine çok yakın olup her paso ile sağlanan ısı etkisiyle ITAB'daki tanelerin küçültülmesi ve kalıntı gerilmelerin giderilmesi çelik malzemelere göre çok daha az olmaktadır. Bu durumda TIG kaynak yöntemi ile ER NiCu7 ilave metali ve Ar+%5H₂ gazı kullanılarak yapılan birleştirmelerin uygun olduğu ısı girdisinin dolayısı ile paso sayısının birleştirmenin mukavemet değerlerine çok az etkili olduğu görülmektedir. Ancak koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında gerek kaynak metalinin korunması, gerekse oluşan kaynak banyosunu yeterli akıcılığa sahip olmasından çok azda olsa daha düşük çekme dayanım değerlerine sahip olmaktadır. Argon gazına çok az miktarda katılan hidrojen gazının daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip olduğundan oluşan kaynak banyosunun daha akıcı olması ve hidrojenin oksit süpürücü özelliğinde dolayı kaynak metali içerisinde oksijen ve istenmeyen kalıntıların giderilmesi sağlanarak mukavemet değerleri artması sağlanmaktadır. Daha önceki başka malzemelerde yapılan birleştirmelerde bu durumu onaylamaktadır [8–11, 32, 41, 42]. Monel malzemelerin koruyucu gaz ve paso sayısının çekme dayanımına ve % uzama değerlerine etkisi Şekil 6.37'de verilmiştir. Çekme deneyleri sonrasında elde edilen % uzama değerlerine bakıldığında en yüksek uzama değeri % 28 ile argon koruyucu gazı altında yapılan birleştirmede elde edilmiştir. Ancak elde edilen bu değer % 40 uzama değerine sahip monel malzemenin %30 daha düşüktür. Bunun nedeni daha önce belirtildiği gibi kaynaklı birleştirme ile ana metalin sürekliliğinin bozulmasının olduğu düşünülmektedir. Koruyucu gaz olarak Ar+%5H₂ kullanıldığında % uzama değerleri birbirine yakın olup en yüksek değer %27 ile iki pasolu birleştirmelerde elde edilmiştir. Tek pasolu yapılan birleştirmelerde kaynaklı birleştirmelerde herhangi bir ısı işlem uygulanmadığından kaynak metalinde ve ITAB'da oluşabilecek kalıntı gerilmelerin çekme deneyi esnasında malzemelerin daha az gerilme değerlerinde kırılmasına hem de daha düşük % uzama miktarına neden olacağı sanılmaktadır. Bütün malzemelerin kaynak merkezinden kırıldığı görülmüştür. Bu durumda seçilen kaynak yönteminin, ilave metalin daha uygun olduğu SEM çalışmalarında gösterdiği gibi kaynak metali ile ana metal arasındaki

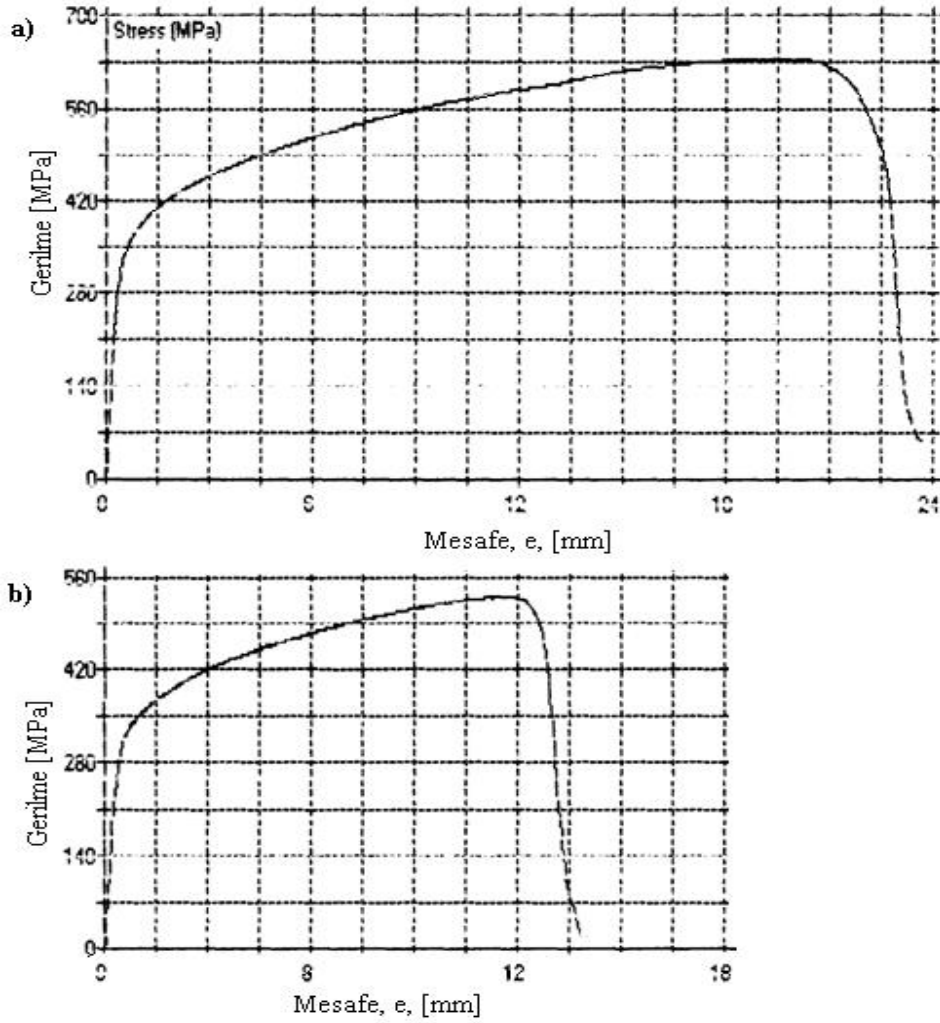
geçiş bölgesinin iyi bir özelliğe sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.35. Monel malzeme farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin kaynatıldıktan sonraki görüntüsü.

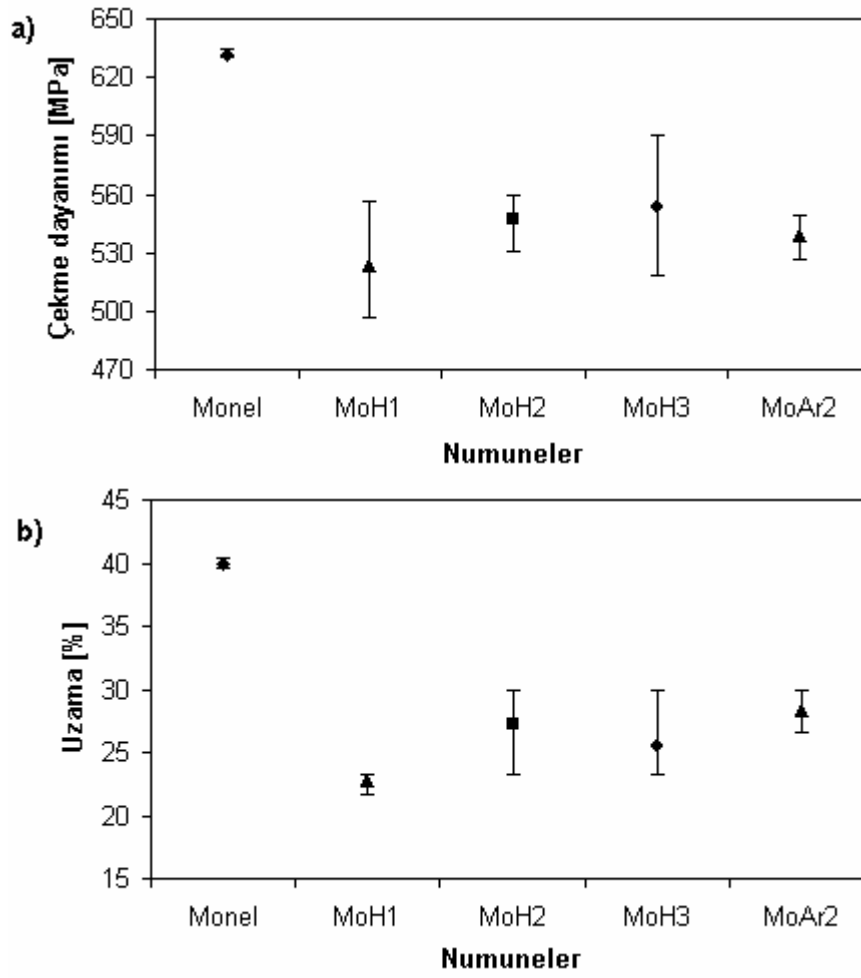
Tablo 6.2. Farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin çekme deneyi sonrasında elde edilen değerler.

Malzeme Kodu	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Kopma Gerilmesi (MPa)	% uzama miktarı	Malzemenin deney sonrası koptuğu bölge
Ana metal	355±8	632±3	495±10	40±0,4	-
MoH1	311±16	524±27	459±17	22,7±0,9	Kaynak merkezi
MoH2	337±13	547±14	478±10	27,2±2,8	Kaynak merkezi
MoH3	340±32	553±35	463±43	25,5±3,4	Kaynak merkezi
MoAr2	325±18	539±11	459±39	28,3±1,7	Kaynak merkezi

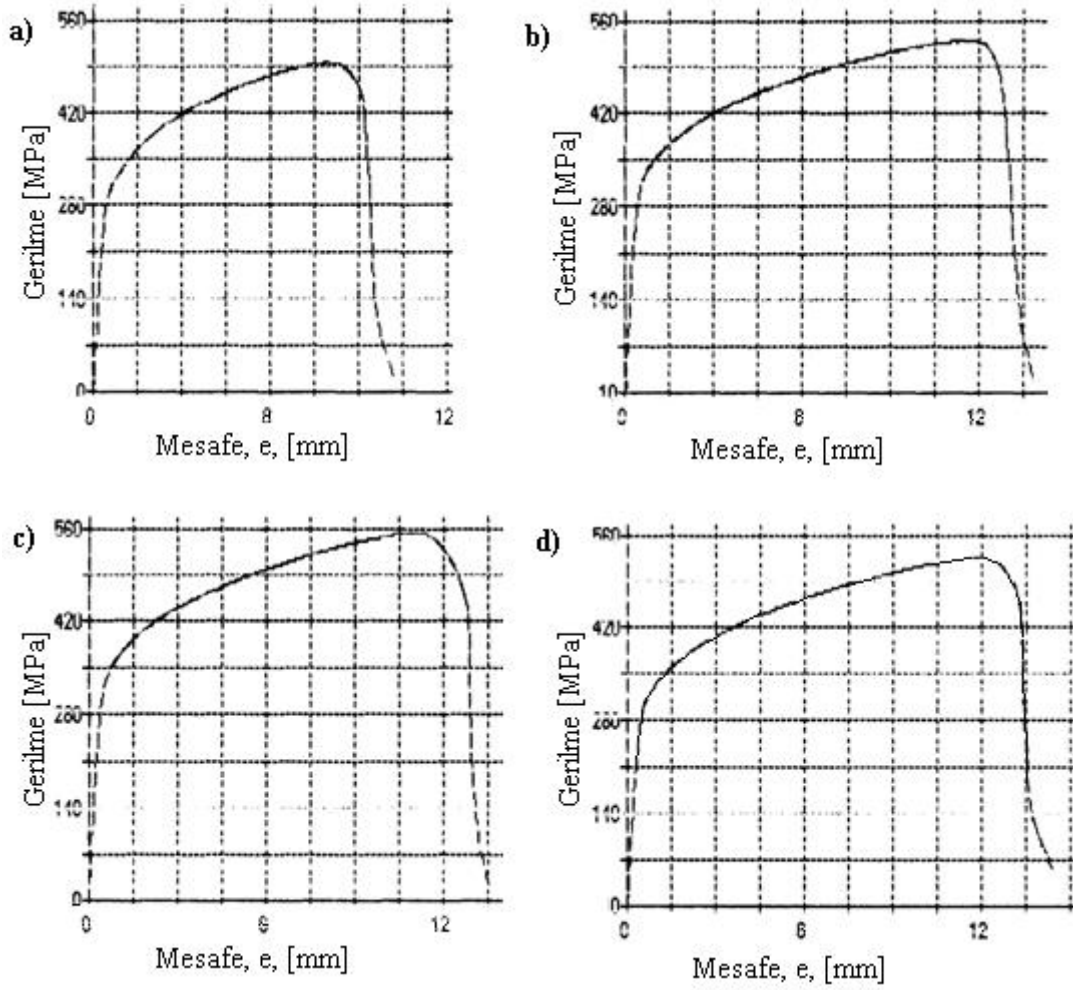


Şekil 6.36. a) Monel b) TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen monel malzemenin çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama eğrileri.

Çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama eğrileri verilmektedir. Bu eğrilerin verilme amacı kaynaklı ve kaynaklı monel malzemenin çekme deneylerinde aynı eğimi göstermelerine karşın ulaşılan maksimum dayanım ve % uzama miktarı arasındaki fark oldukça büyüktür bu fark kaynaklı birleştirme esnasında kaynağın mikroyapı da süreksizlik oluşturduğu düşünülmektedir. Her iki diyagramın da aynı eğilimi göstermesi kaynaklı birleştirmede seçilen kaynak yöntemi ilave metal ve koruyucu gazın uygun olduğunu göstermektedir. Şekil 6.38’de farklı paso sayısı ve koruyucu gaz kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen monel malzemelerin çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama eğrileri bu birleştirmelerin mekanik davranışları hakkında fikir sahibi olmak amacıyla verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi genel eğri eğilimi aynı olmasına rağmen ulaşılan maksimum çekme ve uzama miktarlarında farklılıklar görülmektedir.

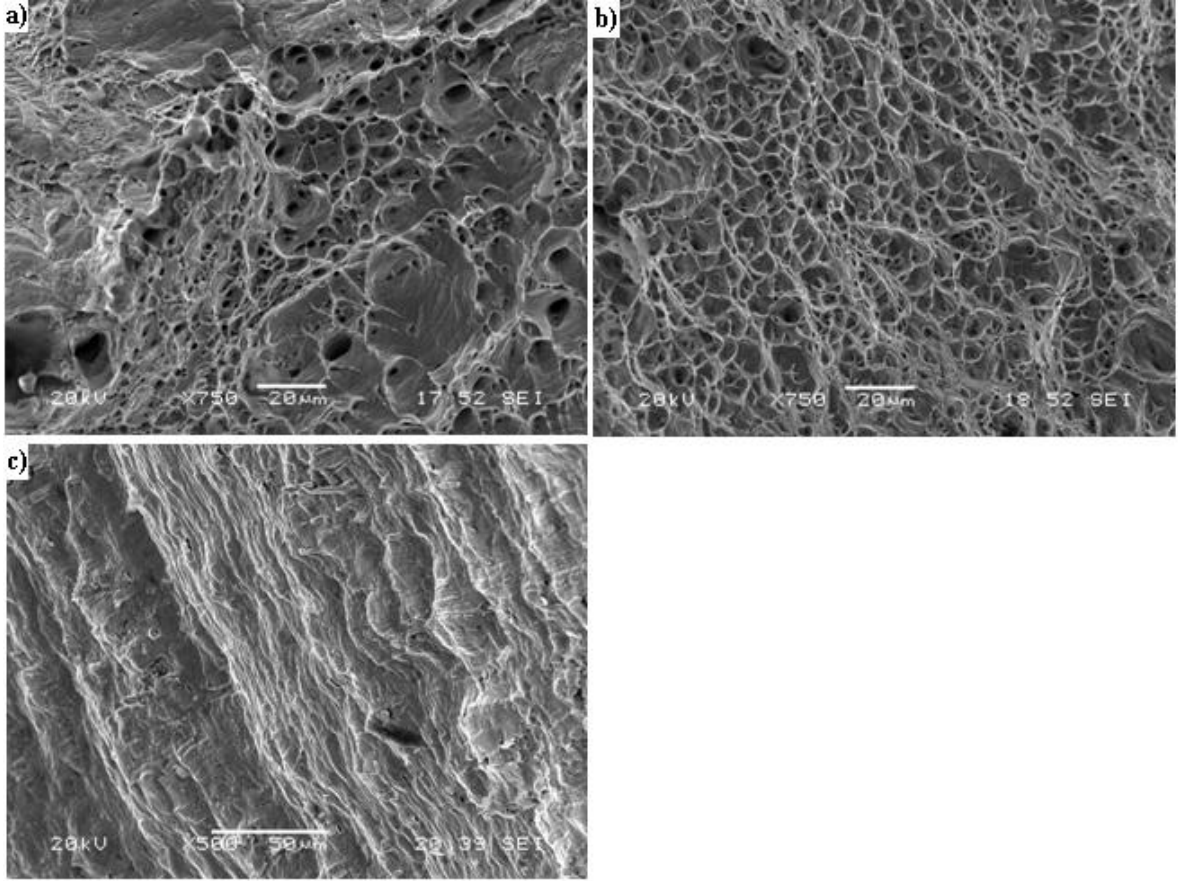


Şekil 6.37. Monel malzemenin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gaz ve paso sayısının a) çekme dayanımına b) % uzama değerlerine etkisi.



Şekil 6.38. a) Tek paso b) iki paso c) üç paso ve argon + %5 H₂ koruyucu gaz d) iki paso ve argon koruyucu gaz kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen monel malzemenin çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama eğrileri.

Çekme deneyi sonrasında Ar+%5H₂ koruyucu gazı atmosferi altında ve argon koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen ana malzemenin çekme deneyi sonrasında elde edilen kırılma yüzey görüntüleri Şekil 6.39'da verilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin kırılma yüzeyleri delikli ve ağ biçiminde kırılma morfolojileri vermektedir. Bu durum çekme deneyi esnasında sünek bir davranış gösterdiği anlaşılmaktadır. Ana malzemenin kırılma yüzeyinde ise daha farklı kırılma morfolojisi göstermektedir. Bu malzemenin çekme deneyi sonrasında sünek bir kırılma gerçekleştiği, çekme deneyi eğrilerinden (gerilme-mesafe eğrilerinden) anlaşılmaktadır.

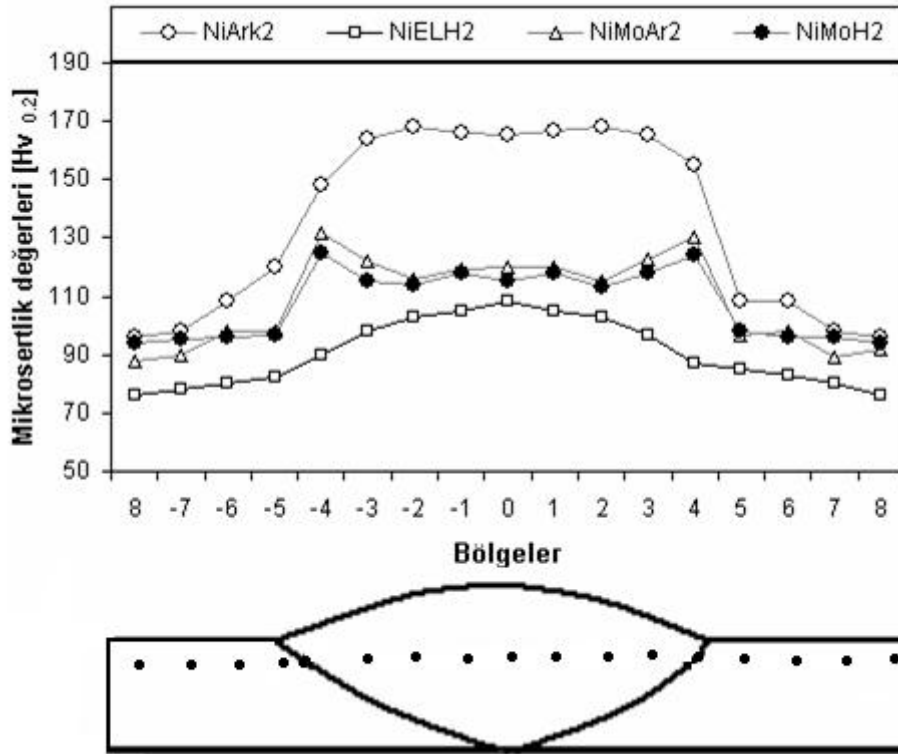


Şekil 6.39. a) Üç paso ve argon+ %5 H₂ koruyucu gaz b) iki paso ve argon koruyucu gaz koruyucu gaz kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen monel malzemenin ve c) monel ana malzemenin çekme deneyi sonrasında elde edilen kırılma yüzeylerinin görüntüleri.

6.3. Sertlik Deneyi Sonuçları

Saf nikel elektrik ark yöntemi ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirildikten sonra Şekil 5.2'de gösterildiği gibi dikey alanlı kaynak merkezinden aşağıya doğru yatay çizgisel olarak kaynak metali ve ITAB boyunca bir dizi mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Şekil 6.40'da çizgisel olarak alınan mikrosertlik ölçümlerinin değeri verilmiştir. Şekle bakıldığında en yüksek sertlik değerinin elektrik ark kaynak yöntemi ve nikel döküm elektrodu kullanılarak birleştirilen numunede görülmüş olup, ITAB da sertlik değeri düşmektedir. En düşük mikrosertlik değeri dağılımı örtüsü kırılarak soyulmuş nikel döküm elektrodu kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir. Burada kaynak metalinde sertlik değeri yüksek olmaktadır. Kaynak esnasında elektrot ve kaynak metalinin eriyerek sertleşmesi sonucu oluşabilecek olan farklı fazların sertlik değerini arttırdığı sanılmaktadır. Örtüsü soyularak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen parçada sertlik değerinin düşük olması kaynak sonrasında oluşan

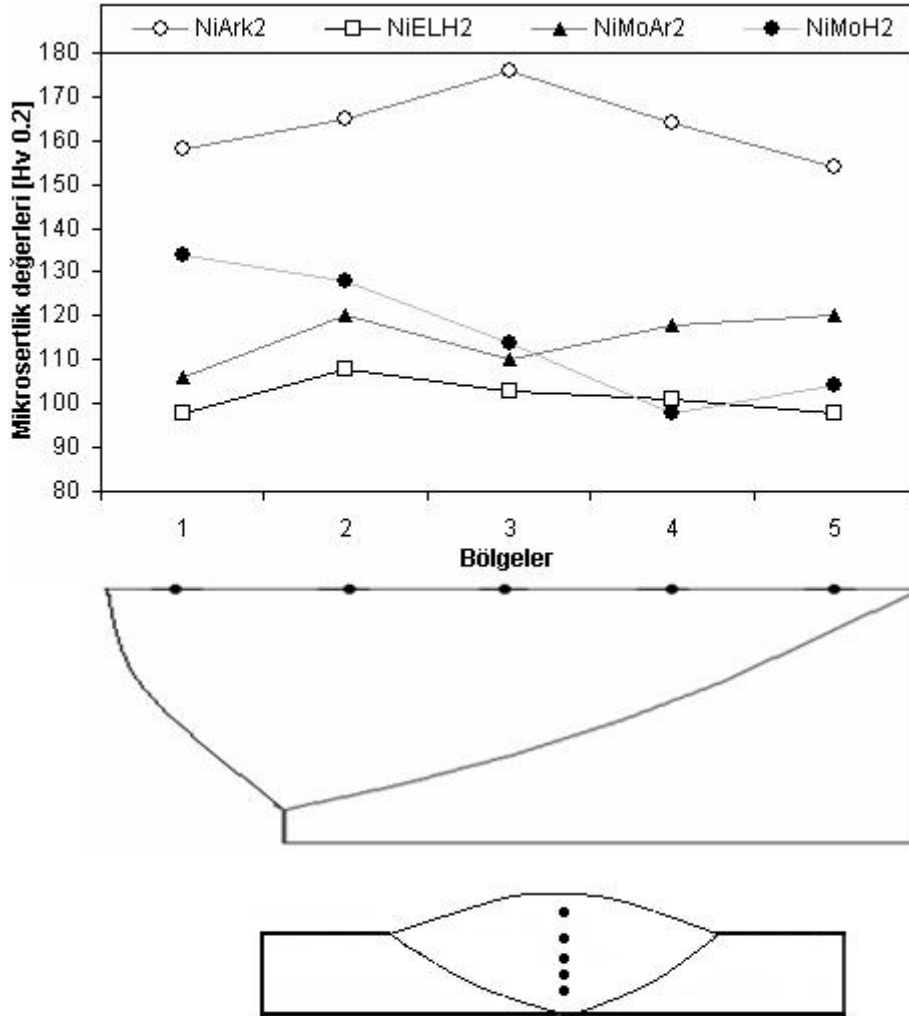
tanelerin oldukça iri olmasına bağlanabilir. Bu kaynaklı birleştirmenin mikroyapısına bakıldığında taneler merkezden itibaren büyük olduğu ve geniş bir ITAB bulunduğu mikroyapı çalışmalarında görülmektedir. TIG kaynak yöntemi ve monel ilave metal kullanılarak yapılan birleştirmelerde kullanılan gaz kompozisyonunun mikrosertlik değerlerinde çok etkili olmamakla beraber argon koruyucu gazı kullanılarak yapılan birleştirmenin kaynak merkezinde çok az miktarda mikrosertlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Her iki malzemede kaynak metali ile geçiş bölgesi arasındaki bölgenin sertliğinin kaynak merkezi sertlik değerlerine göre daha yüksek olduğu ve ITAB'da sertliğin hızla düştüğü görülmektedir. Geçiş bölgesindeki sertliğin yüksek olması kaynak soğuması esnasında kalıntı gerilmelerin oluşmasına bağlanabilir.



Şekil 6.40. Farklı kaynak yöntemi, ilave metal ve koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin mikrosertlik değerlerinin dağılımı.

Kaynak merkezinden aşağıya doğru alınan sertlik sonuçlarında Şekil 6.41'de verilmiştir. Genelde sertlik değerleri kaynak yüzeyinde aşağıya doğru bir miktar artmakta sonra tekrardan düşüğe geçmekte ve daha sonra çok az da olsa artış görülmektedir. Aşağıya doğru alınan bu sertlik değerlerindeki farklılıkların katılma esnasında oluşan bu tanelerin büyüklüğü monel ilave tel kullanıldığında mikrosertlik

alınan noktalardaki katılaşma esnasındaki oluşan farklı dentrit kollarının boyutlarına rast geldiği düşünülmektedir. Ayrıca, kaynak işlemi esnasında bölgesel soğuma farklılıklarının da sertliği etkilediği düşünülmektedir.

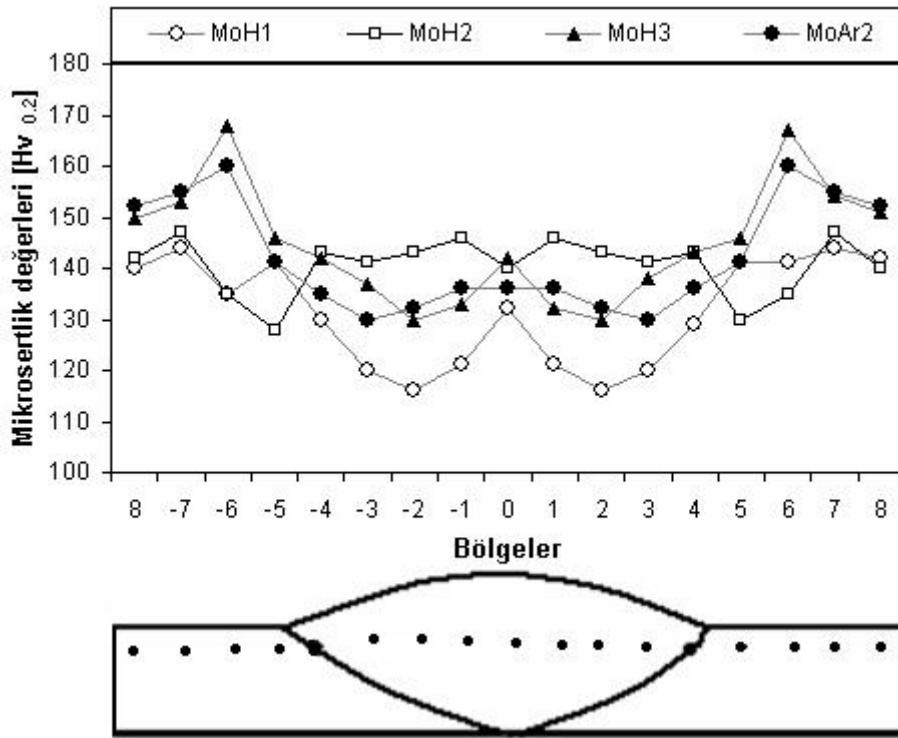


Şekil 6.41. Farklı kaynak yöntemi, ilave metal ve koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen nikel malzemeden dikey olarak alınan sertlik değerleri.

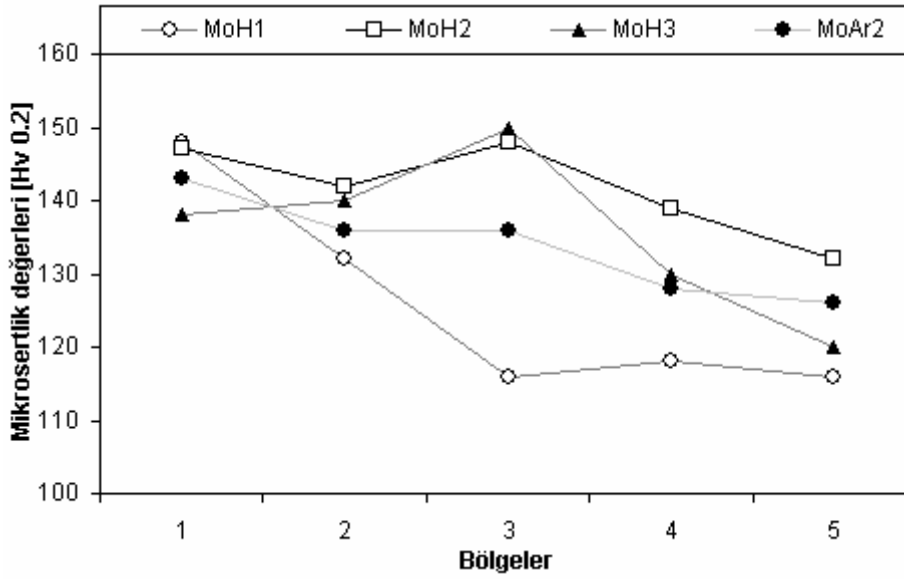
Farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemelerinin mikrosertlik dağılımları Şekil 6.42’de verilmiştir. Kaynak merkezinden aşağıda doğru dikey olarak alınan sertlik değerlerinde Şekil 6.43’de verilmiştir. Genel olarak kaynak metallerindeki sertlik değerleri düşük ITAB ve ana malzemede sertlik değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. ITAB da bazı bölgelerde sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu ve ana metale doğru gidildikçe sertlik değerlerinin düştüğü görülmektedir. Genellikle kaynak metalindeki sertlik değerleri birbirlerine yakındır. Ancak birden fazla pasolu kaynaklarda sertlik

değerlerinin tek pasoya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. ITAB'daki bazı noktalarda sertlik değerlerinin fazla olması kaynak sonrasındaki ısıl işlem ile ITAB daki bazı bölgelerde tanelerin incilmesi veya kalıntı gerilmelerinin oluşmasına bağlanabilir.

Kaynak merkezinden aşağıya doğru sertlik değerlerinde genel eğilim bir düşüş şeklindedir. Genelde en düşük sertlik değerleri yüzeyden aşağıya doğru yapılan ölçümlerde görülmüştür. En düşük sertlik değeri tek pasolu ve hidrojen koruyucu atmosferi altında birleştirilen numunenin sahip olduğu görülmektedir. Sertlik değeri arasındaki farkın kaynak merkezindeki mikroyapı farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.42. Farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin mikrosertlik değerlerinin dağılımı.



Şekil 6.43. Farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin dikey olarak alınan sertlik değerleri.

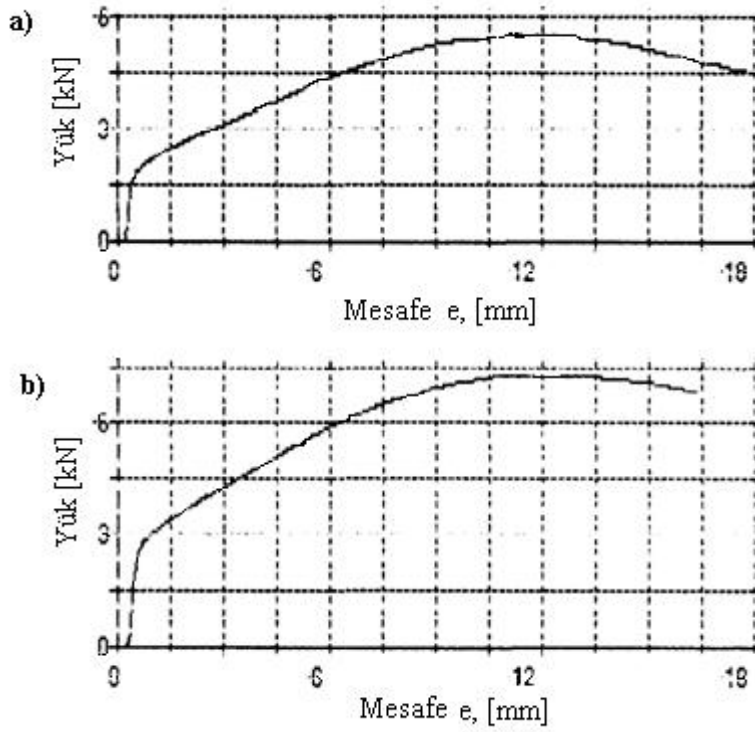
6.4. Eğme Deneyi Sonuçları

Farklı kaynak yöntemi ilave metal koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin eğme deneyinde ulaşılan değerler Tablo 6.3’de verilmiştir. Ulaşılan en yüksek yük monel ilave teli ve $Ar+5\%H_2$ koruyucu gaz altında birleştirilen malzemeye ait olup, 7,97 kN değerine ulaşmaktadır. En düşük değer 5,52 kN değeri ile örtüsü kırılarak soyulmuş nikel döküm elektrotu TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemeye aittir. Bu çalışmadan elde edilen değerlerle uyumlu olup, o bölümdeki değerlere benzer olabileceği düşünülmektedir.

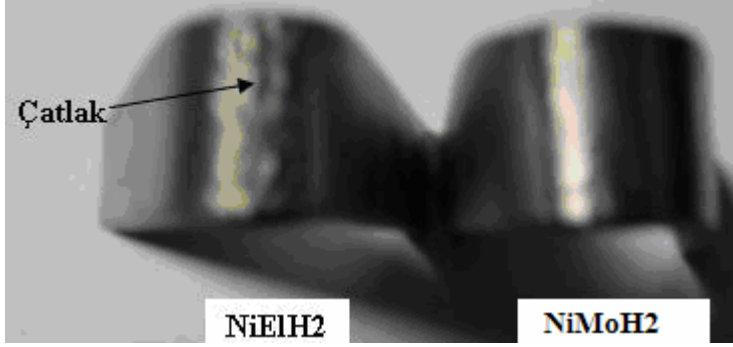
Birleştirilen malzemenin eğme davranışları hakkında genel bir fikir olunması için eğme deneyinde elde edilen yük uzama eğrileri Şekil 6.44’de verilmiştir. Şekil 6.45’de ise örtüsü soyulmuş nikel elektrotla yapılan birleştirme ile monel ilave metal ve $Ar+5\%H_2$ koruyucu gazı kullanarak birleştirilen nikel malzemenin eğme deneyinden sonraki görüntüsü verilmektedir. Örtüsü soyulmuş nikel elektrot ile yapılan birleştirmede kaynak metali boyunca çatlak oluşmakta olup monel ilave metal kullanılarak yapılan birleştirmede eğme deneyi sonunda her hangi bir çatlak görülmemektedir.

Tablo 6.3. Farklı kaynak yöntemi, ilave metal ve koruyucu gazlar kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin eğme deneyi sonrasında ulaşılan maksimum yük.

Malzeme kodu	Eğme deneyi sonrasında ulaşılan maksimum yük (kN)
NiArk2	7,89
NiELH2	5,52
NiMoH2	7,97
NiMoAr2	7,34



Şekil 6.44. a) Çıplak elektrot b) monel ilave metal ve argon+ %5H₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen saf nikel numunenin eğme deneyinde elde edilen yük uzama eğrisi.



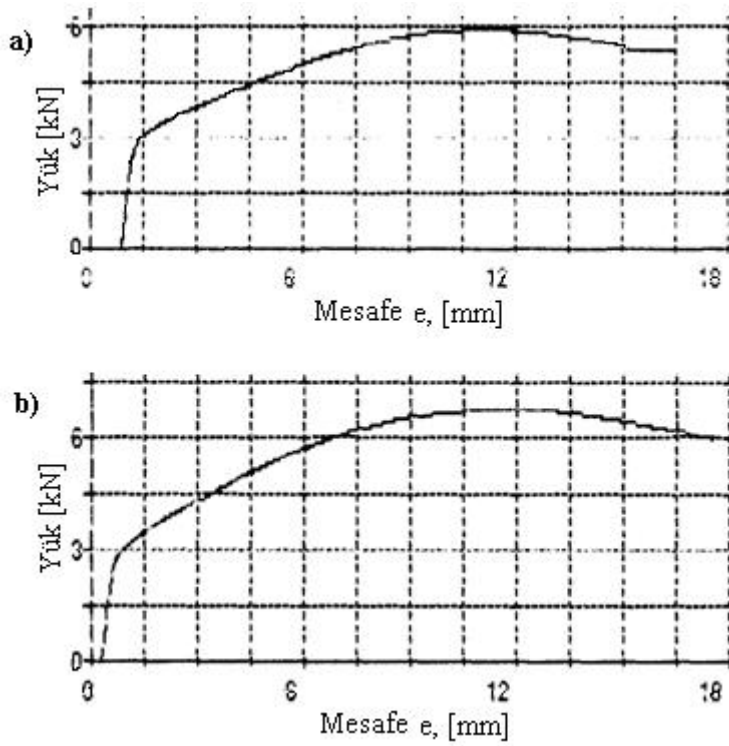
Şekil 6.45. TiG kaynak yöntemi a) örtüsü soyulmuş elektrot ve argon+%5H₂ koruyucu gaz b) monel ilave metal ve argon koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen nikel malzemenin eğme deneyinden sonraki görüntüsü.

Tablo 6.4’de farklı koruyucu gaz ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin eğme deneyi sonrasında ulaşılan maksimum yük değeri verilmektedir. En yüksek değer 6,71 kN ile üç paso ile birleştirilen monel malzeme ile elde edilirken en düşük değer ise 5,92 kN değeri ile bir pasolu ile birleştirilen monel malzemedede elde edilmiştir. Tek ve üç paso ile birleştirilen monel malzemenin eğme deneyinde yük mesafe eğrileri Şekil 6.46’da verilmiştir.

Birleştirilen monel malzeme uygulanan eğme deneyi sonucunda tüm parçalarda herhangi bir çatlığa, boşluğa veya her hangi bir kaynak hatasına rastlanmamıştır. Bu da tüm parçalarda kaliteli iyi birleştirmeler gerçekleştirildiğini göstermekte olup, kaynaklı birleştirilen iki monel malzemenin eğme deneyi sonrasındaki görüntüleri Şekil 6.47’de verilmiştir. Eğme deneyi sonrasında elde edilen maksimum yük değerleri çekme deneyinde elde edilen değerlerle uyumlu olup nedenleri benzer şekilde açıklanabileceği düşünülmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi seçilen ilave metali koruyucu gaz ve kaynak yöntemi ile tüm malzemenin birleştirilmesi için uygun olduğu ısı girdisi dolayısıyla paso sayısının malzemelerinin mekanik özelliklerinde çok az etkili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6.4. Farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen monel malzemenin eğme deneyi sonrasında ulaşılan maksimum yük.

Malzeme kodu	Eğme deneyinde ulaşılan maksimum yük (kN)
MoH1	5,92
MoH2	6,63
MoH3	6,71
MoAr2	6,58



Şekil 6.47. a) Tek paso b) üç paso ile TIG kaynak yöntemi ve argon+%5 H₂ koruyucu gaz kullanılarak birleştirilen monel malzemenin eğme deneyinden sonraki görüntüsü.

6.5. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

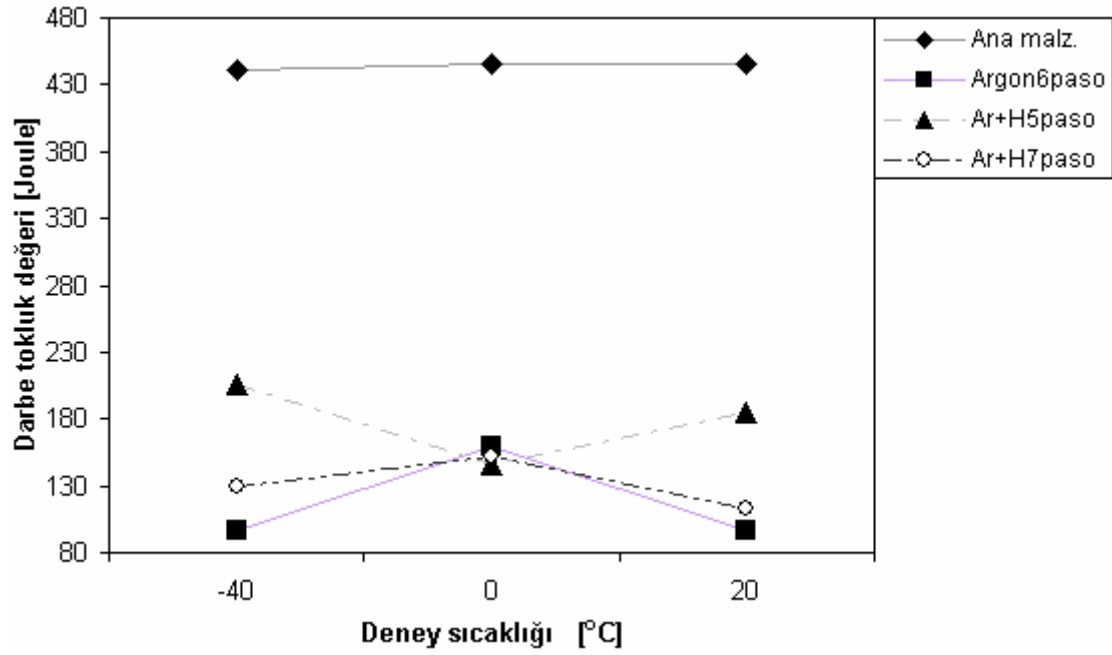
Çentik darbe tokluk deneyleri için 12 mm kalınlığa sahip monel malzeme ER NiCu7 ilave metal kullanılarak birleştirilen monel malzemenin kaynatıldıktan sonraki görüntüsü Şekil 6.48’de görülmektedir. Birleştirilen monel parçalar standartta belirtilen ölçülere getirildikten sonra standartlarda belirtildiği gibi çentik açılarak darbe deneyi uygulanmıştır. Darbe deneyi kaynak edilmeyen monel malzemelerde uygulanmış olup, elde edilen çentik darbe sonuçları Şekil 6.49’da verilmiştir ve kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelere uygulanan çentik darbe deneyi parçaların görüntüleri Şekil 6.50’de verilmiştir. Şekil 6.49’da farklı koruyucu gaz ve paso sayısı kullanılarak birleştirilen monel malzemelerde çentik darbe değerlerinde sıcaklıklar arasında çok fazla bir fark bulunmamaktadır. Ancak -40 ve $+20^{\circ}\text{C}$ de yapılan deneylerde en yüksek darbe tokluk deneyleri Ar+%5H₂ koruyucu gaz atmosferinde ve 5 paso ile yapılan kaynaklı numunelere aittir. En düşük çentik darbe tokluk değerlerinde argon koruyucu gazı altında 6 pasoda birleştirilen numunelerin sahip olduğu görülmektedir. Belirtilen sıcaklıklarda elde edilen değerler arasındaki farkın fazla olmaması monel malzemenin ostenitik mikroyapı ve yüzey merkezli kübik yapıya sahip olduğundan çentik darbe değerleri sıcaklığa bağlı olarak değiştirmemektedir [43, 44]. Bu nedenle grafikte hem ana malzemenin hem de kaynaklı malzemelerin çentik darbe tokluk değerleri düz bir çizgi gibi görülmektedir. Bu durumda bu malzemelerin kroyojenik olarak ifade edilen çok düşük sıcaklıklarda da kullanılabileceğini göstermektedir.

Darbe tokluk değerlerine bakıldığında ana malzeme oda sıcaklığında 444 joule tokluk değerlerine sahip olurken kaynaklı birleştirmelerden en yüksek tokluk değerlerine sahip olan Ar+%5 H₂ atmosferinde 5 paso ile birleştirilen numunenin sahip olduğu ve ana malzemenin sahip olduğu değerden yaklaşık olarak %40 daha düşüktür. Bu durumda TIG kaynak yöntemi ile monel malzemenin başarıyla birleştirilmesine rağmen kaynak metalinin ve kaynak sonrasında ITAB’da ısıl çevrim sonucunda tane yapılarının ana malzemedeki farklı olması ve sürekliliği bozulmasından kaynaklanmaktadır.

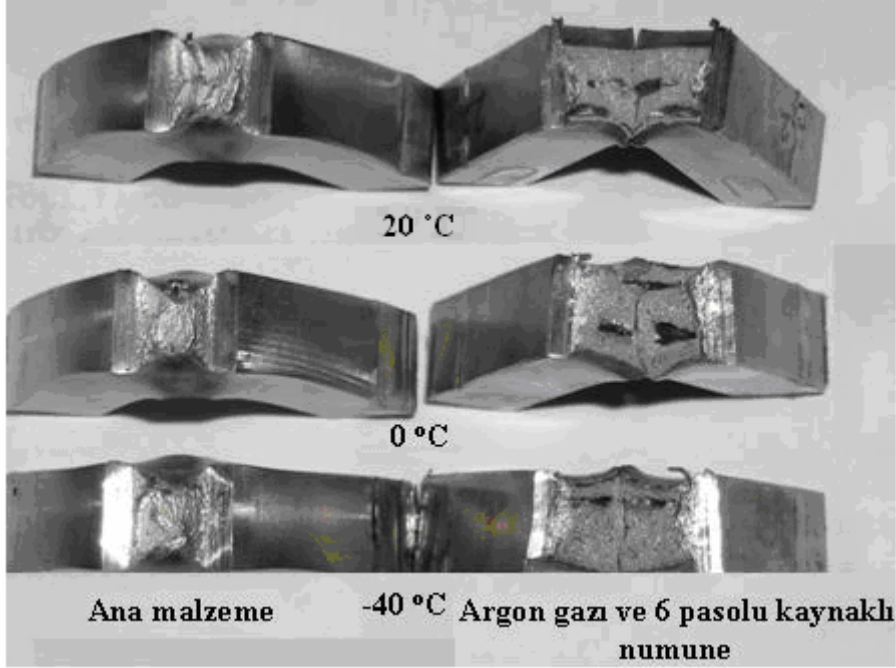
Çentik darbe deneyi uygulanan malzemelerde kaynak edilen malzeme deney sonrası tamamen kırılırken ana malzeme daha sünek bir davranış göstererek çok az bir kırılma göstermiştir (Şekil 6.50).



Şekil 6.48. Monel malzeme farklı koruyucu gazlar ve paso sayıları kullanılarak birleştirilen 12 mm kalınlığındaki monel malzemenin kaynatıldıktan sonraki görüntüsü.

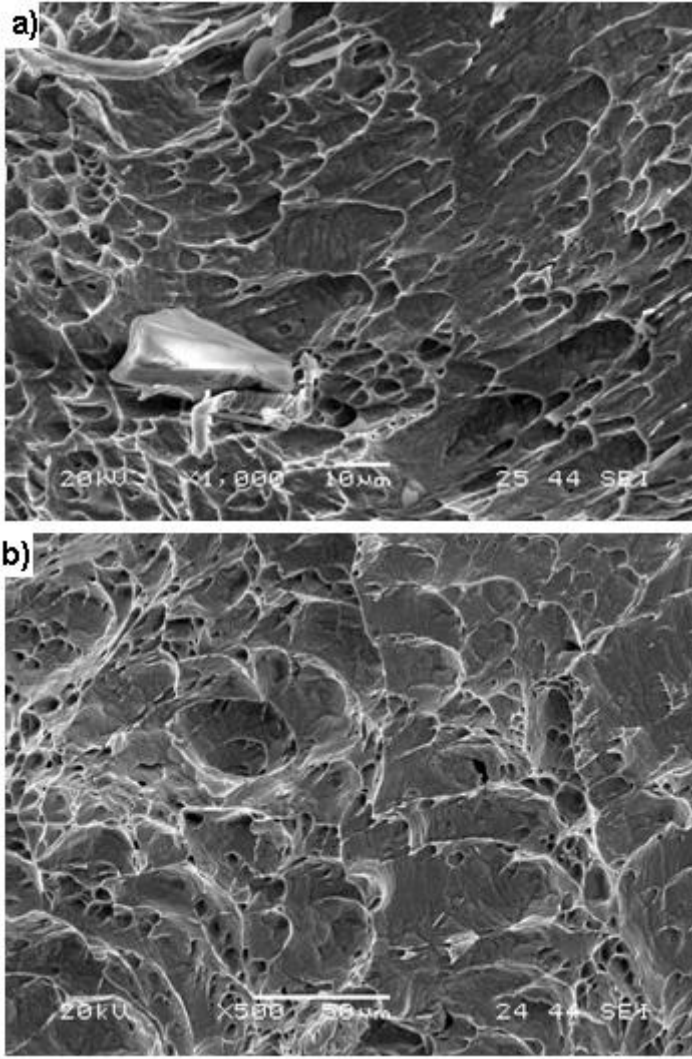


Şekil 6.49. Farklı koruyucu gaz ve paso sayısı kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen monel malzemelere uygulanan çentik darbe deney sonuçlarının grafiksel gösterimi.

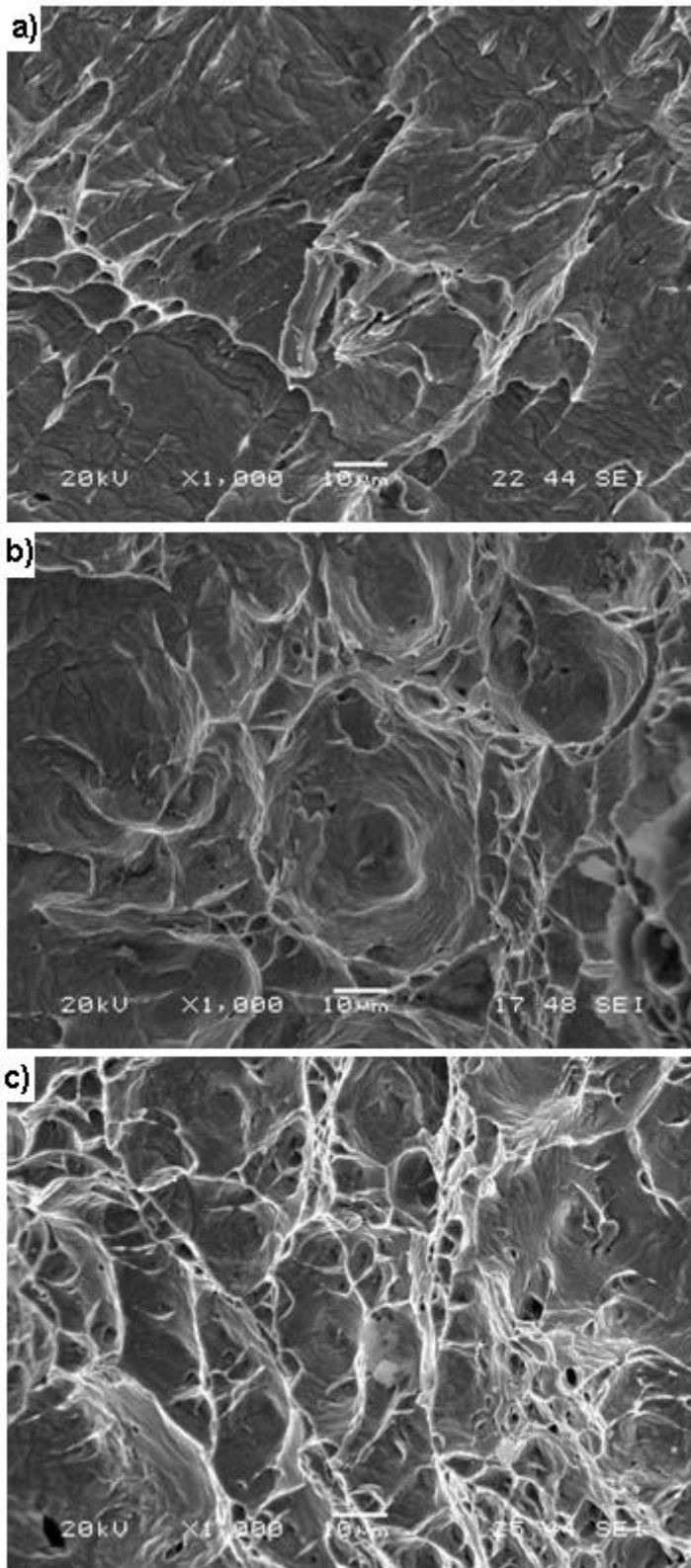


Şekil 6.50. Monel ana malzeme ve kaynak edilen malzemeye uygulanan çentik darbe deneyi sonrası numune resimleri.

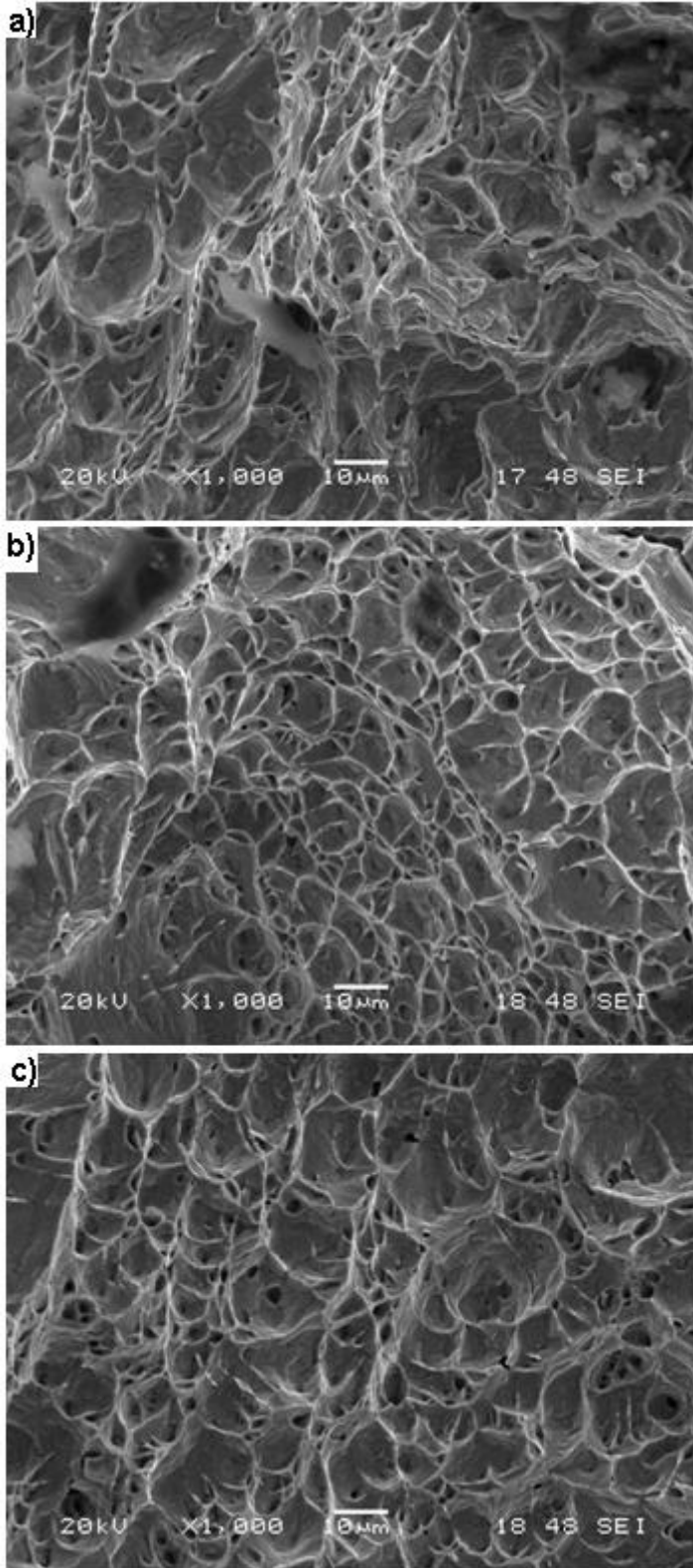
Şekil 6.51–6.53 çeşitli sıcaklıklar uygulanan çentik darbe deneyi sonrasında kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri verilmektedir. Görüntüler arasında çok fazla fark olmayıp, genellikle delikli kırılma şeklinde gerçekleşmekte ve bir ağ yapısı görülmektedir. Özellikle delikli kırılma ve ağ yapısı oda sıcaklığında gerçekleştirilen çentik darbe deneyi numunelerinde daha uygun olarak görülmektedir. Bu görüntüleri daha önceki yapılan kaynaklı birleştirilmiş paslanmaz çelik numunelerin kırılma yüzey morfolojilerine benzemektedir [9, 41, 42].



Şekil 6.51. Argon+%5H₂ koruyucu gaz ve 5 paso ile birleştirilen malzemenin a) 0°C b) 20°C sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 6.52. Argon koruyucu gaz kullanılarak ve 6 paso ile birleştirilen malzemenin a) -40°C b) 0°C c) 20°C sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde elden kırılma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 6.53. Argon+%5H₂ koruyucu gaz kullanılarak ve 7 paso ile birleştirilen malzemenin a) -40°C b) 0°C c) 20°C sıcaklıklarda yapılan çentik darbe deneyi sonrası elde edilen kırılma yüzeyi görüntüsü.

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada saf nikel malzeme elektrik ark ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. TIG kaynak yöntemi kullanarak saf nikel malzemelerin birleştirilmesinde farklı ilave metalleri ve koruyucu gaz kompozisyonları kullanılmıştır. Birleştirilen malzemelerin mikroyapı karakterizasyonu optik mikroskopta aydınlık alan ve karanlık alan incelemeleri olarak, SEM mikroskobunda noktasal EDS ve çizgisel analiz çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca birleştirilen parçalar çekme, eğme, çentik darbe deneyi ile mikrosertlik ölçümleri uygulanarak mekanik özelliklerde belirlenmiştir. Gerçekleşen bu deneysel çalışmada aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Saf nikel plakalar ark kaynak yöntemi ile nikel döküm elektrotu kullanılarak başarılı bir şekilde birleştirilmiş, birleştirmenin optik mikroskopta gerçekleştirilen mikroyapı görüntülerinde kaynak metalinin merkezinde eriyen malzemenin katılaşması sonucu oluşan tanelerin daha iri olduğu ve ITAB da merkeze yakın bölgelerdeki iri tanelerin merkezde uzaklaştıkça küçüldüğü görülmüştür. Çekme deneyi sonrasında elde edilen % uzama miktarı ise 15 civarındadır.
- Saf nikel parçaların TIG kaynağı ile yapılan birleştirmelerde en yüksek çekme dayanımı değeri 398 MPa ile Ar+%5H₂ koruyucu gaz atmosfer altında monel ilave teli kullanılarak gerçekleştirilen birleştirmelerde elde edilmiştir. En yüksek % uzama miktarı %30 ile bu malzemede elde edilmiştir. En kötü çekme dayanımı değeri 303 MPa ile Ar+%5H₂ koruyucu gaz atmosferi altında örtüsü kırılarak soyulmuş nikel döküm elektrotu kullanılarak yapılan birleştirmelerde görülmüştür.

- Birleştirilen saf nikel parçaların kaynak metalinde ve ITAB'da bir dizi mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Kaynak metal ve ITAB'da en yüksek sertlik değerleri elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerden elde edilmiştir. En düşük sertlik değeri ise örtüsü kırılarak soyulmuş döküm elektrot çubuğu kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir.
- SEM mikroskobunda yapılan noktasal EDS ve çizgisel analizlerde kaynak metalinin ve ITAB bölgesinin ve kaynak metal ve ITAB bölgesi arasındaki geçiş bölgesinde de farklı mikroyapının oluştuğu, böylece kaynak ilave metal ve gaz kompozisyonunun mikroyapı üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir.
- Monel malzemelerin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde en yüksek çekme dayanımı değeri Ar+%5H₂ koruyucu gazı altında 3 paso kullanılarak yapılan birleştirmelerde elde edilmiştir. En yüksek % uzama ise %29 ile argon gazı kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. Ancak elde edilen değerler arasındaki farklılıkların çok olmadığı gözlenmiştir.
- Birleştirilen monel parçaların kaynak metal ve ITAB'dan alınan bir dizi mikrosertlik ölçümlerinde sertlik değeri arasındaki farkın çok olmadığı görülmektedir.
- SEM/EDS ve çizgisel analizlerde kaynak metal ve ITAB arasında farklılıkların olduğu bu farklılıkların ilave metal ve ana metalin sahip olduğu kimyasal bileşim farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Çentik darbe deneylerinde paso sayısının ve koruyucu gaz kompozisyonunun elde edilen değerler üzerinde çok etkili olmadığı görülmekte olup, oda sıcaklığında yapılan deneylerde en yüksek değer Ar+%5H₂ koruyucu gaz ve 5 paso ile birleştirilen parçaların sahip olduğu görülmüştür. En kötü çentik darbe değeri ise argon koruyucu gaz ortamında 6 paso ile birleştirilen parçaların sahip olduğu görülmüştür.

— Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen çentik darbe deneyinde elde edilen değerlerin arasındaki farkın az olduğu görülmüştür. Bunun malzemenin sahip olduğu YMK yapısının etkili olduğu düşünülmektedir. Elde edilen değerler monel ana malzemenin sahip olduğu değerlerden oldukça düşüktür. Bu durum kaynak edilen malzemelerde mikroyapıdaki süreksizlik elde edilen çentik darbe tokluk değerlerini düşürmesine neden olduğu düşünülmektedir.

7.2. Öneriler

Gelecekte aynı konularda benzer çalışmalar yapacak araştırmacılara aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

- Aynı malzemeler farklı kompozisyona sahip, koruyucu gaz (Argon+helyum, Argon+hidrojen) ortamlarında birleştirilerek bu gaz kompozisyonlarının birleştirmelerinin mekanik özellikler ve mikroyapı üzerindeki etkisi araştırılabilir.
- Çalışmada farklı ilave metalleri kullanılarak ilave metal kompozisyonlarının birleştirmelerinin mekanik özellikleri ve mikroyapı üzerine etkisi araştırılabilir. Birleştirilen bu malzemelere yorulma deneyleri de uygulanabilir.
- Diğer nikel alaşımları olan inconel, watalloy, hastalloy gibi nikel alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile birleştirilerek ilave metal ve gaz kompozisyonlarının mekanik özellikler ve mikroyapı üzerine etkisi araştırılabilir.
- Çalışmada kullanılan malzemelere korozyon çalışmaları yapılarak uygulanan kaynak parametrelerinin korozyon direncine etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] SMITH W.F., “Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri”,”Demir Dışı Alaşımalar”, Cilt 2., Çeviri: Erdoğan, M., Ankara, 2000.
- [2] “Monel Alloy 400”, <http://www.specialmetals.com/documents/Monel%20alloy%20400.pdf>, Aralık 2007.
- [3] “Monel Nickel-Copper Alloys”, Aralık 2007.
- [4] “Welding of Nickel Alloys”, <http://www.key-to-metals.com/Article38.htm>, Aralık 2007.
- [5] TÜLBENTÇİ, K., MIG-MAG Eriyen Elektrot İle Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding-İstanbul, 1990.
- [6] İnternet Sitesi- “Nikel Alaşımalarının Kaynağı”, http://www.kaynaknet.com/index/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=46, Aralık 2007.
- [7] “Joining”, <http://www.specialmetalswelding.com/publica/joining.pdf>, Aralık 2007.
- [8] DURGUTLU, A., “Experimental Investigation of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas on TIG Welding of Austenitic Stainless Steel”, Materials and Design, 25, 19–23, 2004.
- [9] TÜRKYILMAZOĞLU, A. ; “Dubleks, Martenzitik ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2006.
- [10] TUSEK, J., SUBAN, M., “Experimental Research of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas in Arc Welding of High-Alloy Stainless Steel”, International Journal of Hydrogen Energy, 25, 4, 369–376, 2000.
- [11] LOWKE, J.J., RICHARD, M. JAWARD, H, ANTHONY, M.B., “Prediction of Gas Tungsten Arc Welding Properties in Mixtures of Argon and Hydrogen”, IEEE Trans Plasma Sci., 25 (5), 925- 930, 1997.
- [12] ASM Metals Handbook vol. 7, 8th edition American Society for Metal, Metals Park, Ohio, 1972.

- [13] “Nikel, Monel 400, inconel 600, hastelloy”, <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatID=17393&ckck=1>, Aralık 2007.
- [14] OĞUZ, B. “Demir Dışı Metallerin Kaynağı”, Oerlikon yayınları, İstanbul, 1990.
- [15] MATHEW. V.D. Vr, “Super Alloys”, American Society for Metals, 1984.
- [16] EZUGWU, E.D., BOMEY. V., AND YAMENE, Y., “An Overview of the Machinability of Aeroengine Alloys”, Journal of Materials Processing Technology, 134, 233-253, 2003.
- [17] ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., “Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı”, Gedik Holding Yayını, İstanbul 1991.
- [18] İnternet Sitesi- ERTÜRK, İ., “Gazaltı Kaynak yöntemleri”, http://www.nuris.com.tr/belgeler/gazalti_kaynak_yontemleri.pdf, Aralık 2007.
- [19] ŞİRİN, K., “Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Spiral Boru Üretiminde Kaynak Dikiş Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Nisan 2004.
- [20] ATEŞ, H., “MIG-MAG Kaynağında Kullanılan Argon Gazına O₂ ve CO₂ İlavesinin Kaynak Metali Tokluğu ve Mikroyapısına Etkisi”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kasım 1996.
- [21] GÜLENC, B., “MIG-MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Karışımının Kaynak Metalinin Mekanik Özelliklerine Etkisi”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Mayıs 1995.
- [22] EŞME, U., “Effect of Pool Geometry on the Quality of TIG Welded Joints”, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Temmuz 2006.
- [23] LINNERT, G.E. “Welding Metallurgy-Carbon and Alloy Steels”, Fourth Edition, vol. 1, Chapter 7, U.S.A., 1994.
- [24] ASM Metals Handbook, 9th Edition Welding Brazing and Soldering American Society for Metal, 1998.
- [25] İSTAŞ, O., “AT Koruyucu Gaz Standartları”, Mühendis ve Makine Dergisi, Kaynak Özel Sayısı, 23–25.
- [26] LOTHONGKUM, G., VIYANIT, E., BHANDHUBANYONG, P., “Study on The Effects Pulsed TIG Welding Parameters on Delta-Ferrite Content, Shape Factor and Bead Quality in Orbital Welding of AISI 316L Stainless Steel Plate”, Journal of Materials Processing Technology, 233-238, 2001.

- [27] ÖZDEN, N., “Kaynağın Isıl İşlemi”, Aliğa, İZMİR, Nurettin Uycan Cilt ve Basım Sanayi A.Ş. İstanbul, 1985.
- [28] MURUGAN, S., KUMAR, P.V., “Temperature Distribution During Multipass Welding of Plates”, Int. Journal of Pressure Vessels and Piping, 75, 891-905, 1998.
- [29] HAZE, T., AIHARA, S., “Influence of Toughness and Size of Local Brittle Zones on HAZ Toughness of HSLA Steels”, 7th Int. Conference on Offshore Mechanics and Engineering, Houston, 1988.
- [30] HARRISON, P.L., HARTP, H.M., “Relationship Between HAZ Microstructure and CTOD Transition Behavior in Multipass C-Mn Steel Welds”, Recent Trends in Welding Science and Technology, ASM International, 1990.
- [31] EASTERLING, K., “Introduction to the Physical Metallurgy of Welding”, Second Edition, Butter Worth-Heinemann Oxford, 1992.
- [32] YILMAZ R., BARLAS Z., “Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi. Cilt 1, 3, 391–400, 2005.
- [33] SUBAN, M., TUSEK, J., “Dependence of Melting Rate in MIG-MAG Welding on the Type of Shielding Gas Used”, Journal of Materials Processing Technology, 119,185-192, 2001.
- [34] LIAO, M.T., “The Effect of Shielding-Gas Compositions on The Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Weldments”, Materials Chemistry and Physics, 55, 145-151, 1997.
- [35] GÜRCAN, M., “TIG Kaynağı”, SEGEM (Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü, Ankara, 1987.
- [36] ANIK, S., “Kaynak Tekniği” Cilt-2, İTÜ, İstanbul, 1982.
- [37] ANIK, S., VURAL, M., “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi”, Cilt-2 Birsen Yayınları, İstanbul, 1993.
- [38] Ürün Belgesi, “TM.E. SPA-TERMOMEKANICA ECO”, 2000.
- [39] BÖHLER Gedik Kaynak Teknolojisi, ürün katalogu Saf Nikel Döküm Elektrotu, 2005.
- [40] Ürün Belgesi, “NOVA METAL”, 2005.

- [41] ABUÇ, S., “Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi İle Kaynağında Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2006.
- [42] GÖKMEN, M., YILMAZ, R. “AISI 316Ti Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesinde Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi”, 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, 5–11, 19-21 Nisan, Denizli 2006.
- [43] DIETER, G. E., “Mechanical Metallurgy”, McGraw-Hill, London, 1988.
- [44] KAYALI, E.S., ENSARİ, C., DİKEÇ, F., “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri”, III. Baskı, İ.T.Ü., İstanbul, 1996.

ÖZGEÇMİŞ

06.08.1981 tarihinde Erzurum'da doğdu. İlköğretim ve lise öğrenimini Bursa, Mustafa Kemal Paşa ilçesinde tamamladı. 1998 yılında Mustafa Kemal Paşa Teknik ve Endüstri Meslek Lisesini bitirdi. 2000–2004 yılları arasında Sakarya Üniversitesi teknik eğitim Fakültesinde Yüksek öğrenimini tamamladıktan sonra. 2005 yılında Kardeşler Makina A.Ş.'de çalışmaya başlayıp imalat müdürü olarak görev yapmaktadır, 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.