

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT BİLİM DALI**

**ÇELİK MALZEMELERDE KAYNAK YÖNTEMLERİNİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİN GÜVENİLİRLİĞİNE ETKİSİ**

Emre İREN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Can ÇİVİ**



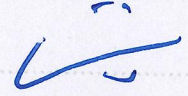
MANİSA-2019

TEZ ONAYI

Emre İREN tarafından hazırlanan "**ÇELİK MALZEMELERDE KAYNAK YÖNTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİN GÜVENİLİRLİĞİNE ETKİSİ**" adlı tez çalışması 20/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Can ÇİVİ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Simge İRİZALP
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Metin YURDDAŞKAL
Dokuz Eylül Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Konstrüksiyon ve İmalat Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Emre İREN



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	VIII
TEŞEKKÜR.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Kaynak ve Kaynak Kabiliyeti.....	5
2.1.1. Ergiyen Bölge	7
2.1.2 . ITAB (Isının Tesiri Altındaki Bölge)	7
2.2 Çelik Çeşitleri	8
2.2.1 Kullanım Alanına Göre Çelikler	8
2.2.2. Alaşım Durumlarına Göre Çelikler.....	8
2.2.3. Mikro Yapı ve Metalografik Yapılarına Göre Çelikler	9
2.2.4. Kalite Durumlarına Göre Çelikler	11
2.2.5. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Göre Çelikler	11
2.2.6. Sertleştirme Ortamlarına Göre Çelikler	11
2.3. Alaşım Elementlerinin Çelik Özelliklerine Etkisi	11
2.3.1 Karbon (C)	12
2.3.2 Mangan (Mn)	12
2.3.3. Silisyum (Si)	12
2.3.4. Fosfor (P) ve Kükürt (S)	12
2.3.5. Krom (Cr) ve Nikel (Ni)	13
2.3.6. Molibden (Mo).....	13
2.3.7. Kobalt (Co) ve Tungsten (W)	13
2.3.8. Vanadyum (V)	13
2.3.9. Titanyum (Ti).....	14
2.3.10. Niyobyum (Nb).....	14
2.3.11. Alüminyum (Al).....	14
2.3.12. Kalay (Sn), Kurşun (Pb) ve Bakır (Cu)	14
2.3.13. Azot (N) ve Hidrojen (H).....	14
2.4.Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	15
2.5. Kaynak Yöntemleri.....	17
2.5.1 Gaz Kaynağı.....	17

2.5.2 Elektrik Ark Kaynağı.....	18
2.5.3 Gazaltı Ark Kaynağı	18
2.5.4. Tozaltı Kaynağı.....	21
2.5.5. Direnç Kaynağı	21
2.6. Test Yöntemleri	22
2.6.1. Çekme Testi	22
2.6.2 Çentik Darbe Testi	25
2.6.3. Sertlik Testi.....	26
2.6.4. Metalografi Deneyi	27
2.6.5. Spektral Analiz.....	34
2.7 Güvenilirlik.....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	37
3.1. Materyal.....	37
3.2. Yöntem	46
3.2.1 Kesme ve Kaynak İşlemleri	46
3.2.2 Normalizasyon	47
3.2.3 Metalografik İnceleme İçin Numune Hazırlama	48
3.2.4 Deney ve İncelemeler	48
3.2.5 Güvenilirlik İncelemeleri	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	51
4.1. Çekme Deneyi Sonuçları	51
4.2. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları	58
4.3. Çentik Darbe Testi Sonuçları	67
4.4. Numunelerin Stereo Mikroskop İnceleme Sonuçları	69
4.5. Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları	72
4.6. Güvenilirlik İncelemeleri.....	79
4.6.1 Çekme Testi Güvenilirlik İncelemeleri.....	79
4.6.2. Sertlik Ölçümleri Güvenilirlik İncelemeleri	82
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

TIG	Tungsten inert gaz kaynağı
MIG	Metal inert gaz kaynağı
MAG	Metal aktif gaz kaynağı
MAGM	Metal karışım gaz kaynağı
MAGC	Karbondioksit koruyucu metal aktif gaz kaynağı
Al₂O₃	Alümina
Cr₂O₃	Krom oksit
MgO	Magnezyum oksit



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Alın birleştirmede segregasyon bölgesi [8]	7
Şekil 2. 2. Asetilen-oksijen alevi [29].....	18
Şekil 2. 3. Elektrik Ark kaynağının prensip şeması [29]	18
Şekil 2. 4. TIG Kaynağının prensibi [29].....	19
Şekil 2. 5. Plazma kaynağının prensibi [29]	20
Şekil 2. 6. MIG\MAG Kaynağının şematik görünümü [29]	21
Şekil 2. 7. Tek telli tozaltı kaynağının prensibi [3].....	21
Şekil 2. 8. Çekme deneyinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri [30].	23
Şekil 2. 9. Elastisite modülünün tespiti [9].	24
Şekil 2. 10. Çekme diyagramında akma dayanımının gösterimi [30].....	24
Şekil 2. 11. Çekme diyagramında çekme noktasının gösterimi [30].	24
Şekil 2. 12. Gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme enerjilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi [30].....	25
Şekil 2. 13. Çentik darbe testi [33].....	26
Şekil 2. 14. Desikatör [35]	29
Şekil 2. 15. Metalurji Mikroskobu çalışma prensibi [35]	34
Şekil 3. 1. MIG/MAG Kaynak cihazı	42
Şekil 3. 2. TIG Kaynak cihazı.....	43
Şekil 3. 3. Numune zımparalama ve parlatma cihazı.....	44
Şekil 3. 4. Çentik darbe deneyi cihazı.....	45
Şekil 3. 5. Charpy darbe deney numunesi şematik gösterimi	45
Şekil 3. 6. Autograph Shimadzu AG-IS 100 kN çekme test cihazı	46
Şekil 3. 7. Çekme deney numune ölçüsü	47
Şekil 3. 8. Çentik darbe deneyi numune ölçüsü	47
Şekil 3. 9. Numunelerin normalizasyon uygulandığı fırın.....	48
Şekil 3. 10. 50CrV4 çeliği çekme deneyi uygulaması öncesi	49
Şekil 3. 11. V çentik açılan numuneler	49
Şekil 4.1.. C22 Çeliği kaynaklı numunenin gerilme – uzama grafiği.....	51
Şekil 4.2. 50CrV4 Çeliği Ark kaynaklı numunenin gerilme – uzama grafiği	52

Şekil 4.3. 50CrV4 Çeliği TIG kaynaklı numunenin gerilme – uzama grafiği	53
Şekil 4.4. 50CrV4 Çeliği çekme deneyi sonrası	54
Şekil 4.5. 50CrMo4 Ortalama çekme dayanımı ve standart sapma dağılımı.	55
Şekil 4.6. C22 Ortalama çekme dayanımı ve standart sapma dağılımı.....	55
Şekil 4.7. 50CrV4 Ortalama çekme dayanımı ve standart sapma dağılımı ...	56
Şekil 4.8. 50CrMo4 Ortalama akma dayanımı ve standart dağılımı.....	57
Şekil 4.9. C22 Ortalama akma dayanımı ve standart dağılımı.....	57
Şekil 4.10. 50CrV4 Ortalama akma dayanımı ve standart dağılımı	58
Şekil 4.11. 50CrMo4 Çeliği mikrosertlik dağılımı	59
Şekil 4.12. 50CrMo4 Çeliği kaynaklı mikrosertlik dağılımı	60
Şekil 4.13. 50CrMo4 Çeliği TIG kaynağı mikrosertlik dağılımı	60
Şekil 4.14. 50CrMo4 Çeliği MIG kaynağı mikrosertlik dağılımı.....	61
Şekil 4.15. 50CrMo4 Çeliği Ark kaynağı mikrosertlik dağılımı	61
Şekil 4.16. C22 Çeliği mikrosertlik dağılımı	62
Şekil 4.17. C22 Çeliği kaynaklı mikrosertlik dağılımı	62
Şekil 4.18. C22 Çeliği TIG kaynağı mikrosertlik dağılımı.....	63
Şekil 4.19. C22 Çeliği MIG kaynağı mikrosertlik dağılımı.....	63
Şekil 4.20. C22 Çeliği Ark kaynağı mikrosertlik dağılımı	64
Şekil 4.21. 50CrV4 Çeliği mikrosertlik dağılımı	64
Şekil 4.22. 50CrV4 Çeliği kaynaklı mikrosertlik dağılımı	65
Şekil 4.23. 50CrV4 Çeliği TIG kaynağı mikrosertlik dağılımı.....	65
Şekil 4.24. 50CrV4 Çeliği MIG kaynağı mikrosertlik dağılımı	66
Şekil 4.25. 50CrV4 Çeliği Ark kaynağı mikrosertlik dağılımı	66
Şekil 4.26. 50CrMo4 Çeliği çentik darbe testi değerleri.....	67
Şekil 4.27. C22 Çeliği çentik darbe testi değerleri	68
Şekil 4.28. 50CrV4 Çeliği çentik darbe testi sonuçları.....	68
Şekil 4.29. 50CrMo4 Çeliği TIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü	69
Şekil 4.30. 50CrMo4 Çeliği MIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü	69
Şekil 4.31. 50CrMo4 Çeliği Ark kaynağı stereo mikroskop görüntüsü.....	70
Şekil 4.32. C22 Çeliği TIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü	70
Şekil 4.33. C22 Çeliği MIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü	70
Şekil 4.34. C22 Çeliği Ark kaynağı stereo mikroskop görüntüsü	71
Şekil 4.35. 50CrV4 Çeliği TIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü.....	71
Şekil 4.36. 50CrV4 Çeliği MIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü.....	71

Şekil 4.37. 50CrV4 Çeliği Ark kaynağı stereo mikroskop görüntüsü	72
Şekil 4.38. 50CrMo4 Çeliği ana metal mikroyapı görüntüsü	72
Şekil 4.39. 50CrMo4 Çeliği TIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü	72
Şekil 4.40. 50CrMo4 Çeliği TIG kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü	73
Şekil 4.41. 50CrMo4 Çeliği MIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü	73
Şekil 4.42. 50CrMo4 Çeliği MIG kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü	73
Şekil 4.43. 50CrMo4 Çeliği Ark kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü	74
Şekil 4.44. 50CrMo4 Çeliği Ark kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü	74
Şekil 4.45. C22 Çeliği ana metal mikroyapı görüntüsü	74
Şekil 4.46. C22 Çeliği TIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü	75
Şekil 4.47. C22 Çeliği TIG kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü	75
Şekil 4.48. C22 Çeliği MIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü	75
Şekil 4.49. C22 Çeliği MIG kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü	76
Şekil 4.50. C22 Çeliği Ark kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü	76
Şekil 4.51. C22 Çeliği Ark kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü	76
Şekil 4.52. 50CrV4 Çeliği ana metal mikroyapı görüntüsü	77
Şekil 4.53. 50CrV4 Çeliği TIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü	77
Şekil 4.54. 50CrV4 Çeliği TIG kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü	77
Şekil 4.55. 50CrV4 Çeliği MIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü	78
Şekil 4.56. 50CrV4 Çeliği MIG kaynağı itab mikroyapı görüntüsü	78
Şekil 4.57. 50CrV4 Çeliği Ark kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü	78
Şekil 4.58. 50CrV4 Çeliği Ark kaynağı itab mikroyapı görüntüsü	79
Şekil 4.59. 50CrMo4 Çeliği çekme dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi	80
Şekil 4.60. C22 Çeliği çekme dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi	80
Şekil 4.61. 50CrV4 Çeliği çekme dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi	81

Şekil 4.62. 50CrMo4 Çeliği akma dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi	81
Şekil 4.63. C22 Çeliği akma dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi..	82
Şekil 4.64. 50CrV4 çeliği akma dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi	82
Şekil 4.65. 50CrMo4 çeliği mikrosertlik normal ve kümülatif dağılım eğrisi	83
Şekil 4.66. C22 Çeliği mikrosertlik normal ve kümülatif dağılım eğrisi.....	83
Şekil 4.67. 50CrV4 Çeliği mikrosertlik normal ve kümülatif dağılım eğrisi	84



TABLO DİZİNİ

Tablo 2. 1. Çeliklerde % olarak karbon kütle miktarı [8].....	6
Tablo 2. 2. Karbon eşdeğer miktarı "K" [8]	7
Tablo 2. 3. Elementlerin çeliğe etkileri [20-22]	15
Tablo 2. 4. Gazaltı kaynak yöntemi sınıflandırılması [29].....	19
Tablo 2. 5. Çelikler için makro dağılama çözeltileri [35].....	32
Tablo 2. 6. Çelikler için mikro dağılama çözeltileri [35]	33
Tablo 3. 1. C22, 50CrV4 ve 50CrMo4 çeliği kimyasal bileşimi [52]	37
Tablo 3. 2. 50CrMo4 Spektral analiz sonuçları.....	38
Tablo 3. 3. 50CrV4 Spektral analiz sonuçları	39
Tablo 3. 4. C22 Spektral analiz sonuçları.....	40
Tablo 3. 5. Numune çeşitleri	41
Tablo 3. 6. Kullanılan çeliklere ait ısıl işlem sıcaklıkları [51]	41
Tablo 3. 7. MIG/MAG kaynak telinin kimyasal bileşimi [53].....	43
Tablo 3. 8 TIG kaynak telinin kimyasal bileşimi [53]	43
Tablo 3. 9 Elektrik Ark kaynak telinin kimyasal bileşimi [54]	43
Tablo 4. 1. Numunelere ait çekme dayanımları.....	54
Tablo 4. 2. Numunelere ait akma dayanımları	56
Tablo 4. 3. 50CrMo4,C22 ve 50CrV4 Çeliğine ait ortama ve standart sapma sertlikleri	58
Tablo 4. 4. Çentik darbe testi ortalama değerleri	67
Tablo 4. 5. Çeliklere ait çekme dayanımı güvenilirlik değerleri tablosu	80
Tablo 4. 6. Çeliklere ait çekme dayanımı güvenilirlik değerleri tablosu	81
Tablo 4. 7. Çeliklere ait mikrosertlik güvenilirlik değerleri tablosu	83

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aőamasında bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Can ÇİVİ' ye, yüksek lisans eğitimim sırasında desteği ve laboratuvar test cihazları konusunda her türlü imkan ve desteği veren Sayın Y. Müh. Gökhan Eyici' ye, çalışmalarım sırasında manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaşım Makine Mühendisi Eray KIZILKAYA' ya, öğrenim hayatım boyunca beni maddi manevi olarak destekleyen hep yanımda olan eşime, aileme yürekten teşekkür ederim.

Emre İREN
Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇELİK MALZEMELERDE KAYNAK YÖNTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİN GÜVENİLİRLİĞİNE ETKİSİ

Emre İREN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Can ÇİVİ

Bu çalışmada üç farklı metal seçilmiştir. Bu metallerin spektral analizleri yaptırılmıştır. Çekme ve charpy deney numune boyutlarında malzemeler kesilmiş ve normalizasyon uygulaması sağlanmıştır.

Normalizasyon uygulaması sonrasında kaynak yapılacak numunelere V kaynak ağzı açılarak sırasıyla Ark , MIG ve TIG kaynak uygulamaları sağlanmıştır.

Kaynaklı ve kaynaklı olmayan numuneler çekme testi ve çentik darbe testleri yapılarak; mikrosertlik ve iç yapı incelemeleri sağlanmıştır. Elde edilen değerlerin normal ve kümülatif dağılımları belirlenmiş ve güvenilirlik incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan testler sonucunda kaynaklı olmayan numunelerin güvenilirliğinin kaynaklı numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik , Spektral analiz , Kaynak , Çentik Darbe , Mikrosertlik

2019, 91 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF WELDING METHODS ON THE RELIABILITY OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL MATERIALS

Emre İREN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assoc. Dr. Öğr. Üyesi Can ÇİVİ

In this study, three different metals were selected. Spectral analysis of these metals was done. Materials of the sample size were drawn and normalized application was provided.

After normalization application, V, weld opening was applied to the samples to be welded and arc, mig and tig welding applications were provided respectively.

Welded and non-welded samples were subjected to tensile test and notch impact tests; microhardness and internal structure investigations were provided. The normal and cumulative distributions of the obtained values were determined and reliability studies were performed.

As a result of the tests, the reliability of non-welded samples was found to be higher than that of welded samples.

Keywords: Reliability, Spectral analysis, Welding, Notch Impact, Microhardness

2019, 91 pages

1. GİRİŞ

Metaller insanlar tarafından yüzyıllardan beri kullanılmakta olup, yarar sağlayan ilk metalin ne şekilde üretildiği bilinmemektedir. Geçmiş dönemde kullanılan el aletlerinin bakır alaşımından (bronz) yapıldığı tespit edilerek metallerin erken dönemlerde işlendiği bilgisi edinilmiştir. Bu işlemde uzun süre sonrasında iki veya daha fazla metalin karıştırılması yöntemi bulunmuştur. Milattan önce 1400'lü yıllarda Suriyeliler tarafından bulunduğu iddia edilen demir kaynağında elde edilen gelişmeler bir tarafa bırakılırsa, küçük yapıdaki metallerin birleştirilmesi ile daha büyük formdaki parçaları üretmedeki eksik yöntemler 19. Yüzyıl başına kadar mühendislik alanındaki gelişmenin oluşumunu ötelemiştir. Perçinleme, lehimleme, civatalama ve kaynak ile metal birleştirme işlemlerinin ticari ebatlarda uygulanabilirliği makineye bağlı olan endüstriyel çağ değişimi ile mümkün olmuştur [1,2].

Kaynak tekniğinin hızlı gelişimi neticesinde 1948 yılında "Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün" kurulması kaynak gelişiminin hızlı gelişimi neticesinde olmuştur. Bu enstitünün elde ettiği başarıların verimli bir şekilde kullanılması farklı ülkelerden uzmanların birlikte hareket etmesi ihtiyacını oluşturmuştur.

Milletlerarası organizasyonun oluşturulması fikrini 1947 senesinde Utrecht'de yapılan sempozyum esnasında Hollandalılar önermiştir. Bu organizasyonun ilk toplantısı İngiliz Kaynak Enstitüsü önderliğinde aynı sene içerisinde yapılmış olup başkanlığı ise M.J.L. Adam yapmıştır. Komite geçici olarak oluşturulan cemiyetin ilk ana maddelerini oluşturma görevi verilmiştir. Bu komitenin görevini geliştirmesi Paris'te Fransız Kaynak Enstitüsünün davet etmesi ile Bale'de ise İsviçre Asetilen Cemiyetinin davet etmesi neticesinde mümkün olmuştur. Milletlerarası Kaynak enstitüsü 1948 yılında kurulmasına Belçika ekonomi bakanlığı önderlik etmiş olup iki gün süren ve Brüksel'de yapılan milletlerarası değerlendirme sonrasında Avusturya, Kuzey Afrika, İspanya, Danimarka, Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, Fransa, Norveç, İtalya, İsveç, Hollanda ve İsviçre'nin katılması ile (13 devlet) mümkün olmuştur.

Türkiye'de ilk kaynağın başlaması Gölcük ve İstinye tersanelerinde 1920 yılında olmuştur. Kaynağın kullanımı sırası ile Makina Kimya Endüstrisi ,Sümerbank-Hereke Fabrikası, Karayolları Merkez Atölyesi, Eskişehir Hava İkmal Merkezi ve Devlet Demir Yolları Eskişehir Fabrikası ile devam ederek ilerlemiştir. İbrahim Pekin ve çırağı Ziya Altınışik Türkiye'nin ilk kaynakçılarıdır.

Türkiye'de 1937 yılında Devlet Demiryollarında kaynak konusunda ilk planlı çalışma yapılmış olup 1934 yılında Eskişehir Fabrikasında kullanılmayacak durumda olan birkaç tane kaynak cihazı mevcutken 1937 yılında bunu geliştirmek amacı ile apayrı bir kaynak birimi kurulmuş ve bütün kaynak ustaları bu birime bağlanmıştır. Bu birime ise Alman Kaynak uzmanı olan Knoch getirilmiş ve yardımcı olarak mühendis Nüvit Osmay tayin edilmiştir. Knoch 'un 1 yıl görev yaptıktan sonra Ağustos 1937 'de birimin başına Nüvit bey getirilmiş ve görevine 1947 yılına kadar devam etmiştir. Nüvit Osmay kaynak mühendisliği stajlarını Alman Devlet Demiryolları atölyeleri ve Wittenbergdeki Demiryol Kaynak Eğitim Enstitüsünde görmüştür. Nüvit beyin Türkiye'de kaynak tekniğine sağladığı faydalar oldukça fazla olup bir sürü kaynak ustası yetişmesini sağlamıştır. Ayrıca iki ciltlik kitabı Elektrik Ark kaynağı ve Oksi-Asetilen kaynağı konusunda yazmıştır.

1950 yılı ortası itibari ile kaynağın gelişimi ülkemizde başlamıştır. Teknik Üniversite de kaynağın öğrenim planına alınması 1951 yılında olmuştur. İmal usulleri ve Makina Malzemesi Enstitüsü 1955 yılında ilk kaynak kurslarını endüstriye açmıştır. 1958 yılında Alman Kaynak Tekniği Cemiyetinin şartlarında Kaynak Mühendisliği kursu yapılmıştır.

Ülkemizde klasik elektrik ark ve oksi-asetilen kaynağının haricinde, gaz altı ve tozaltı kaynak yöntemlerinin kullanılma alanı büyük bir gelişime uğramıştır. Büyük makine konstrüksiyonları , basınçlı kaplar, gemi inşaatı ve çelik konstrüksiyonlarda klasik tel ile yapılan tozaltı kaynağı büyük oranda kullanılmakta olup çift telle yapılan paralel ve seri yöntemlerle band elektrod kaynağı yöntemi kullanılmamaktadır.

Buhar kazanları,çelik konstrüksiyon ve gemi inşaatı uygulamalarında son dönemlerde gaz altı kaynak yöntemi olan mag kaynağı kullanımı artmıştır. Koruyucu bir soygaz atmosferinde yapılan TIG/WIG ve MIG kaynakları demir olmayan

malzemeler ve yüksek alaşımli çeliklerde daha fazla tercih edilmekte olup özellikle bu yöntemin kullanımı petrokimya tesisleri, kimya endüstrisi ve gıda endüstrisi örnek olarak gösterilebilir. Titanyum kaynağı ise helikopter imalatında ve petrokimya tesislerinde uygulanmaktadır ve bu yöntem örneği teşkil eder.

Elektron ışınları ve lazer ile kaynak yönetimi özel sektörde ve hava kuvvetlerinde kullanımı görülmektedir. Elektron ışını ile kaynak yöntemi Renault otomobil fabrikasında kullanılmaktadır. Birçok endüstri alanında plazma kesme yöntemi kullanılmaktadır. Matkap imalatında sürtünme kaynağı kullanılmaktadır. Difüzyon kaynağına çift tabanlı tencereler örnek olarak verilebilir.

Programlı ve nümerik kontrollü oskenli kesme makinaları tersanelerimizde bulunmaktadır. Ülkemizde kurulmakta olan uçak endüstrisinde elektron bombardımanı ,lazer ve programlı nokta kaynağı donanımları ile kaynak ve yapıştırma teknikleri daha çok kullanılması öngörülmektedir. Yapıştırma tekniği uygulamasına ülkemizde örnek vermek zordur.

1970'li yıllardan sonra özellikle kaynak dikişlerinin kontrolü ve muayensi geniş çapta uygulama alanında yer bulmuş ve büyük bir ölçüde ön planda yer almıştır. Kaynak standartlarının çıkarılmasına Türk Standartları Enstitüsü de hız vermiştir. Ülkemizin önemli derecede dış pazara açılan endüstri sanayisinde kalitenin sağlanması için , kontrol ve muayenenin uygulanmasının önemi fazladır.

Ülkemizde kaynak ekipmanlarının bir çoğu üretilmektedir. Bunlar kaynak telleri , kaynak gazları ,tozaltı ve gazaltı kaynak cihazları, elektrik ark makinaları, vb. üretilmektedir [3].

Gemi imalat sektöründe robot teknolojisi gelişimi ile birlikte çeşitli hibrid kaynak yöntemleri ve lazer kaynağı kullanılmaktadır. Birleştirmeler de lazer kaynak yönetiminin uygulanması avantajlı yönüdür [4,5].

Konstrüksiyon uygulamasında amaç verim ve güvenilirliği artırarak ağırlık, boyut, malzeme ve üretim maliyetinden tasarruf etmektir.

Bu tez çalışmasında çeşitli kaynak yöntemleriyle birleştirilmiş çelik parçaların mukavemet değerlerinin güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu değerlerin normal dağılım ve kümülatif dağılımları elde edilerek kaynağın mekanik özelliklere ve bu özelliklerin güvenilirliğine etkileri incelenmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kaynak ve Kaynak Kabiliyeti

Kaynak, malzemenin kaynak bölgesinde ısı ve/veya basınç yardımıyla ilave malzeme kullanılarak veya kullanılmadan birleştirilmesi işlemidir. Uygulandığı malzemeye göre kaynak plastik malzeme kaynağı ve metal kaynağı olarak ikiye ayrılır. Metalik malzemeleri, basınç veya ısı kullanarak ya da basınç -ısı birlikte kullanılarak ergitme gerçekleştirilip, kaynak edilecek metal malzemeyle aynı veya çok yakın sıcaklıkta egiyen metal eklenerek veya eklenmeden elde edilen dolgu veya birleştirme uygulamasına metal kaynağı denir. İki metal parçanın birleştirilmesinde kullanılan ilave malzemeye "ilave metal" adı verilir. İmalat tekniğinde amaç elde edilen parçanın çalışma şartlarında bozulma meydana gelmemesi , görevini yerine getirmesidir. Kaynaklı bağlantılarda malzemenin bazı niteliklere sahip olması beklenir. Malzemedeki beklenen niteliklerin gerçekleşme miktarı, kaynak uygulanan malzemenin "kaynak kabiliyeti" olarak adlandırılır [6].

İki ana grupta kaynak yöntemleri incelenir, bunlar birleştirme işleminin, dolgu metali kullanılarak veya kullanılmayarak, iki parçanın ergitilerek yapılan ergitme kaynağı ve birleştirme işleminin ısı veya basınç uygulanarak yapıldığı fakat esas metal parçaların ergimeyerek dolgu metali kullanılmayan katı hal kaynağıdır. Ergitme kaynağı daha önemli bir kaynak grubu olup ark, elektrik direnç ve gaz kaynak türlerini içermektedir [7].

Bir parçanın kaynakla birleştirilmesi işlemi kaynaklanma özelliği olarak nitelendirilmesi ile gelmekte olup bu özellik arka planda oldukça fazla parametrelere bağlıdır. Örnek olarak parçanın malzemesi , sahip olduğu şekli , kaynak şekli ve çalışacağı alan şartlarında zorlanması vb. verilebilir.

Malzemenin kaynak kabiliyeti şu üç grupta toplanır.

1. Güzel kaynak yapılabilme kabiliyeti,
2. Şarta bağlı kaynak yapılabilme kabiliyeti,
3. Kötü kaynak yapılabilme veya kaynak yapılamama kabiliyeti

Özelliklere etki eden koşullar "kaynaklanma yeteneği", kaynaklanma imkanı" ve "kaynak emniyeti" olarak farklı başlıklar altında incelenebilir. Aynı zamanda bu koşullar birbirini de etkiler [8].

Çoğu zaman çelik malzemeler erimiş durumda kaynama sınır içerisinde veya plastik deformasyon birbirleriyle birleştirilir.

Alaşımız çelikler ve imalat çeliklerinde (DIN17100) çeliğin kaynaklanma yeteneği % karbon kütle miktarı ile ilişkilidir. Tablo 2.1 ile çeliklerde % olarak karbon kütle miktarı verilmiştir [8].

Tablo 2. 1. Çeliklerde % olarak karbon kütle miktarı [8].

Güzel Kaynak Yapılabilme Yeteneği	Şarta Bağlı Kaynak Yapılabilme Yeteneği	Kötü ve kaynak Yapılamama Yeteneği
$C \leq 0,22 \%$	$0,2 \% < C < 0,3 \%$ 100° C ile 150° C kadar $0,3 \% < C < 0,45 \%$ 150° C ile 275° C kadar $0,45 \% < C < 0,8 \%$ 275° C ile 425° C kadar ön ısıtmalı	$C \geq 0,8 \%$

Malzeme içerisinde alaşım elementleri de var ise kaynak bölgesinin soğuması esnasında kaynak bölgesine temas eden havanın ve parçanın soğuk bölgesinin etkisi ile malzemede sertleşme meydana gelir bu sertleşme sonucunda ise kısmi martenzit oluşumu meydana gelir. Bu işlem sonucunda sertleşerek gevrekleşen ana malzeme, bir sonraki safha olan soğuma esnasında iç yapısında meydana gelen kendini çekme sonucu çatlar [9].

Karbon eşdeğer miktarı olan "K" hafif alaşımlı çeliklerde malzemenin kaynaklamaya elverişli olup olmadığını temsil eder.

Karbon eşdeğer miktarı "K" aşağıdaki formülle bulunur. Karbon eşdeğerine göre kaynak yapılabilme yeteneği Tablo 2.2’de verilmiştir.

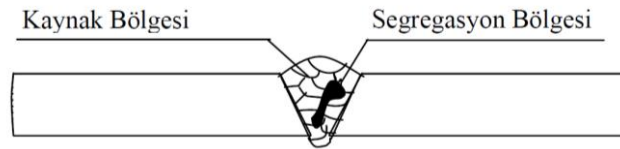
$$K = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Ni}{15} \cdot \left[\frac{\%Cu}{13} + \frac{\%P}{2} \right] \quad (1.1)$$

Tablo 2. 2. Karbon eşdeğer miktarı "K" [8]

Güzel Kaynak Yapılabilme Yeteneği	Şarta Bağlı Kaynak Yapılabilme Yeteneği	Kötü ve kaynak Yapılamama Yeteneği
$K \leq 0,4 \%$ 40 mm kalın malzemede ön ısıtma yapılır	$0,4 \% < K < 0,6 \%$ 100° C ile 200° C arasında ön ısıtma yapılır	$K \geq 0,6 \%$ 200° C ile 350° C arasında ön ısıtma yapılır.

2.1.1. Ergiyen Bölge

İyice birbirine karışmış olan esas metal ve kaynak metalinden meydana gelmekte olup bu olay kaynak banyosunda ergiyen bölgede oluşan türbülans neticesinde meydana gelir. Bu işlem esnasında atmosfere karşı koruma tam olarak sağlanamamışsa ergime esnasında O₂ ve N₂ absorbe olur. Telafisi olmayan yanmalara oksijen neden olur. Ergimiş olan kısmın katılaşması işlemi etrafında bulunan esas metal ile arasında ısı transferi ile oluşur. Bu esnada malzeme içerisinde büyük boyutlarda kristaller oluşur. Kalın olan malzemelerde seregrasyon büyük boyutlarda silindirik kristallerin birleştiği kısımda oluşur. Bu seregrasyon neticesinde boşluk oluşur ve kaynak dikişinde zayıflama olur. Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2. 1. Alın birleştirmede segregasyon bölgesi [8]

2.1.2 . ITAB (Isının Tesiri Altındaki Bölge)

Kaynak metalinin diğer adı ile ergiyen bölgenin ana metalle birleştiği alandan itibaren 1400–700 °C arasında sıcaklıkta kalan bölge, ısının tesiri altındaki bölgedir. ITAB’da kaynak işlemi sonunda meydana gelecek yapıyı tahmin etmek, kaynak esnasında elde edilen en yüksek sıcaklık, kaynak parametreleri, esas metalin birleşimi, ve soğuma hızı bilirse mümkündür.

Kalın parçaların kaynağında özellikle, 900 °C üzerinde tavlanan bölgesinde soğumanın daha hızlı olması ile bu alanda daha yüksek bir sertlik görülür. Isı tesiri

altındaki bölgenin maksimum sertliği 350-400 HV (Vickers sertliği) olarak Uluslar arası kaynak enstitüsüne bağlı kaynak kabiliyeti komisyonu tarafından önerilmiştir. Eğer sertlik tavsiye edilenden daha fazla ise yine aynı komisyon tarafından ekstra önlemlerin alınmasına da yer verilmiştir.

Kaynak ile birleştirmesi işleminde sonrasında kaynak bölgesinde elde edilen sertlik , malzemede elde edilen mukavemet özellikleri ve kaynak bölgesinin metalurjik özelliklerinin incelenmesi (kaynak sonrası birleşme kontrolü, ITAB' de östenit oluşumu veya alaşım elementlerinin difüzyona uğratıp uğrmadığının kontrolü) gerekmektedir [8].

2.2 Çelik Çeşitleri

2.2.1 Kullanım Alanına Göre Çelikler

Üretilen çelikler kısıtlı bir alanda kullanılmak için üretilmezler, mümkün olduğu kadar geniş bir alanda kullanımı hedeflenir. Bazı çelikler ise özel olarak üretilmiştir. Burada yalnızca önem derecesi yüksek olanlara yer verilecektir [10,11].

- a) Yapı çelikleri (Genel kullanım amaçlı)
- b) Takım yapım işleri
- c) Soğuk ve sıcak işlerde
- d) Hızlı kesme işlerinde kullanılacak çelikler
- e) Yay yapımında kullanılacak çelikler
- f) Yüksek sıcaklıkların bulunduğu ortamlarda kullanılacak çelikler
- g) Dış etkilere maruz yerlerde ve deniz ortamında kullanılacak çelikler

2.2.2. Alaşım Durumlarına Göre Çelikler

Karbon elementi çelik içerisinde alaşımsız durumda yer alır. Bunun yanı sıra farklı bir element yapıya eklenecek olursa alaşımlı Çelik olarak nitelendirilir.

2.2.2.1. Sade Karbonlu Çelikler

Sade karbonlu çelikler maliyeti düşük olup daha kolay şekillendirilebilirler. Karbon oranına bağımlı olarak mekanik özellikleri değişir. Günümüzde üretilen çeliklerin çoğunluğu sertleşme yeteneği az olan sade karbonlu çeliklerdir. Parçada

çatlama ve çarpılmalar sertleştirme işlemi sonrasında oluşur. Sade karbonlu çelikleri yapısındaki karbon oranlarına göre 3 kısımda incelenir..

Düşük karbonlu çelikler : %0,05 - 0,3 karbon içerir.

Orta karbonlu çelikler : %0,3 – 0,8 karbon içerir.

Yüksek karbonlu çelikler : % 0,8 - 1,7 karbon içerir.

Yine aynı çelikler Ötektoit altı çelikler %0,05 – 0,8 ötektoit üstü çelikler % 0,8 – 1,7 olarak ta nitelendirilmektedir..

Çeliğin tipine göre yüzey sertleştirilmesi uygulanabilen düşük karbonlu çelikler tamamı ile sertleştirilememektedir. Düşük karbonlu çeliklere göre daha iyi olan orta karbonlu çelikler ısıtılma işlemi de oldukça yatkındır. Yüksek karbonlu çelikleri sünekliği düşük olup kesilmeleri ve işlenmeleri zordur. Talaş kaldırma işlemi elverişli hale getirebilmek yumuşatma tavlama ile mümkündür [11].

2.2.2.2. Düşük ve Orta Alaşımli Çelikler

Kullanım alanı sade karbonlu olan çeliklerde kısıtlıdır. Bu çeliklerin korozyona karşı mukavemet özellikleri kötü ve sertleşme derinliği düşük olup fakat çelikler alaşımlandırılarak bu özelliklere ulaşabilir. Çeliğin özelliklerini geliştirmek için bazı alaşım elementleri katılabilir. Mangan ve molipten ilave ederek çelikte sertleşme esnasında meydana gelebilecek çatlama ve çarpılmaları azaltmak mümkündür. Bu işlem sonrası korozyona karşı dayanıklılık özelliği artar.

2.2.2.3. Yüksek Alaşımli Çelikler

Yüksek alaşımli çeliklerin tokluk ve mukavemet değerleri yüksek sıcaklıklarda oldukça iyidir. Bu çeliklerin aşınmaya karşı ve asidik ortamda çalışmaya karşı dirençleri oldukça yüksektir. Bu çeliklerin başlıca temel kullanım alanları nükleer güç santralleri, gaz tribünleri, petro-kimya sanayi ve hava-uzay sanayidir.

2.2.3. Mikro Yapı ve Metalografik Yapılarına Göre Çelikler

Bu çeliğe adını ana malzemeyi oluşturan mikroyapı verir. Bu gruba örnek olarak Ferritik çelikler, östenitik çelikler ve çift fazlı çelikler verilebilir. Hem östenik ve hemde ferritik yapıların ayrı ayrı ve aynı anda bulunduğu yapılar, alaşım elementi yüksek olan çeliklerde mevcuttur. Ferritik, martenzitik, östenitik ve çift fazlı çelikler

bu sınıflandırmada kullanılır. Tek fazlı ve çift fazlı yapıları elde etmek Ferritik yapıcı ve östenitik yapıcı elementlerin dikkatli ilavesi ile yapılabilir. Ferrit yapıcı elementler ise Krom, Molibden, Niyobyum, Titanyum, Fosfor, Kükürt ve selenyumdur.

Östenit yapıcı elementler Karbon, Nikel, Mangan ve Silisyum olarak bilinmektedir. İlave edilen element (ler)in sağladığı özellikler tek fazlı veya çift fazlı çeliklerin üretim amacını etkilemektedir. Östenitik tipler miktatsızlanma istenmeyen, şekillendirilebilirliği kolay ve korozyon direnci yüksek olan yerlerde kullanımı ön plana çıkarken, yüzey düzgünlüğü mükemmel ve sert yüzey özelliklerinin korozyon direnci ile istenildiği yerde ise ferritik ve martenzitik paslanmaz çelikler kullanılır. Yüksek sıcaklıkta dayanımın artırılması ve klora karşı korozyon direncini arttırmak bazı alaşım elementinin ilave edilmesi ile hedeflenir. Ferritik çeliklerin düşük sıcaklıklarda daha gevrek olmasının nedeni hacim merkezli kübik bir kafes yapısına sahip olmasıdır. Bu çeliklerin yüksek sıcaklıkla tutulma süresine bağımlı olarak üç farklı gevrekleşme gerçekleşebilir.

%15'ten fazla krom içeren paslanmaz çeliklerde 475°C gevrekleşmesi 400-550°C sıcaklıkları arasında uzun süre beklemiş veya yavaş soğutma sonrası çökelmeler ile meydana gelir. Bu çökelmeyi önlemenin yolu ise gevrekleşmiş çeliği 650-750°C aralığına kadar ısıtarak ani bir soğuma işlemi yapılması ile mümkündür.

600-800°C sıcaklık aralığına çelikler uzun süre maruz kalırsa östenitik çeliklerde sigma ara fazı ve yüksek kromlu ferritik fazı oluşması mümkündür. Soğuk şekil verme uygulaması bu değişimi mümkünleştirir. 950°C üzerinde uygulanacak bir tavlama işlemi sonrasında sigma fazı oluşumu su verme işlemi ile önlenabilir fakat 950°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tane irileşmesi oluşur ve tane sınırları içerisinde krom karbür çökeltileri meydana gelir. Karbür oluşumu ve tane irileşmesini önlemek ise tantal/niyobyum veya titanyum gibi stabilizatörlerin ilave edilmesiyle önlenir.

Diğer yönden normalizasyon uygulanmamış çeliklere özellikle kaynaklı bağlantılarında 700-800°C aralığında uygulanacak bir tavlama, krom karbürleri küreleştirmesine neden olarak olası martenzit fazının da temperlenmesine ve tokluğunda düşmesini engeller. Östenitik çeliklere nazaran ferritik çeliklerin

kaynaklanabilirliği bu zorluklarla ifade etmek mümkündür. 150- 200°C arasında yapılacak bir ön ısıtma işlemleri sonrası kaynak yapılması devamında ise 700-800°C arasında uygulanacak son tavlama işlemleri yapılarak yavaş soğutulması ile tokluğu artırmak mümkündür. Önemli olan bir diğer problem ise tane irileşmesi ve karbür çökmesidir. Bunu önlemenin yolu ise kaynak işleminde ısı girdisi mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır [12-19].

2.2.4. Kalite Durumlarına Göre Çelikler

- a) Kalite çelikler
- b) Kütle çelikler
- c) Soy (asal) çelikler

2.2.5. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Göre Çelikler

- a) Manyetik çelikler
- b) Korozyona dayanıklı çelikler
- c) Paslanmaz çelikler
- d) Isıya dayanıklı çelikler

2.2.6. Sertleştirme Ortamlarına Göre Çelikler

- a) Yağ çeliği
- b) Hava çeliği
- c) Su çeliği

2.3. Alaşım Elementlerinin Çelik Özelliklerine Etkisi

Çeliklerin kullanım alanının artmasındaki en büyük rol ise alaşım elementleridir. Miktarla orantılı olmakla beraber alaşım elementlerinin herbirinin etkisi sınırlıdır ancak birden fazla alaşım elementi kullanılması etkileri artırılabilir. Örneğin Cr paslanmazlık özelliği kazandırır ancak yüksek Karbon ile beraber doğru oranda kullanıldığında yüzey sertliğini ve aşınma direncini artırır. Yüksek Karbon içeren çeliklerin kaynağında ise karbür oluşumunun meydana gelmesi krom miktarını azaltarak paslanmazlık özelliğinin kaybolmasına neden olabilir. Söz konusu bazı elementlerin etkisi aşağıda özetlenmiştir [20-22].

2.3.1 Karbon (C)

Çeliğin sertleşmesine etkisi büyük olan elementtir. Çelik içerisindeki karbon miktarının etkisi oldukça fazladır. Çelikte çekme ve akma dayanımını artırır, şekil vermeyi ,kaynak kabiliyetini ve yüzde uzamayı ise azaltır. Çeliğin mukavemetinin yüksek olması istenildiği durumlarda çeliğin karbon değeri yüksek olmalı, İşlenebilme yeteneğinin ön planda olduğu çeliklerde ise karbon miktarı düşük olmalıdır.

2.3.2 Mangan (Mn)

Mangan çeliğin mukavemetini artırır, esnekliğini düşük oranda azaltır ve çeliğin sertleşebilme ve kaynaklanma kabiliyetini artırır. Mangan östenit yapıcı bir elementtir. Mangan karbon miktarına göre su verme sertlik derinliğini ve dayanımı artıran özellikleri nedeni ile bağımlıdır. Manganın yüksek karbonlu çeliklere daha fazla etki eder. Mangan oranı yüksek olması çeliklerin paslanmaya ve korozyona olan dayanımını geliştirir. Manganın en öne çıkan özelliği kükürtle MnS bileşiği yaparak sıcak kırılma sebepli olan demir kükürt FeS bileşiği oluşumunun önüne geçmesidir. Çeliklerde mangan kullanım oranı 0.6-2.0 % 'dir.

2.3.3. Silisyum (Si)

Silisyum çelikte elastikiyeti ve akma-çekme mukavemetini artırır, aynı zamanda bütün çeliklerde bulunan elementtir. Yay çeliklerinde kullanılmasının en büyük nedeni ise elastikiyetinin yüksek olmasıdır. Çelik üretimi esnasında içerisinde demir cevherinden bir kısım silis kendiliğinden girmektedir.

2.3.4. Fosfor (P) ve Kükürt (S)

Fosfor çelikte akma ve çekme mukavemetini artırır fakat çeliğin eğme özelliklerini ve yüzde uzamasını azaltmaktadır. Talaşlı imalat yöntemi olarak çeliğin işlenmesini kolaylaştırır. Çelik bünyesinde bulunması istenmeyen bir element olup, mümkün oldukça miktarı azaltılmalıdır. Fosforun aksine kükürt akma ve çekme mukavemetine etkisi oldukça düşüktür. Sünekliği ve tokluğu önemli oranda azaltır. Malzemenin talaş kırılma oranını artırmak için otomat çeliklerinde kükürt miktarı yüksek tutulur. İç yapıdaki kalıntıların çentik etkisini minimize etmek için metalurjik bakımdan temiz, ısı işlem sıcaklıklarını dar aralıklı verebilmek için de kimyasal

kompozisyon toleranslarının küçük olması istenen ıslah çelikleri, kaliteli veya asal çelik olarak üretilirler. Kükürt ve fosforu \leq % 0,035 oranında içerir.

2.3.5. Krom (Cr) ve Nikel (Ni)

Krom, Nikelden daha güçlü bir şekilde çeliklerde korozyon ve oksidasyon direnci sağlar. Sertleşme yeteneğini, darbe tokluğunu ve ısıya karşı dayanımını artırır. Aşınma direncini yüksek karbonlu çeliklerde artırır. Kromlu paslanmaz çeliklerde krom oranının artması kaynak edilme yeteneğini azaltır. Çeliğin mukavemet dayanımını düşük oranda artırır. Nikel oranı östenitik paslanmaz çeliklerde %7-20 aralığındadır. Nikel özellikle kromla beraber yer aldığı zaman, sertliğin malzemenin derinliğine nüfuziyetini sağlar. Krom nikelli çelikler kabuk oluşumu ve ısıya dayanımlıdır, ayrıca paslanmaz özelliğine sahiptir. Makine yapım çeliklerinin çentik dayanımını özellikle düşük sıcaklıklarda artırır.

2.3.6. Molibden (Mo)

Molibden alaşımlı ve takım çeliklerinde, mekanik dayanımını, sertleşebilme kabiliyetini ve aşınma direncini artırır, tane büyümesini önler, Meneviş gevrekliğini engeller. Paslanmaz çeliklerde korozyon direncini artırır.

2.3.7. Kobalt (Co) ve Tungsten (W)

Takım çeliklerinde tercih edilen bir alaşım elementidir. Kullanım amacı ise takım çeliğinin sıcak çalışma koşullarında sertliğini muhafaza etmesi amaçlıdır. Tungsten ise çeliğin aşınma direncini artırır.

2.3.8. Vanadyum (V)

Vanadyum malzeme içerisinde tane küçülmesine sebep olur, çekme -akma mukavemetini ve sertleşme yeteneğini artırır bu sebeple alaşımlı takım çeliklerinde tercih edilir. Aynı zamanda ikinci sertleşme ve menevişleme işleminde olumlu yönde etkisi vardır. Vanadyum düşük oranda kullanılması durumunda çeliğin ısıya dayanımını artırır. Sıcağa maruz kalan Çelik kesici uçlar daha fazla süre keskin kalır. Vanadyum miktarı %0,03-0,25 arasında alaşımlı makine yapım çeliklerinde değişir, bu çeliklerde krom ve wolfram ile birlikte kullanılır. Vanadyum karbür oluşumuna eğilimi yüksektir.

2.3.9. Titanyum (Ti)

Titanyum paslanmaz çeliklerde tercih edilmesinin nedeni karbür yapıcı olmasıdır. Aynı zamanda tane küçültücü etkisi bulunmaktadır.

2.3.10. Niyobyum (Nb)

Tane küçültme oranı en yüksek olan elementtir bu özelliği mikro alaşımlı çeliklerde ön plandadır. Paslanmaz çeliklerde tek kullanılabılırken aynı zamanda titanyumla birlikte de kullanılır.

2.3.11. Alüminyum (Al)

Oksijeni önlemek için tercih edilir. Akma mukavemeti ve darbe direncini artırır. Ayrıca alüminyum nitrasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir, tane küçültücü etkisi vardır. Fazla miktarda ilave edilmesi durumunda tane irileşmesine sebep olur.

2.3.12. Kalay (Sn), Kurşun (Pb) ve Bakır (Cu)

Sıcak haddelermelerde sorun oluşturması nedeni ile tercih edilmez, Akma ve çekme dayanımlarını düşük oranda etkiler. Kalayın ergime sıcaklığı düşük olması nedeni ile haddelme işlemi esnasında parça çekmelerine sebep olur. Kurşun, yüzey kalitesini olumsuz etkiler ve haddelenebilirliği azaltır. Kurşun otomat çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılma nedeni ise çeliklerin talaşlı şekillendirme kabiliyetine artırmasıdır, bu şekilde çeliğin çekme- akma mukavemetini artırır, şekillendirilebilirliği ve yüzde uzamayı ise azaltır. Korozyon direncini de artırır.

2.3.13. Azot (N) ve Hidrojen (H)

Azot malzeme içerisinde kırılmalara sebep olur, eğme özelliklerini çok kötüleştirir bu sebeple istenmeyen bir elementtir. Hidrojen gevrekliğe neden olması sebebi ile daha tehlikelidir. Malzemenin elastikiyetini önemli oranda azaltır. Elementlerin çeliğe etkileri tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2. 3. Elementlerin çeliğe etkileri [20-22]

ELEMENTLERİN ÇELİĞE ETKİLERİ													
	Si	Mn	Mn*	C	Ni	Ni*	A	W	V	C	M	S	P
		*	*	r	*	*	l			o	o		
Sertlik	↑	↑	↓	↑	↑	↓	-	↑	↑	↑	↑	-	↑
Mukavemet	↑	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑	↑	↑	↑	-	↑
Akma Noktası	↑	↑	↓	↑	↑	↓	-	↑	↑	↑	↑	-	↑
Uzama	↓	↔	↓	↓	↔	↑	-	↓	↔	↓	↓	↓	↓
Kesit Büzülmesi	↔	↔	↔	↓	↔	↑	-	↓	↔	↓	↓	↓	↓
Darbe Direnci	↓	↔	-	↓	↔	↑	↓	-	↑	↓	↑	↓	↓
Elastisite	↑	↑	-	↑	-	-	↓	-	↑	-	-	-	-
Sıcaklığa Dayanım	↑	↔	-	↑	↑	↑	-	↑	↑	↑	↑	-	-
Soğutma Hızı	↓	↓	↓	↓	↓	↓	-	↓	↓	↑	↓	-	-
Karbür Oluşumu	↓	↔	-	↑	-	-	-	↑	↑	-	↑	-	-
Aşınma Direnci	↓	↓	-	↑	↓	-	-	↑	↑	↑	↑	-	-
Dövülebilirlik	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓
İşlenebilirlik	↓	↓	↓	-	↓	↓	-	↓	-	↔	↓	↑	↓
Oksitlenme Eğilimi	↓	↔	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	-	↓
Korozyon Direnci	-	-	-	↓	-	↑	-	-	↑	-	-	↓	↑

(↔): Değişmez, (↑): Artar, (↓): Azalır

2.4.Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Kaynak esnasında oluşan ısının etkisi ile malzemede değişimler oluşur. Çeliğin fazla önlem alınmasını gerektirmeden ve kaynak ısısı nedenli konstrüksiyonda olumsuzluklar meydana getirmeden kaynak yapılabilirse iyi

kaynak kabiliyetli çelik olarak nitelendirilir. Eğer kaynak işlemi esnasında ekstra önlemler alınması gerekiyor, kaynak sonrası malzemede beklenenler dışında büyük problemlere neden oluyorr ve kaynak sonrası işlem yapılmasını gerektiriyor ise bu tip çelikler sınırlı kaynak kabiliyetli olarak adlandırılır [23].

Malzemenin kaynak uygulaması yapılamaması gibi bir durum bulunmamaktadır. Doğru kaynak koşullarının sağlanması ile her çeliğe kaynak işlemi uygulanabilir. Çeliğin iç yapısını genel olarak etkileyen çabuk ısınma ve soğuma olayları bakımından kaynak işlemi, çelik üzerinde termik şok etkisi veya böyle etkilerin bir serisi olarak nitelendirilir, buna karşı dayanıma ise kaynak kabiliyet derecesi adı verilir.

Kaynak kabiliyeti aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

- **Teknolojik kaynak kabiliyeti:** basınç – ergime vb. yöntemler ile birleşmenin gerçekleşme şartı aranır.
- **Metalürjik kaynak kabiliyeti:** Kaynak uygulaması yapılan malzemede meydana gelen kimyasal ve fiziksel değişimlerdir.
- **Konstrüktif kaynak kabiliyeti:** Konstrüksiyonun çatlama hassasiyetini tespit etmek üzere onun evrensel özellikleri tarif edilir.

İlk ikisinde kaynak kabiliyeti deneyleri, birleşmeler ve kaynak koşullarını yansıtan deney parçaları üzerinde ve kaynak işleminden bağımsız olmak üzere üç yönde yürütülür. Sonucusunda ise çentik etkisine olan hassasiyet araştırılır. Genellikle bu hassasiyet

- a) Kaynak dikişi boyunca katılma çatlağı (sıcak çatlak) tehlikesi,
- b) kaynak dikişinde genişlemesine büzülme (çekme) çatlağı (soğuma çatlağı) tehlikesi,
- c) Ana metal ve kaynak dikişinde sertleşme eğilimi, yani kaynaklı birleşmenin en çok ısınan kısmının soğuma sırasında östenitin dönüşümüne karşı durması,
- d) Ana metalde ve kaynak dikişinde gerilmelerin neden olduğu gevrek kırılma tehlikesi,
- e) Kaynak ısına maruz kalan bölgede yaşlanma gevrekleşmesi tehlikesi olarak ayrılabilir.

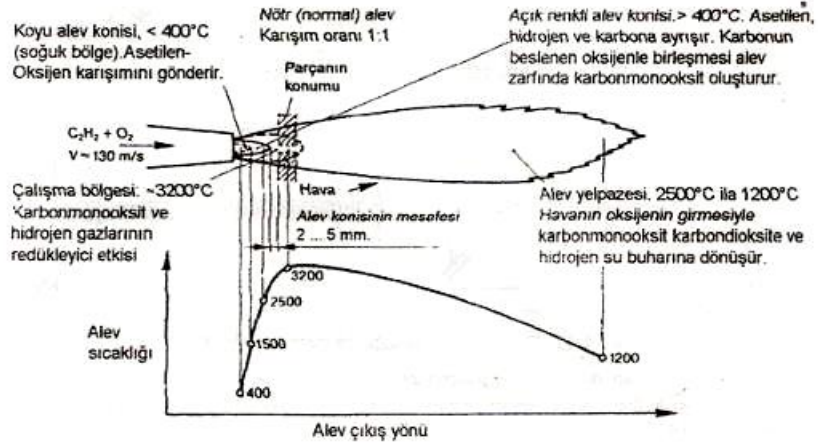
Kaynaklarda gevrekleşme eğilimi çok büyük bir tehlike olup her kaynakta vardır. Kaynak gevrekleşme eğilimini arttırabilir. Yaşlanma hassasiyeti olan bir çelik, kaynaklanmadan dahi gevrekleşecektir. Yapı çeliklerinin kaynağında esas metalin bileşimi kaynağa etki eden en başlı faktördür. Kaynak kabiliyeti metal içerisindeki manganez ve karbon oranı önemi büyük olmakla birlikte içerisindeki maksimum oranları da belirlenmiştir. Karbon çeliğin sertleşme ve su alma yeteneğine eden önemli bir alaşım elementidir. TTT diyagramında karbon miktarı artması ile dönüşüm eğrisi sağa doğru ilerleyerek daha düşük hızlı soğuma işlemi sonrasında dahi martenzitik iç yapı elde edilir. Bu durum neticesinde kaynak işlemi uygulanarak birleşimi yapılacak sade karbonlu çeliklerde karbon miktarı %0,22 azami değer olarak standartla belirlenmiştir. Sertleşmenin artması az alaşımlı çeliklerin içerisinde bulunan krom, mangan vanadyum, molibden elementlerinin etkisi ile olmaktadır. Bu elementlerin etkileri karbon kadar şiddetli değildir. Çeliğin iç yapısında bulunan alaşım elementleri oranları formülde yerine koyularak karbon eşdeğeri elde edilir. Bu alaşım elementlerinin sağladığı sertlik değerine karşılık gelen karbon oranı hesaplanmış olup buna karbon eşdeğeri adı verilmiştir [24-27].

Karbon eşdeğeri büyümesi ile kaynaktan sonra soğumanın yavaşlatılma uygulaması yapılmalıdır, bunun için kaynak öncesi bir ön işlem ve yavaş soğuma işlemi yapılır.

2.5. Kaynak Yöntemleri

2.5.1 Gaz Kaynağı

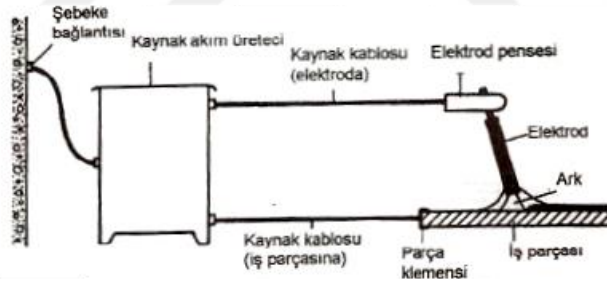
En eski kaynak yöntemlerinden biri olan gaz kaynağı TIG kaynağı gibi modern kaynak yöntemlerinin ilklerindedir. Aynı zamanda Oksi-asetilen kaynağı ismi ile de bilinmekte olup bu kaynak yönteminde ısı kaynağı alevdir. Alevin görevi ana metalin ve ilave metalin eritilmesidir bu sebeple sürekliliği gerektiğinden yakıcı gaz olan oksijen gereklidir. Oksi-asetilen Şekil 2.2.' de verilmiştir. Tercih edilme nedeninin başında düşük kurulum maliyeti gelmektedir.



Şekil 2. 2. Asetilen-oksijen alevi [29]

2.5.2 Elektrik Ark Kaynağı

Ark kaynağı yönteminde ark, eriyen elektrod ile malzeme arasında yanar. Kaynak atmosferinin korunması elektrodun yanması ile oluşan gazlar ile cüruf sayesinde olur. Elektrik ark kaynağının temel şeması şekil 2.3 'de verilmiştir.

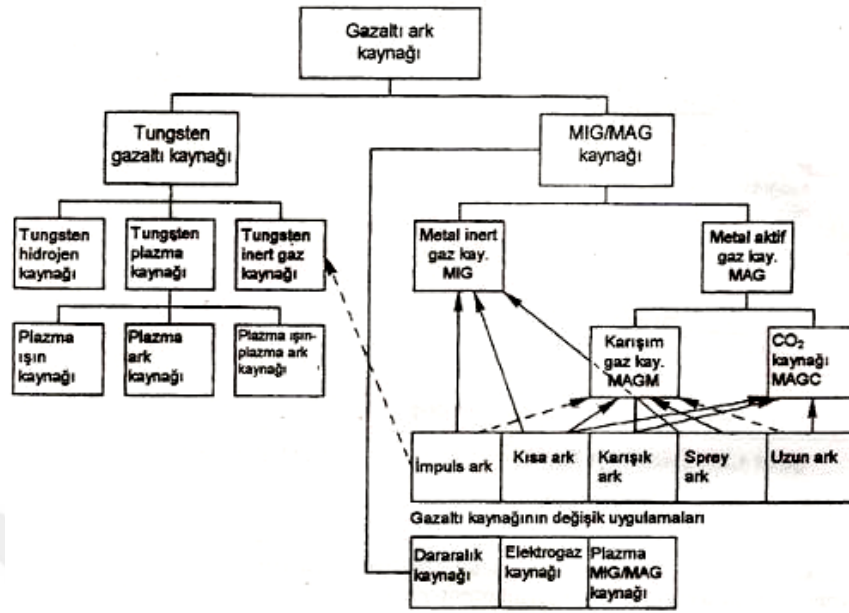


Şekil 2. 3. Elektrik Ark kaynağının prensip şeması [29]

2.5.3 Gazaltı Ark Kaynağı

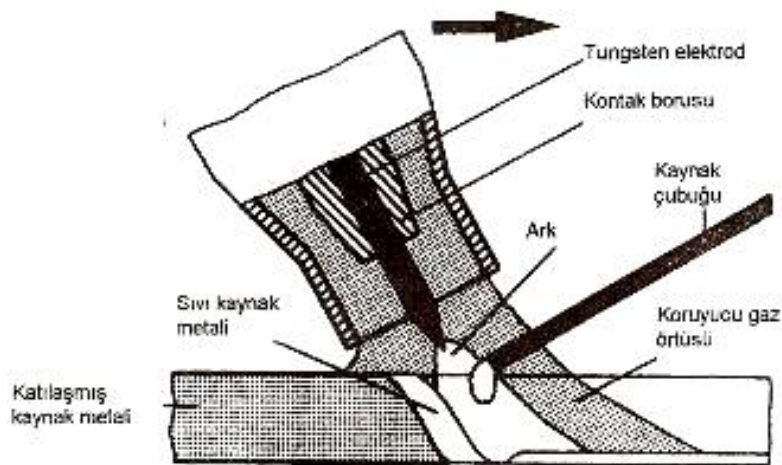
Gazaltı kaynağı, koruyucu gaz yardımıyla kaynak alanının korunduğu kaynak yöntemler grubudur. Elektrodun ark taşıyıcı olup olmadığı ve kullanılan koruyucu gaz çeşidine göre alt başlıklara ayrılmaktadır. En fazla tercih edilen kaynak uygulama yöntemidir. Faz altı kaynak yöntemi sınıflandırması Tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2. 4. Gazaltı kaynak yöntemi sınıflandırılması [29]



2.5.3.1. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı

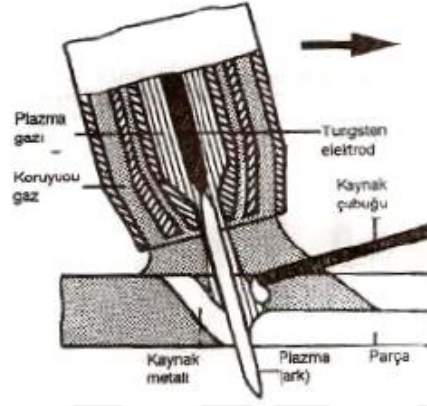
Tungsten'den elde edilen ve ergimeyen elektrod ile ana parça arasında ark oluşur. Argon veya helyum koruyucu gaz olarak kullanılmakta olup elektrod ile aynı eksenden beslenir, hem erimiş olan kaynak banyosunu hem de elektrodu korur. Kaynak bölgesine elle beslenen çubuk formundaki teller kaynak ilave malzeme olarak kullanılır. Şekil 2.4. 'de tıg kaynağı verilmiştir.



Şekil 2. 4. TIG Kaynağının prensibi [29]

2.5.3.2. Plazma Kaynağı

Bu kaynak türü TIG kaynağına fazlası ile benzemektedir. Ergimeyen bir tungstenden imal edilmiş elektrod ve koruyucu soygaz altında kaynak yapılır. Ark özel bir torç yardımıyla sınırlandırılmıştır. Arkın sınırlanması, özel torç yapısı sayesinde oluşur. Arkın termik olarak büzülmesi kaynak torcu memesi dışından akıtılan koruyucu soğuk gaz ile gerçekleştirir. Plazma kaynağı şeması 2.5.' de verilmiştir.

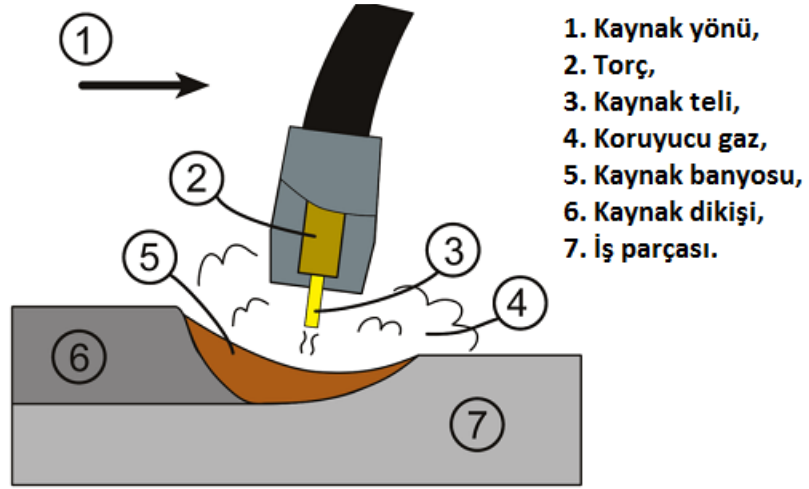


Şekil 2. 5. Plazma kaynağının prensibi [29]

2.5.3.3. MIG\MAG Kaynağı (Eriyen Elektrodla Gazaltı Kaynağı)

Gaz altı kaynak yöntemlerinden olup koruyucu gaz altında yapılır. Kendi içerisinde kullanılan koruyucu gaza göre ikiye ayrılır. Bunlar Metal Inert Gaz (MIG) veya Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağıdır. Aynı zamanda MAGC – MAGM olarak MAG kaynağı kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. MIG-MAG kaynağı Şekil 2.6. 'de verilmiştir.

Yüksek akım yoğunluğu uygulanması durumunda kaynakta mükemmel bir erime özelliği elde edilebilir. Arkın durumu ile orantılı olarak 60 A/mm² – 150 A/mm² aralığında akım yoğunluğu değişir. Yüksek akım sonrasında kuvvetli bir ultraviyole ışın emisyonu olduğundan, özellikle cilt yanması ve göz rahatsızlıklarına karşı önlem alınmalıdır. Derin nüfuziyet yüksek akım şiddeti ile gerçekleşir [29].

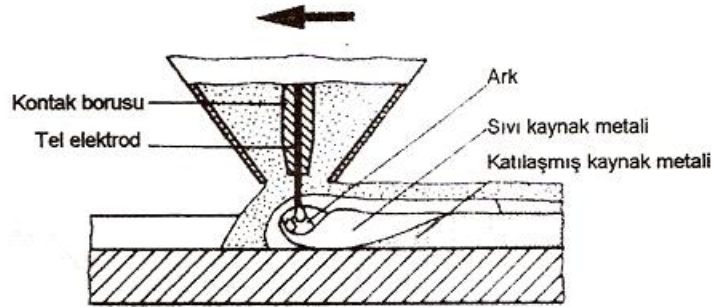


Şekil 2. 6. MIG\MAG Kaynağının şematik görünümü [29]

2.5.4. Tozaltı Kaynağı

Bu kaynak yöntemi, kaynaklı imalat yapan işletmelerde sabit bit konumda uygulanmakta olup bunun nedeni ise ergime gücünün yüksek olması ve kaynak kalitesinin yüksek olmasıdır.

Bu kaynak yönteminde elektrod eriyerek kaynak metali ile arada yanma meydana gelmesi neticesinde ark oluşur. Atmosferin etkisinden kaynak banyosunu cüruf korur. Tek Telli Tozaltı Kaynağının Prensibi şekil 2.7. 'de verilmiştir [3].



Şekil 2. 7. Tek telli tozaltı kaynağının prensibi [3]

2.5.5. Direnç Kaynağı

Bu kaynak yönteminde elektrik akımı kullanılır, iş parçası üzerinden elektrik akımı geçirilir bu esnada iş parçası üzerinde elektriksel direnç oluşarak ısı açığa çıkar bu ısı direnç kaynağının başarılı olmasını sağlar. Kaynak işlemi ise ilave metal

kullanarak yada kullanmadan veya basınç uygulanarak yada uygulanmadan oluşturulur [3].

2.6. Test Yöntemleri

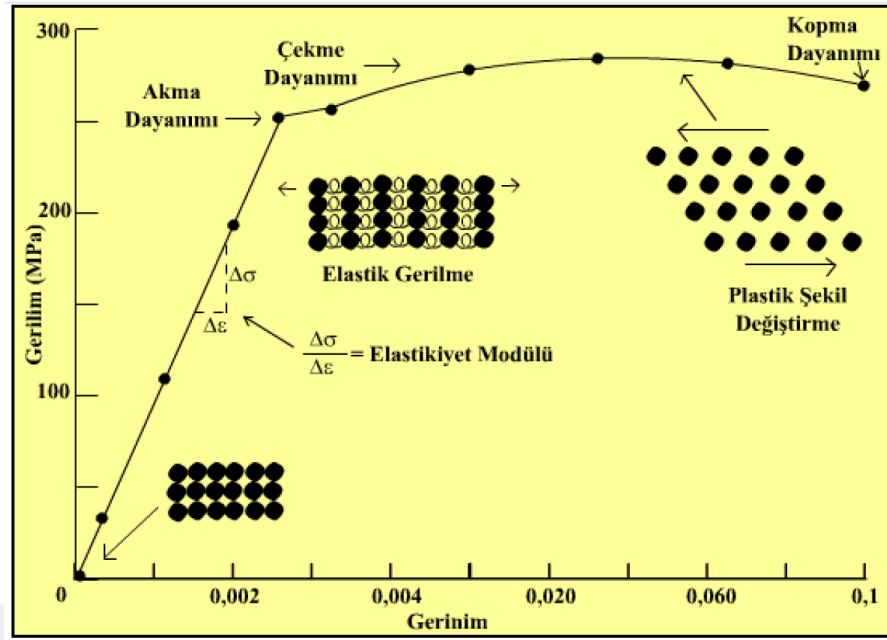
2.6.1. Çekme Testi

Çekme deneyi malzemelerin mukavemeti hakkında tasarım bilgilerini tespit etmek ve malzemeleri özelliklerine göre sınıflandırılmayı amaçlamakta olup yaygın bir şekilde kullanılır. Bu deney standart ölçülere göre hazırlanmış olan numuneyi sabit sıcaklıkta tek ekseninde belirli hızda koparılmaya kadar çekilmesi ile yapılır. Bu deney işlemi sırasında çekme kuvveti artarak uygulanır ve numunenin % uzaması kayıt edilir [29].

Çekme deneyi uygulanan malzemenin imalat şeklinin bilinmesi, numunenin kesiliş koşullarının bilinmesi ve numunenin malzemeyi tam olarak karşılaması ile mekanik özelliklerin doğru bir şekilde tespit edilmesi mümkündür. Çekme deneyi esnasında malzemeye yük uygulandığı il esnada numunede oluşan uzama iki kısma ayrılır;

1. Elastik uzama: Yük uygulanmaya başladığı andan itibaren malzemenin akma sınırına ulaşana kadar bir miktar uzama oluşur, yük kaldırılması ile numune ilk haline geri döner.
2. Plastik uzama: numunenin akma sınırından sonra yük uygulanmasına devam edilmesi ile numunede kalıcı uzama meydana gelir buna plastik uzama denir. Malzeme eski halinde yük kaldırıldığında dönmez [30].

Çekme deneyi sonrası elde edilen gerilme–birim şekil değiştirme diyagramı ile malzemenin elastikiyet sınırı, elastisite modülü, çekme- akma mukavemeti, yüzde uzaması, kesit daralması ve tokluk, rezilyans gibi özellikleri tespit edilir [31].

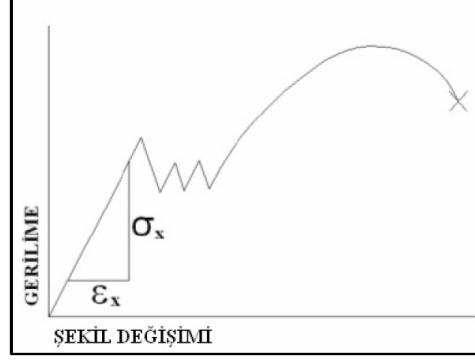


Şekil 2. 8. Çekme deneyinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri [30].

Çekme sonrası elde edilen diyagramda malzemenin elastik kısmına ait eğrinin eğimi Elastisite modülü (E) olarak adlandırılır. Akma meydana gelmeyen malzemelerden olan deri , kauçuk vb. çekme diyagramı bulunmadığından dolayı diyagramda belli bir nokta üzerinden teğet çizilerek eğimi alınır. Sekil 2.9'de E değerinin tespiti gösterilmiştir [30,31].

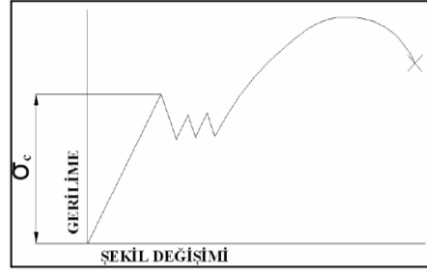
Elastiklik sınırı (ϵ_e), malzeme üzerine uygulanan kuvvet kaldırıldığında yalnız elastik değişimin meydana geldiği, plastik uzamanın görülmediği en yüksek gerilme değerine eşittir [32].

Malzeme üzerine uygulanan çekme kuvveti sabit kalarak plastik şekil değişiminin artması ile çekme diyagramında eğrinin tutarsızlık gösterdiği bölgeye gelen gerilme değerine Akma dayanımı (σ_a) denir[32]. Belirgin akma göstermeyen numunelerin akma sınırı ise plastik uzamanın % 0,2'lik kısmına denk gelir. Sekil 2.9'de akma noktalarının tespiti görülmektedir [30].

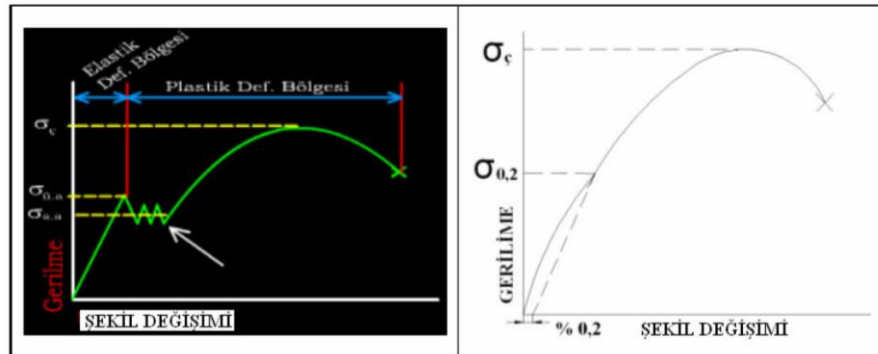


Şekil 2. 9. Elastisite modülünün tespiti [9].

Malzemenin koparılana veya kırılana kadar ölçülen en büyük çekme gerilmesine çekme dayanımı ($\sigma_{\text{ç}}$) denir. Çekme dayanımı elde edilen en yüksek gerilme olup, $\sigma_{\text{ç}} = F_{\text{maks}}/A_0$ formülü ile hesaplanır. Bu formülde F_{maks} en yüksek kuvveti, A_0 ise ilk kesit alanını ifade eder [32].



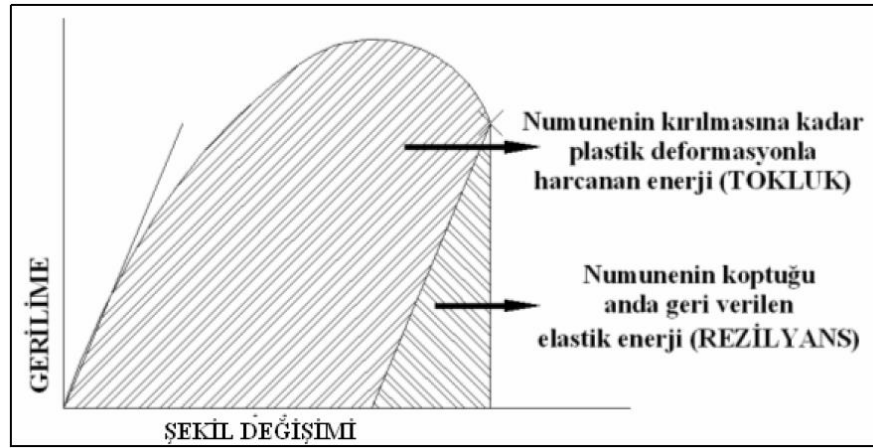
Şekil 2. 10. Çekme diyagramında akma dayanımının gösterimi [30].



Şekil 2. 11. Çekme diyagramında çekme noktasının gösterimi [30].

Kesit daralması numunenin kesit alanında meydana gelen maksimum yüzde daralması veya büzülmesi, çekme numunesinin boyunda meydana gelen en büyük yüzde plastik uzama oranı ise yüzde uzama olarak nitelendirilir [31].

Numunenin kırılma anına kadar sönümlediği enerji tokluk olarak adlandırılır. Genellikle gerilme-şekil değişimi eğrisinin altında kalan alan hesaplanır. Şekil 2.10'da çekme deneyinde rezilyans tespiti görülmektedir. Şekil 2.12'de ise çekme deneyinde rezilyans ve tokluğun beraberce tespiti görülmektedir [30].



Şekil 2. 12. Gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme enerjilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi [30]

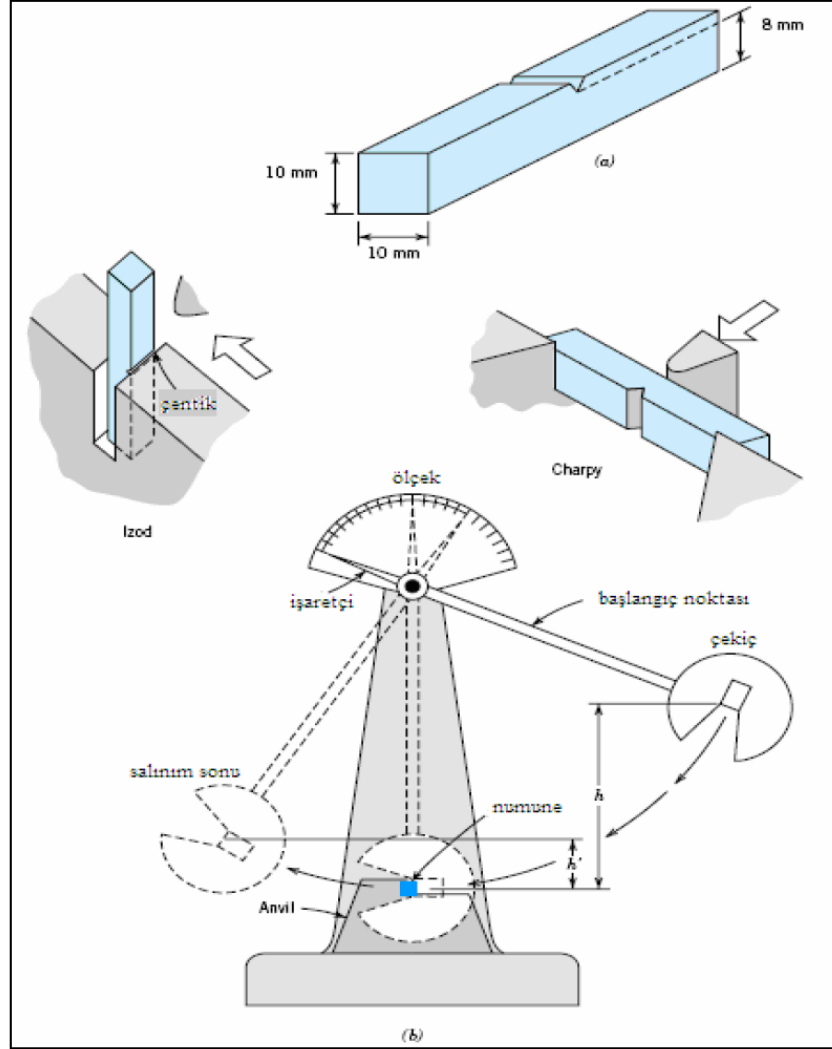
Numune malzemenin elastik şekil değişimi sırasında depoladığı enerji veya elastik şekil değişimi için harcadığı enerjiye Rezilyans denir. Bu enerji malzeme kırıldığı an geri verilir. Rezilyans gerilme- şekil değiştirme diyagramında uzama eğrisinin elastik bölgesinin altında kalan kısımdır [30].

2.6.2 Çentik Darbe Testi

Bu deneyin amacı malzemede bulunan gerilim birikiminin darbe uygulanarak malzemeye geçici olarak teşkil ettirilip bu dinamik zorlamaya karşı malzemenin göstereceği direnci belirlemektir. Bu deneyin amacı darbeli yüklere maruz kalan malzemelerin göstereceği direnci ölçebilmektir. Çentik darbe testi yapılan malzemelerin çarpma dayanımları yavaş yükleme halindeki değerden oldukça düşüktür. Deney sonrası edinilen veriler malzeme gruplandırmasını sağlamakta olup mühendislik tasarım hesaplarında kullanılmazlar. Bu deney numunesinin ölçüsü ve

açılacak çentik şekli belirlidir[30]. İki farklı darbe deneyi vardır. Şekil 2.13’de verilmiştir.

- Charpy darbe deneyi
- İzod darbe deneyi



Şekil 2. 13. Çentik darbe testi [33].

2.6.3. Sertlik Testi

Sertlik malzemenin aşınmaya , kesilmeye, delinmeye ve çizilmeye karşı olarak gösterdiği dirençtir. Malzemenin plastik deformasyon ve dislokasyon hareketine karşın gösterdiği direnç olarak da sertlik ifade edilir. Çeliklerde sertliğin geniş bir aralıkta olması ısıl işlem ve soğuk sertleştirme ile mümkündür. Bu deney sonucu ile malzemenin iç yapısı hakkında bilgi sahibi olunur. Sertlik muayeneleri bu sebeple

oldukça fazla tercih edilir. Sertlik deneyi, malzeme üzerine dikey olarak batırılan uca veya takıma karşı olarak malzemenin gösterdiği direncin ölçülmesi ile yapılır [34].

Sertlik ölçme yöntemleri;

- Rockwell sertlik ölçme yöntemi
- Brinell sertlik ölçme yöntemi
- Mikro-sertlik sertlik ölçme yöntemi
- Vickers sertlik ölçme yöntemi

2.6.4. Metalografi Deneyi

Metalografi malzemenin iç yapısını inceleyen bilim dalıdır. Hasar tespiti ve kalite kontrol işlemleri malzeme iç yapısını inceleyerek tespiti yapılmaktadır.

Metalografi deney adımları aşağıdaki gibidir.



2.6.4.1 Numune alma

Bir malzemenin hangi bölgesi için bilgi alınmaya çalışılıyorsa numune o kısımdan alınarak incelenmelidir. Hasar oluşumu ise hasara uğradığı yerden ve hasar gözlemlenmemiş yerden numune alınıp incelenir ve karşılaştırma işlemi yapılır. Numune alırken malzemenin üretim şekline de dikkat etmek gerekir. Hadde ile elde edilen parçada hadde düzlemleri göz önüne alınmalıdır. Genel yapılacak incelemelerde elde edilen sonuçların verilen numunenin parçanın bütün özelliklerini karşılaması amaçlanır. Bu kapsamda daha fazla numune incelemek maliyetin artmasına ve güvenilirliğinin artmasına neden olur.

Numune kesimi esnasında malzemenin iç mikro yapı değişimi olmaması için deformasyona uğramamasına ve aşırı ısınarak iç gerilme oluşmamasına dikkat edilmesi gerekir. Numune alınırken malzemenin inceleme amacı önem arz eder, metalografi aşağıda verilen amaçlarda yapılır;

- a. Genel mikro yapı incelemeleri (enine kesit alınarak, a-h)
- b. Sementasyon derinliği incelemeleri
- c. Dekarbürizasyon (karbon kaybı) derinliği incelemeleri
- d. Korozyon veya oksitlenme derinliği incelemeleri
- e. Kaplama ve kaplama kalınlığı incelemeleri
- f. Yüzey durumunun incelenmesi
- g. Kalıntıların (inklüzyon) yapısının ve dağılımının incelenmesi
- h. İç yapıdaki gözeneklerin incelenmesi
- i. Genel mikro yapı incelemeleri (boyuna kesit alınarak, i,l)
- j. Isıl işlem durumunun incelenmesi
- k. Plastik deformasyonun iç yapıya etkisinin incelenmesi
- l. Döküm yapısı ve bantlaşmaların incelenmesi

İnceleme türüne göre numune boyuna veya enine kesit alınması gerekir. Bu kesit alma işlemi esnasında torna motorlu testere , el testeresi ile yapılabilir. Malzeme içerisinde ısınma veya aşınma olmaması için ideal kesme yöntemi su soğutmalı disk kullanılmasıdır. Bu disk metalografik kesit alma diski olarak adlandırılmakta olup malzemeye göre kesme diski değişmektedir. Disklerin iç yapısında elmas tozları, SiC, Al₂O₃ gibi aşındırıcı malzemeler bulunmakta olup abraziv kesme diski olarak adlandırılır.

2.6.4.2 Numune hazırlama

Numune hazırlama adımları aşağıdaki gibidir.



Kalıplama: İncelenecek numune boyutlarının ufak olması durumunda veya düz zeminde malzemenin durmaması bu durumda kalıplama uygulaması gerektirmesi veya numunenin bir kelepçe ile sabit tutulması gerekir.

Numunelerin kodlanması ve muhafazası: Numuneleri karışmaması için adlandırma ve etiketlendirme yapılmalıdır. Numunenin incelenmesi hemen

yapılmayacak ise nemden korumak için desikatörde saklanmalıdır. Şekil 2.14’de verilmiştir.



Şekil 2. 14. Desikatör [35]

Zımparalama: Numune kesildikten sonra yüzeyinde pürüz ve çizikler bulunur. Mikroskop görüntüsü için numune yüzeyinin düzgün pürüzsüz olması gerekir.

Zımparalama işlemi esnasında kumaş veya zımpara kağıdının yırtılmaması için bu işlem öncesinde numunede bakalite alınmış ise köşelerine pah kırma işlemi yapılmalıdır. Bu yapılmaz ise numune kumaşı veya zımpara kağıdını yırtabilir. 60, 80, 120, 150, 180, 240 numaralı zımpara kağıtları kullanarak sırası ile en kalın zımparadan en ince zımparaya doğru yapılır. Numunenin iç yapısının ve yüzeyinin zarar görmemesi için zımparalama esnasında su kullanılır. Her zımpara değişiminde numune 90° döndürülerek işlem yapılmalı bir önceki zımpara izleri giderilmelidir. Bir sonraki zımparalama işlemi daha uzun sürer. Fazla basınç uygulanmamalıdır. Aksi durumda numune yüzeyinde çizik fazlalaşır ve zımparalamanın daha uzun sürmesine neden olur.

Parlatma: Bu işlem otomatik, mekanik, kimyasal ve elektrolitik olarak yapılabilir. Bu tez kapsamında mekanik parlatma işlemi kullanılacaktır. Mekanik parlatma işlemi 150- 600d/dk hız ile dönen bir disk üzerine çadır bezi gibi kumaş kaba parlatma işlemi için, tüylü kumaş ise ince parlatma için kullanılır. İnce parlatma için ise tüylü, çuha, kadife vb kumaşlar giydirilir. Aşındırıcı boyutu kaba parlatma için 15-

1 µm iken ince parlatma içinse 0,5-0,05 µm' dir. Diskler üzerine yine aynı boyutlarda MgO, Cr₂O₃, Al₂O₃ ve elmas tozu gibi aşındırıcılar dökülerek parlatma işlemi yapılır. Elmas dışındaki aşındırıcılar süspansiyon olarak veya sprey olarak kullanılırken elma tozu macun olarak kullanılır. Parlatma işlemi esnasında parlatma süspansiyonu kontrollü olarak sıkılmalıdır. Numune parlatma kontrolü 100x büyütme oranı ile optik mikroskop veya gözle yapılır.

Yıkama: Numune bütün ön işlemler sonrasında yıkama işlemi uygulanır. Özellikle her zımpara değişiminde üzerinde parçacık kalmaması için yıkanarak temizlenmesi yapılmalıdır. Parlatma işlemi tamamlanan numune aseton veya alkol kullanılarak yıkanması yapılır. Numunenin kurutulması ılık hava ile yapılmalıdır. Bu işlemler yapıldıktan sonra dağlama adımına geçilebilir.

Dağlama: Kimyasal dağlama işlemi farklı kimyasal maddeleri karıştırarak elde edilen karışım ve malzeme türüne göre değişen “dağlama ayraç ve dağlama reaktifi” kullanılır. Ayraçların elde edilmesi alkol, su, glikol, gliserin gibi maddelerden veya bunların karıştırılarak elde edilen karışımından oluşan maddelerin farklı alkali, asit veya diğer kimyasallar ile karışması neticesinde olur. Elde edilen ayraç numunenin parlatılmış ve dağlanmış olan yüzeyine etki ettirilir. Bu işlem sonucu malzeme fazları veya tanecikleri arasında mikro yapı düzeyinde piller oluşur, bu piller malzeme içerisinde anot (enerjisi yüksek olan kısımda) ve katot (enerjisi düşük olan kısımlar) olur. Aşınma olan bölge anottur mikroskopta incelendiğinde koyu renkte görülür, katot bölgesi ise korunur mikroskopta ışığı geri yansıtarak açık renk görülür. Bu işlem sonucunda fazlar ve tanelerin yapısı incelenir.

Dağlama işlemi makro dağlama ve mikro dağlama olarak ikiye ayrılır. Makro dağlama ışık veya stereo mikroskobu kullanarak düşük büyütmelemlerle (50x, 100x) veya gözle, mikro dağlama ise inceleme yapmak için yapılıyorsa makro dağlama, 100 üzerinde büyütmelemlerle yapılan incelemeler (faz ve tane yapısı incelemeleri) için yapılıyorsa mikro dağlama olarak isimlendirilir.

Makro dağlama işlemi öncesinde numune 400 grid zımpara numarasına kadar zımparalanır ve dağlama yüksek asit içeren çözelti ile yapılır. Makro dağlama işlemi sonrası aşağıdaki incelemelerin yapılması mümkündür [35-39].

- a. Tane boyutlarındaki farklılaşmalar
- b. Döküm iç yapılarından kolonsal, dentritik, eş eksenli yapılar
- c. Soğuk şekil verme sonrası deformasyon akış izleri
- d. Segregasyon ve kalıntılar
- e. Karbürizasyon ve dekarbürizasyon tabakaları
- f. Gözenek ve çatlaklar g. Kaynak bölgesi h. Karbür ve ferrit bantlaşması

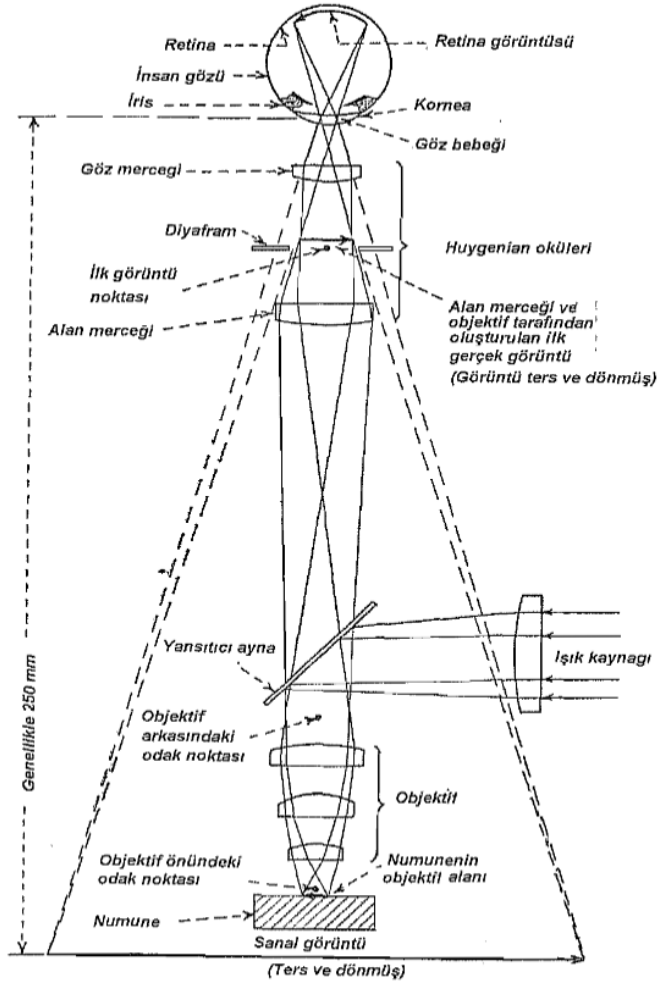


Tablo 2. 5. Çelikler için makro dağlama çözeltileri [35]

No	Dağlama Reaktifi	Miktar	Uygulama Şartları	Uygulama Alanları
Fe	Etanol(%96) Nitrik asit <i>Konsantrasyon değiştirilebilir</i>	90ml 10ml	1-5 dak., derinlemesine dağlama	Fe ve çelikleri için çok yönlü faydalıdır, karbürize ve dekarbürize olmuş tabakalar, segragasyon, mikrodağlama içinde faydalıdır.
Fe	Saf su Hidroklorik asit <i>Konsantrasyon değiştirilebilir</i>	50ml 50ml	10-30 dak., 80°C ye kadar, akan su altında film tabakası ortadan kalkar, korozyona dirençli çelikler için ılık suya %20 lik sulu nitrik asit çözeltilisine daldırılır	Alaşımli ve alışımsız çeliklerde çok yönlü dağlama,yüzey kontrolü ve segragasyon için derin dağlama,porozite,sert liğin belirlenmesi, çatlaklar, inkilizyonlar, dentritler, akış hatları, ferrit
Fe	Hidroklorik asit Bakır(II) sülfatın doymuş çözeltilisi Marble's reaktif	50ml 25ml	San. ile dak. arasında uygulanır	Ostenitik ve yüksek sıcaklık çelikleri, Fe-Cr-Ni döküm alaşımları, nitritasyon derinliği
Fe	Saf su Hidroklorik asit Bakır (II) klorür Fry reaktif	100ml 120-180ml 45-90ml	5-20 dak., dağlamadan önce 150-200°C'ye 5-30 dakika arasında ısıtılmalı.Dağlamadan sonra konsantre hidroklorik asite daldırılmalı, suda yıkanıp amonyum hidroksit içerisinde nötralize edilmeli	Düşük karbonlu nitrürasyon çeliklerinde akış hatları

Tablo 2. 6. Çelikler için mikro dağlama çözeltileri [35]

No	Dağlama Reaktifi	Miktar	Uygulama Şartları	Uygulama Alanları
Fe	Etanol(%95) Nitrik asit (Nital)	100ml 1-10ml	San. ile dak. arasında uygulanır, İkaz: %10 luk çözelti aşılmamalıdır, Patlayıcıdır !	Saf demir, düşük karbonlu çelikler,alaşımli çelikler ve gri dökme demirlerde en çok kullanılan dağlama reaktifidir, segregasyonlarda düzensiz tesir edebilir.
Fe	Etanol veya metanol (%95) Hidroklorik asit Konsantrasyon değiştirilebilir	100ml 20ml	5-30 dak., hemen kullanılmalı, mümkünse hidrojen peroksit (%30) ilave edilmeli	Kübik ve tetragonal martenzitik farklılıkları, Ni ihtiva eden Cr çelikleri, yüksek sıcaklık çelikleri
Fe	Etanol (%96) Pikrik asit Konsantrasyon değiştirilebilir (pikral) Nital veya pikral (Fe m1 ve Fe m3) karıştırılabilir.	100ml 2-4gr	San. ile dak. arasında uygulanır,	Genelde demir ve ısıt işlem görmüş çeliklerde uygulanır, perlit, martenzit ve beynit, Fe m1 den daha düşük konsantrasyondadır, segregasyonlarda dahi daha üniform dağlama sağlar, Fe ₃ C açık sarı renkte görünür
Fe	Metanol veya etanol (%96) Nitrik asit Pikrik asit	100ml 0.2ml 0.3ml	San. ile dak. arasında uygulanır,	
Fe	Etanol (%96) Hidroklorik asit Pikrik asit Mümkünse birkaç damla hidrojen peroksit(%3) damla- tılır veya ıslatıcı madde kullanılır	100ml 1-5ml 1-4gr	San. ile dak. arasında uygulanır, tane sınırlarını meydana çıkarmak için 10 dak. 300- 500°C'ye dağlama öncesi çıkartılır	Alaşımli çeliklerde Fe m2 nin etkisini artırır, Cr-Ni li çeliklerde tane sınırlarındaki çökeltileri görünür hale getirir
Fe	Etanol veya metanol (%95) Hidroklorik asit Nitrik asit	85ml 1-10ml 1-5ml	Birkaç dak. kadar uygulanır	Isıt işlem görmüş takım çeliklerindeki tane sınırları, alaşımli Cr çelikleri



Şekil 2. 15. Metalurji Mikroskobu çalışma prensibi [35]

2.6.5. Spektral Analiz

Malzemenin kimyasal yapısını öğrenmek ve bu kimyasal bileşenler doğrultusunda çelik katalogu malzemenin ne çeliği olduğunu öğrenmek için yapılan bir analiz yöntemidir.

Spektral analiz spektrometre cihazı ile yapılır. Spektrometre cihazının çalışma prensibi molekül, iyon veya atomların enerji düzeyinin değişmesi esnasında absorbe edilen veya dağılan elektromanyetik ışınların ölçülerek yorumlanması işlemidir. Bir enerji çeşidi olan elektromanyetik ışımaya, uzayda büyük bir hızla hareket etmektedir. Gözle algılanabilen görünür ışık ve infrared ışınlar elektromanyetik ışımının en fazla karşılaşılan türleridir.

Hem tanecik hem de dalga özelliğine sahip olan elektromanyetik ışımanın dalga özelliği girişim ve kırım davranış şekli ile açıklanabilir. Işımanın tanecik özelliği ise metal yüzeyi üzerinden ışınma neticesinde elektronların koparılması , ışınma enerjisinin bir madde tarafından soğrulması ve yayılması ile açıklanır [40].

2.7 Güvenilirlik

Konstrüksiyon hesaplamalarında emniyet ve güvenilirlik kavramı çok önemlidir. Emniyet ve güvenilirlik kavramları birbirinden farklı olmasına rağmen terim olarak yakın olmasından bu kavramları açıklamak gerekmektedir. Bu terimlerin hesaplamaları matematiksel kriterler ile belirlenmektedir. Makine parçasına karşı zorlayıcı yükleme yapılması ve bu zorlayıcı üst sınır dayanımı aşmadığını gösteren parametre emniyet katsayısıdır. Emniyet katsayısı “1” ‘e eşit veya daha büyük olabilir, “1” den büyük olmasında istenilen bir ömrü yerine getirmesini garanti eden parametre ise “güvenilirlik” tir. Güvenilirlik ise %100 den yani “1” den küçüktür.

“Klasik konstrüksiyon metodu” emniyet fikrini esas alır. Bu yöntem ile bir sistemin kullanılabilirliği, sistem elemanlarının teorikte sonsuz ömrü gerçekleştireceği mukavemet değerini hesaplanarak yapılabilmektedir. “İstatistik Konstrüksiyon Metodunun temeli ise, makine ekipmanlarının işletme koşullarında belirli bir süre hasar almaksızın çalışmasının esas alınarak güvenilirlik yüzdesinin hesaplanmasıdır. Güvenirlik, istatistik analiz ve ihtimaller teorisine dayanmaktadır. Bir konstrüksiyon tasarımında, sistem elemanlarının güvenilirlik ve emniyet parametrelerinin birlikte matematiksel verilerle belirlenmesi en doğru yaklaşımdır [41].

Güvenilirlik değerleri 0 ila 1 aralığındadır, bu nedenle hasarla güvenirlik arasında $G + H = 1$ şeklinde bir ilişki vardır [42].

Güvenilirlik, karakteristik bir özellik olup, bir malzemenin veya makine elemanının kendi koşullarında kendisine belirlenen ömrü gerçekleştirip gerçekleştiremeyeceğini açıklar [43].

Gauss dağılımı olarak da adlandırılan normal dağılım, birçok alanda önem kazanan bir olasılık dağılımıdır. Normal dağılım, mühendislik ve Güvenilirlik açısından önemli uygulamalara sahiptir [44].

Normal dağılım, çeşitli sistemlerin fiziksel, mekanik veya kimyasal özelliklerinin modellenmesi için kullanılır. Gaz molekülü hızı, aşınma, ses, alüminyum alaşımlı çeliklerin gerilme mukavemeti, elektriksel kondansatörlerin kapasite değişimi, bir alanda elektriksel güç tüketimi, jeneratör çıkış gerilimi ve elektrik direnci, normal dağılımın örnek uygulaması olarak gösterilmiştir [45].

Ayrıca, genellikle maksimum gerilme ve nominal gerilme değerleri için normal dağılım kabul edilir [46-50].

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Bu çalışmada üç farklı çelik seçilmiş olup bunlar düşük karbonlu çelik (C22), ıslah çeliği olan 50CrMo4 ve 50CrV4 çeliğidir. Bu çeliklere ait kimyasal bileşimler aşağıdaki Tablo 3.1'deki gibidir.

Tablo 3. 1. C22, 50CrV4 ve 50CrMo4 çeliği kimyasal bileşimi [52]

DIN	AISI-SAE	C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Mo	V
C 22	1020	0,18	0,15	0,30	0,045	0,045			
		0,25	0,35	0,60					
50CrMo4	4150	0,46	0,15	0,50	0,035	0,035	0,90	0,15	
		0,51	0,40	0,80			1,20	0,30	
50CrV4	6150	0,47	0,15	0,70	0,035	0,035	0,90		0,10
		0,55	0,40	1,10			1,20		0,20

Bu çeliklerin spektral analizleri Özkan Demir Çelik fabrikası desteği ile yapılmış olup sonuçları Tablo 3.2 -3.4 'te verilmiştir.

Tablo 3. 2. 50CrMo4 Spektral analiz sonuçları

29-AUG-2018 11:37:55 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity:4150-1								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.46638	0.54890	0.46504	0.01286	0.00057	16.57203	0.15013	0.03981
AVG	0.46638	0.54890	0.46504	0.01286	0.00057	16.57203	0.15013	0.03981
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.55281	0.00443	0.01390	0.13499	0.00047	0.00985	0.00378	116.04
AVG	0.55281	0.00443	0.01390	0.13499	0.00047	0.00985	0.00378	116.04
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	81.01244	4.00852	17.31477	0.08414	1.39372			
AVG	81.01244	4.00852	17.31477	0.08414	1.39372			
29-AUG-2018 11:39:03 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity:4150-2								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.42177	0.54261	0.46345	0.01279	0.00096	15.66542	0.15195	0.03902
AVG	0.42177	0.54261	0.46345	0.01279	0.00096	15.66542	0.15195	0.03902
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.53397	0.00468	0.00957	0.13228	0.00048	0.00987	0.00383	89.15
AVG	0.53397	0.00468	0.00957	0.13228	0.00048	0.00987	0.00383	89.15
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	81.99844	3.77808	16.39037	0.08580	1.30199			
AVG	81.99844	3.77808	16.39037	0.08580	1.30199			
29-AUG-2018 11:40:03 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity:4150-3								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.49546	0.55234	0.46932	0.01330	0.00064	16.25795	0.15319	0.04029
AVG	0.49546	0.55234	0.46932	0.01330	0.00064	16.25795	0.15319	0.04029
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.55185	0.00476	0.00994	0.13498	0.00048	0.00998	0.00357	107.70
AVG	0.55185	0.00476	0.00994	0.13498	0.00048	0.00998	0.00357	107.70
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	81.29118	3.97553	17.00328	0.08789	1.40750			
AVG	81.29118	3.97553	17.00328	0.08789	1.40750			

Tablo 3. 3. 50CrV4 Spektral analiz sonuçları

29-AUG-2018 11:29:07 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity: 6150-1								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.52532	0.21859	0.88994	0.00760	0.00096	0.98212	0.03621	0.03337
AVG	0.52532	0.21859	0.88994	0.00760	0.00096	0.98212	0.03621	0.03337
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.01121	0.00461	0.00601	0.11797	0.00046	0.00290	0.00179	47.53
AVG	0.01121	0.00461	0.00601	0.11797	0.00046	0.00290	0.00179	47.53
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	97.15618	0.90054	1.06291	0.07947	0.64335			
AVG	97.15618	0.90054	1.06291	0.07947	0.64335			
29-AUG-2018 11:30:17 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity: 6150-2								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.52252	0.21770	0.88367	0.00753	0.00085	0.97824	0.03588	0.03321
AVG	0.52252	0.21770	0.88367	0.00753	0.00085	0.97824	0.03588	0.03321
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.01072	0.00460	0.00702	0.11715	0.00045	0.00286	0.00177	77.41
AVG	0.01072	0.00460	0.00702	0.11715	0.00045	0.00286	0.00177	77.41
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	97.16808	0.89563	1.05806	0.07920	0.63978			
AVG	97.16808	0.89563	1.05806	0.07920	0.63978			
29-AUG-2018 11:31:15 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity: 6150-3								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.50688	0.21365	0.87738	0.00829	0.00104	0.97347	0.03558	0.03285
AVG	0.50688	0.21365	0.87738	0.00829	0.00104	0.97347	0.03558	0.03285
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.01172	0.00476	0.00623	0.11502	0.00043	0.00270	0.00169	85.70
AVG	0.01172	0.00476	0.00623	0.11502	0.00043	0.00270	0.00169	85.70
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	97.19975	0.87771	1.05361	0.08044	0.62320			
AVG	97.19975	0.87771	1.05361	0.08044	0.62320			
29-AUG-2018 11:32:07 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity: 6150-4								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.52471	0.21701	0.88495	0.00799	0.00101	0.98192	0.03631	0.03295
AVG	0.52471	0.21701	0.88495	0.00799	0.00101	0.98192	0.03631	0.03295
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.01012	0.00476	0.00744	0.11798	0.00043	0.00271	0.00181	81.08
AVG	0.01012	0.00476	0.00744	0.11798	0.00043	0.00271	0.00181	81.08
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	97.15978	0.89882	1.06130	0.08051	0.64217			
AVG	97.15978	0.89882	1.06130	0.08051	0.64217			

Tablo 3. 4. C22 Spektral analiz sonuçları

29-AUG-2018 11:33:51 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity:C22-1								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.04402	0.01361	0.16411	0.00452	0.01451	0.05817	0.12071	0.35147
AVG	0.04402	0.01361	0.16411	0.00452	0.01451	0.05817	0.12071	0.35147
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.01763	0.01836	0.03275	0.00001	0.00023	0.00205	0.00105	67.21
AVG	0.01763	0.01836	0.03275	0.00001	0.00023	0.00205	0.00105	67.21
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	99.15139	0.11775	0.54798	0.53502	0.07737			
AVG	99.15139	0.11775	0.54798	0.53502	0.07737			
29-AUG-2018 11:35:02 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity:C22-2								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.04234	0.01335	0.16260	0.00576	0.01442	0.05797	0.12126	0.33941
AVG	0.04234	0.01335	0.16260	0.00576	0.01442	0.05797	0.12126	0.33941
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.01643	0.01884	0.03136	0.00001	0.00027	0.00192	0.00102	76.60
AVG	0.01643	0.01884	0.03136	0.00001	0.00027	0.00192	0.00102	76.60
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	99.16680	0.11475	0.53506	0.52776	0.07513			
AVG	99.16680	0.11475	0.53506	0.52776	0.07513			
29-AUG-2018 11:36:00 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity:C22-3								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.04517	0.01399	0.16473	0.00543	0.01581	0.05822	0.12007	0.35397
AVG	0.04517	0.01399	0.16473	0.00543	0.01581	0.05822	0.12007	0.35397
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.02058	0.01837	0.05264	0.00001	0.00028	0.00190	0.00107	97.75
AVG	0.02058	0.01837	0.05264	0.00001	0.00028	0.00190	0.00107	97.75
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	99.11926	0.11973	0.55284	0.53765	0.07914			
AVG	99.11926	0.11973	0.55284	0.53765	0.07914			
29-AUG-2018 11:36:57 Task:OZKAN Method:FELAST								
Sample Identity:C22-4								
	c [%]	Si [%]	Mn [%]	p [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	cu [%]
1	0.04368	0.01348	0.16325	0.00547	0.01385	0.05795	0.12025	0.35127
AVG	0.04368	0.01348	0.16325	0.00547	0.01385	0.05795	0.12025	0.35127
	Mo [%]	Sn [%]	al [%]	V [%]	B [%]	Nb [%]	Ti [%]	N [ppm]
1	0.02036	0.01807	0.03215	0.00001	0.00024	0.00185	0.00105	91.33
AVG	0.02036	0.01807	0.03215	0.00001	0.00024	0.00185	0.00105	91.33
	FE% [%]	CEV [%]	IZ1 [%]	IZ2 [%]	PCM [%]			
1	99.14927	0.11772	0.54982	0.53198	0.07718			
AVG	99.14927	0.11772	0.54982	0.53198	0.07718			

Çalışma kapsamında kullanılacak 12 tip numune Çizelge 3.5’ de gösterilmiştir.

Tablo 3. 5. Numune çeşitleri

Deney sayısı	Numune Sayısı	Çelik Türü	Kaynak Türü
1	6	50CrMo4	TIG
2	6	50CrMo4	MIG
3	6	50CrMo4	Elektrik Ark
4	6	50CrMo4	Kaynaksız
5	6	C22	TIG
6	6	C22	MIG
7	6	C22	Elektrik Ark
8	6	C22	Kaynaksız
9	6	50CrV4	TIG
10	6	50CrV4	MIG
11	6	50CrV4	Elektrik Ark
12	6	50CrV4	Kaynaksız

Kullanılacak olan çeliklere normalizasyon uygulaması yapılmış olup çeliklere ait ısıtılma işlem sıcaklıkları Tablo 3.6’ da verilmiştir.

Tablo 3. 6. Kullanılan çeliklere ait ısıtılma işlem sıcaklıkları [51]

DIN	AISI- SAE	ısıtılma	yumuşak	yumuşak	normal	sert.ortam		Meneviş
		şekillendirme	tavlama	tavlama	tavlama	ve		
		sıcaklığı	sıcaklığı	sertlik	sıcaklığı	soğut.sıcak		sıcaklığı
		°C	°C	≥ BSD 30	°C	su	yağ	°C
						°C	°C	
C 22	1020	1100	650	156	880	860	870	540
		900	700			910	890	900
50CrMo4	4150	1100	680	248	840	820	830	540
		850	720			880	850	860
50CrV4	6150	1100	680	248	840	820	830	540
		850	720			880	850	860

Kaynak ağzı açılacak numuneler MIG/MAG, TIG ve Elektrik ark kaynak yöntemleriyle kaynak işlemi yapılmıştır. Koruyucu gaz olarak argon kullanılmıştır. Bu kaynak işleminde LINCOLN marka NEMA EW1 MIG/ MAG gazaltı kaynağı makinası (Şekil 3.1), ESAB CAB 300 S Serisi TIG kaynak makinası kullanılmıştır(Şekil 3.2).



Şekil 3. 1. MIG/MAG Kaynak cihazı



Şekil 3. 2. TIG Kaynak cihazı

MIG ve MAG kaynağı sırasında kullanılacak kaynak telinin çapı 1.2 mm'dir. Tozaltı kaynağı sırasında kullanılmış kaynak telinin çapı ise 4mm'dir. Bu tellere ait kimyasal bileşimler aşağıdaki Tablo 3.7-3.9'da verilmiştir.

Tablo 3. 7. MIG/MAG kaynak telinin kimyasal bileşimi [53]

SG2 Gazaltı MIG/MAG Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi		
C	Si	Mn
0,08	0,85	1,5

Tablo 3. 8 TIG kaynak telinin kimyasal bileşimi [53]

Magmaweld TG2 Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi				
C	Si	Mn	P	S
0,06	0,8	1,5	0,01	0,008

Tablo 3. 9 Elektrik Ark kaynak telinin kimyasal bileşimi [54]

Oerlikon ESB 48 Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi		
C	Si	Mn
0,075	0,4	1,1

Zımparalama ve parlatma işlemi Metkon Forcipol 1V cihazında yapılmıştır. Şekil 3.3’de verilmiştir.

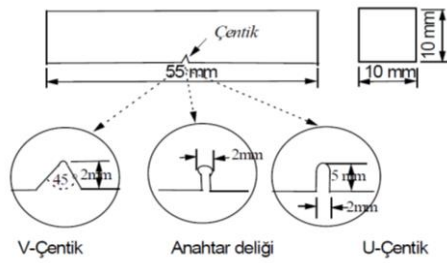


Şekil 3. 3. Numune zımparalama ve parlatma cihazı

Malzemenin dinamik yüklere karşı gösterdiği kırılma enerjisini belirlemek için test Charpy deney cihazında yapılmıştır. Şekil 3.4 – 3.5’ de verilmiştir. Her numune tipinden 6 adet test yapılmıştır.



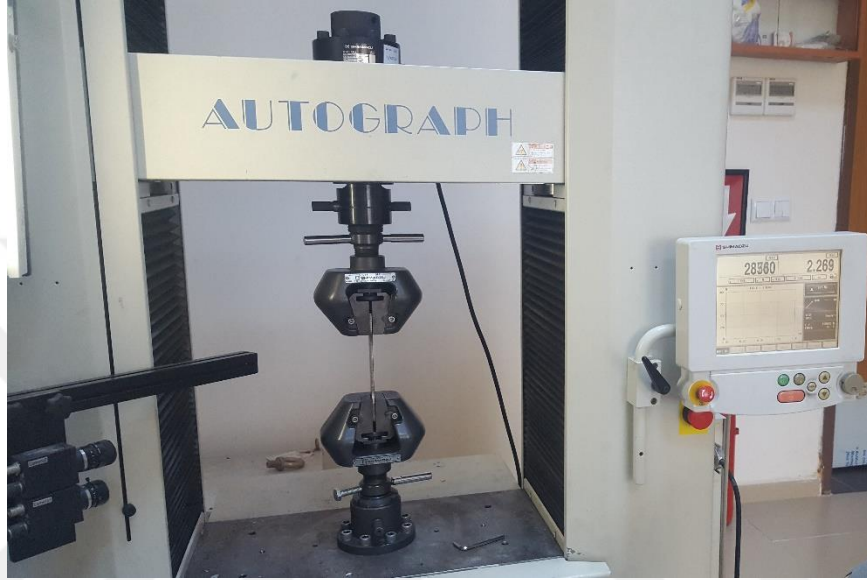
Şekil 3. 4. Çentik darbe deneyi cihazı



Şekil 3. 5. Charpy darbe deney numunesi şematik gösterimi

Kaynaklı numunelerin iç yapılarının incelenmesi ise Nikon marka Optik mikroskop ve görüntü analiz sistemiyle yapılmıştır.

Numunelerin çekme testi uygulaması Autograph Shimadzu AG-IS 100 kN üniversal çekme testi cihazında yapılmıştır. Şekil 3.6'de verilmiştir.



Şekil 3. 6. Autograph Shimadzu AG-IS 100 kN çekme test cihazı

Numunelerin sertlik ölçümleri Future Tech FM700 marka mikrosertlik cihazında yapılmıştır.

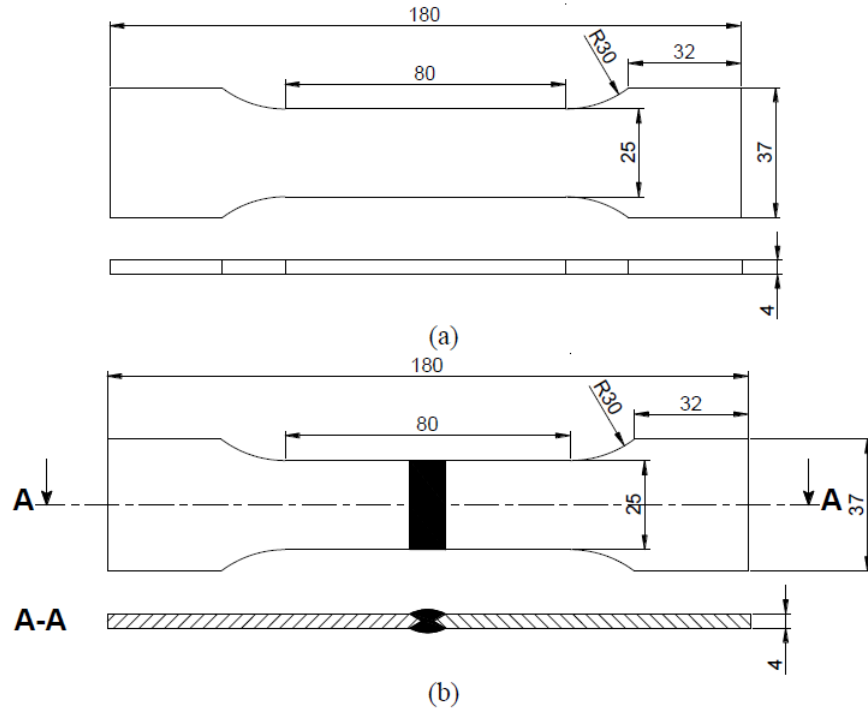
Numunelerden elde edilen veriler sonucunda fonksiyon belirlenerek numunelere ait grafikler çizilmiştir.

3.2. Yöntem

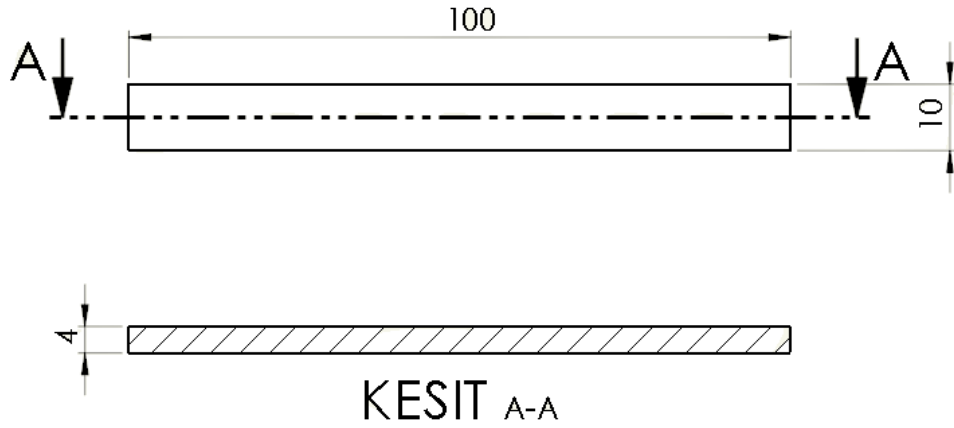
3.2.1 Kesme ve Kaynak İşlemleri

50CrV4, 50CrMo4 ve C22 çelikleri alınarak kaynaklı ve kaynaklı çekme deney numuneleri, sırasıyla TS EN ISO 6892-1 ve TS EN ISO 4136 standartlarına bağlı kalınarak kesilmiş olup charpy deneyi için de numuneler 4x10x100 boyutlarında kesilmiştir. Kesilen numunelere V kaynak ağızları açılıp MIG/MAG , TIG ve Elektrik

Ark kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiştir. Çekme deney numunesi şekil 3.7’de , çentik darbe deney numunesi ise şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3. 7. Çekme deney numune ölçüsü

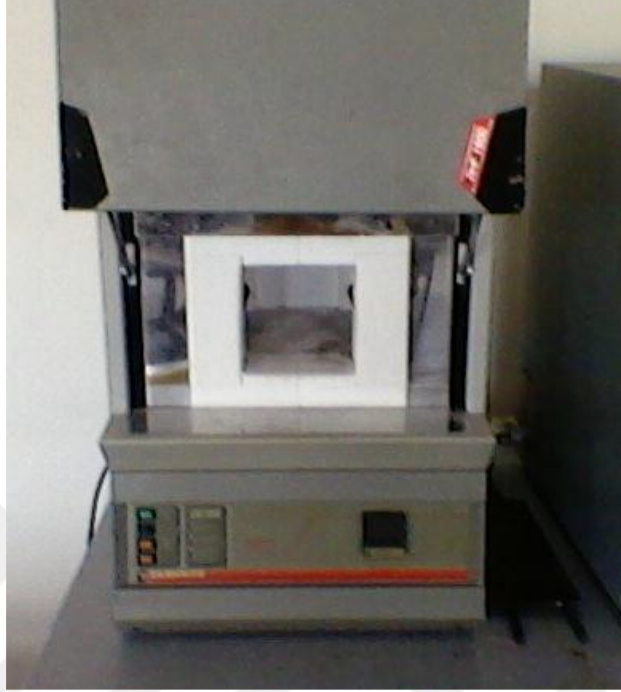


Şekil 3. 8. Çentik darbe deneyi numune ölçüsü

3.2.2 Normalizasyon

Kesilerek kaynak uygulaması yapılan çeliklere ısıtma fırınında normalizasyon uygulaması yapılmıştır. Isıtma fırını şekil 3.9’da verilmiştir.

Normalizasyon işlemi, ilgili çelik için demir karbon diyagramından östenitleme sıcaklığı tespit edilerek ve literatürdeki veriler de göz önüne alınarak Tablo 3.6 referans alınarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 9. Numunelerin normalizasyon uygulandığı fırın

3.2.3 Metalografik İnceleme İçin Numune Hazırlama

Zımparalama işlemi, 100G- 400G- 600G -1000G nolu zımpara kağıdı ile tamamlanarak parlatma işlemine geçilmiştir. Parlatma işlemi için 0.5 mikrometre boyutundaki alümina (Al_2O_3) kullanılmıştır.

3.2.4 Deney ve İncelemeler

Her numuneden 6 adet olmak üzere toplam 72 adet numunenin çekme testi uygulaması Autograph Shimadzu AG-IS 100 kN üniversal çekme testi cihazında yapılmıştır. C22 çeliği çekme testi sonrası numunelere ait görüntü şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3. 10. 50CrV4 çeliği çekme deneyi uygulaması öncesi

Her bir numune malzeme üzerinde 0,05 mm aralıklarla mikrosertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Numuneler üzerinde V çentik açılarak çentik darbe testi yapılmıştır. V çentik açılan numuneler şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3. 11. V çentik açılan numuneler

Dağlama işlemi parlatma işleminden sonra %5 lik Nital ($\text{HNO}_3 + \text{Etanol}$) karışımı kullanılarak kademeli olarak yapılmıştır. Dağlama işleminin ardından kaynak bölgesinden ve ITAB bölgesinden optik mikroskopla resimler çekilmiştir.

3.2.5 Güvenilirlik İncelemeleri

Çekme deneyi sonucu numunelere ait akma/çekme dayanımları ve sertlik değerlerinin normal ve kümülatif dağılımları elde edilerek bu dağılımların güvenilirlik incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Eğriler normal dağılım denklemlerinin fonksiyonunun elde edilmesi vasıtası ile çizdirilmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Farklı kaynak yöntemleri ile hazırlanan numunelerde yapılan çekme testleri sonucunda çeliklere ait çekme ve akma dayanımı Tablo 4.1 – 4.2’de verilmiştir.

Elde edilen grafiklere örnek olarak gerilme yüzde uzama eğrileri şekil 4.1 – 4.3’de verilmiştir. Şekil 4.4’de 50CrV4 çeliğinin çekme deneyi sonrası numune görüntüleri verilmiştir. Her malzeme için numunelerden elde edilen çekme- akma gerilme değişimleri şekil 4.5 - 4.10 ‘da verilmiştir.

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	4,0000	25,0000	100,0000

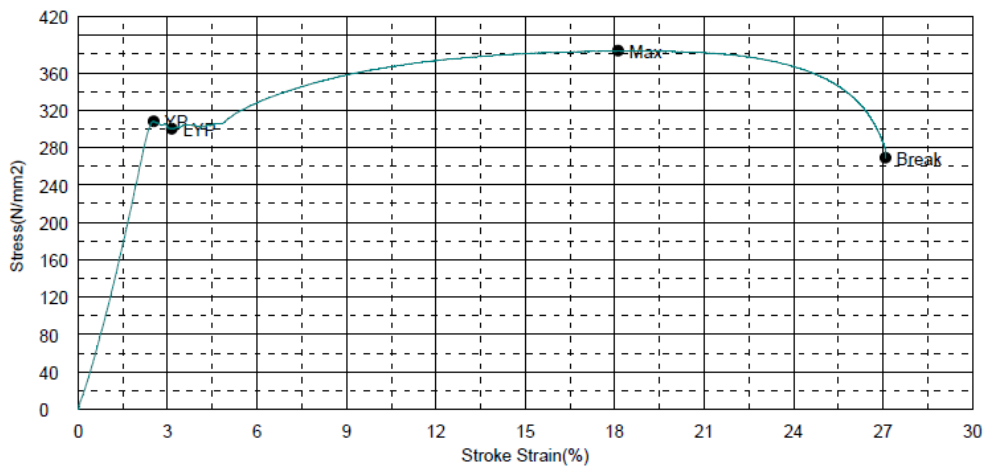
Name	LASE1 Force	LASE1 Stress	YP Force	YP Disp	YP Stress
Parameter	1 mm	1 mm	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Units	kN	N/mm2	kN	mm	N/mm2
1 - 1	11,0313	110,313	30,8062	2,52900	308,063

Name	YP Strain	YS1 Force	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain
Parameter	0,1 %/FS	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	%	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	2,52900	--	--	--	--

Name	Max Force	Max Disp	Max Stress	Max Strain	Break Force
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	38,3656	18,1120	383,656	18,1120	26,9094

Name	Break_Disp	Break Stress	Break Strain	EASL1_Disp	EASL1 Strain
Parameter				1 kN	1 kN
Units	mm	N/mm2	%	mm	%
1 - 1	27,0810	269,094	27,0810	,08800	,08800

Name	LYP Force	LYP Disp	LYP Stress	LYP Strain
Units	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	30,0156	3,13700	300,156	3,13700



Şekil 4.1. C22 Çeliği kaynaklı numunenin gerilme – uzama grafiği

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	4,0000	25,0000	100,0000

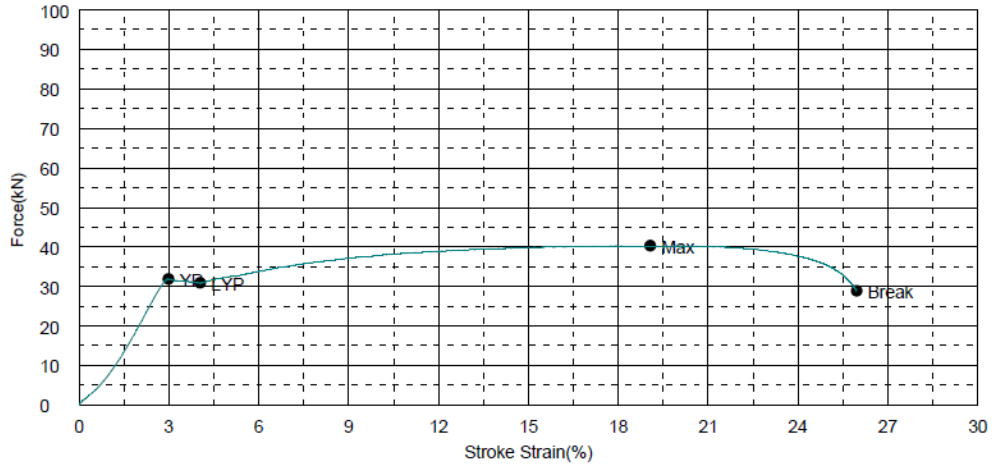
Name	LASE1 Force	LASE1 Stress	YP Force	YP Disp	YP Stress
Parameter	1 mm	1 mm	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Units	kN	N/mm2	kN	mm	N/mm2
1 - 1	7,79063	77,9063	31,9000	2,98700	319,000

Name	YP Strain	YS1 Force	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain
Parameter	0,1 %/FS	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	%	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	2,98700	--	--	--	--

Name	Max Force	Max Disp	Max Stress	Max Strain	Break Force
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	40,2969	19,0705	402,969	19,0705	28,9031

Name	Break Disp	Break Stress	Break Strain	EASL1 Disp	EASL1 Strain
Parameter				1 kN	1 kN
Units	mm	N/mm2	%	mm	%
1 - 1	25,9540	289,031	25,9540	,11000	,11000

Name	LYP Force	LYP Disp	LYP Stress	LYP Strain
Units	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	30,8937	4,04600	308,938	4,04600



Şekil 4.2. 50CrV4 Çeliği Ark kaynaklı numunenin gerilme – uzama grafiği

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	4,0000	25,0000	100,0000

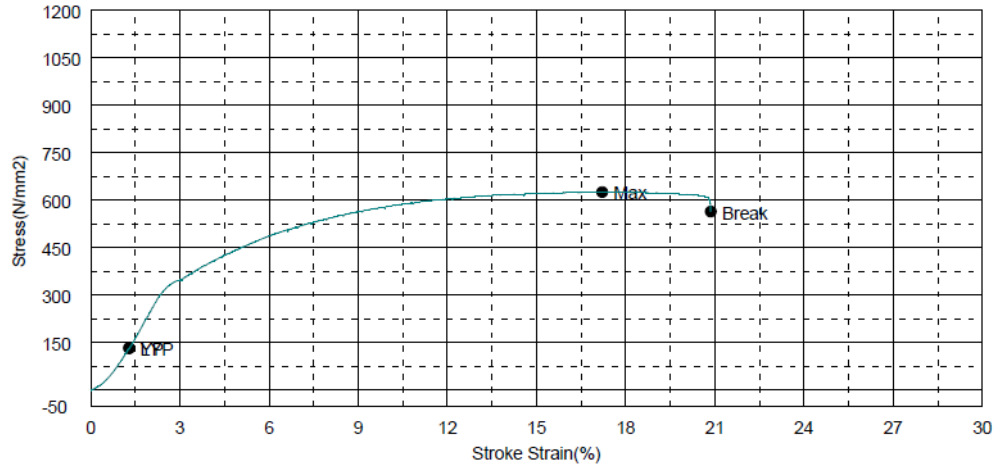
Name	LASE1 Force	LASE1 Stress	YP Force	YP Disp	YP Stress
Parameter	1 mm	1 mm	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS
Units	kN	N/mm2	kN	mm	N/mm2
1 - 1	9,06094	90,6094	13,3594	1,29300	133,594

Name	YP Strain	YS1 Force	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain
Parameter	0,1 %/FS	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	%	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,29300	--	--	--	--

Name	Max Force	Max Disp	Max Stress	Max Strain	Break Force
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	62,5469	17,2140	625,469	17,2140	56,4188

Name	Break Disp	Break Stress	Break Strain	EASL1 Disp	EASL1 Strain
Parameter				1 kN	1 kN
Units	mm	N/mm2	%	mm	%
1 - 1	20,8610	564,188	20,8610	,20567	,20567

Name	LYP_Force	LYP_Disp	LYP_Stress	LYP_Strain
Units	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	13,2250	1,30200	132,250	1,30200



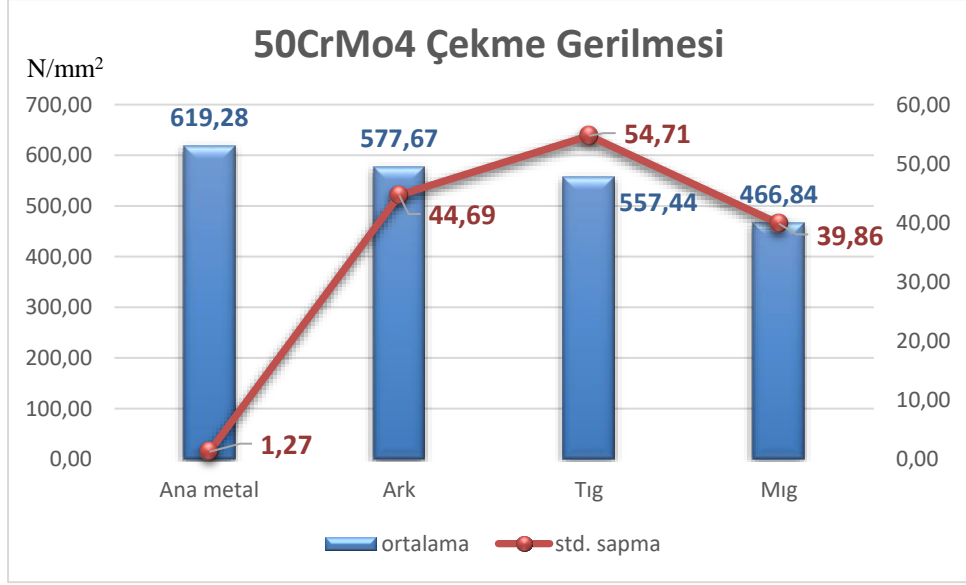
Şekil 4.3. 50CrV4 Çeliği TIG kaynaklı numunenin gerilme – uzama grafiği



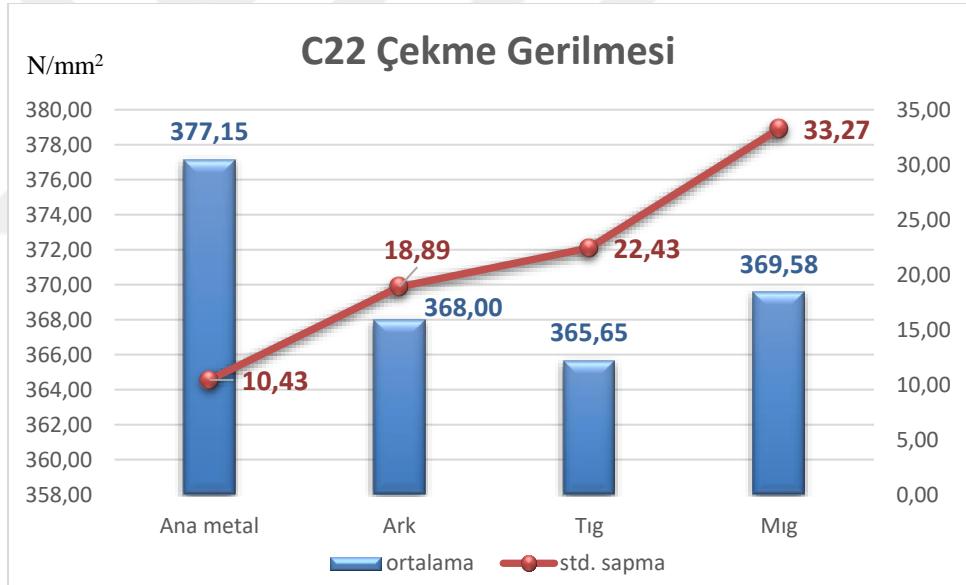
Şekil 4.4. 50CrV4 Çeliği çekme deneyi sonrası

Tablo 4. 1. Numunelere ait çekme dayanımları

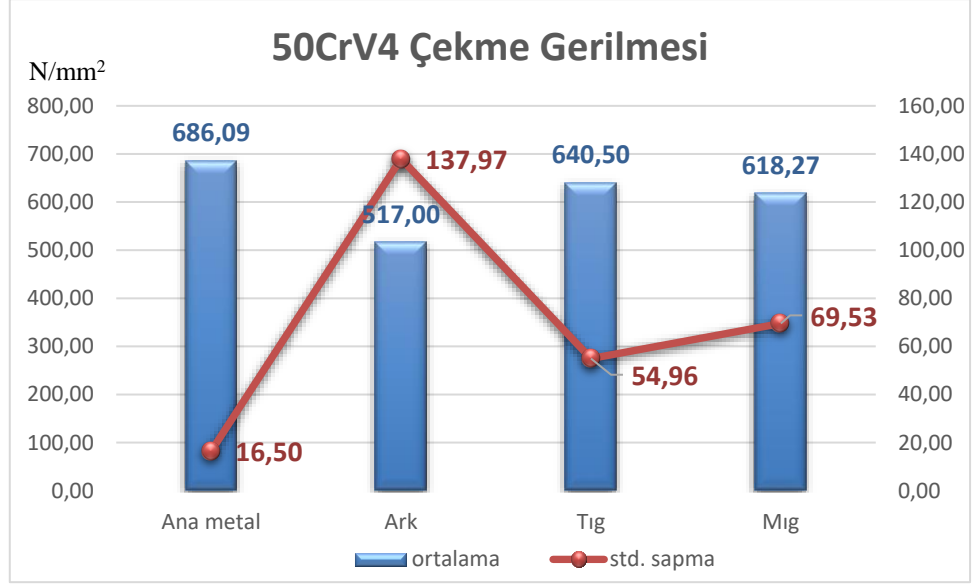
Çekme Dayanımı N/mm ²	50CrMo4		C22		50CrV4	
	Ortalama	std. sapma	ortalama	std. sapma	ortalama	std. sapma
KAYNAKSIZ	619,28	1,27	377,15	10,43	686,09	16,50
TIG	577,67	44,69	368,00	18,89	517,00	137,97
MIG	557,44	54,71	365,65	22,43	640,50	54,96
ARK	466,84	39,86	369,58	33,27	618,27	69,53



Şekil 4.5. 50CrMo4 Ortalama çekme dayanımı ve standart sapma dağılımı



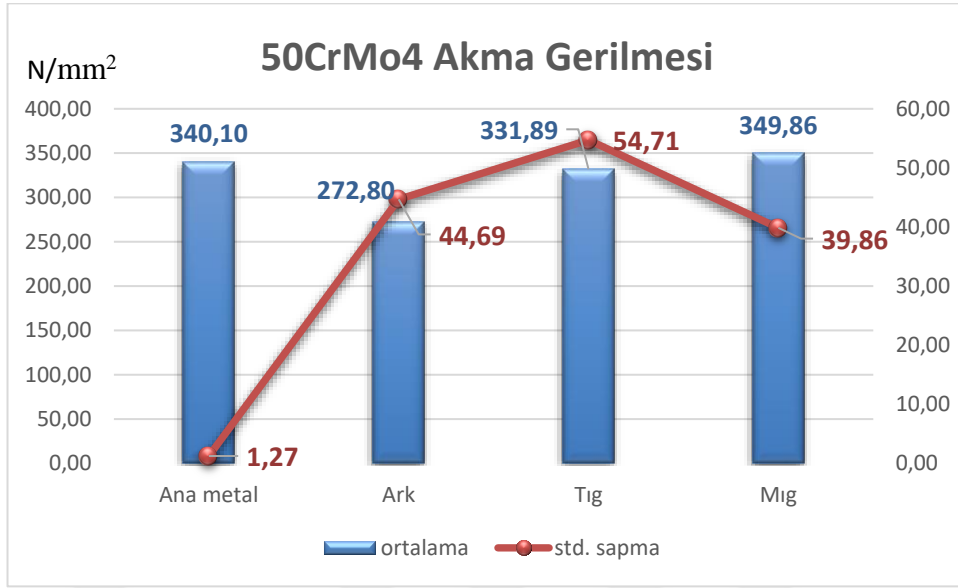
Şekil 4.6. C22 Ortalama çekme dayanımı ve standart sapma dağılımı



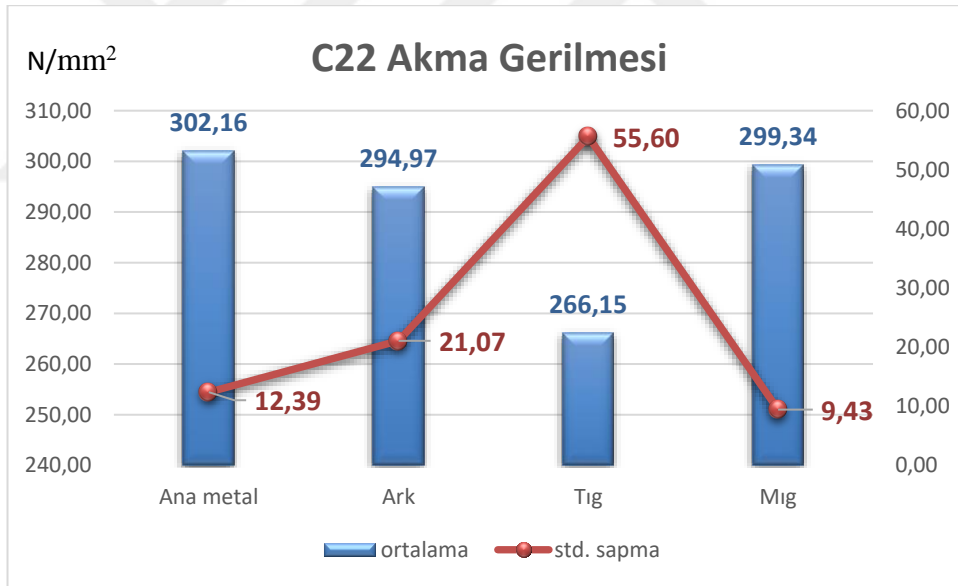
Şekil 4.7. 50CrV4 Ortalama çekme dayanımı ve standart sapma dağılımı

Tablo 4. 2. Numunelere ait akma dayanımları

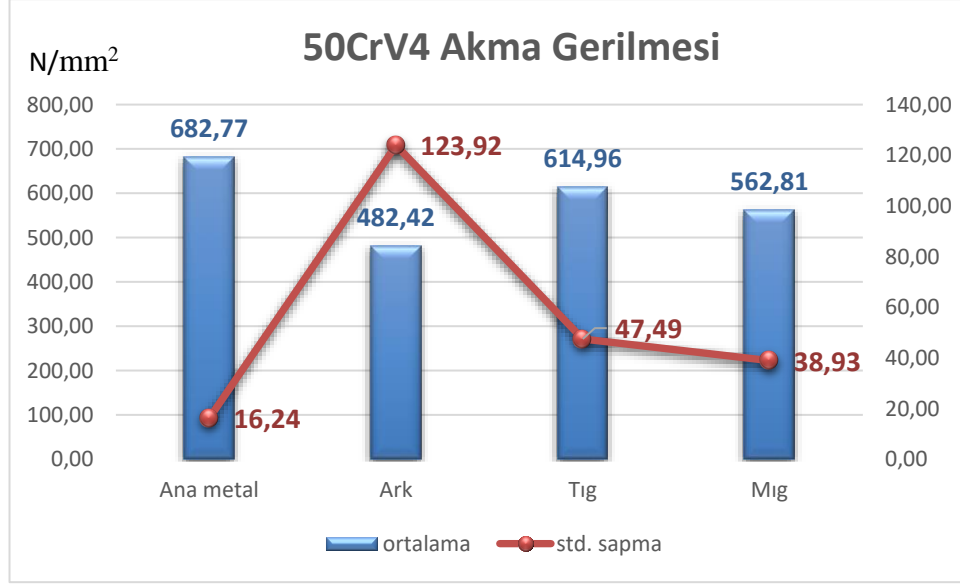
Akma Dayanımı N/mm ²	50CrMo4		C22		50CrV4	
	ortalama	std. sapma	ortalama	std. sapma	ortalama	std. sapma
KAYNAKSIZ	340,10	7,44	302,16	12,39	682,77	16,24
TIG	272,80	40,67	294,97	21,07	482,42	123,92
MIG	331,89	13,74	266,15	55,60	614,96	47,49
ARK	349,86	45,57	299,34	9,43	562,81	38,93



Şekil 4.8. 50CrMo4 Ortalama akma dayanımı ve standart dağılımı



Şekil 4.9. C22 Ortalama akma dayanımı ve standart dağılımı



Şekil 4.10. 50CrV4 Ortalama akma dayanımı ve standart dağılımı

Sonuçlar incelendiğinde, kaynak işleminin akma ve çekme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Yalnızca 50CrMo4 MIG kaynak yönteminde akma sınırının arttığı gözlemlenmekte olup bununla olası kaynak metalinin dolgusu ve kaynak ağzı nedeni ile olduğu düşünülmektedir.

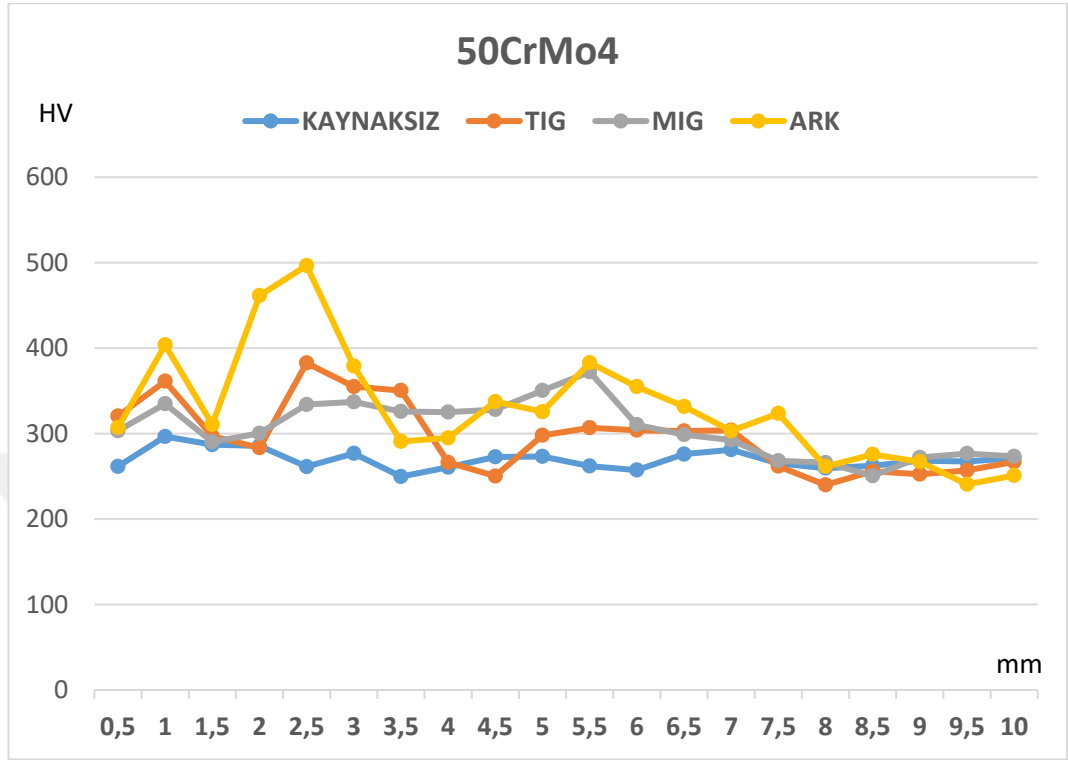
4.2.Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

Future Tech FM700 marka mikrosertlik cihazında numunelerin 100 gram yükleme ile mikro yapı sertliklerinin ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümlere istinaden ortalama ve standart sapma değerler hesaplanmış olup Tablo 4.3 'de verilmiştir.

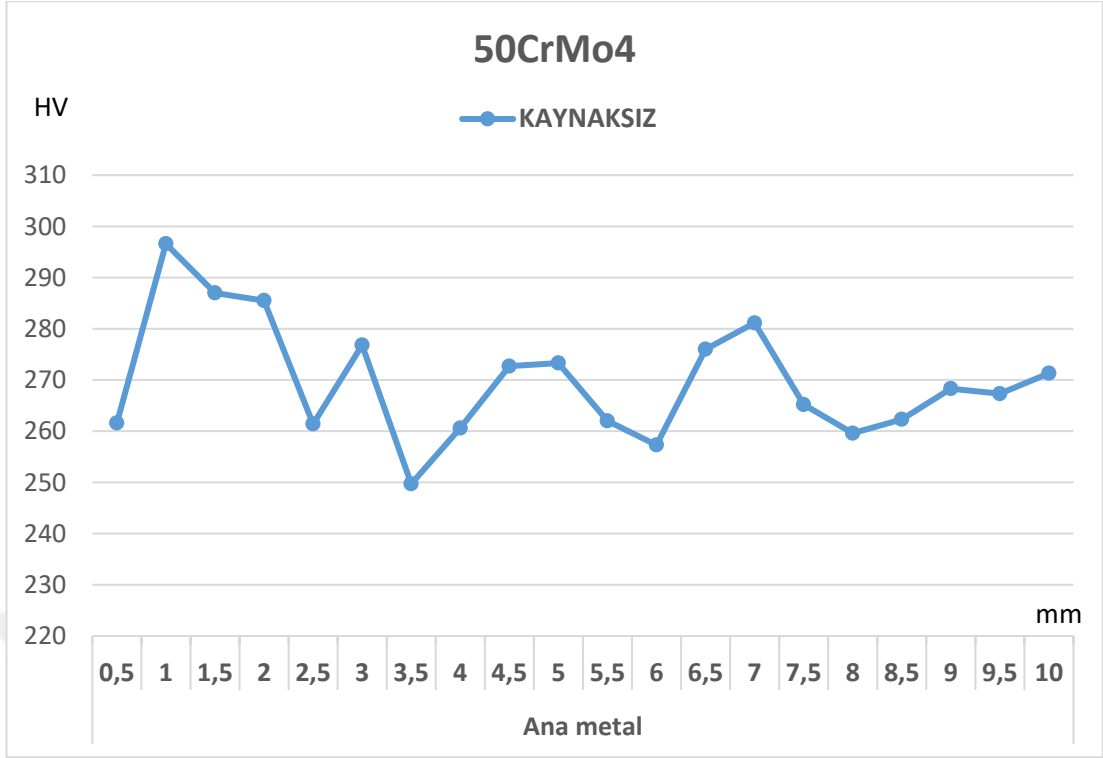
Tablo 4. 3. 50CrMo4,C22 ve 50CrV4 Çeliğine ait ortalama ve standart sapma sertlikleri

HV	50CrMo4		C22		50CrV4	
	ortalama	std. sapma	ortalama	std. sapma	ortalama	std. sapma
KAYNAKSIZ	269,78	11,55	210,59	14,92	289,72	10,83
TIG	295,84	41,29	251,87	66,25	483,81	162,17
MIG	305,51	32,36	228,91	35,7	488,41	264,78
ARK	322,01	69,22	281,28	46,67	413,07	143,59

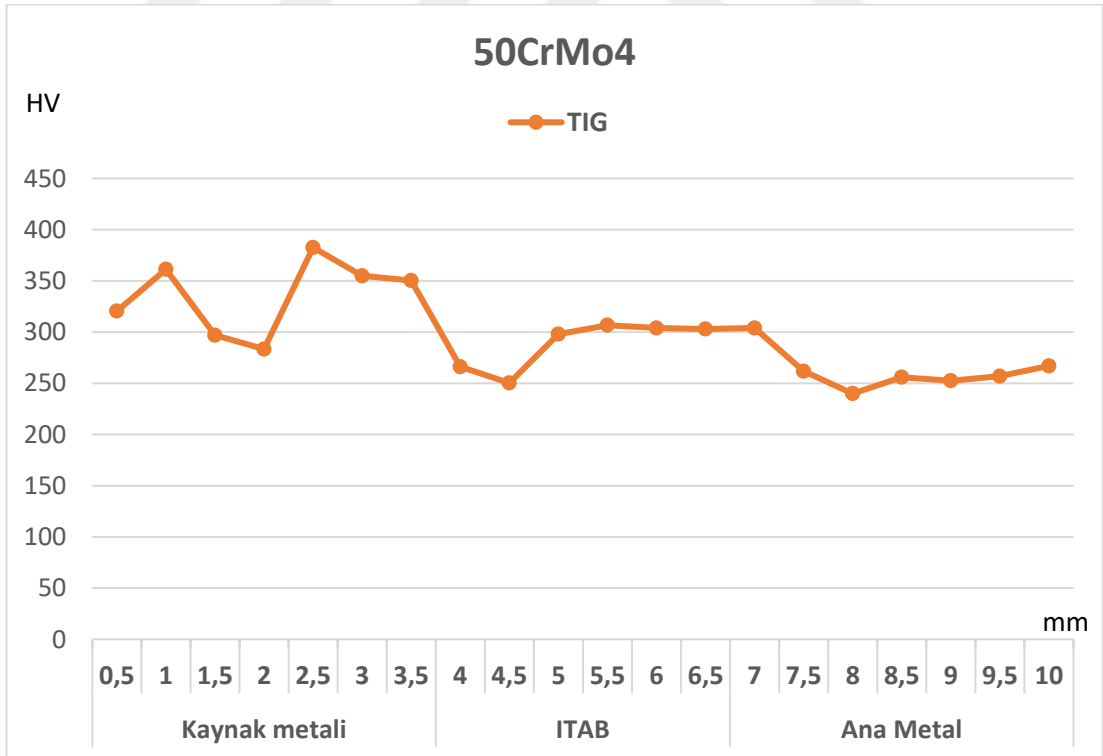
Her metalin kendi içerisinde kaynak yöntemine göre yapılan mikrosertlik ölçümleri 4.11-4.25 şekillerde verilmiştir.



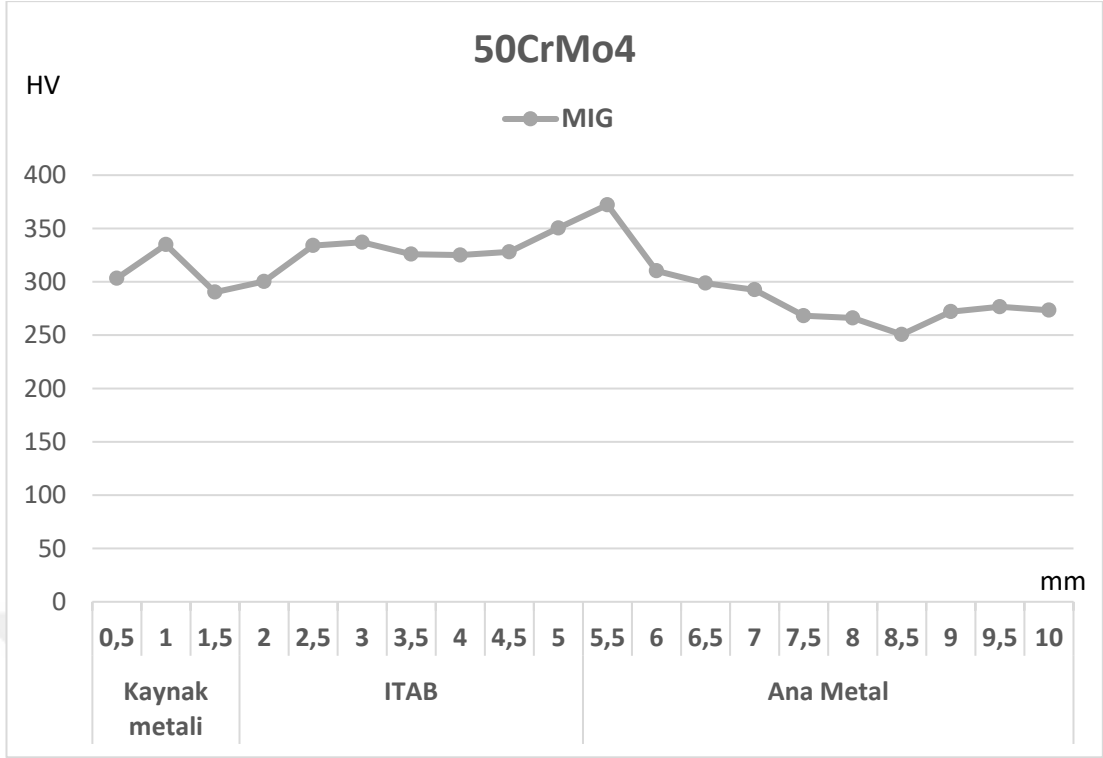
Şekil 4.11. 50CrMo4 Çeliği mikrosertlik dağılımı



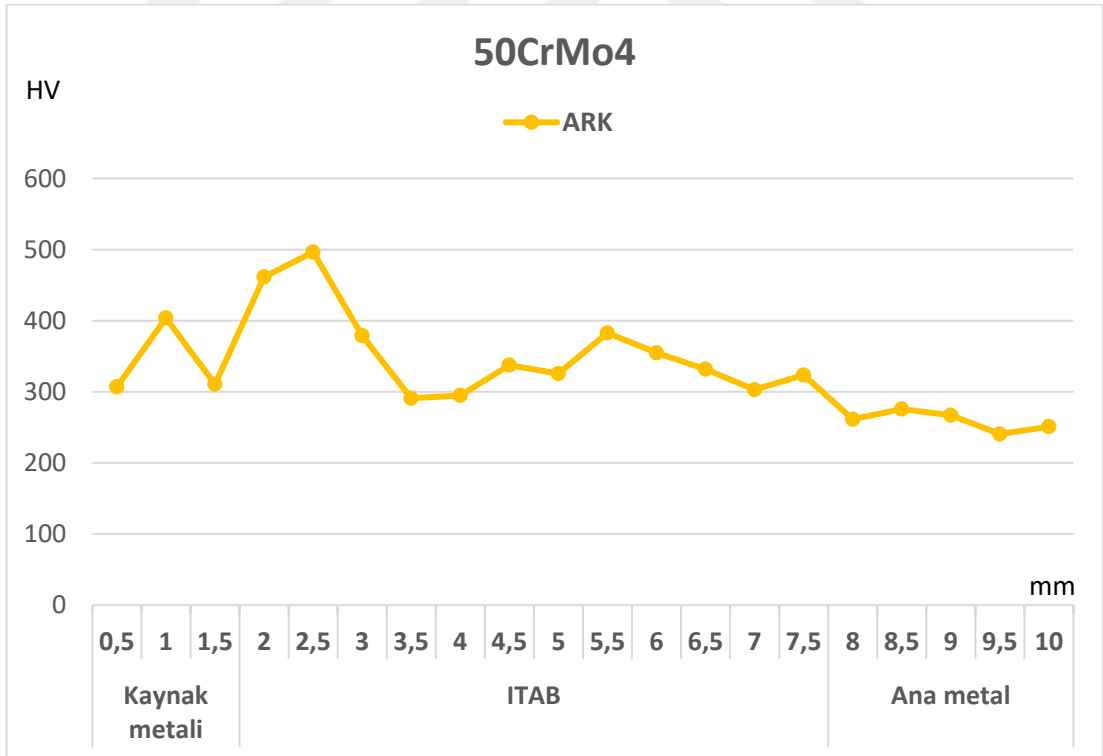
Şekil 4.12. 50CrMo4 Çeliği kaynaklı mikrosertlik dağılımı



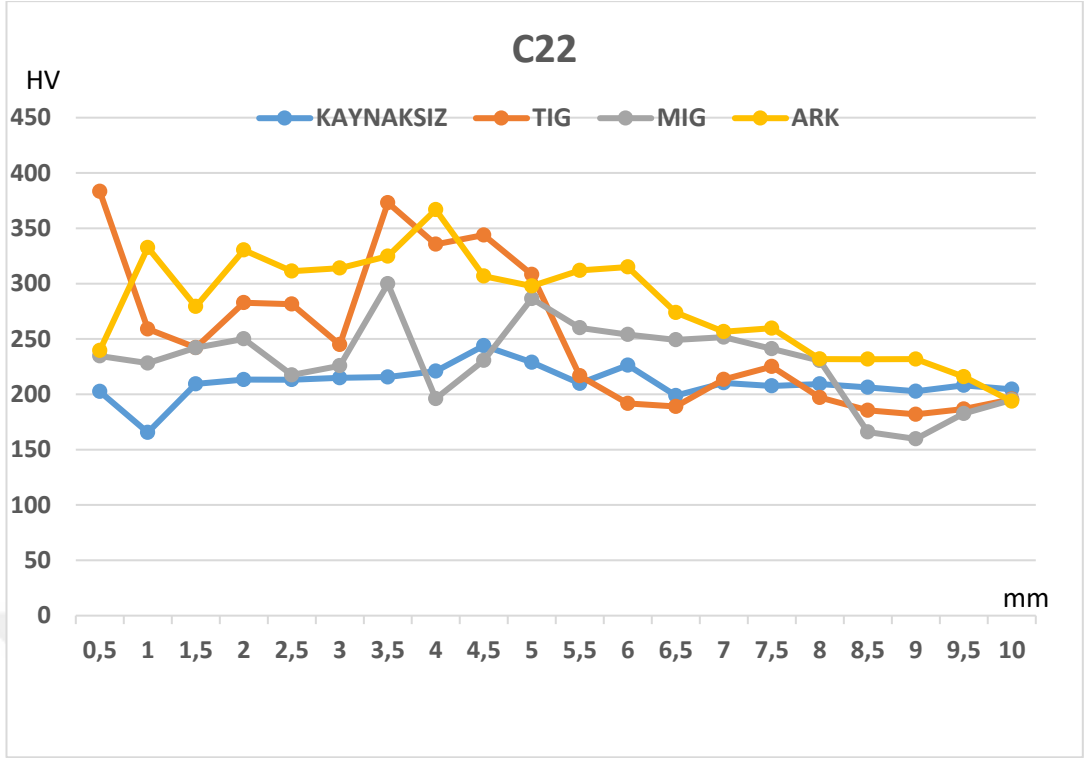
Şekil 4.13. 50CrMo4 Çeliği TIG kaynağı mikrosertlik dağılımı



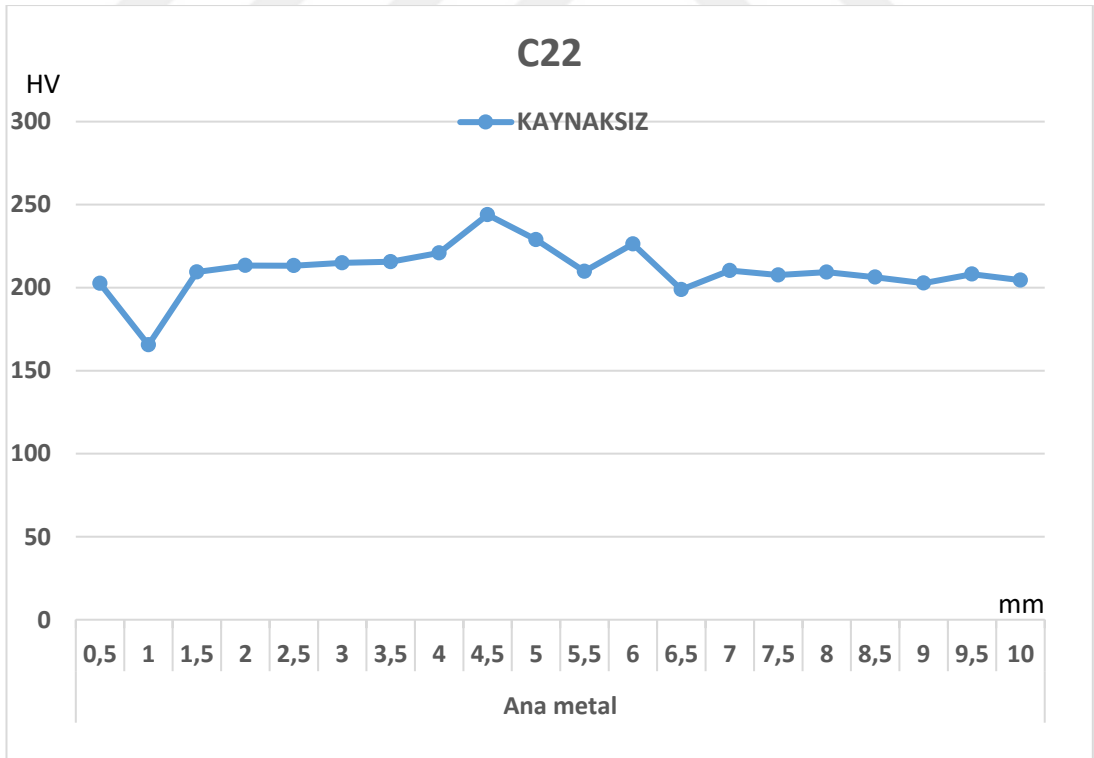
Şekil 4.14. 50CrMo4 Çeliği MIG kaynağı mikrosertlik dağılımı



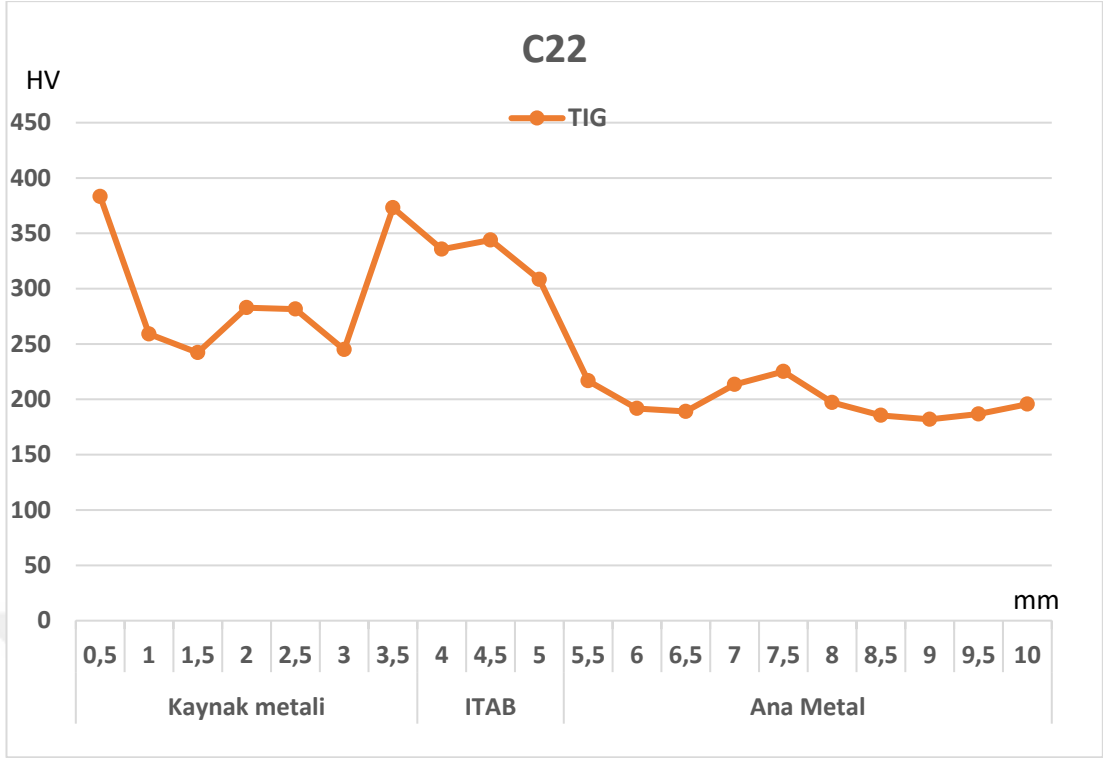
Şekil 4.15. 50CrMo4 Çeliği Ark kaynağı mikrosertlik dağılımı



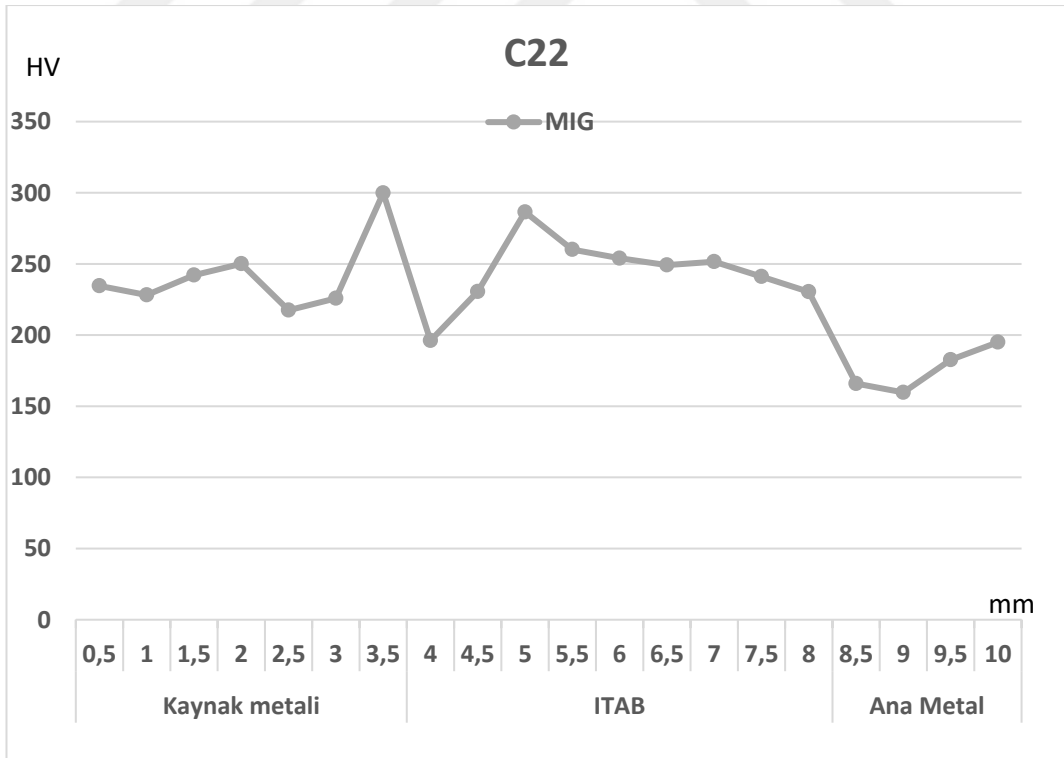
Şekil 4.16. C22 Çeliği mikrosertlik dağılımı



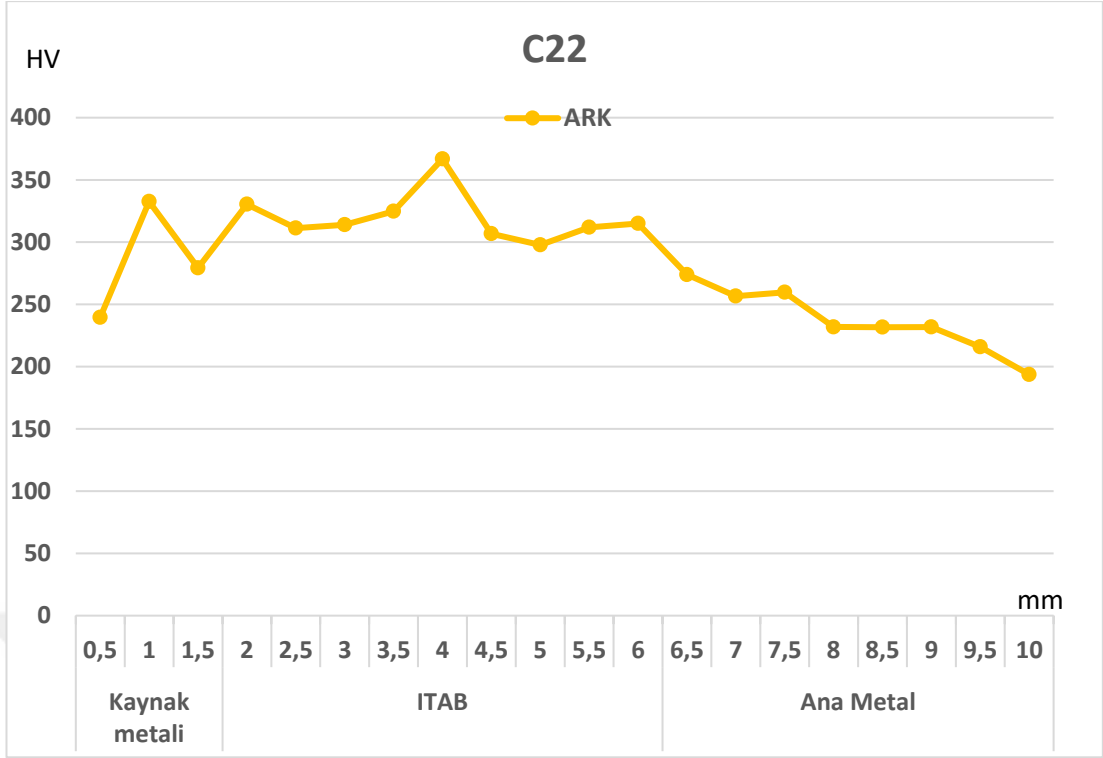
Şekil 4.17. C22 Çeliği kaynaksız mikrosertlik dağılımı



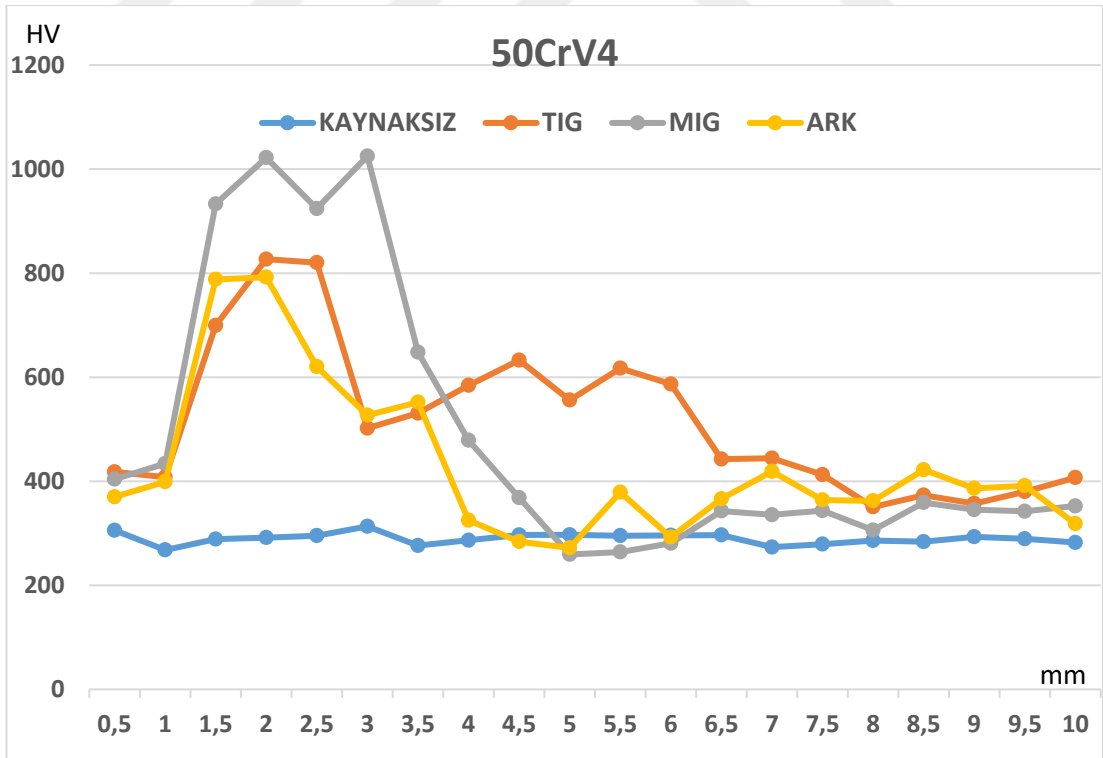
Şekil 4.18. C22 Çeliği TIG kaynağı mikrosertlik dağılımı



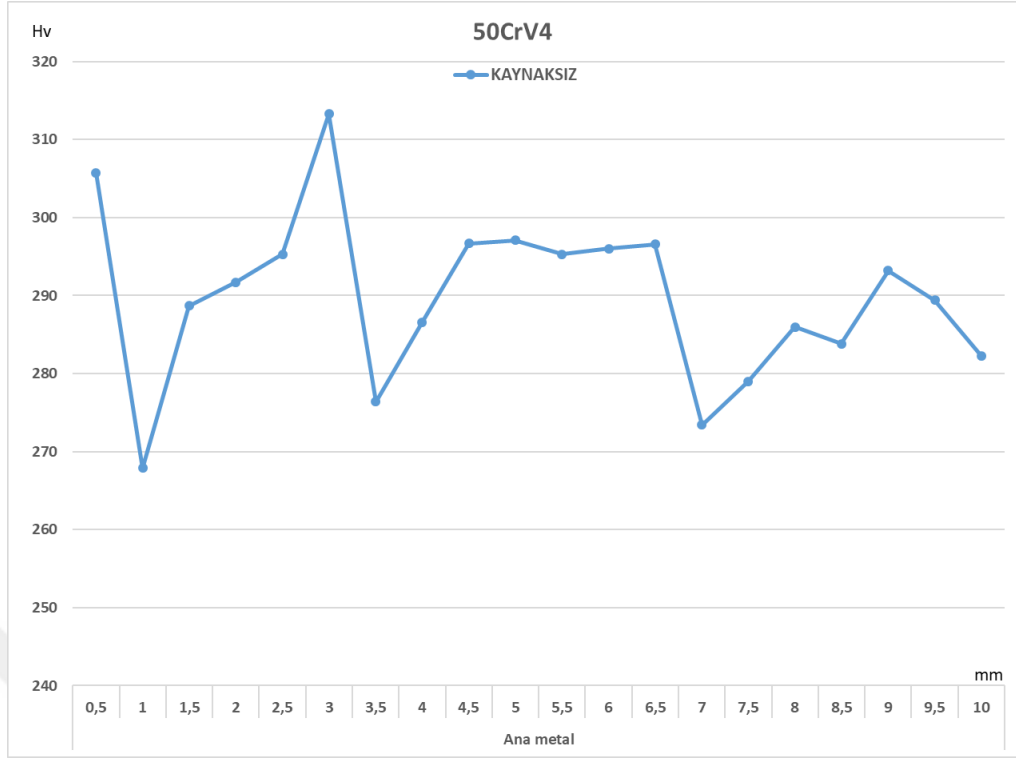
Şekil 4.19. C22 Çeliği MIG kaynağı mikrosertlik dağılımı



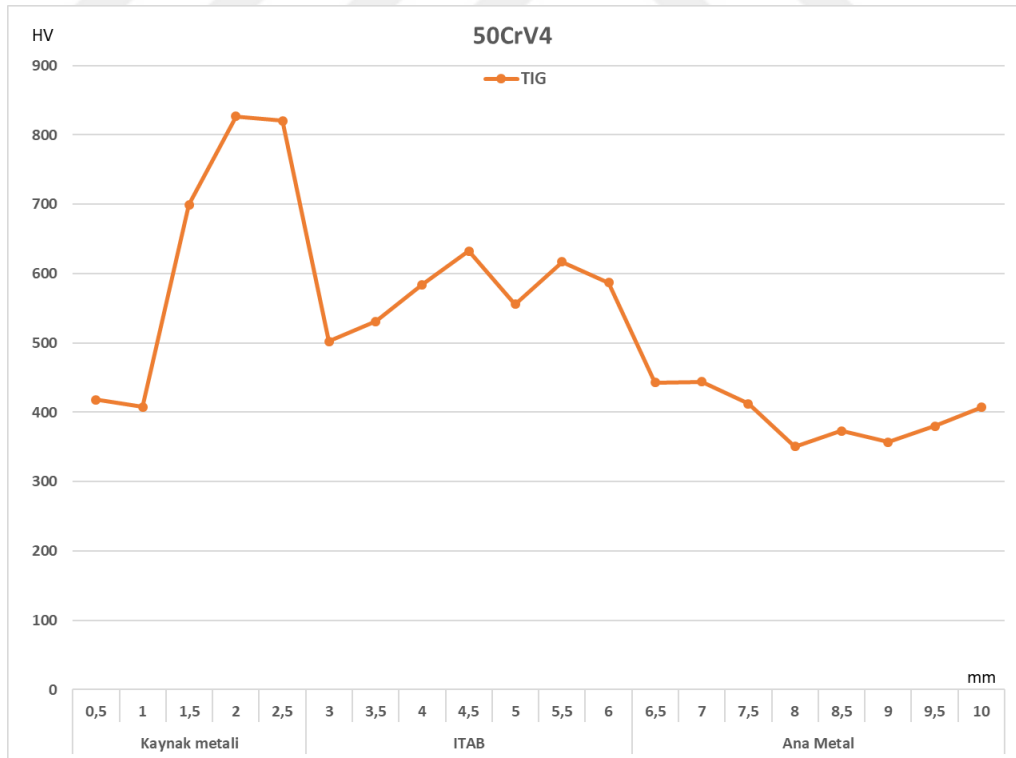
Şekil 4.20. C22 Çeliği Ark kaynağı mikrosertlik dağılımı



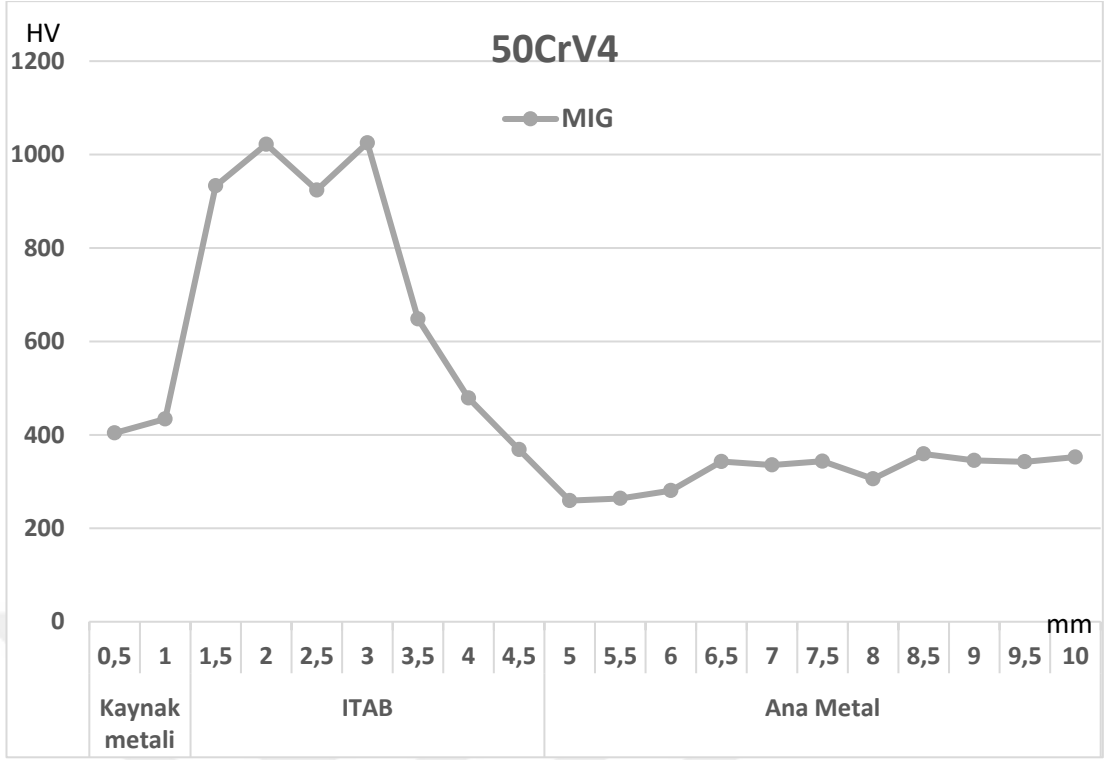
Şekil 4.21. 50CrV4 Çeliği mikrosertlik dağılımı



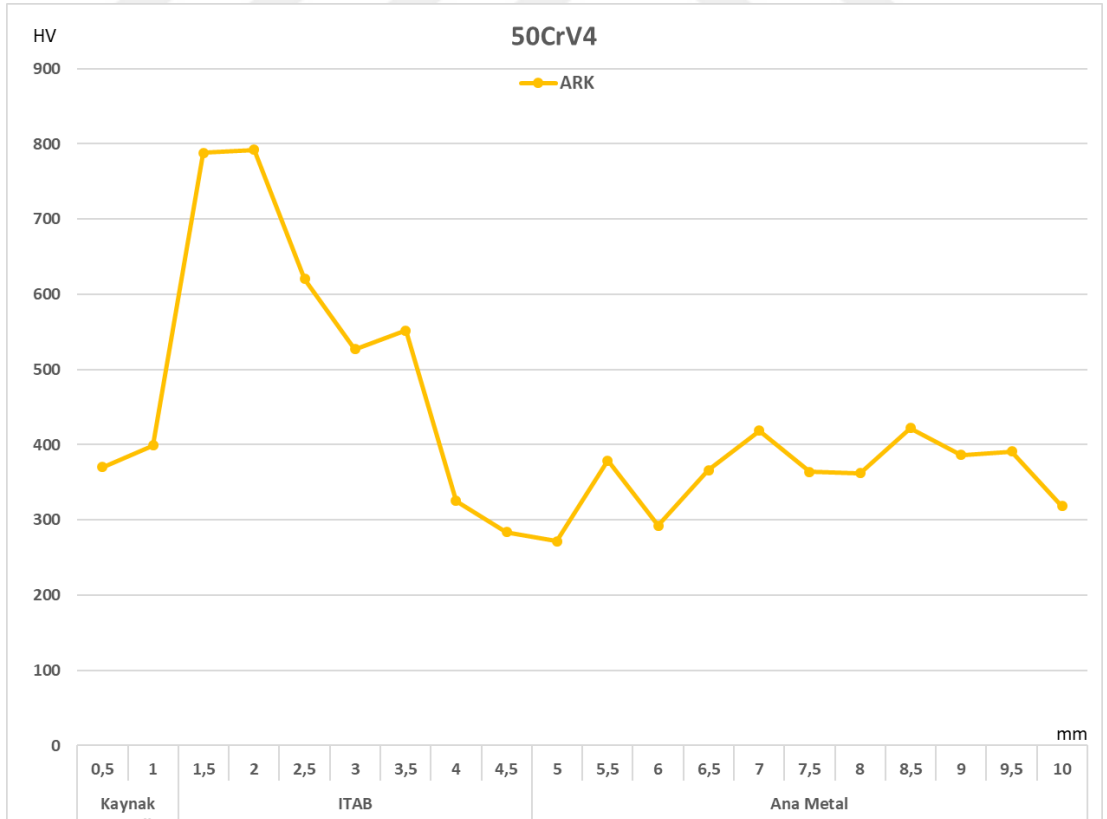
Şekil 4.22. 50CrV4 Çeliği kaynaklız mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.23. 50CrV4 Çeliği TIG kaynağı mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.24. 50CrV4 Çeliği MIG kaynağı mikrosertlik dağılımı



Şekil 4.25. 50CrV4 Çeliği Ark kaynağı mikrosertlik dağılımı

Mikrosertlik incelemesi sonucunda kaynaklı numunelerde ITAB, ana metal ve kaynak metalinde sertlik değerlerinin beklenildiği gibi sapmalar gösterdiği, kaynak esnasında meydana gelen iç yapı faz dönüşümlerinden dolayı ısı tesiri altındaki bölgede yüksek sertlik değerlerine rastlanırken, ana metalde daha düşük sertlik değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Kaynakta ısı tesiri meydana gelmesi ile sertliğin arttığı gözlemlenmiştir.

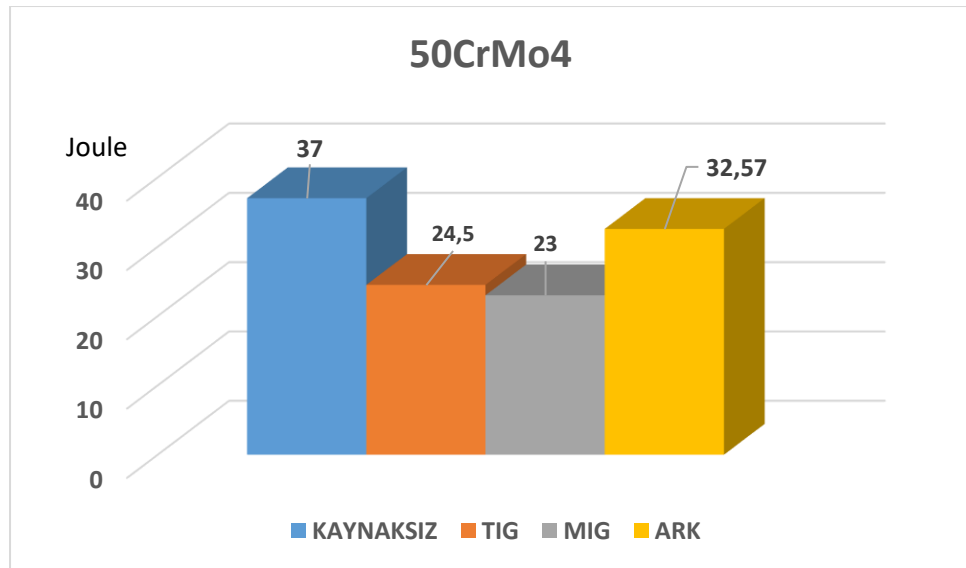
4.3. Çentik Darbe Testi Sonuçları

Çentik darbe testi yapılan numunelere ait veriler Tablo 4.4’de verilmiştir.

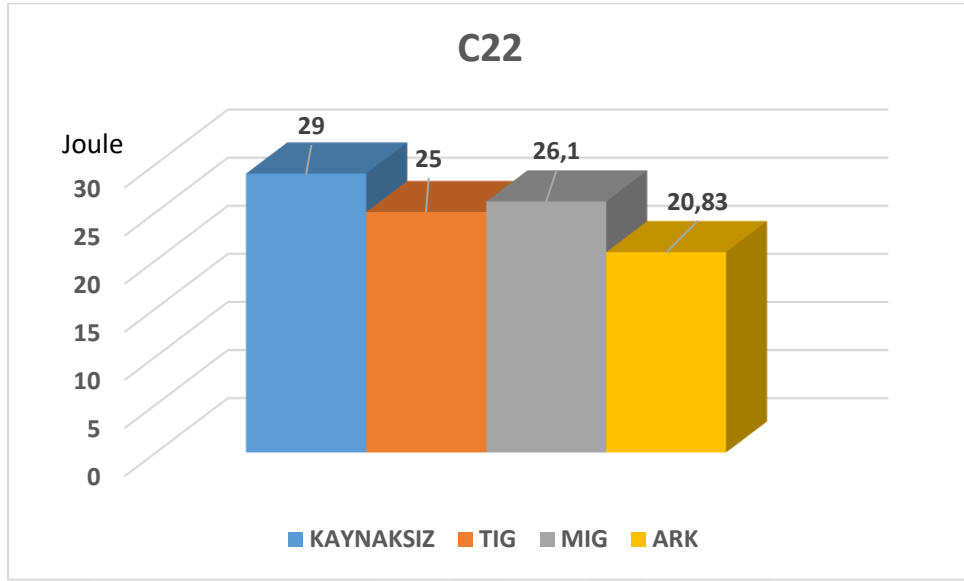
Tablo 4. 4. Çentik darbe testi ortalama değerleri

Joule	50CrMo4	C22	50CrV4
	ortalama	ortalama	ortalama
KAYNAKSIZ	37	29	56,4
TIG	24,5	25	46,83
MIG	23	26,1	52,5
ARK	32,57	20,83	46,2

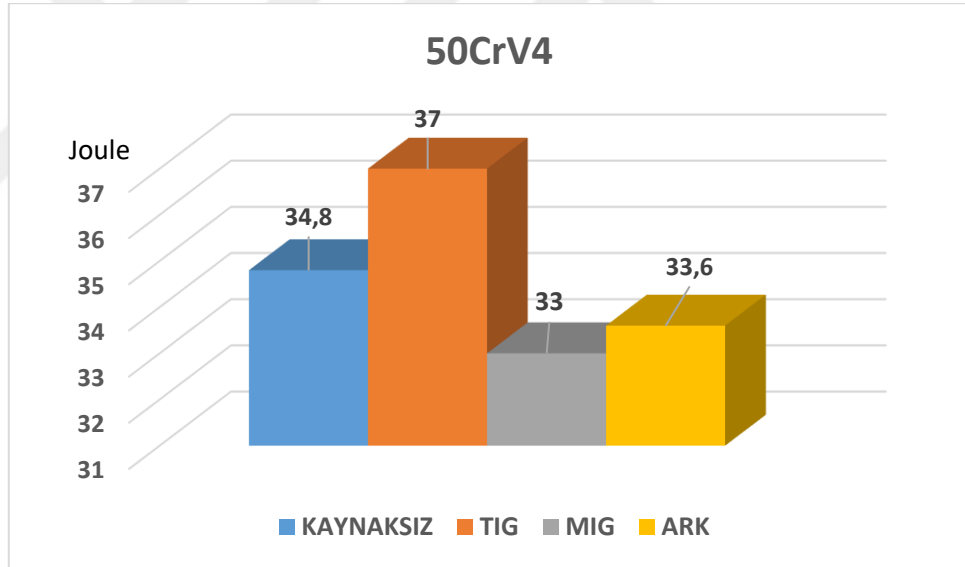
Her metalin kendi içerisinde kaynak yöntemine göre çentik darbe testi ölçümleri şekil 4.26 - 4.28 ‘de verilmiştir.



Şekil 4.26. 50CrMo4 Çeliği çentik darbe testi değerleri



Şekil 4.27. C22 Çeliği çentik darbe testi değerleri

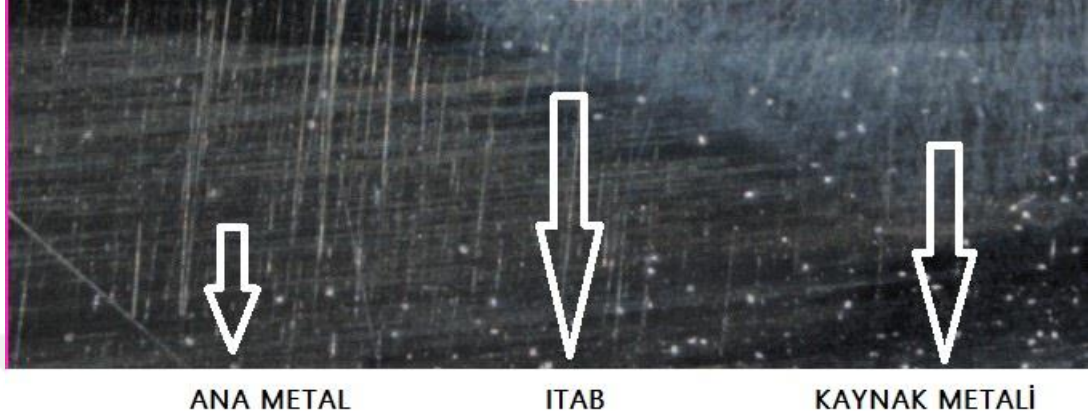


Şekil 4.28. 50CrV4 Çeliği çentik darbe testi sonuçları

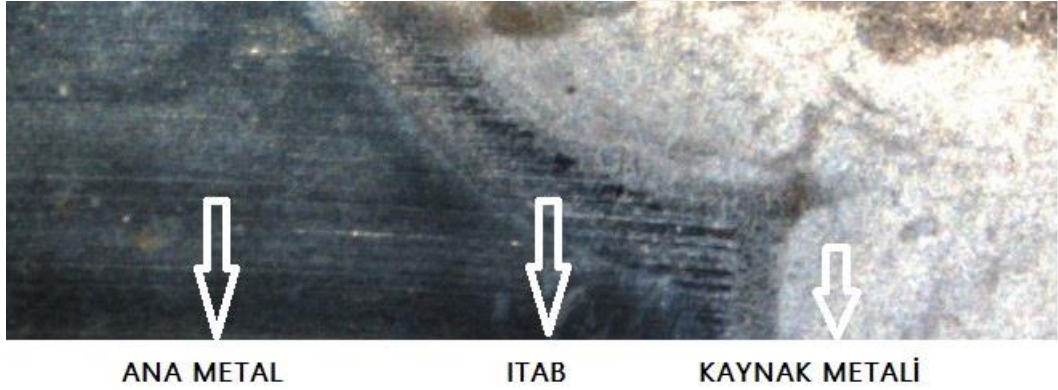
Çentik darbe sonuçları incelendiğinde, genel olarak kaynak işleminin darbe dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Ancak 50CrV4 numunesinde TIG kaynağındaki bulgu değişikliğinin kaynak ağzının ve kaynak nüfuziyetinin neden olduğu düşünülmektedir.

4.4. Numunelerin Stereo Mikroskop İnceleme Sonuçları

Numunelerin hazırlanma aşamasından sonra stereo mikroskop görüntüleri şekil 4.29 – 4.37 ‘de verilmiştir.



Şekil 4.29. 50CrMo4 Çeliği TIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü



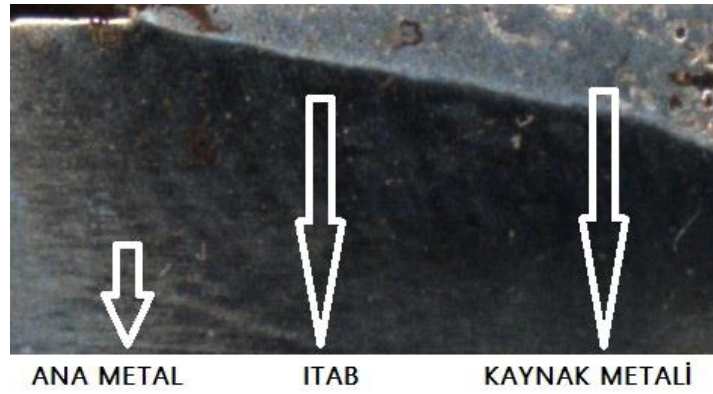
Şekil 4.30. 50CrMo4 Çeliği MIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü



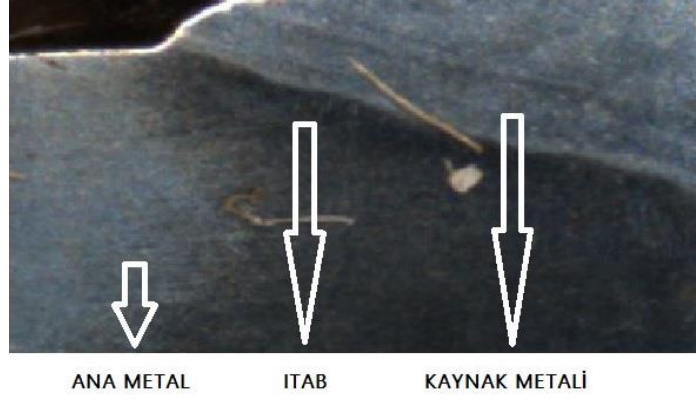
Şekil 4.31. 50CrMo4 Çeliği Ark kaynağı stereo mikroskop görüntüsü



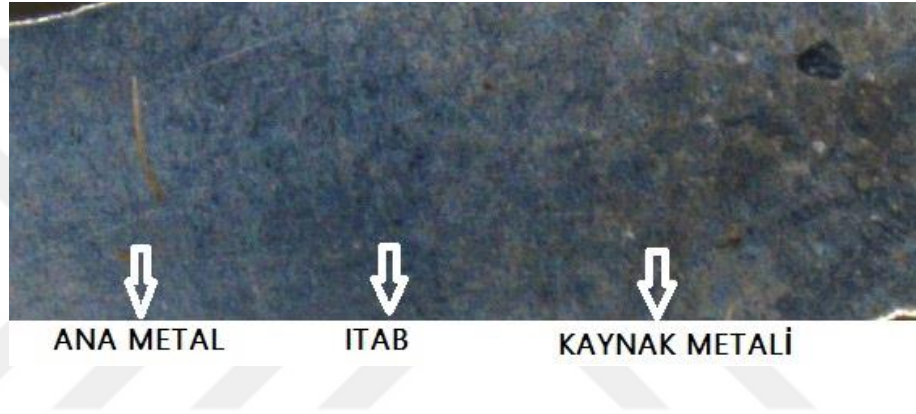
Şekil 4.32. C22 Çeliği TIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü



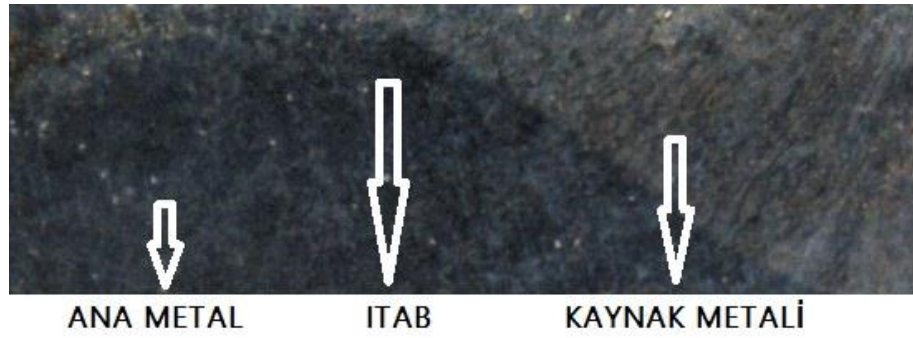
Şekil 4.33. C22 Çeliği MIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü



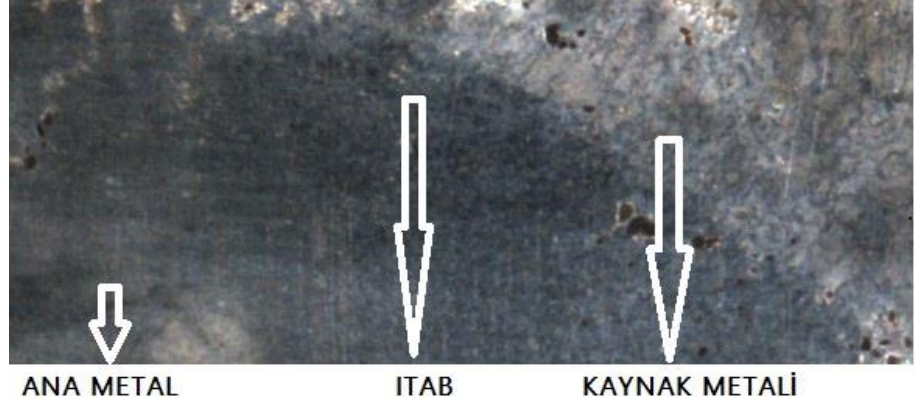
Şekil 4.34. C22 Çeliği Ark kaynağı stereo mikroskop görüntüsü



Şekil 4.35. 50CrV4 Çeliği TIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü



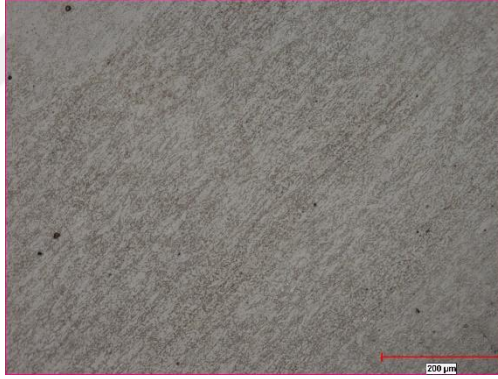
Şekil 4.36. 50CrV4 Çeliği MIG kaynağı stereo mikroskop görüntüsü



Şekil 4.37. 50CrV4 Çeliği Ark kaynağı stereo mikroskop görüntüsü

4.5. Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları

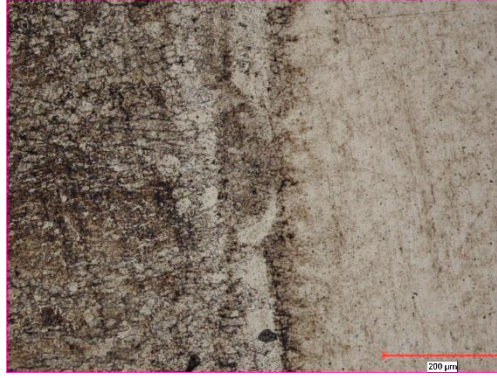
Numuneler zımparalanıp parlatıldıktan ve asitle dağlandıktan sonra 100 ve 200 büyütme ile iç yapı fotoğrafları çekilmiştir. Numunelerin iç yapı fotoğrafları şekil 4.38 - 4.58 'de verilmiştir.



Şekil 4.38. 50CrMo4 Çeliği ana metal mikroyapı görüntüsü



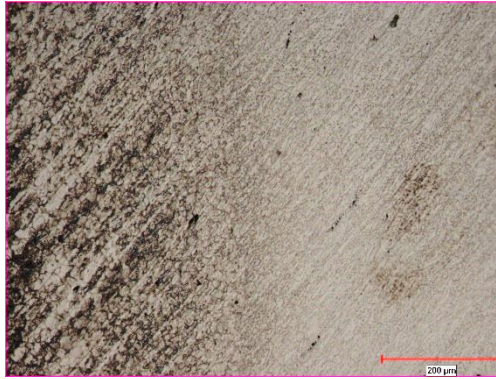
Şekil 4.39. 50CrMo4 Çeliği TIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.40. 50CrMo4 Çeliği TIG kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.41. 50CrMo4 Çeliği MIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü



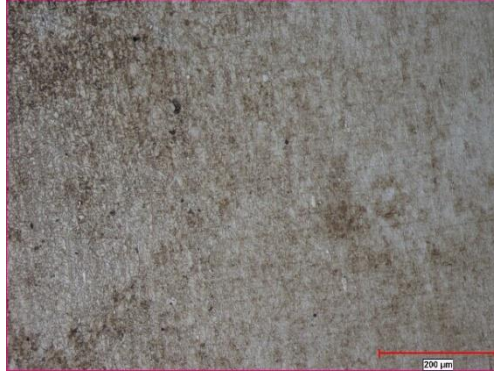
Şekil 4.42. 50CrMo4 Çeliği MIG kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.43. 50CrMo4 Çeliği Ark kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü



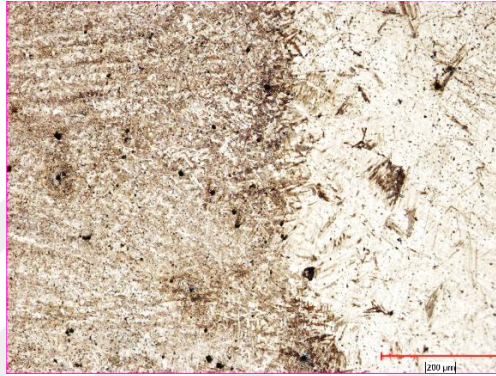
Şekil 4.44. 50CrMo4 Çeliği Ark kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü



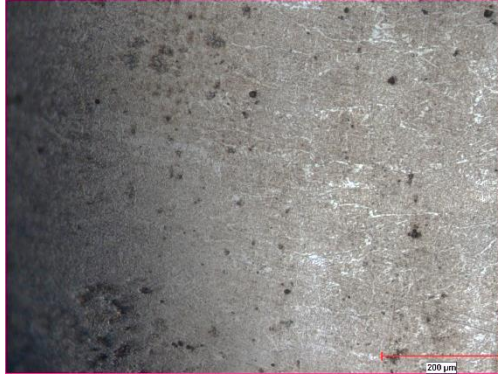
Şekil 4.45. C22 Çeliği ana metal mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.46. C22 Çeliği TIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.47. C22 Çeliği TIG kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.48. C22 Çeliği MIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.49. C22 Çeliği MIG kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.50. C22 Çeliği Ark kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü



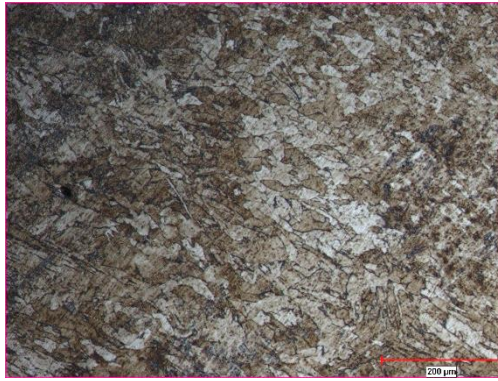
Şekil 4.51. C22 Çeliği Ark kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.52. 50CrV4 Çeliği ana metal mikroyapı görüntüsü



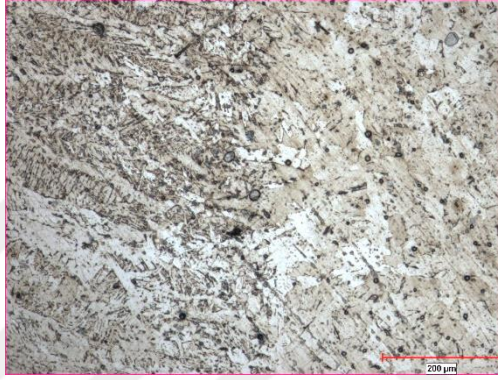
Şekil 4.53. 50CrV4 Çeliği TIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü



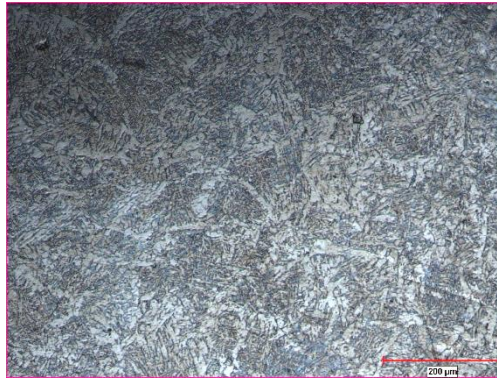
Şekil 4.54. 50CrV4 Çeliği TIG kaynağı ITAB mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.55. 50CrV4 Çeliği MIG kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.56. 50CrV4 Çeliği MIG kaynağı ıtab mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.57. 50CrV4 Çeliği Ark kaynağı kaynak metali mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.58. 50CrV4 Çeliği Ark kaynağı itab mikroyapı görüntüsü

Kaynaklı numunelerde mikroyapıda ana metal, kaynak kısmı ve ısı tesiri altındaki bölge net olarak görülebilmektedir. Yalnızca 50CrMo4 çeliği dağlama işlemi güçlüğünden dolayı görüntülerde hafif yanmalar meydana gelmiştir.

4.6. Güvenilirlik İncelemeleri

4.6.1 Çekme Testi Güvenilirlik İncelemeleri

Çekme deneyi sonucunda çelik numunelere ait elde edilen çekme ve akma dayanımlarının ortalama ve standart sapma değerlerinin güvenilirlik incelemeleri normal dağılım kabul edilerek gerçekleştirilmiştir.

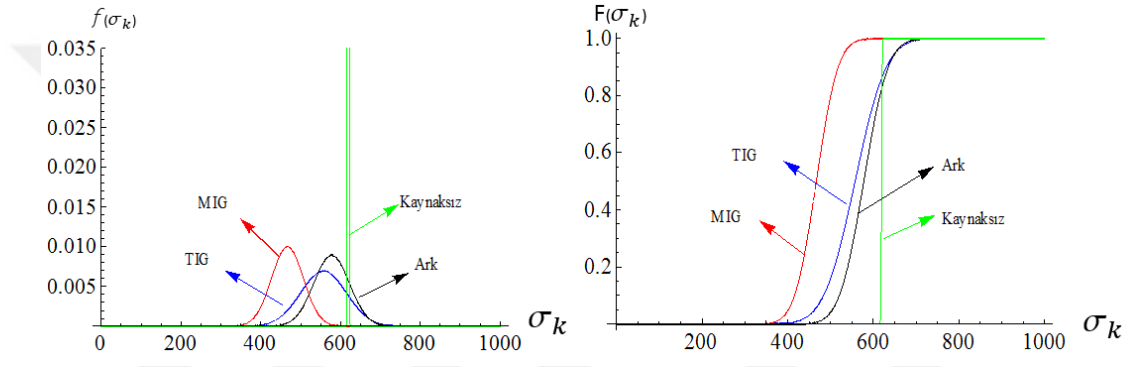
Literatüre uygun olarak denklem fonksiyonu çizilerek güvenilirlik eğrileri normal dağılım ve kümülatif dağılım olarak çizdirilmiştir. Kümülatif dağılım grafiklerinden herhangi bir güvenilirlik ya da hasar yüzdesindeki dayanım değeri direkt olarak okunabilmektedir. Kümülatif dağılım grafikleri bu çalışmada hasar eğrisini oluşturmaktadır. Eğrinin düşey eksenini hasar oranını vermektedir. Eğriler Şekil 4.59 - 4.64 aralığında verilmiştir.

Numunelerin analizleri sonucunda elde edilen çekme ve akma dayanımı güvenilirlik tabloları Tablo 4.5 – 4.6 ‘de verilmiştir.

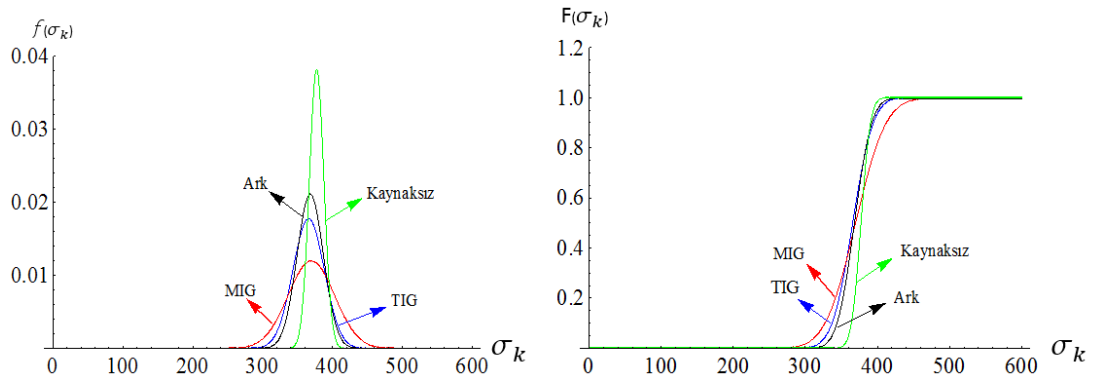
Tablo 4. 5. Çeliklere ait çekme dayanımı güvenilirlik değerleri tablosu

Çekme Dayanımı N/mm ²	50CrMo4			C22			50CrV4		
	G10	G50	G90	G10	G50	G90	G10	G50	G90
KAYNAKSIZ	620,91	619,28	617,65	390,50	377,15	363,80	707,21	686,09	664,97
TIG	634,87	577,67	520,47	392,18	368,00	343,82	693,60	517,00	340,40
MIG	627,47	557,44	487,41	394,36	365,65	336,94	710,85	640,50	570,15
ARK	517,86	466,84	415,82	412,17	369,58	326,99	707,27	618,27	529,27

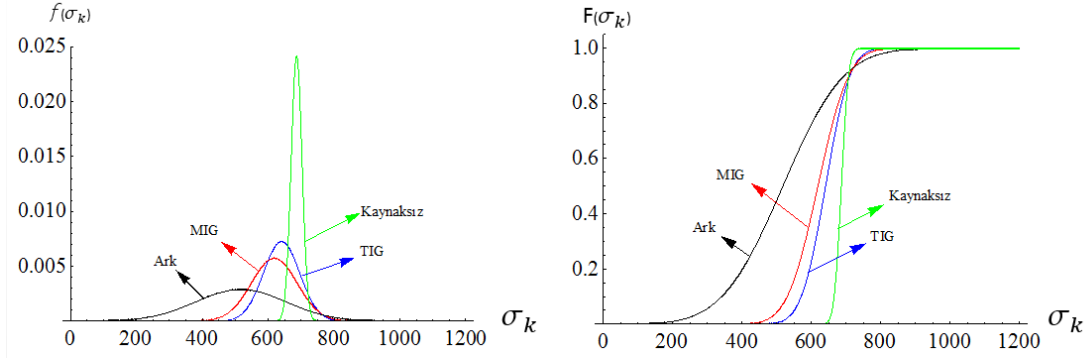
Çekme dayanımına ait malzemelerde %90 güvenilirlikte incelediğimizde çekme dayanımının en yüksek olduğu gerilme kaynaklı numunelerdedir.



Şekil 4.59. 50CrMo4 Çeliği çekme dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi



Şekil 4.60. C22 Çeliği çekme dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi

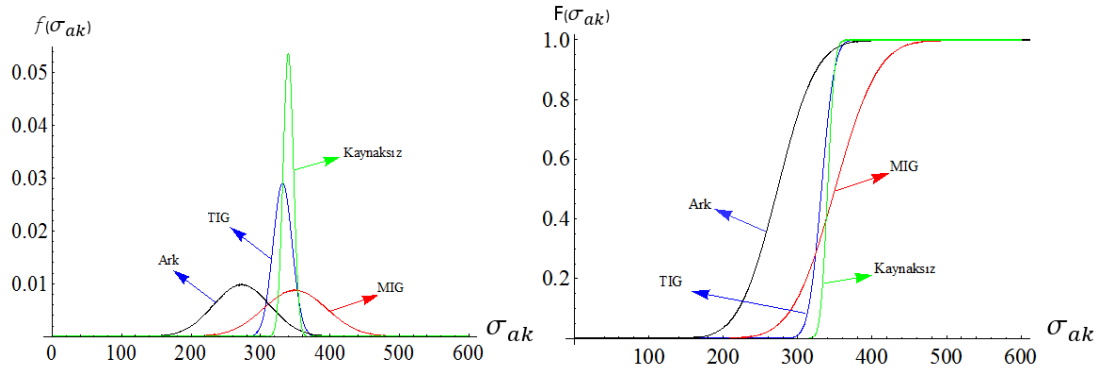


Şekil 4.61. 50CrV4 Çeliği çekme dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi

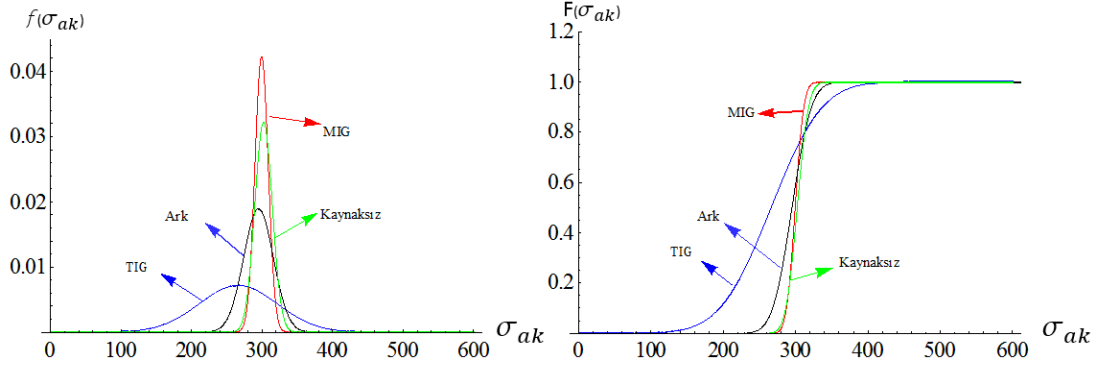
Tablo 4. 6. Çeliklere ait çekme dayanımı güvenilirlik değerleri tablosu

Akma Dayanımı N/mm ²	50CrMo4			C22			50CrV4		
	G10	G50	G90	G10	G50	G90	G10	G50	G90
KAYNAKSIZ	349,62	340,10	330,58	318,02	302,16	286,30	703,56	682,77	661,98
TIG	324,86	272,80	220,74	321,94	294,97	268,00	641,04	482,42	323,80
MIG	349,48	331,89	314,30	337,32	266,15	194,98	675,75	614,96	554,17
ARK	408,19	349,86	291,53	311,41	299,34	287,27	612,64	562,81	512,98

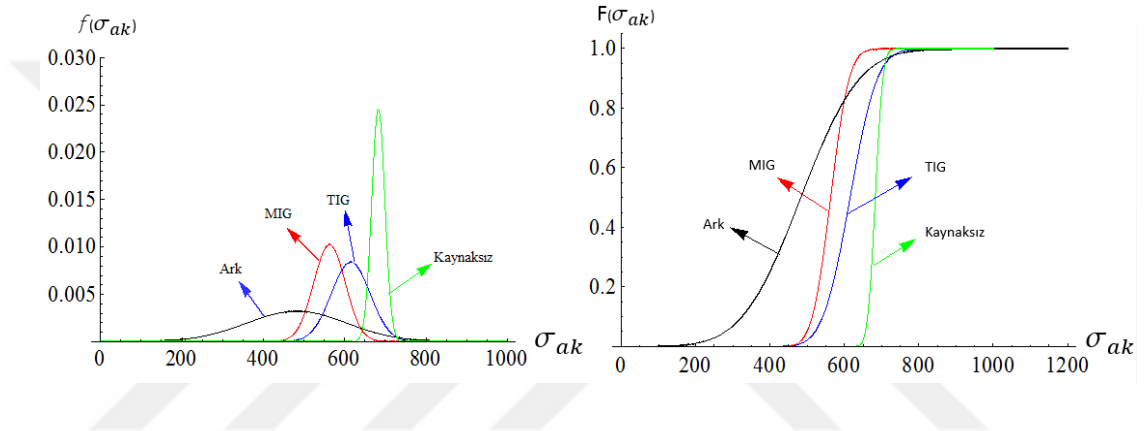
Akma dayanımının %90 güvenilirlikte incelediğimizde kaynaksız numunelerde akma gerilmesinin yüksek olduğu görülmektedir. Yalnızca C22 çeliğinde % 0.5 bir sapma ile ark kaynağı akma dayanımı yüksek çıktığı görülmüş olup buda kaynak prosesi nedeni olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.62. 50CrMo4 Çeliği akma dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi



Şekil 4.63. C22 Çeliği akma dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi



Şekil 4.64. 50CrV4 çeliği akma dayanımı normal ve kümülatif dağılım eğrisi

Çekme va akma dayanımlarının dağılım eğrileri incelendiğinde kaynaksız numunelerin daha dar dağılımlar oluşturduğu, kaynaklı numunelerde ise dağılımın daha geniş olduğu görülmektedir. Bu da güvenilirlik değerlerini doğrudan etkilemektedir. Kümülatif eğri üzerinde düşey eksen hasar oranını vermektedir.

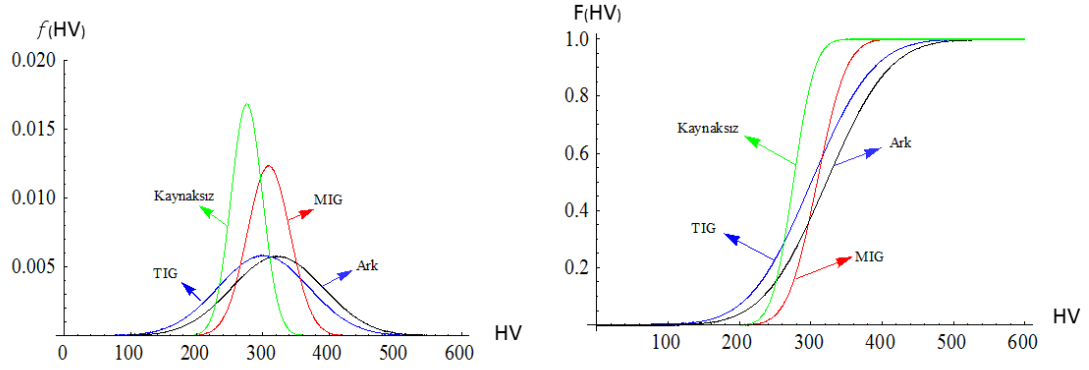
4.6.2. Sertlik Ölçümleri Güvenilirlik İncelemeleri

Sertlik ölçümleri sonucunda çelik numunelere ait elde edilen ortalama ve standart sapma değerlerinin güvenilirlik incelemeleri normal dağılım kabul edilerek gerçekleştirilmiş olup elde edilen grafikler şekil 4.65 - 4.67 'te verilmiştir.

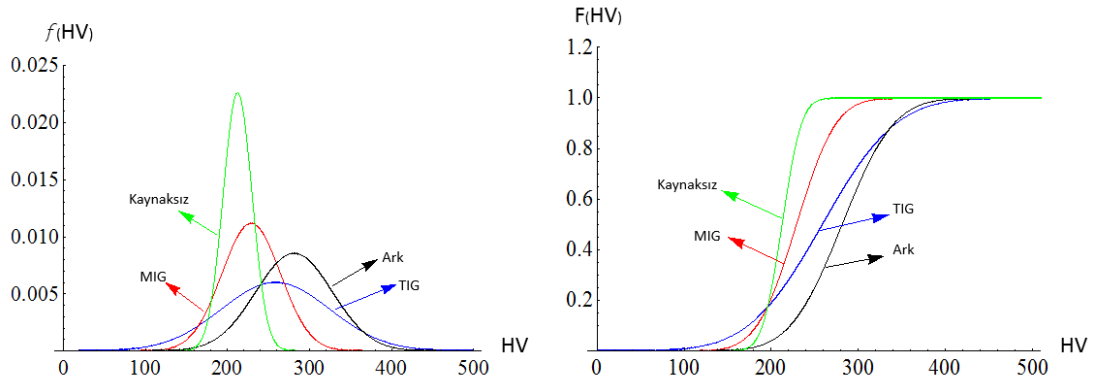
Numunelerin analizleri sonucunda elde edilen mikrosertlik güvenilirlik tabloları Tablo 4.7 'de verilmiştir.

Tablo 4. 7. Çeliklere ait mikrosertlik güvenilirlik değerleri tablosu

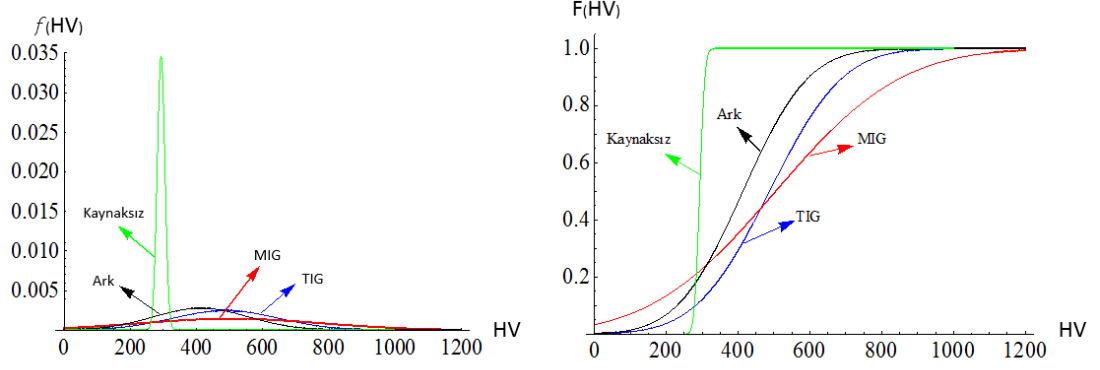
Sertlik	50CrMo4			C22			50CrV4		
	HVG10	HVG50	HVG90	HVG10	HVG50	HVG90	HVG10	HVG50	HVG90
KAYNAKSIZ	284,56	269,78	255,00	229,69	210,59	191,49	303,58	289,72	275,86
TIG	348,69	295,84	242,99	336,67	251,87	167,07	691,39	483,81	276,23
MIG	346,93	305,51	264,09	274,61	228,91	183,21	827,33	488,41	149,49
ARK	410,61	322,01	233,41	341,02	281,28	221,54	596,87	413,07	229,27



Şekil 4.65. 50CrMo4 çeliği mikrosertlik normal ve kümülatif dağılım eğrisi



Şekil 4.66. C22 Çeliği mikrosertlik normal ve kümülatif dağılım eğrisi



Şekil 4.67. 50CrV4 Çeliği mikrosertlik normal ve kümülatif dağılım eğrisi

Sertliklerin dağılım eğrileri incelendiğinde kaynaksız numunelerin daha dar dağılımlar oluşturduğu, kaynaklı numunelerde ise ısı tesiri altındaki bölge ve kaynak bölgesinde farklı sertlik değerlerinin elde edilmesi dolayısıyla dağılımın daha geniş olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında çeliğe uygulanan kaynak işleminin mekanik özelliklerin güvenilirliklerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca çeşitli kaynak yöntemlerinin bu özelliklere etkilerinin incelenmesi de gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda kaynak işlemi sonrasında çelik malzemelerin mikroyapılarında kaynak bölgesi, ana metal ve ısı tesiri altındaki bölgede meydana gelen iç yapı farklılıklarının da etkisiyle mekanik özellik değerlerinde kaynak öncesi haline nazaran büyük farklılıklar meydana geldiği görülmüştür.

Ayrıca kaynak yönteminin, kaynak sonrası mekanik özelliklerine önemli etkilerde bulunduğu gözlemlenmiştir. Akma ve çekme dayanımı değerleri incelendiğinde, dayanım değerlerinin kaynak sonrasında malzeme türüne göre maksimum %30 dolaylarında azalış gösterdiği görülmüştür. Vickers mikrosertlik incelemelerinde ITAB ana metal farklılığı, kaynaklı malzemelerde sertlik artışı, ancak güvenilirlikli değerlerin azalışı görülmüştür. Çentik darbe test sonuçları incelendiğinde kaynaklı numunelerin değerlerinin daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Güvenirlik analizleri, kaynak uygulamasının ve kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

Bir deneysel süreçte veya ticari üretimde verilen değerler ortalama %50 güvenilirliği ifade etmektedir. Ancak kaynaklı üretim gibi mekanik dayanım değerlerinin standart sapması yüksek olan ve dolayısıyla yüksek aralıkta normal dağılım içeren malzemelerde güvenilirlik unsuru da göz önüne alınarak daha yüksek güvenilirlikli mekanik değerler tasarımlarda tercih edilmelidir. Dolayısıyla malzeme /ömür /maliyet unsurlarının tümü ele alınarak optimum güvenilirlikli değerler elde edilebilir.

Kaynağın malzeme özelliklerini ve güvenilirliğini malzeme türüne göre maksimum %34 dolaylarına kadar düşürdüğü görülmektedir. Fakat üretim yöntemi olarak konstrüksiyonlarda kaynak yöntemi kullanımı bir zorunluluktur. Tasarımlarda ilgili metalin kaynak yöntemine bağımlı olarak güvenilirlik ve emniyet katsayıları ve matematiksel veriler göz önüne alınmalıdır. Bu şekilde emniyet katsayısı 1 ve üzerinde alınabilirken güvenilirlik değeri %100 altında alınmaktadır. Elde edilen matematiksel veriler önem arz etmektedir.

Tasarımı yapılan konstrüksiyonlarda analizler yapılarak doğru malzeme doğru kaynak yöntemi seçilmesi sonrasında emniyet unsuru ile beraber güvenilirlik unsuru da göz önüne alınmalıdır.



KAYNAKLAR

- [1] ANIK, S. DİKİCİOĞLU, A. VURAL, M. İmal Usulleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1999, 328 s.
- [2] ARAN, A. Metal Döküm Teknolojisi , Birsen Kitapevi, İstanbul, 1993.
- [3] Anık, S. Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergür matbaası, İstanbul, 1983.
- [4] C. H. J. Gerritsen, D. J. Howarth, A Review of the Development and Application of Lazer and Lazer-arc Hybrid Welding in European Shipbuilding, 11th CF/DRDC International Meeting on Naval Applications of Materials Technology, 7-9 June 2005, Halifax Canada
- [5] C.H.J. Gerritsen, C.M. Allen, J. Mawella, Development and Evaluation of CO2 Lazer-FCAW Hybrid Welding for DH36 Shipbuilding Steel, 11th CF/DRDC International Meeting on Naval Applications of Materials Technology, 7-9 June 2005, Halifax Canada
- [6] Norrish, J 1992 Advanced Welding Processes (Bristol: Institute of Physics Publishing).
- [7] Principles of Modern Manufacturing: Mikell P Groover, Wiley Academic; 4th edition 2011.
- [8] Kutay, G. Kaynak Bağlantıları, 2010, 71.
- [9] Kaluç, E. Tülbentçi , K. Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği, Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli, Türkiye, 1998.
- [10] Handbook, A. S. M. Vol. 1-Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys. ASM International, Materials Park, OH 44073, 1990. / Baydur, G. Malzeme Bilgisi. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, 1990
- [11] H. Gürü, M. Malzeme Bilgisi. Palme Yayıncılık, Ankara, 2002.
- [12] Malzeme Bilgisi. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, 1979.
- [13] Bhadeshia, H.K.D.H and Honeycombe, R.W.K. 2006 Steels: Microstructure and Properties. 3rd ed. Oxford, UK: Elsevier Ltd.
- [14] Bain, E.C., Alloying Elements in Steels, ASM, Cleveland, Ohio, USA , 1939.
- [15] Berns, H., Theisen, W. Ferrous Materials: steel and cast iron, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
- [16] Clark S. D. Metallurgy for Engineers, D. Van Nostran Comp., N.York, 1961.
- [17] Eker, B., Taşeri, L. Günaydın, L. Makine Tasarımı El Kitabı, Trakya Üniversitesi Yayınları, Tekirdağ, 214.
- [18] Gladman, T. The Physical Metallurgy of Microalloyed Steels, The Institute of Materials, UK. 1997.
- [19] Karagöz, S. Malzeme Bilgisi, AYMYO Yayınları, Aydın, 2008.

- [20] Baydur, G. Malzeme Bilgisi, ANKARA, 1979.
- [21] R. W., Haasen, P., Kramer, E. J. and Pickering, F. Br. (ed.) Materials Science and Technology: A Comprehensive Treatment, Vol. 7: Constitution and Properties of Steels 1st ed. Weinheim; New York; Basel, Cambridge: VCH 1992.
- [22] ASM Handbook 1990, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys 10th ed. Materials Park, OH, USA: ASM International, 1990.
- [23] Malzeme Bilgisi. Ankara Üniversitesi- Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- [24] Kou, S. Welding Metallurgy, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003.
- [25] Tülbentçi, K. Kaluç E. Gaz Ergitme Kaynağı ve Oksijen İle Kesme TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 2001.
- [26] Porter, D.A., Easterling, K.E., Phase Transformations in Metals and Alloys, CRC Press, Taylor & Francis Group, Finland 2004.
- [27] Oğuz, B. Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı, OERLIKON Yayını, İstanbul, 1985.
- [28] Subaşı, M. Karabaş, Ç. AISI 4140 Çeliğinde Sertlik, Yorulma Dayanımı İlişkisi, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2010, 13 s.
- [29] Smars E A, Acinger K and Sipek L Temperature in argon shielded welding arc with iron electrodes Document No 212-191-70, International Institute of Welding, 1970.
- [30] Kurt, K. DH 36 gemi sacının farklı kaynak yöntemleri ile Mekanik özelliklerinin incelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2008, 21-32 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [31] Asarkaya, M. Gemi insasında kullanılan kaynak yöntemlerinin Mekanik özelliklere etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006, 54-86 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [32] Özakin, N. AH ve DH kalite gemi saclarının değişik kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonlarındaki mekanik özelliklerinin ve mikroyapılarının irdelenmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2010, 55-78s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [33] Savaskan, T. Malzeme Muayenesi, Malzeme bilgisi ve muayenesi, Akademi Yayınları, Trabzon, 2004, 318-368.
- [34] Süzen, A. Gemi saclarının kaynak bağlantılarında kaynak parametrelerinin dikis geometrisine etkisinin incelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2009, 28-39 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [35] Metal Teknolojisi Sertlik Ölçme Yöntemleri, MEGEP, Ankara, 2006, 38.
- [36] Salman, S. Özkan, G. Metalografi Bilimi I. Kısım, Nobel yayın dağıtım, Ankara, 2016.

- [37] Üçışık, H. Metalografik Numune Hazırlama Tekniğinde Dağlama ve Dağlama Reaktifleri, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, 1981.
- [38] Callister, W.D. ve Rethwishch, D.G., Çev. Edt. Genel, K, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Nobel Yayın Dağıtım, Şubat 2013.
- [39] Arslan, F, Metalografi Laboratuvarı Deney Föyü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- [40] Saklakoğlu, N. Metalografi Ders Sunumu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa.
- [41] Altınışık, M. Spektroskopik analiz yöntemleri , Adnan Menderes Üniversitesi , Tıp Fakültesi Bölümü, Aydın,2004.
- [42] Tahralı, N. Konstrüksiyon Elemanlarında Güvenirlik Emniyet Ve Ömür Değerlendirmeleri, İstanbul, 5. Savunma Sanayindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu, 5-6 Haziran 1997, Kara Harp Okulu, Ankara Bildiriler Kitabı: 921-930.
- [43] N. Tahralı, F. Dikmen Reliability and life calculations for machine elements Yıldız Technical University Press ,2004.
- [44] C.E. Ebelign Reliability engineering: theory and practice (6th ed.)Springer, Zürich,2010.
- [45] Türkan AH. Statistical distribution models used in reliability analysis, Department of Statistics,Institute of Natural and Applied Sciences, University of Çukurova,2007.(MSc. Thesis)
- [46] W.G. Ireson, C.F. Coombs, R.Y. MOSS Handbook of reliability engineering and management McGraw-Hill ,1996.
- [47] Akkurt M. Principles of reliability at machine construction. Istanbul: Birsen Press; 1997.
- [48] Lipson C, Sheth NJ. Engineering experiments. New York: McGraw-Hill Book Company; 1973.
- [49] Haugen BE, Wirsching PH. Probabilistic design. J Mach Des; 1975. Number 9-14.
- [50] Wirsching PH, Kempert IE. MD series on fatigue; a fresh look at fatigue; models that predict fatigue failure; fatigue failure in the real world. J Mach Des, Number: 12,16,19; 1976.
- [51] Pronikov AS. Dependability and durability of engineering products. London: Butterworths; 1973.
- [52] Katalog hasçelik teknik katalog - https://www.mib.org.tr/uploads/UserFile/Pdf/bb2_j03TptWY9K0xvTmufHdojBnUCGQNHrAj.pdf - <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=73>
- [53] [https://www.askaynak.com.tr/urunler/kaynak-elektrodlari-telleri-ve-tozlari/gazalti-\(mig-mag\)-kaynak-telleri/as-sg2](https://www.askaynak.com.tr/urunler/kaynak-elektrodlari-telleri-ve-tozlari/gazalti-(mig-mag)-kaynak-telleri/as-sg2)

[54] <https://www.magmaweld.com.tr/tg-2/uo/7498>



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emre İREN
Doğum Yeri ve Yılı : Ürgüp, 1989
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : emre-iren@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Naci Şensoy Lisesi, 2006
Ön Lisans : Ege Üniversitesi, İklimlendirme Soğutma Bölümü, 2010
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2013

Mesleki Deneyim

DJ Cool Klima ve Soğutma Cihazları Sanayi Ticaret A.Ş. 2014-2015
Daikin Isıtma ve Soğutma Sist. San. Tic. A.Ş. 2015-... (halen)