



ARK AKIMI VE ARK GERİLİMİNİN BAĞLANTI MUKAVEMETİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

¹Ahmet AKIN, ²Ali Serhat ERSOYOĞLU

^{1,2} Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
42079 Alaeddin Keykubad Kampüsü, KONYA

¹ahmetakin1963@gmail.com, ²aersoy@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 30.04.2015; Kabul/Accepted in Revised Form: 27.07.2015)

ÖZ: Bu çalışmada gazaltı kaynak parametrelerinden ark akımı ve ark gerilimi dışında kalan parametreler sabit tutularak, çeşitli kaynak bağlantıları elde edilmiştir. Çalışmanın ana hedefi, sanayide özellikle imalat sektöründe sıklıkla kullanılan elle gazaltı kaynak yöntemi için, ark akımı ve ark geriliminin bağlantının çekme mukavemeti üzerindeki etkisini görmektir. Bu bağlantılarda ana malzeme olarak, mobil vinç imalatında sıkça kullanılan S700MC kalite malzeme seçilmiştir. Elde edilen bağlantıların, kaynak dikiş profilleri ve kaynak nüfuziyetleri incelendikten sonra, çekme mukavemetinin tespit edilmesi amacıyla, bağlantılardan çekme numuneleri çıkartılıp, çekme deneyleri uygulanmıştır. Çekme deneyleri sonucunda en çarpıcı sonuç, özellikle yüksek kaynak gerilimleri ile elde edilen bağlantılarda, yüksek gerilim sonucu oluşan uzun ark boyunda meydana gelmiştir. Uzun ark boyu nedeniyle kaynak dikişinin genişliği artmış ve nüfuziyeti azalmıştır. Ayrıca geniş dikiş profili sonucu hızlı soğuma meydana gelmiş ve iç gerilmeler artmıştır. Bu nedenlerin doğal sonucu olarak da uzun ark boyu ile elde edilen çekme mukavemet değerleri, kısa ve orta ark boyuna oranla yaklaşık %15 daha düşük sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Gazaltı kaynak, Gazaltı kaynak parametreleri, Kaynak akımı, Kaynak gerilimi, Çekme deneyi

Arc Current and Arc Voltage of Inert-Gas Welding Parameters, Research The Effect on Tensile Test

ABSTRACT: In this work, various welding connections was obtained while pegging parameters from the inert-gas welding not included as welding current and welding voltage. Project main purpose is, to see the effect of arc voltage and the arc current tensile loading on the connections that manual inert-gas welding what especially using in manufacturing sector in industry. For the connections S700MC material choosen as main material that quiet using for mobile crane manufacturing. After examined the results obtained as welding seam geometry and dilution, to establish the tensile loading, tensile loading samples taken off from the connections and tested. Remarkable results after tension test is seemed especially long arc lenght consequent of high voltage on the connections obtained high welding tension. Because of the long arc lenght dilution decreased and welding seam wideness increased. Additonally rapid cooling consist and internal stress increased obtained of the wideness seam geometry. As a natural consequence of these reasons, tensile loading that obtained with long arc lenght values %15 less then the small and medium arc lengts.

Key Words: Welding, Welding parameters, Welding current, Welding voltage, Tensile test

DOI: 10.15317/Scitech.2016.55

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çeliklerin mekanik özelliklerinden bahsettiğimizde malzeme üzerine gelebilecek çekme, basma ve kesme gerilmelerini karşılayabilme özelliği, sertliği, sünekliği, kırılabilirliği, yorulmaya dayanımı gibi özellikler anlaşılır. Bir çeliğin sanayide imalat sektöründe kullanılabilmesi için mekanik özelliklerinin iyi olması kadar, işlenebilirliğinin ve kaynak kabiliyetinin de yüksek olması gerekir. Günümüzün sanayi senaryosunda yüksek kalitede kaynaklı bağlantılar elde edebilmek için iyi bir kaynaklama esastır. Bir kaynak bağlantısının kalitesi temel olarak kaynak türüne, kaynak parametrelerine, kaynak metalinin ve ısı tesiri altındaki bölgenin mekanik özelliklerine ve kimyasal bileşenlerine bağlıdır (Nuraini ve diğ., 2014).

Tersane, Otomotiv Sanayi, Makine İmalat Sanayi, gibi imalat sektörlerinde sacların birleştirilmesi için çeşitli kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Kaynak, işlemin cinsine göre 2 tip olarak sınıflandırılabilir (Aslanlar, 2009).

- Basınç Kaynağı,
- Eritme Kaynağı.

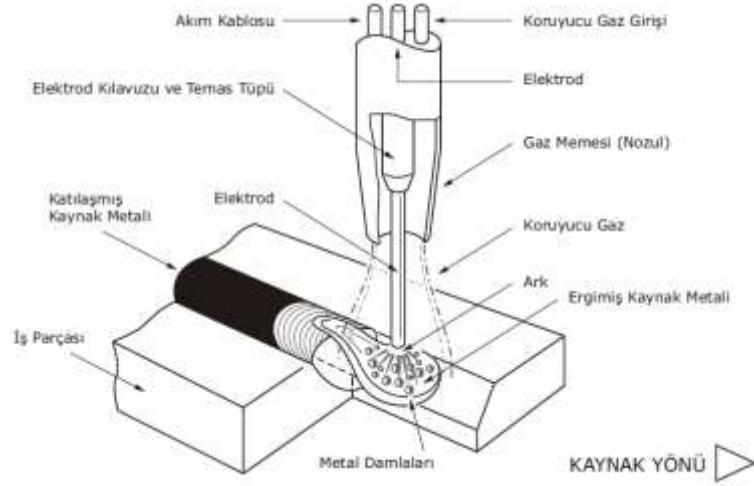
Eritme Kaynağı gurubunda yer alan örtülü elektrodla ark kaynağı, ilk kaynak yöntemi olması ve basit kaynak ekipmanları ile tatbik edilebilmesi nedeniyle uzunca bir süre kullanılmıştır. Ancak daha sonra örtülü elektrod kullanılarak el ile yapılan ark kaynağının, güvenilir bir bağlantı için kaynakçının belirli bir düzeyde yetiştirilmiş olması ve kaynak hızının sınırlı olması gibi maliyetli ve olumsuz özelliklerinden dolayı yarı-otomatik bir yöntem olan ve yine eritme kaynağı gurubunda yer alan gazaltı kaynağı tercih edilmeye başlanmıştır (Tülbentçi, 1990). Gazaltı kaynağı, yüksek güvenilirlik, tüm pozisyonlarda uygulanabilme, kolay kullanım, düşük maliyet, yüksek üretilebilirlik gibi avantajlara sahiptir (Shoeb ve diğ., 2013). Bu kaynak yöntemindeki mantık, çıplak elektrod telini mekanik bir tertibat yardımıyla sürekli olarak ilerletip, akımı, ark bölgesine çok yakın bir yerden vererek telin karşılayabileceği akım şiddetini artırıp erime gücünü yükseltmektir. Burada örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağındaki örtünün görevini koruyucu gaz üstlenmiştir.

Gazaltı kaynağı için dezavantaj olabilecek durum ise açık havada kaynak işlemi tatbik edilirken oluşabilecek rüzgar gibi hava akımlarıdır. Bu hava akımları koruyucu gazın etkisini azaltıp, kaynağın kalitesini düşürür ve kaynak işlemini zorlaştırır. Bu durumda koruyucu gaz debisini artırmak geçici bir çözüm olabilir ancak artan gaz debisi ile hem kaynak kalitesi olumsuz etkilenebilir, hem de üretim maliyeti artmış olur (Hooda ve diğ., 2012).

Kul A. (2009), çalışmasında endüstriyel kaynak robotlarında kullanılan kaynak parametrelerinin kaynak kalitesine ve nüfuziyetine etkisini araştırmıştır. Bu inceleme ile kaynak akım değerinin değişimini sağlayan asıl faktörün tel sürme hızı olduğunu görmüştür. Kaynak hızının değiştirilmesinin ise uygulanan kaynak akımına etkisinin olmadığını gözlemlemiştir. Ayrıca Kul A. bu çalışmasında, tel besleme hızının artmasıyla kaynak akımının ve kaynak banyosu sıcaklığının da arttığını tespit etmiştir. Bu da gereğinden fazla erime durumlarına ve hatta ana metalin delinip (kalınlığa bağlı olarak) kök taşması denilen kaynak akması olayının gerçekleştiği sonucuna ulaşmıştır. Tel besleme hızının azalmasıyla da, azalan akım miktarı sonucu kaynak banyosuna yeterli ısı geçişi olmamasını ve bu nedenle erime azlığından dolayı nüfuziyet problemlerinin olduğunu bulmuştur.

Bu çalışmada mobil vinç sektöründe çokça kullanılan S700MC kalite malzeme için MIG-MAG gazaltı kaynak yöntemleri ile bağlantılar elde edilmiş ve bu bağlantılar için nüfuziyetler ve dikiş profilleri incelenerek, çekme deneyi ile mukavemet testlerine tabi tutulmuşlardır. Koruyucu gaz olarak da, MIG-MAG uygulamalarında sıkça kullanılan karışım bir gaz olan %82Argon+%18CO2 karışımları kullanılmıştır. Bu koruyucu gazın kullanılmasının nedeni ise Argonun havadan 1.4 kat daha ağır bir gaz olması sebebiyle kaynak banyosunu örtme konusunda daha etkin bir başarı elde edebilmektedir. Ayrıca Argon gazının ısı iletkenliğinin diğerlerine oranla düşük olması nedeniyle dikiş profili merkezinde nüfuziyet diğer gazlara oranla daha yüksektir. Argon gazına CO2 ilave edilmesinin amacı ise ark kararlılığını arttırmak ve yanal nüfuziyeti artırmaktır.

Bu çalışmada ele alınan MIG-MAG gazaltı kaynağıdır ve Şekil 1 de görülmektedir.



Şekil 1. Gazaltı kaynağının prensibi

Figure 1. Principles of welding

MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Güvenilir kaynak bağlantısı elde edebilmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin başında ark akımı ve ark gerilimi gelir.

Gazaltı kaynak işlemlerinde ark gerilimi ve ark boyu genellikle birbiri yerine kullanılan terimlerdir. Her ne kadar bunların arasında bir ilişki olsa da tamamen aynı şeyler demek yanlış bir ifade olur. Ark boyu bağımsız bir değişkendir. Ark gerilimi ise hem ark boyuna, hem de birçok değişkene bağlıdır. Bunlar; elektrodun bileşimi ve çapı, koruyucu gazın cinsi, kaynak tekniği ve kaynak kablosunun uzunluğudur. Bu değişkenler sabit tutulursa, ark boyu doğrudan ark gerilimine bağlı olur.

Elektrod ucu ile temas tüpü arasındaki mesafe olan serbest elektrod uzunluğu, kaynak işleminin gerçekleşmesini sağlayan direnci oluşturur. Gazaltı kaynak makinelerinde, serbest elektrod uzunluğu, tel sürme hızı ile ayarlanır. Serbest elektrod uzunluğunun artması elektrik direncinde artmaya neden olur. Dolayısıyla, sabit gerilim karakteristiğine sahip gazaltı kaynak makinelerinde, kaynak akımının şiddeti, tel sürme hızının artırılıp, azaltılmasıyla ayarlanır. Bu sebeple kaynak işleminin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için gerilim ve akım parametreleri, birlikte değerlendirilmelidir.

Kaynakçı ilk ayarları yaptıktan sonra elektriksel özellikler kaynak boyunca makine tarafından otomatik olarak sabit tutulur. Bu nedenle yarı otomatik kaynakta, kaynak işlemi sırasında sadece, kaynak hızı, kaynak doğrultusu ve torcun pozisyonu kaynakçı tarafından belirlenir. (Anık, 1972).

Kaynak dikişinin geometrisini ark akımı, ark gerilimi ve kaynak hızı gibi parametreler değiştirebilir (Essential Factors., 2011). Gazaltı kaynak parametrelerinin, bağlantının mukavemetine etkilerinin saptanması için deneysel planın oluşturulmasında, gazaltı kaynak parametrelerinden ark akımı ve ark gerilimi üzerinde yapılacak değişiklikler, ark türünü ve yığılma miktarını etkileyeceğinden, deneylerimizde kullanmayı hedeflediğimiz gerilim ve akım değerleri gruplar halinde incelenecektir. Yukarıda bahsettiğimiz gibi gerilim değerlerindeki değişiklik aynı zamanda ark boyunu etkilediğinden, gerilimler arasındaki farkı daha belirleyici yapmak adına, gerilim değerleri kısa ark, orta ark ve uzun ark olarak 3 farklı ark türü oluşturacak şekilde seçilecektir. Ark akımı için ise tel sürme hızı 3 farklı grup seçilip, incelenecektir (Çizelge 1). Deneyler boyunca sabit tutulan gazaltı kaynak parametreleri ve değerleri Çizelge 2 ve Çizelge 3'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Deneysel iş planı
Table 1. Experimental work plan

Parametre No	Ark Türü	Ark Boyu	Ark Gerilimi (Volt)	Tel Hızı (m/dk)	Ark Akımı (Amper)
1	Kısa	35	21,6	8	216
2	Kısa	35	22,9	10	255
3	Kısa	35	25,0	12	269
4	Orta	50	26,0	8	210
5	Orta	50	28,5	10	240
6	Orta	50	29,9	12	266
7	Uzun	65	29,7	8	270
8	Uzun	65	32,1	10	277
9	Uzun	65	34,0	12	291

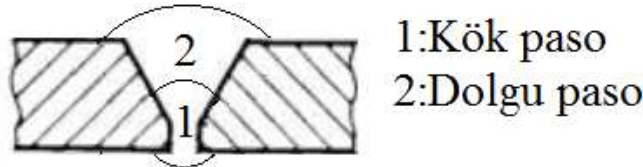
Çizelge 2. Deneyler boyunca sabit tutulan gazaltı kaynak parametreleri ve değerleri
Table 2. Constant welding parameters and values throughout the experiments

Elektrot cinsi	Elektrot çapı (mm)	Kontakt memesi uzaklığı (mm)	Meme-iş parçası uzaklığı (mm)	Torç açısı (derece)
SG2	1,2	18	12	20°

Çizelge 3. Deneyler boyunca sabit tutulan gazaltı kaynak parametreleri ve değerleri
Table 3. Constant welding parameters and values throughout the experiments

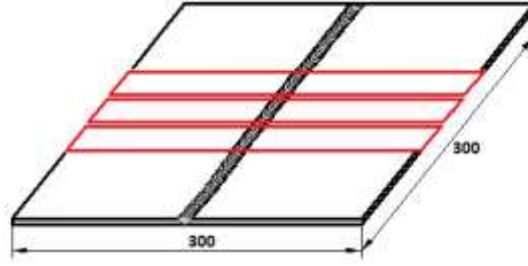
Koruyucu gaz türü	Koruyucu gaz debisi (lt/dk)	Kaynak Hızı (m/dk)	Kaynak Yönü
%82 AR-%18 CO ₂	12-14	40	Sağ

Çekme deneyinde doğru bilgiler elde edebilmek için kaynak işlemi ile birleştirilecek malzemelerin hepsine aynı parametrelerle 1'er adet kök paso atılmıştır. Daha sonra ise deney parametrelerine uygun olarak 1'er adet dolgu paso atılmıştır (Şekil 2). Deney numunelerinin hepsi için pasolar arası sıcaklık ise standart 250 °C alınmıştır.



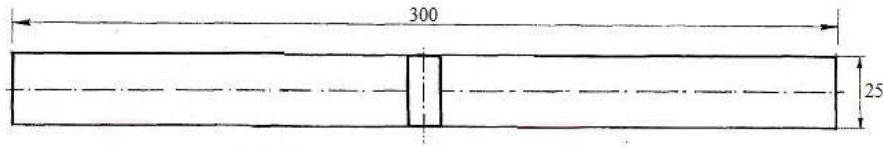
Şekil 2. Kök ve Dolgu paso
Figure 2. Root and fill pass

Her deney için, kaynaklı birleştirmeden sonra yaklaşık 300x300x6 mm ebatlarında iş parçaları elde edilmiştir (Şekil 3). Deneysel planda bahsedildiği gibi boyundaki artış, ark geriliminin artmasına, tel sürme hızındaki artış ise, ark akımının artmasına neden olmuştur. Bu gerilim ve akım değişikliklerinin bağlantının mukavemetine etkilerini araştırmak için, her bir bağlantıdan 3 adet çekme numuneleri alınıp, tek bir doğrultuda, sabit sıcaklıkta ve sabit kabul edilebilecek bir hızda çekme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Elde edilen 3 değerın ortalaması, o parametre ile birleştirilen numunenin çekme ve kopma değerleri olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 3. Kaynak işlemi sonrası iş parçası
Figure 3. Work piece after welding process

Şekil 4’de örnek bir çekme deney numunesi ve Şekil 5’de çekme deneyinden görüntüler aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4. Çekme deney numunesi
Figure 4. Sample of tensile test



(a)



(b)

Şekil 5. Çekme deneyinden görüntüler (a,b)
Figure 5. Views from the tensile test

SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

1 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için çekme deneyinde kopma, kaynak bağlantısında meydana gelmiştir. Bu parametre ile elde edilen 3 numunenin, ortalama çekme mukavemeti 109,8 kN, ortalama kopma mukavemeti ise 105,0 kN’dur.

1 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için kaynak dikiş genişliği 8,84mm, kaynak dikiş yüksekliği ise 1,64mm olarak ölçülmüştür.

1 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için, düşey nüfuziyet çok iyi, yanal nüfuziyet ise kararsız olmakla birlikte iyi düzeydedir.

2 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için çekme deneyinde kopma, kaynak bağlantısında meydana gelmiştir. Bu parametre ile elde edilen 3 numunenin, ortalama çekme mukavemeti 110,2 kN, ortalama kopma mukavemeti ise 107,5 kN’dur.

2 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için kaynak dikiş genişliği 9,10mm, kaynak dikiş yüksekliği ise 2,17mm olarak ölçülmüştür.

2 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için, düşey nüfuziyet çok iyi, yanal nüfuziyet ise

kararlı ve iyi düzeydedir.

3 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için çekme deneyinde kopma, kaynak bağlantısında meydana gelmiştir. Bu parametre ile elde edilen 3 numunenin, ortalama çekme mukavemeti 115,3 kN, ortalama kopma mukavemeti ise 100,0 kN'dur.

3 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için kaynak dikiş genişliği 9,47mm, kaynak dikiş yüksekliği ise 2,33mm olarak ölçülmüştür.

3 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için, düşey nüfuziyet çok iyi, yanal nüfuziyet ise kararlı ve çok iyi düzeydedir.

4 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için çekme deneyinde kopma, kaynak bağlantısında meydana gelmiştir. Bu parametre ile elde edilen 3 numunenin, ortalama çekme mukavemeti 112,7 kN, ortalama kopma mukavemeti ise 102,7 kN'dur.

4 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için kaynak dikiş genişliği 9,79mm, kaynak dikiş yüksekliği ise 1,35mm olarak ölçülmüştür.

4 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için, düşey nüfuziyet iyi, yanal nüfuziyet ise kararsız fakat iyi düzeydedir.

5 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için çekme deneyinde kopma, kaynak bağlantısında meydana gelmiştir. Bu parametre ile elde edilen 3 numunenin, ortalama çekme mukavemeti 107,7 kN, ortalama kopma mukavemeti ise 98,7 kN'dur.

5 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için kaynak dikiş genişliği 10,56mm, kaynak dikiş yüksekliği ise 1,75mm olarak ölçülmüştür.

5 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için, düşey nüfuziyet iyi, yanal nüfuziyet ise kararsız fakat orta düzeydedir.

6 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için çekme deneyinde kopma, kaynak bağlantısında meydana gelmiştir. Bu parametre ile elde edilen 3 numunenin, ortalama çekme mukavemeti 106,3 kN, ortalama kopma mukavemeti ise 88,0 kN'dur.

6 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için kaynak dikiş genişliği 9,85mm, kaynak dikiş yüksekliği ise 2,46mm olarak ölçülmüştür.

6 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için, düşey nüfuziyet orta, yanal nüfuziyet ise kararsız fakat orta düzeydedir.

7 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için çekme deneyinde kopma, kaynak bağlantısında meydana gelmiştir. Bu parametre ile elde edilen 3 numunenin, ortalama çekme mukavemeti 95,2 kN, ortalama kopma mukavemeti ise 76,3 kN'dur.

7 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için kaynak dikiş genişliği 10,42mm, kaynak dikiş yüksekliği ise 0,95mm olarak ölçülmüştür.

7 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için, düşey nüfuziyet orta, yanal nüfuziyet ise kararsız fakat orta düzeydedir.

8 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için çekme deneyinde kopma, kaynak bağlantısında meydana gelmiştir. Bu parametre ile elde edilen 3 numunenin, ortalama çekme mukavemeti 100,5 kN, ortalama kopma mukavemeti ise 91,0 kN'dur.

8 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için kaynak dikiş genişliği 10,49mm, kaynak dikiş yüksekliği ise 1,35mm olarak ölçülmüştür.

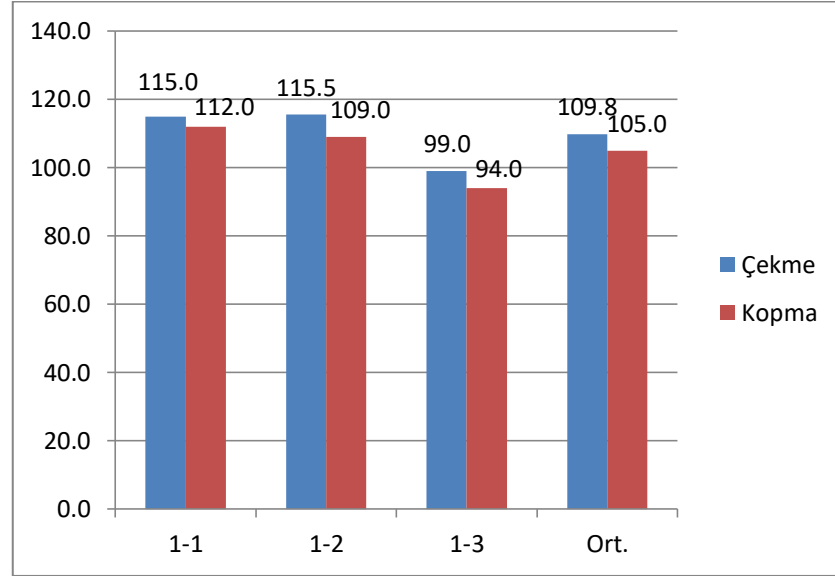
8 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için, düşey nüfuziyet orta, yanal nüfuziyet ise kararsız fakat orta düzeydedir.

9 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için çekme deneyinde kopma, kaynak bağlantısında meydana gelmiştir. Bu parametre ile elde edilen 3 numunenin, ortalama çekme mukavemeti 97,8 kN, ortalama kopma mukavemeti ise 80,2 kN'dur.

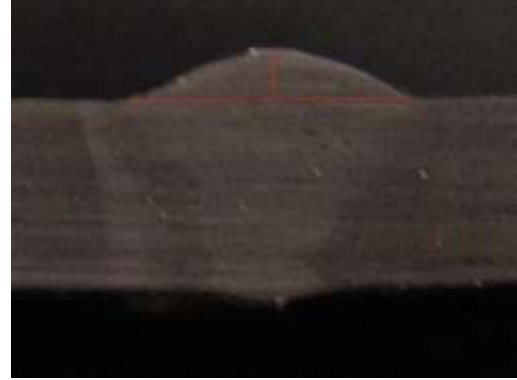
9 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için kaynak dikiş genişliği 10,53mm, kaynak dikiş yüksekliği ise 1,93mm olarak ölçülmüştür.

9 numaralı parametre ile elde edilmiş numune için, düşey nüfuziyet kötü, yanal nüfuziyet ise kararsız fakat orta düzeydedir.

1 numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deney sonuçları grafiği Şekil 6'da, çekme deneyi görüntüleri Şekil 7'de gösterilmiştir.

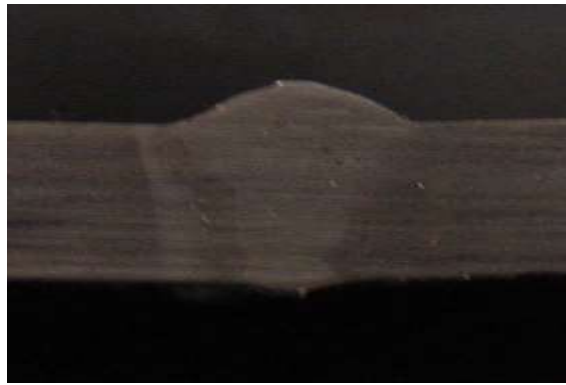


Şekil 6. 1 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deneyi sonuçları grafiği
Figure 6. Tensile test graph results for sample that has number 1 parameter



(a)

(b)

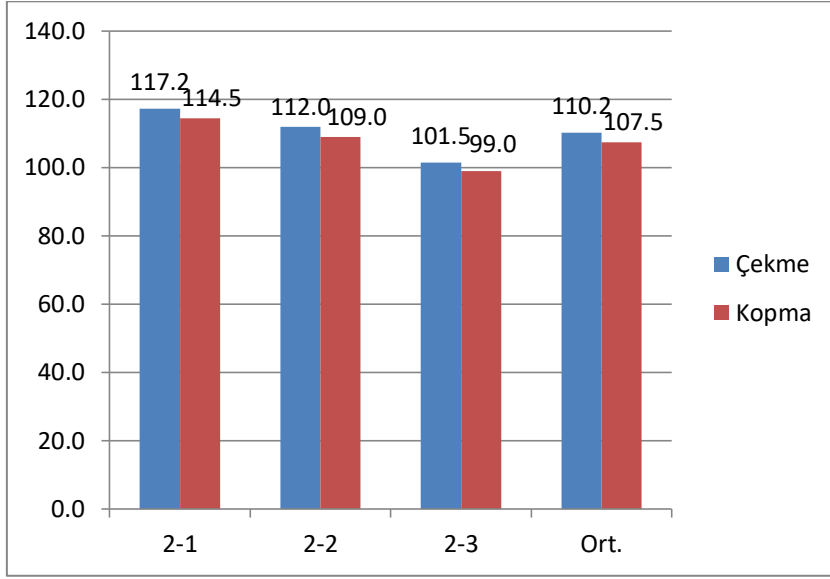


(c)

Şekil 7. 1 Numaralı parametre için çekme deneyi uygulanmış numunenin kopmuş görüntüsü (a), 1 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak dikişi makro görüntüsü (b), 1 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak nüfuziyeti makro görüntüsü (c)

Figure 7. Broken view of a sample that has number 1 parameter after tensile test (a), Macro view of welding seam for sample that has number 1 parameter (b), Macro view of dilution for sample that has number 1 parameter (c)

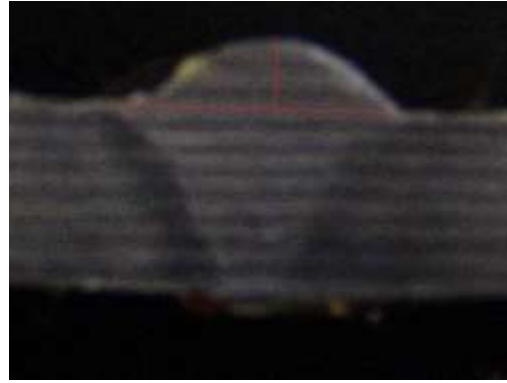
2 numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deney sonuçları grafiği Şekil 8’de, çekme deneyi görüntüleri Şekil 9’da gösterilmiştir.



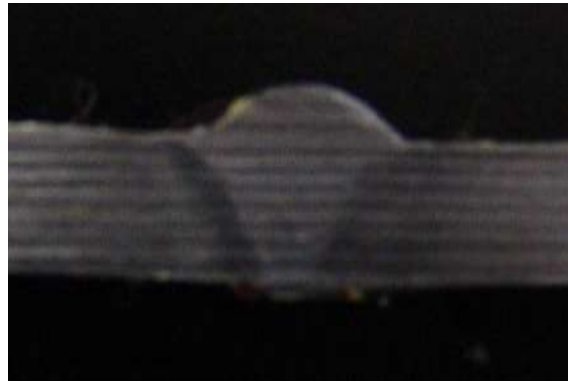
Şekil 8. 2 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deneyi sonuçları grafiği
Figure 8. Tensile test graph results for sample that has number 2 parameter



(a)



(b)

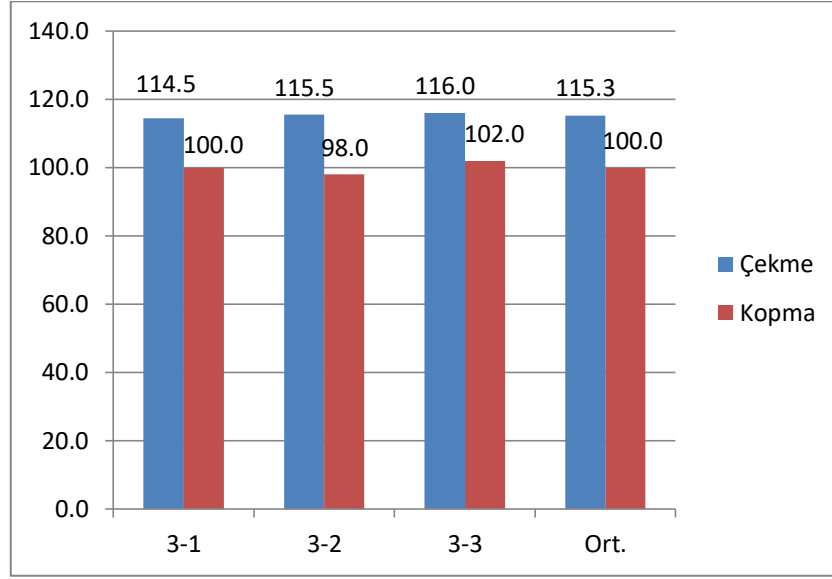


(c)

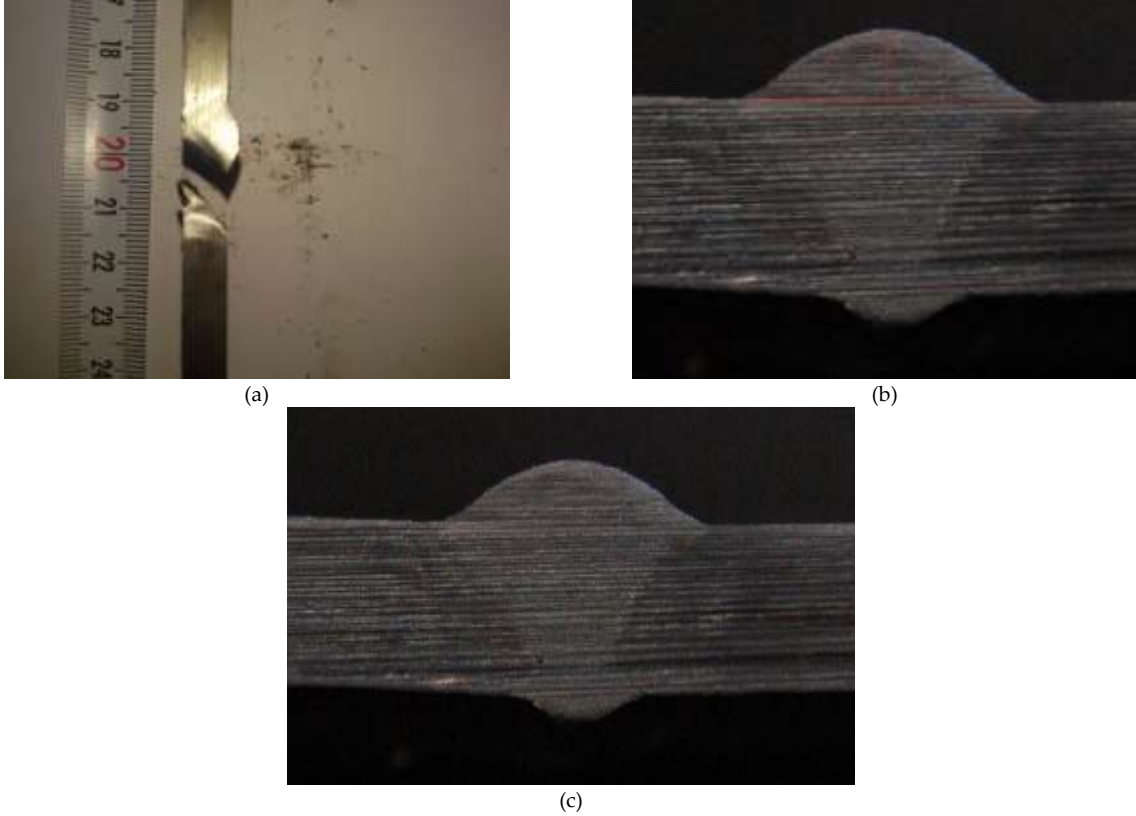
Şekil 9. 2 Numaralı parametre için çekme deneyi uygulanmış numunenin kopmuş görünüşü (a), 2 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak dikişi makro görüntüsü (b), 2 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak nüfuziyeti makro görüntüsü (c)

Figure 9. Broken view of a sample that has number 2 parameter after tensile test (a), Macro view of welding seam for sample that has number 2 parameter (b), Macro view of dilution for sample that has number 2 parameter (c)

3 numaraları parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deney sonuçları grafiği Şekil 10'da, çekme deneyi görüntüleri Şekil 11'de gösterilmiştir.



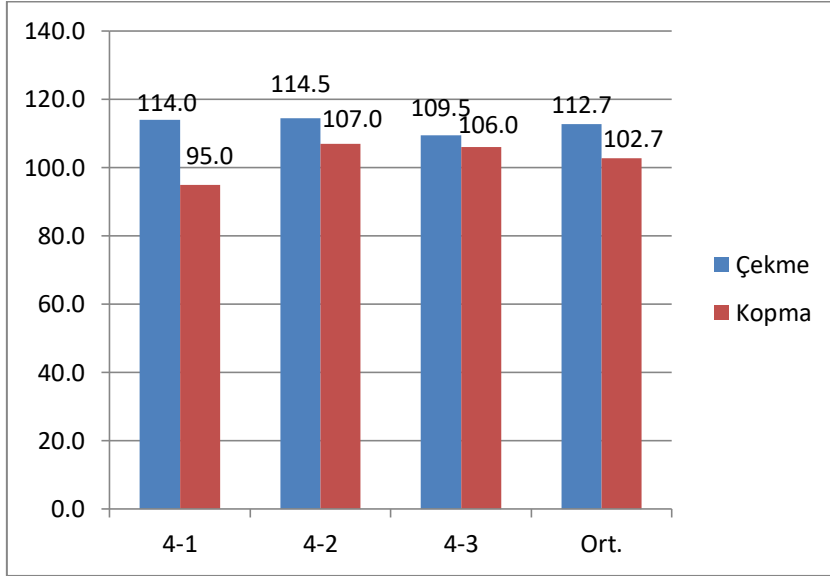
Şekil 10. 3 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deneyi sonuçları grafiği
Figure 10. Tensile test graph results for sample that has number 3 parameter



Şekil 11. 3 Numaralı parametre için çekme deneyi uygulanmış numunenin kopmuş görünüşü (a), 3 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak dikişi makro görüntüsü (b), 3 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak nüfuziyeti makro görüntüsü (c)

Figure 11. Broken view of a sample that has number 3 parameter after tensile test (a), Macro view of welding seam for sample that has number 3 parameter (b), Macro view of dilution for sample that has number 3 parameter (c)

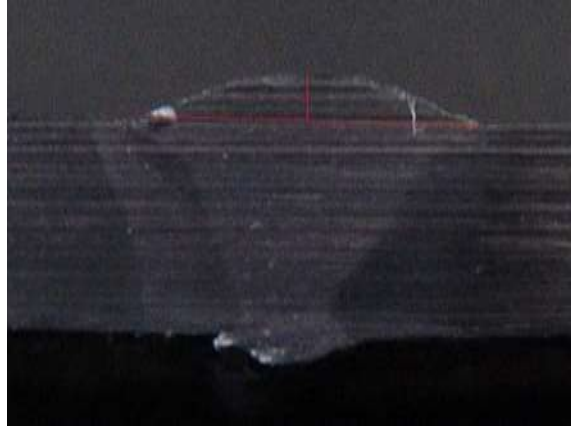
4 numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deney sonuçları grafiği Şekil 12’de, çekme deneyi görüntüleri Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil 12. 4 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deneyi sonuçları grafiği
Figure 12. Tensile test graph results for sample that has number 4 parameter



(a)



(b)

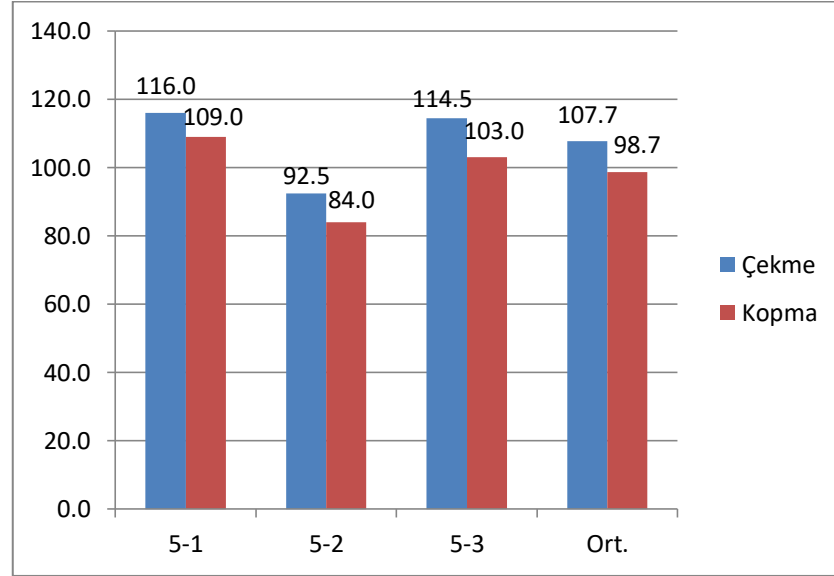


(c)

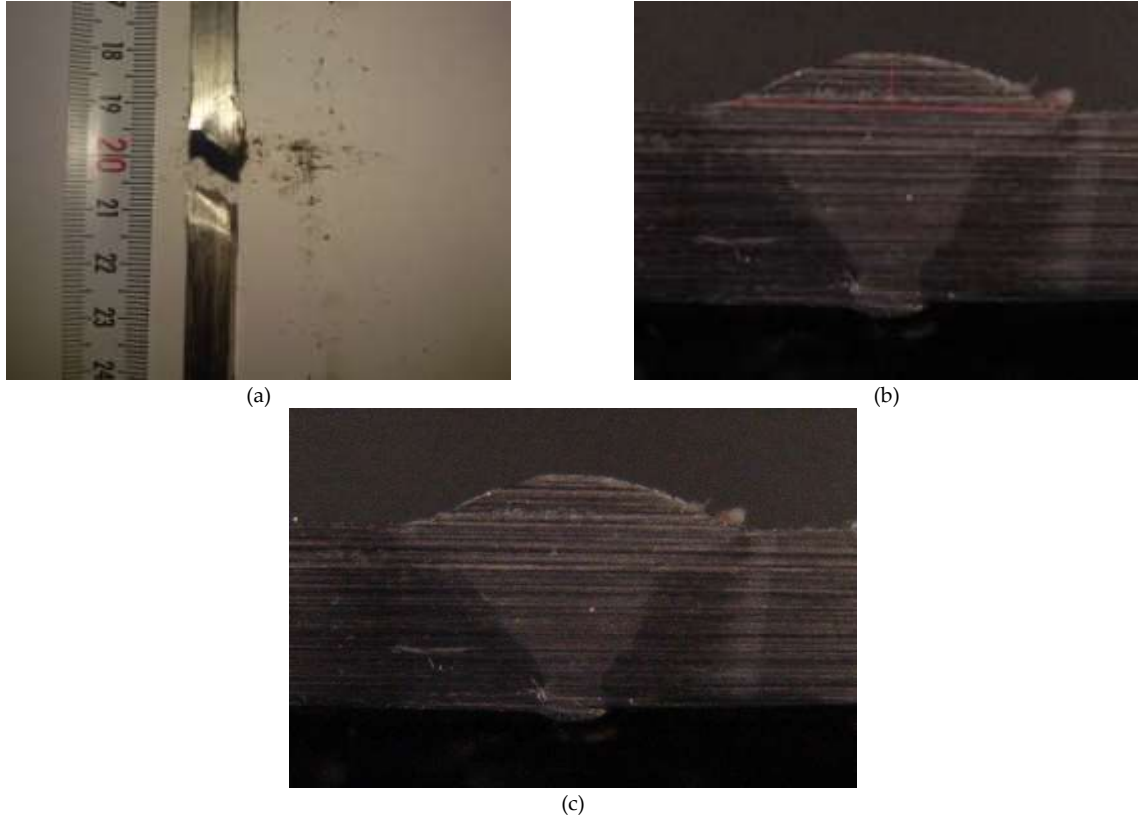
Şekil 13. 4 Numaralı parametre için çekme deneyi uygulanmış numunenin kopmuş görünüşü (a), 4 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak dikişi makro görüntüsü (b), 4 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak nüfuziyeti makro görüntüsü (c)

Figure 13. Broken view of a sample that has number 4 parameter after tensile test (a), Macro view of welding seam for sample that has number 4 parameter (b), Macro view of dilution for sample that has number 4 parameter (c)

5 numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deney sonuçları grafiği Şekil 14'de, çekme deneyi görüntüleri Şekil 15'de gösterilmiştir.



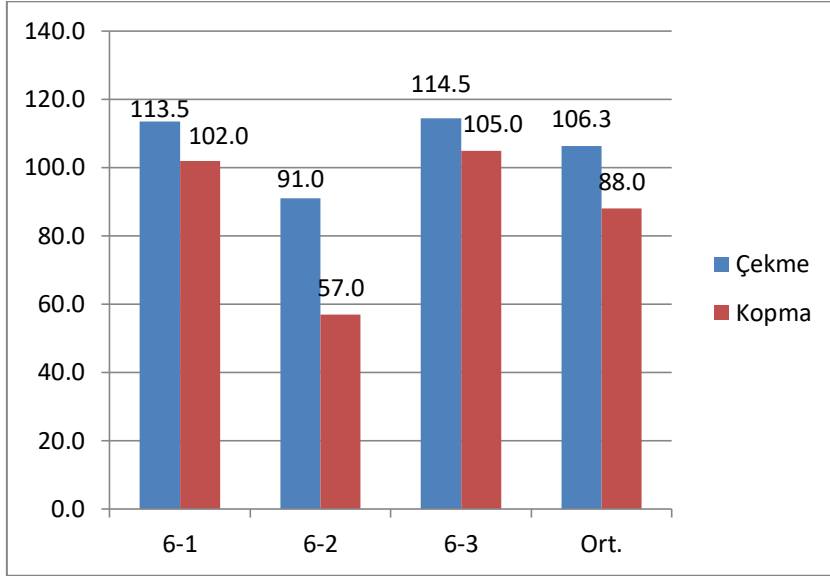
Şekil 14. 5 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deneyi sonuçları grafiği
Figure 14. Tensile test graph results for sample that has number 5 parameter



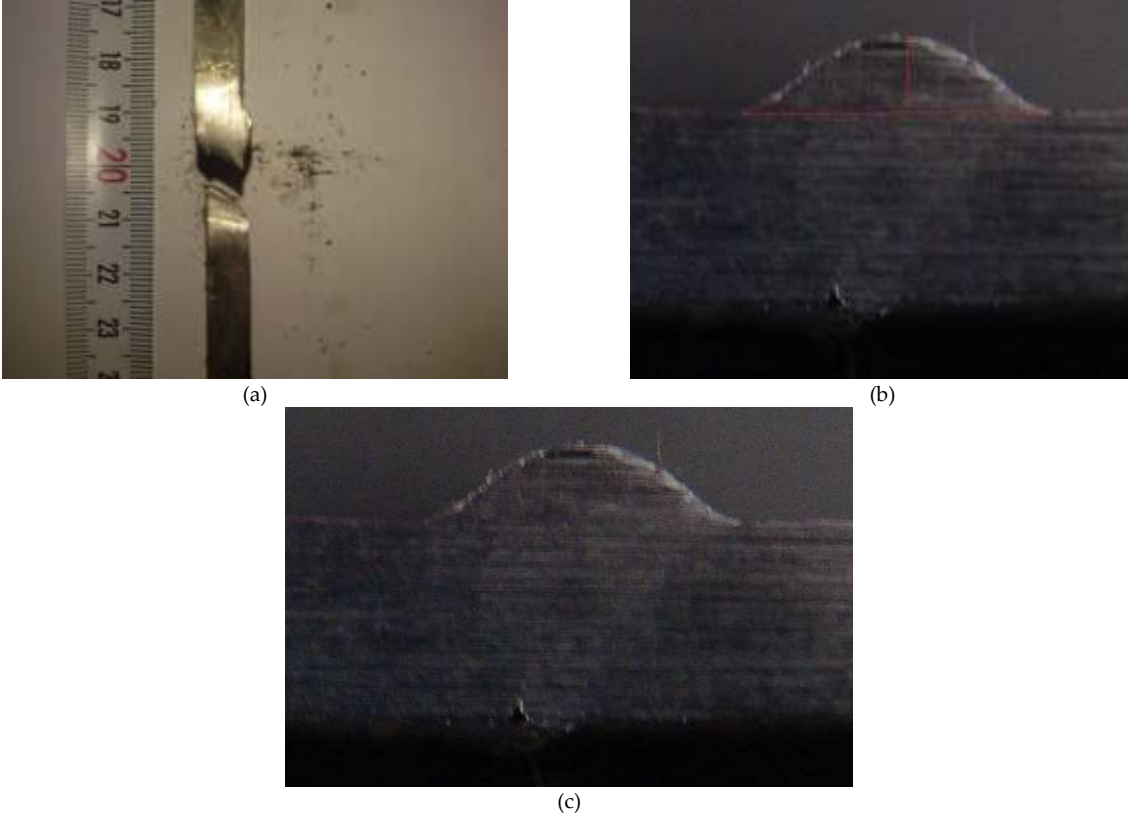
Şekil 15. 5 Numaralı parametre için çekme deneyi uygulanmış numunenin kopmuş görünüşü (a), 5 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak dikişi makro görüntüsü (b), 5 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak nüfuziyeti makro görüntüsü (c)

Figure 15. Broken view of a sample that has number 5 parameter after tensile test (a), Macro view of welding seam for sample that has number 5 parameter (b), Macro view of dilution for sample that has number 5 parameter (c)

6 numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deney sonuçları grafiği Şekil 16'da, çekme deneyi görüntüleri Şekil 17'de gösterilmiştir.



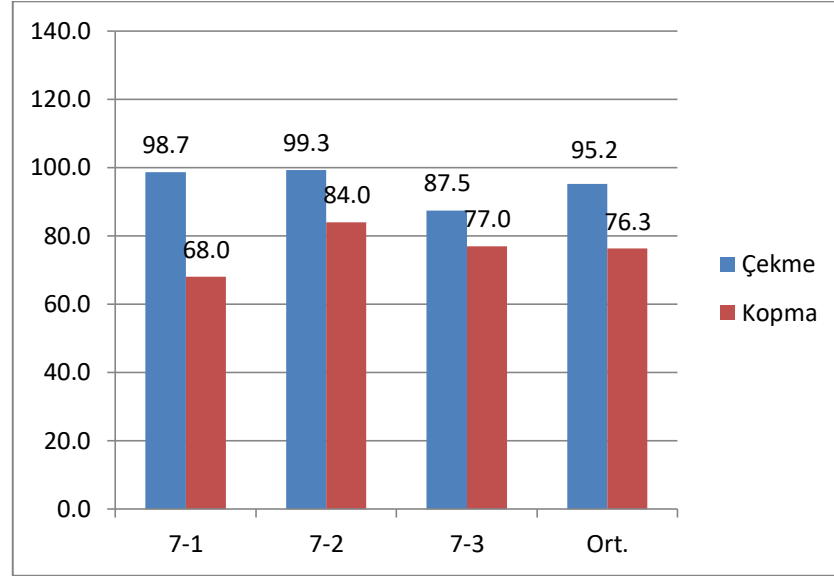
Şekil 16. 6 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deneyi sonuçları grafiği
Figure 16. Tensile test graph results for sample that has number 6 parameter



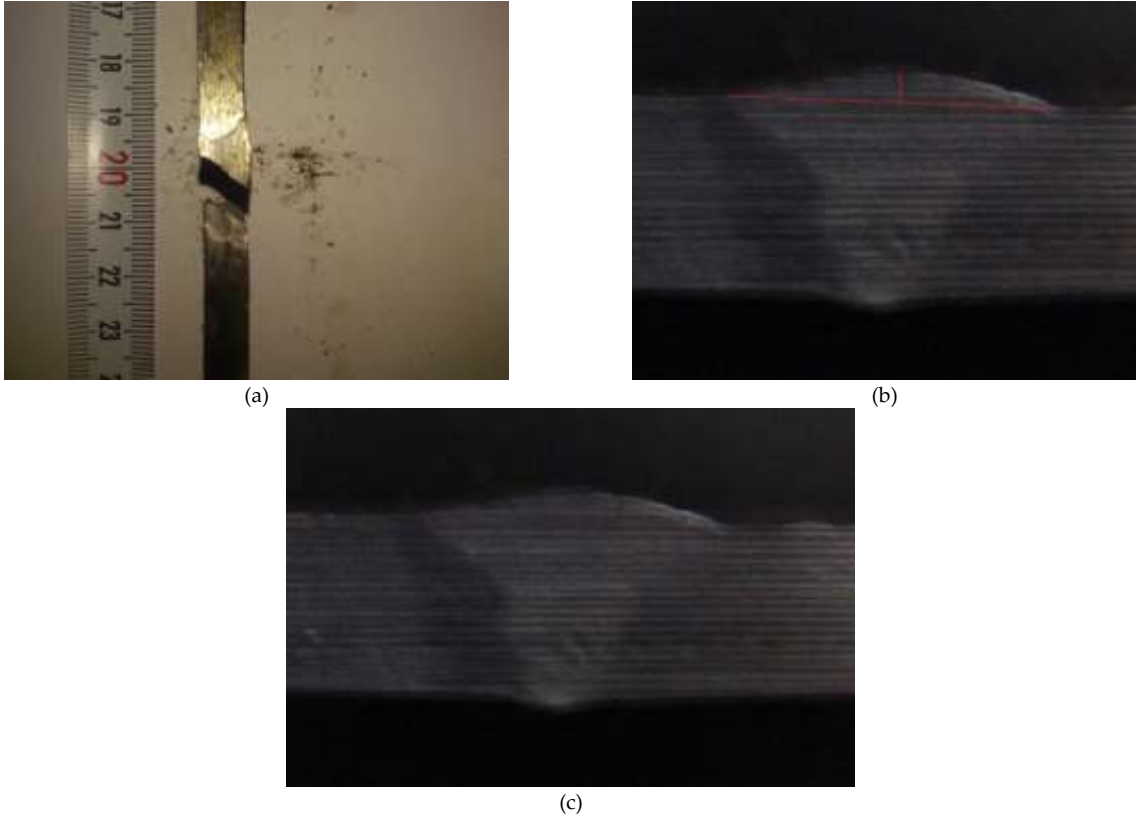
Şekil 17. 6 Numaralı parametre için çekme deneyi uygulanmış numunenin kopmuş görünüşü (a), 6 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak dikişi makro görüntüsü (b), 6 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak nüfuziyeti makro görüntüsü (c)

Figure 17. Broken view of a sample that has number 6 parameter after tensile test (a), Macro view of welding seam for sample that has number 6 parameter (b), Macro view of dilution for sample that has number 6 parameter (c)

7 numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deney sonuçları grafiği Şekil 18'de, çekme deneyi görüntüleri Şekil 19'da gösterilmiştir.



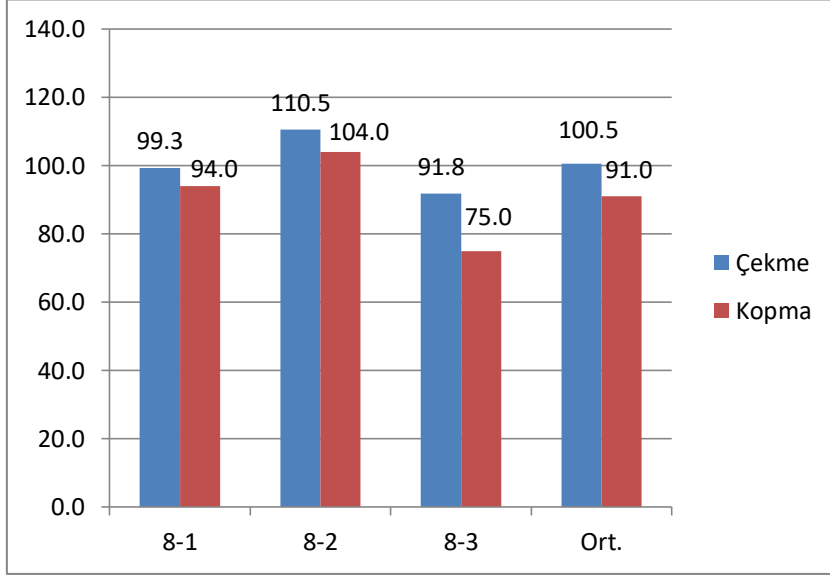
Şekil 18. 7 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deneyi sonuçları grafiği
Figure 18. Tensile test graph results for sample that has number 7 parameter



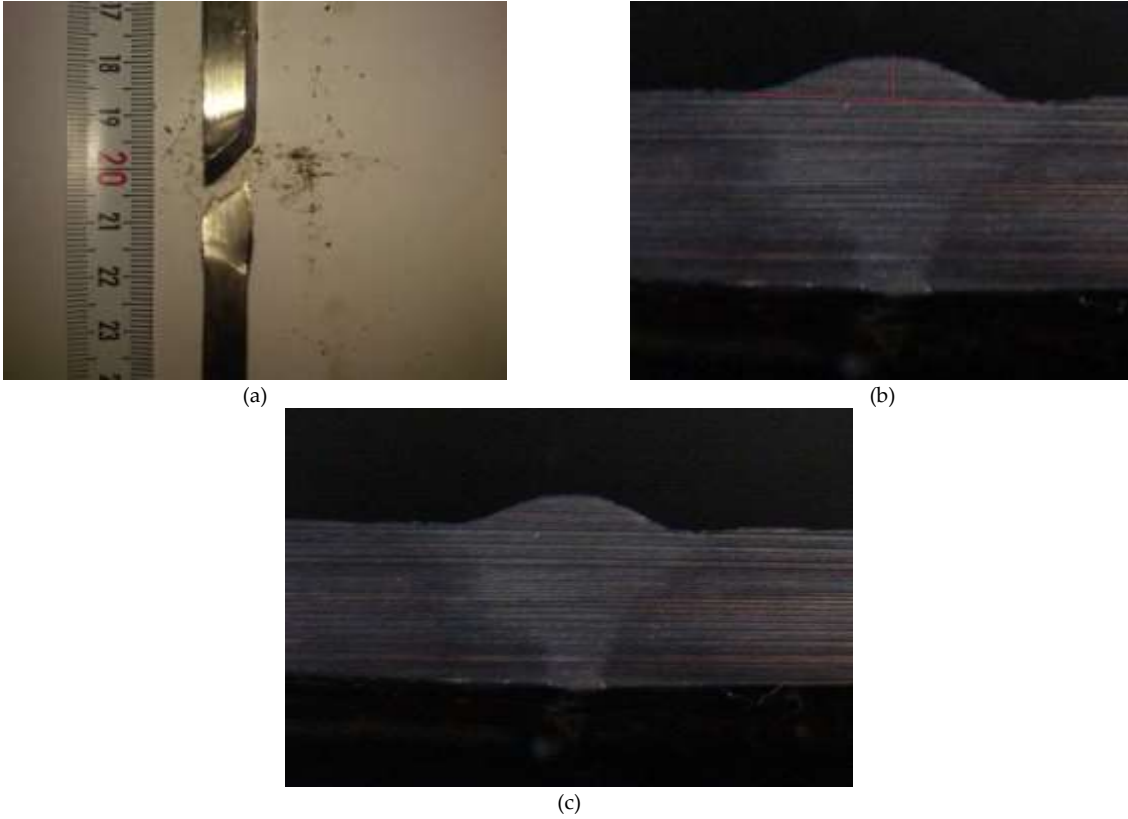
Şekil 19. 7 Numaralı parametre için çekme deneyi uygulanmış numunenin kopmuş görünüşü (a), 7 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak dikişi makro görüntüsü (b), 7 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak nüfuziyeti makro görüntüsü (c)

Figure 19. Broken view of a sample that has number 7 parameter after tensile test (a), Macro view of welding seam for sample that has number 7 parameter (b), Macro view of dilution for sample that has number 7 parameter (c)

8 numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deney sonuçları grafiği Şekil 20’de, çekme deneyi görüntüleri Şekil 21’de gösterilmiştir.



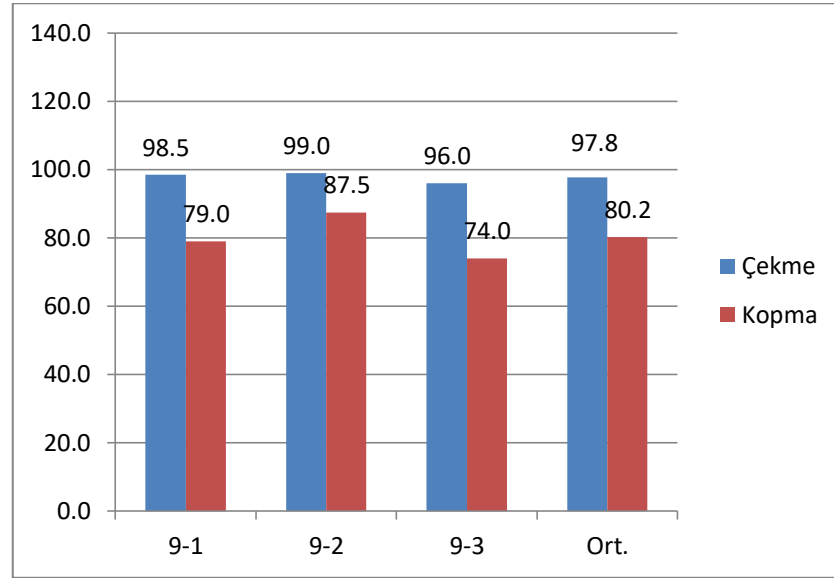
Şekil 20. 8 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deneyi sonuçları grafiği
Figure 20. Tensile test graph results for sample that has number 8 parameter



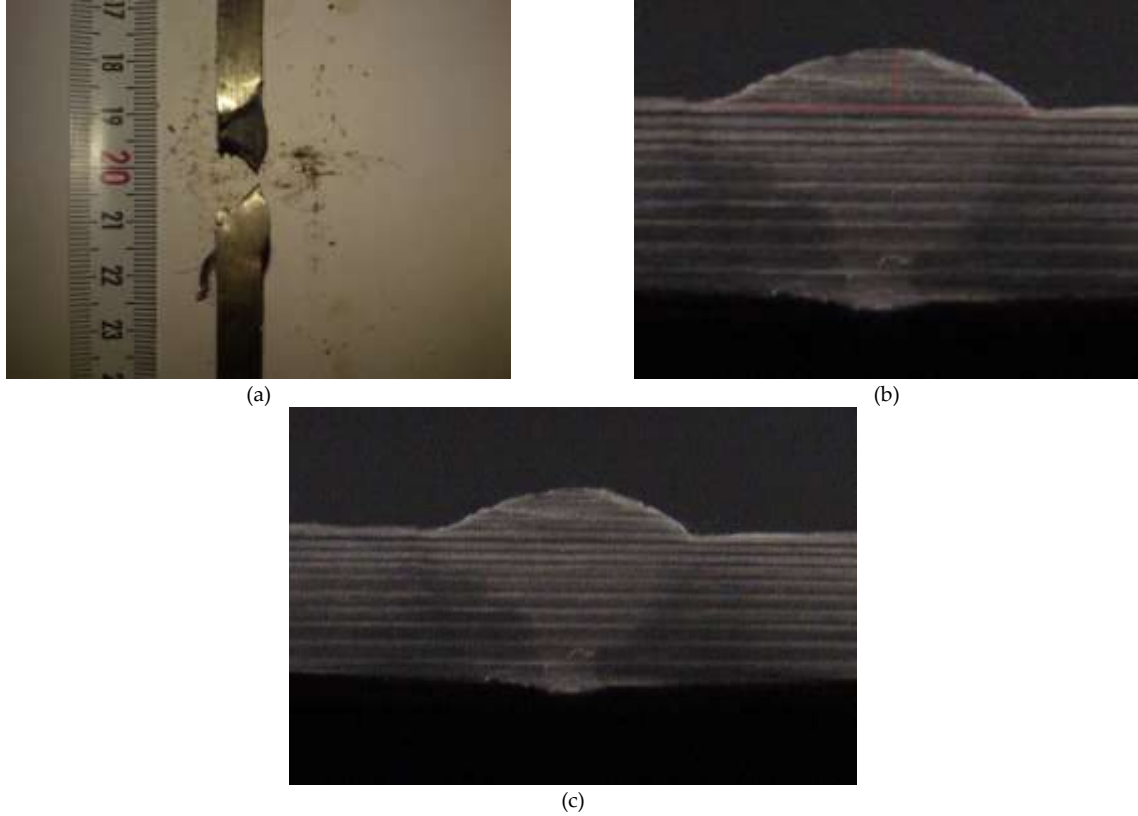
Şekil 21. 8 Numaralı parametre için çekme deneyi uygulanmış numunenin kopmuş görüntüsü (a), 8 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak dikişi makro görüntüsü (b), 8 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak nüfuziyeti makro görüntüsü (c)

Figure 21. Broken view of a sample that has number 8 parameter after tensile test (a), Macro view of welding seam for sample that has number 8 parameter (b), Macro view of dilution for sample that has number 8 parameter (c)

9 numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deney sonuçları grafiği Şekil 22'de, çekme deneyi görüntüleri Şekil 23'de gösterilmiştir.



Şekil 22. 9 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin çekme deneyi sonuçları grafiği
Figure 22. Tensile test graph results for sample that has number 9 parameter



Şekil 23. 9 Numaralı parametre için çekme deneyi uygulanmış numunenin kopmuş görünüşü (a), 9 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak dikişi makro görüntüsü (b), 9 Numaralı parametre ile elde edilmiş numunenin kaynak nüfuziyeti makro görüntüsü (c)

Figure 23. Broken view of a sample that has number 9 parameter after tensile test (a), Macro view of welding seam for sample that has number 9 parameter (b), Macro view of dilution for sample that has number 9 parameter (c)

Yapılan çekme deneyleri sonucunda elde edilen çekme ve kopma değerleri, tablo halinde Çizelge 4 de belirtilmiştir. Gerekli karşılaştırmaları daha rahat yapmak için kaynak bağlantısının, dikiş genişlikleri ve yükseklikleri Çizelge 5 de, nüfuziyetleri ise Çizelge 6 da tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4. Parametre sırasına göre çekme deneyi sonuçları

Table 4. The Tensile test results according to parameter order

Par. No	Tel Hızı (m/dk)	Ark Akımı (Amper)	Ark Türü	Ark Gerilimi (Volt)	Çek. Değeri (kN)	Kop. Değeri (kN)	Ortalama Çekme Değeri (kN)	Ortalama Kopma Değeri (kN)
1	8	216	Kısa	21,6	109,8	105,0		
2	10	255	Kısa	22,9	110,2	107,5	111,8	104,2
3	12	269	Kısa	25,0	115,3	100,0		
4	8	210	Orta	26,0	112,7	102,7		
5	10	240	Orta	28,5	107,7	98,7	108,9	96,5
6	12	266	Orta	29,9	106,3	88,0		
7	8	270	Uzun	29,7	95,2	76,3		
8	10	277	Uzun	32,1	100,5	91,0	97,8	82,5
9	12	291	Uzun	34,0	97,8	80,2		

Çizelge 5. Parametre sırasına göre kaynak dikiş genişlikleri ve yükseklikleri

Table 5. The width and height of welding seam according to parameter order

Par. No	Tel Hızı (m/dk)	Ark Akımı (Amper)	Ark Türü	Ark Gerilimi (Volt)	Kaynak Dikiş Gen. (mm)	Kaynak Dikiş Yüks. (mm)	Ark Türüne Göre Ort. Kay. Dik. Gen. (mm)	Ark Türüne Göre Ort. Kay. Dik. Yük. (mm)
1	8	216	Kısa	21,6	8,84	1,64		
2	10	255	Kısa	22,9	9,10	2,17	9,13	2,04
3	12	269	Kısa	25,0	9,47	2,33		
4	8	210	Orta	26,0	9,79	1,35		
5	10	240	Orta	28,5	10,56	1,75	10,06	1,85
6	12	266	Orta	29,9	9,85	2,46		
7	8	270	Uzun	29,7	10,42	0,95		
8	10	277	Uzun	32,1	10,49	1,35	10,48	1,41
9	12	291	Uzun	34,0	10,53	1,93		

Çizelge 6. Parametre sırasına göre kaynak nüfuziyetleri

Table 6. The dilution according to parameter order

Par. No	Tel Hızı (m/dk)	Ark Akımı (Amper)	Ark Türü	Ark Gerilimi (Volt)	Düşey Nüfuziyet	Yanal Nüfuziyet
1	8	216	Kısa	21,6	Çok İyi	İyi Fakat Kararsız
2	10	255	Kısa	22,9	Çok İyi	İyi ve Kararlı
3	12	269	Kısa	25,0	Çok İyi	Çok İyi ve Kararlı
4	8	210	Orta	26,0	İyi	İyi Fakat Kararsız
5	10	240	Orta	28,5	İyi	Orta ve Kararsız
6	12	266	Orta	29,9	Orta	Orta ve Kararsız
7	8	270	Uzun	29,7	Orta	Orta ve Kararsız
8	10	277	Uzun	32,1	Orta	Orta ve Kararsız
9	12	291	Uzun	34,0	Kötü	Orta ve Kararsız

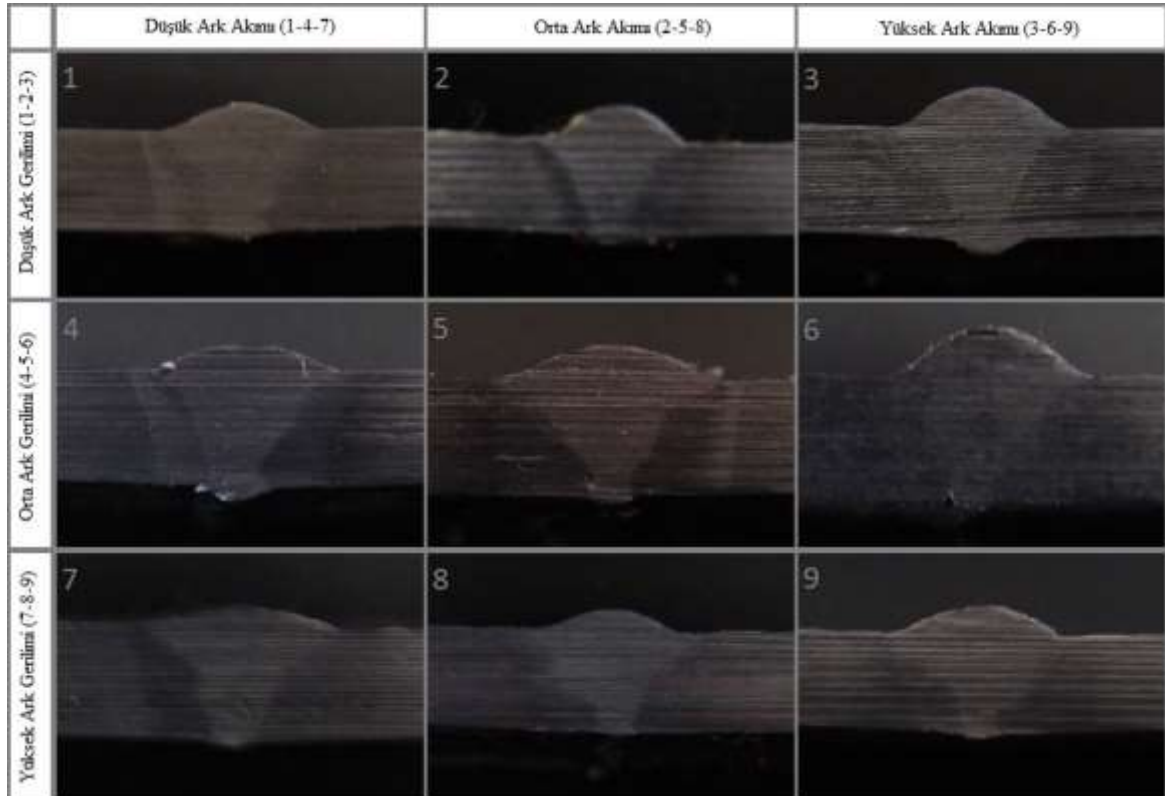
1, 2 ve 3 numaralı parametreler için Şekil 7, Şekil 9 ve Şekil 11 incelendiğinde, düşük ark gerilimi için, ark geriliminin artışı ile doğru orantılı olarak kaynak dikiş genişliğinin arttığı gözlenmiştir. Buna ek olarak kaynak dikiş genişliklerinin de, orta ve yüksek ark gerilimi ile elde edilen kaynak dikiş genişliklerinden daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Yine Şekil 7, Şekil 9 ve Şekil 11 incelendiğinde düşük ark gerilimi için kaynak dikiş yüksekliklerinin, orta ve yüksek ark gerilimi ile elde edilen kaynak dikiş yüksekliklerinden genel olarak daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu tespitler düşük ark gerilimi nedeniyle oluşan kısa ark boyunun doğal bir sonucudur.

4, 5 ve 6 numaralı parametreler için Şekil 13, Şekil 15 ve Şekil 17 incelendiğinde, orta ark gerilimi ile elde edilen kaynak dikiş genişliklerinin, düşük ark gerilimi ile elde edilen kaynak dikiş genişliklerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu durum düşük ark gerilimine göre, ark geriliminin artması sonucu oluşan orta ark boyunun doğal bir sonucudur. Yine Şekil 13 ve Şekil 15 incelendiğinde orta ark gerilimi ile elde edilen kaynak dikiş yüksekliklerinin, düşük ark gerilimi ile elde edilen kaynak dikiş yüksekliklerinden daha küçük olduğu gözlenmiştir. Ancak 6 numaralı parametre için ise bu durumun aksi söz konusudur. Şekil 17 incelendiğinde kaynak dikiş yüksekliğinin, aynı ark akımındaki, düşük ark gerilimi ile elde edilen 3 numaralı parametreden dahi yüksek, fakat kaynak dikiş genişliğinin aynı ark boyuna sahip 4 ve 5 numaralı parametrelerden daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durumun nedeni de ark geriliminin artması sonucu oluşan orta ark boyu sebebiyle, düşey ve yanal nüfuziyetin, derinlik arttıkça 3, 4 ve 5 nolu parametrelere göre daha düşük olması ve yüksek ark akımı için artırılmış olan tel besleme hızının, yığılma miktarını artırmış olmasıdır.

7, 8 ve 9 numaralı parametreler için Şekil 19, Şekil 21 ve Şekil 23 incelendiğinde yüksek ark gerilimi için, ark geriliminin artışı ile doğru orantılı olarak kaynak dikiş genişliğinin arttığı gözlenmiştir. Buna ek olarak yüksek ark gerilimi elde edilen kaynak dikiş genişliklerinin de, düşük ve orta ark gerilimi ile elde edilen kaynak dikiş genişliklerinden genel olarak daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Yine Şekil 19, Şekil 21 ve Şekil 23 incelendiğinde yüksek ark gerilimi ile elde edilen kaynak dikiş yüksekliklerinin, düşük ve orta ark gerilimi ile elde edilen kaynak dikiş yüksekliklerinden daha küçük olduğu gözlenmiştir. Bu tespitler düşük ve orta ark gerilimine göre, ark geriliminin fazlaca artması sonucu oluşan uzun ark boyunun doğal bir sonucudur.

Ayrıca her ark boyu için, ark akımının artışı ile kaynak dikiş yüksekliğinin arttığı da gözlenmiştir. Bu durumun nedeni de, ark akımının artması için tel besleme hızının artırılması sonucu, yığılma miktarının artmasıdır.

1, 2 ve 3 numaralı parametreler için Şekil 7, Şekil 9 ve Şekil 11 incelendiğinde düşük ark gerilimi için düşey nüfuziyetin çok iyi, yanal nüfuziyetinin iyi ve ark akımının artışı ile doğru orantılı olarak daha da arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 24. Ark akımı ve gerilimine göre kaynak nüfuziyeti makro görüntüleri

Figure 24. Macro view of dilution according to arc current and voltage

4, 5 ve 6 numaralı parametreler için Şekil 13, Şekil 15 ve Şekil 17 incelendiğinde orta ark gerilimi için düşey nüfuziyetin genel olarak iyi, yanal nüfuziyetin ise genel olarak orta seviyede olduğu tespit edilmiştir. Ark akımının arttırılması için, tel besleme hızının arttırılmasıyla, fazlaca eriyen kaynak teli, orta ark gerilimi sonucu oluşan orta ark boyu nedeniyle, kaynak dikişinin yüksekliğini arttırarak, dikişin üst kısımlarında arkın hızlıca soğumasına neden olmuştur. Bunun sonucunda düşey ve yanal nüfuziyette artan ark akımına karşılık düşüş tespit edilmiştir.

7, 8 ve 9 numaralı parametreler için Şekil 19, Şekil 21 ve Şekil 23 incelendiğinde yüksek ark gerilimi için düşey ve yanal nüfuziyetin genel olarak orta ve kötü seviyede olduğu tespit edilmiştir. Yüksek ark gerilimi sonucu oluşan uzun ark boyu nedeniyle düşey nüfuziyet, derinlik arttıkça diğer ark boylarına oranla daha düşüktür. Yanal nüfuziyet ise dikişin üst kısımlarında oldukça iyidir. Ancak ark akımının arttırılması için, tel besleme hızının arttırılmasıyla, fazla eriyen kaynak teli, yüksek ark gerilimi sonucu oluşan uzun ark boyu nedeniyle, kaynak dikiş genişliğini arttırarak, dikişin üst kısımlarında daha geniş ve büyük bir ısı transferi yüzeyi oluşturmuştur. Bunun sonucunda ark hızlı bir şekilde soğuyarak ana malzemeyi yeteri kadar eritememiş ve derinlik arttıkça düşey ve yanal nüfuziyette diğer ark boylarına oranla kötü seviyede sonuçlar oluşmuştur.

Birleştirilen parçalar arasında en yüksek çekme değeri 115,3 kN olan 3 numaralı parametre ile düşük ark gerilimi sonucu oluşan kısa arka yapılan birleştirmeye elde edilmiştir. Bunun sebebi, hem kısa arka düşey ve yanal nüfuziyetin orta ve uzun arka göre daha iyi olması hem de oluşan kaynak dikiş genişliğinin orta ve uzun arka göre daha küçük olması sebebiyle daha yavaş bir soğumanın meydana gelmesidir. Bilindiği gibi kaynak dikiş genişliği aynı zamanda ısı transferine olanak sağlayan yüzeyi oluşturduğu için, kaynak dikiş genişliği arttıkça soğuma hızı da artar. Soğuma hızıyla doğru orantılı olarak kaynak dikiş bölgesinde iç gerilmelerin oluştuğu bilindiğinden, kaynak dikişinin hızlı soğuması, birleştirilen numune için çekme değerine üzerine olumsuz bir etki yaratacaktır.

Çekme değerinin maksimum olabilmesi için ark akımı ve ark geriliminin birbiri ile uyumlu olması gerekir. Örneğin 3 numaralı parametreyi inceleyerek, düşük ark geriliminde ark akımının artışı, nüfuziyeti ve dolayısıyla çekme mukavemetini arttırmıştır. Çünkü, artan akım etkisiyle ark bölgesine ısı girdisi arttığından, ark malzemeyi eriterek daha iyi bir nüfuziyet sağlamıştır. Artan akım etkisi ile malzemeye daha fazla ısı girdisi olmasına rağmen, düşük ark gerilimi sonucu oluşan kısa ark boyundan kaynaklanan özellikle düşey nüfuziyet sonucu kaynak dikişindeki ısı transfer yüzeyinin darlığı, burada bir avantaj oluşturup, yavaş bir soğuma ve düşük bir iç gerilim yaratarak, çekme mukavemetini arttırmıştır. İşte bu sebeple düşük ark gerilimi sonucu oluşan kısa ark için, ark akımının artışıyla çekme değerinin arttığını 1, 2 ve 3 numaralı parametrelere bakarak rahatlıkla söyleyebiliriz.

Orta ark gerilimi ile birleştirilen numunelerden elde edilen sonuçlara bakıldığında, düşük ark gerilimi ile birleştirilen numuneler ile arasında çekme değeri bakımından hissedilir bir fark gözlenmemiştir. Burada daha çok dikkat çeken husus, ark akımının artışı ile çekme değerinin düşmesidir. Bunun nedeni, ark akımının artması için tel sürme hızının arttırılmasıyla birlikte yığma miktarının artarak, kaynak dikiş yüksekliğini ve genişliğini arttırması nedeniyle, kaynak banyosunun ısı transferine olanak sağlayan yüzeyinin artması ve daha hızlı bir soğumanın meydana gelmesidir. Bu hızlı soğumanın sonucu olarak derinlik arttıkça düşey ve yanal nüfuziyetin azaldığını, iç gerilmelerin oluştuğunu ve çekme değerinin de düştüğünü 4, 5 ve 6 numaralı parametrelere bakarak rahatlıkla söyleyebiliriz. Buradan hareketle, düşük ark geriliminde ark akımının artması nüfuziyeti ve çekme değerini artırırken, orta ark geriliminde ark akımının artması, nüfuziyeti ve çekme değerini düşürmüştür. Ayrıca nüfuziyet bakımından da oldukça kararsız bir yapı oluşturmuştur.

Yüksek ark gerilimi ile birleştirilen numunelerden elde edilen çekme değeri sonuçlarına bakıldığında, düşük ve orta ark gerilimi ile elde edilen numunelere göre ortalama %10-15 daha düşük sonuçlar gözlenmiştir. Bunun nedeni, yüksek ark gerilimi sonucu oluşan uzun ark boyu nedeniyle, kaynak dikişinde derinlik arttıkça, nüfuziyet bakımından diğer ark boylarına oranla yetersiz ve kötü seviyede sonuçlar oluşmasıdır. Yine uzun ark boyu nedeniyle kaynak dikiş genişliğinin, diğer ark boylarına oranla daha büyük olması, burada başka bir dezavantaj daha oluşturup, kaynak dikişinde ısı transferine olanak sağlayan yüzeyi artırarak, hızlı bir soğuma ve yüksek iç gerilmeler yaratmış ve

dolayısıyla çekme mukavemetini düşürmüştür. Uzun ark boyundan kaynaklanan genel olarak yetersiz nüfuziyet ile kaynak dikiş genişliğinin neden olduğu hızlı soğuma ve yüksek iç gerilmeler 7, 8 ve 9 numaralı parametreler ile elde edilen numuneleri, diğer ark boylarıyla elde edilen numunelere göre, çekme değeri bakımından oldukça zayıf kılmıştır. Uzun ark boyu sebebiyle oluşan yetersiz nüfuziyeti gidermek için ark akımını artırmak da burada bir çözüm oluşturmayıp, yalnızca yığılma miktarını ve dolayısıyla kaynak dikiş genişliğini ve yüksekliğini artmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada deneysel uygulama yapılabilmesi için gerekli olan numunelerin elde edilmesinde ve deneylerin yapılmasında katkı ve desteklerinden dolayı HÜRSAN A.Ş. ile MPG A.Ş. çalışanlarına ve Malzeme Mühendisi Kısmet BOZOĞLU'na teşekkür ederim.

Bu makale Ahmet AKIN'ın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Anık, S., 1972, Kaynak Tekniği (Tozaltı Kaynağı ve Koruyucu Gazla Kaynak), Cilt 2, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu.
- Aslanlar, S. 2009, Elektrik Ark Kaynak Teknolojisi ve Uygulamaları, Elektrik Ark Kaynak ve Gaz Eritme Kaynak Teknolojisi Ders Notu (Yayınlanmamış), Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, s.15.
- (<http://www.kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2013/04/kaynak-teknolojisi-salim-aslanlar.pdf>)
- Hooda, A., Dhingra, A., Sharma, S., 2012, "Optimization Of MIG Welding Process Parameters to Predict Maximum Yield Strength In AISI 1040", International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research (IJMERR), ISSN 2278-0149, Vol. 1, pp. 203-213.
- Kobe Steel. 2011. Essential Factors in Gas Metal Arc Welding, 141-8688, 19.
- Kul A., 2009, Endüstriyel Kaynak Robotlarında Kullanılan Kaynak Parametrelerinin Kaynak Kalitesine ve Nüfuziyetine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Nuraini, A. A., Zainal, A. S., Azmah, M. A., 2014, "The Effects Of Welding Parameters on Butt Joints Using Robtic Gas Metal Arc Welding", Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES), ISSN 2289-4659, Vol. 6, pp. 988-994.
- Shoeb, M., Parvez, M., Kumari, P., 2013, "Effect of MIG Welding Input Process Parameters On Weld Bead Geometry On HSLA Steel," International Journal of Engineering Science and Technology, 0975-5462, Vol. 5 (1), pp. 200-212.
- Tülbentçi, K., 1990, MIG/MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul.
- http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library_3.pdf