

Paslanmaz Çeliklerin Farklı Akımlarda MİG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinin İncelenmesi

Ebrar Karakaya¹ , A. Fulin Köseoğlu¹ 

¹Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 21.11.2022

Kabul: 07.12.2022

Anahtar Kelimeler:

Double pulse

Pulse

MIG

Gazaltı kaynağı

ÖZET

Bu çalışmada paslanmaz çeliklerin pulse (P-GMAW) ve double pulse (DP-GMAW) kullanılarak gazaltı MIG (Metal Inert Gas) yöntemi ile birleştirilmesi araştırılmıştır. Kaynaklı birleştirilmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için sertlik ölçümü, çekme deneyi ve mikroyapıda oluşan değişiklikleri tespit etmek amacıyla mikroyapı çalışmaları incelenmiştir. Bu testler sonucunda MIG kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında yüksek verimliliğe, daha iyi nüfuziyete ve daha az sıçrama özelliklerine sahip olduğu için endüstride yoğun bir şekilde kullanıldığı saptanmıştır.

Investigation of Joining Stainless Steels with MIG Welding at Different Currents

ARTICLE INFO

Received: 21.11.2022

Accepted: 07.12.2022

Keywords:

Double pulse

Pulse

MIG

Arc welding

ABSTRACT

In this study, the joining of stainless steels using pulse (P-GMAW) and double pulse (DP-GMAW) gas metal arc MIG (Metal Inert Gas) method was investigated. In order to determine the mechanical properties of welded joints, hardness measurement, tensile test and microstructure studies were examined to determine the changes in the microstructure. As a result of these tests, it has been determined that MIG welding method is used intensively in the industry as it has high efficiency, better penetration and less spatter compared to other welding methods.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

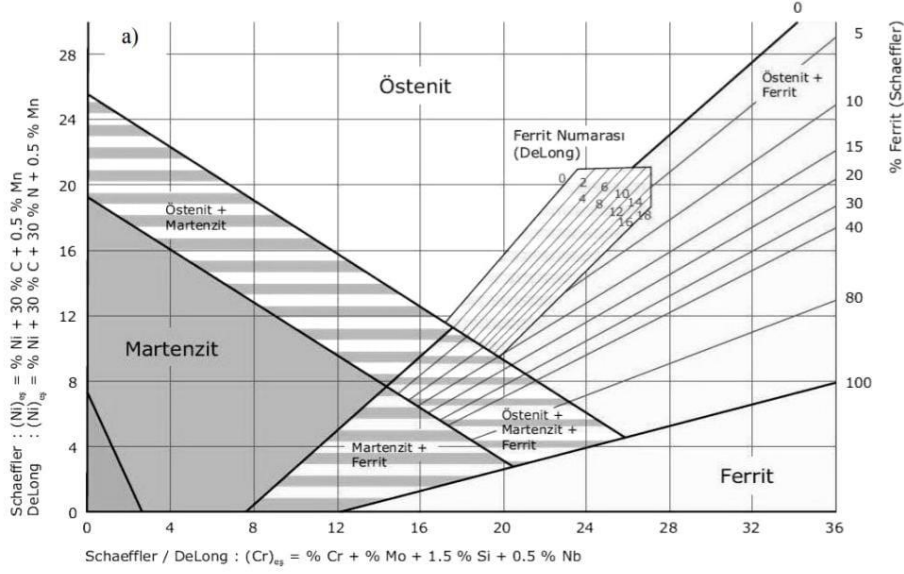
Kaynak, dövme, döküm ve perçinli eklemler yerine sıklıkla kullanılmaktadır [1]. Endüstriyel ortamlarda, delici, kesici ve şekil verici olarak kullanılmakta olan metal parçalarının (öğütücü parçalar, kalıplar, pres, matkaplar, haddeler vs.) çalışma alanları sertliğe ve fazla ısı dayanımına sahip olmalıdır. İlaveten teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesi ile birlikte iş parçalarının korozyon, yorulma ile aşınma dayanımlarının da artırılması beklenilmektedir. Bu beklenti beraberinde, geliştirilmekte olan proseslerin ekonomik ve ekolojik dengeye zarara sokmayan teknolojiler olması istenilmektedir[2].

Ülkemizde paslanmaz çeliklere olan ihtiyaç endüstrinin gelişmesiyle günden güne artmaktadır [3]. Paslanmaz çelikler östenitik, ferritik, martenzitik, çift fazlı, çökeltme yolu ile sertleşmeli paslanmaz çelikler olmak üzere 5 türe ayrılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin bir türü olan östenitik paslanmaz çelik diğer çelik türlerinin içinde %70'lik oranla en fazla yararlanılan çelik türüdür [4]. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde; yüksek mukavemet, korozyona karşı direnç, kaynaklanabilme özelliği ile birlikte iyi biçimlendirilme özelliğine sahiptir. AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelikler bu nedenle yoğun bir şekilde uygulanmaktadır [5]. Şekil 1'de paslanmaz çeliklerde kullanılan Schaeffler ve Delong diyagramları görülmektedir [6]

*Sorumlu yazar, e-posta: ebrarkarakaya52@gmail.com

To cite this article: E. Karakaya, A.F. Köseoğlu, Investigation of Joining Stainless Steels with MIG Welding at Different Currents, Manufacturing Technologies and Applications, 3(3), 31-43, 2022.

<https://doi.org/10.52795/mateca.1207819>, This paper is licensed under a CC BY-NC 4.0



Şekil 1. Schaeffler ve DeLong diyagramları (Schaeffler and DeLong diagrams)

Günümüzde malzemeleri birleştirmek için kullanıldığımız pek çok kaynak yöntemi vardır [7]. Demir ve demir dışı metallerin ve alaşımlı çeliklerin kaynaklanmasında yaşanan problemler ile birlikte yeni kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. TIG/MIG kaynak türleri de bu sebepten dolayı geliştirilmiş kaynak yöntemleridir [1]. MIG kaynak yöntemi ile çok ince yapıya sahip sac levhalarla birlikte neredeyse her kalınlıkta demir esaslı, demir dışı metal ve metal alaşımlarının kaynağı mümkün olabilmektedir [8]. Koruyucu gaz atmosferinden kaynak bölgesine iletilen dolgu metaline sahip bir ark kaynak yöntemi olan MIG kaynağı, dolgu metalini kaynak havuzuna direkt olarak iletilir [9]. Demir ve demir dışı malzemelerin kaynağında yoğun bir şekilde tercih edilen MIG kaynağı; daha az sıçrama, yüksek iletkenlik, daha iyi nüfuz olma gibi özellikleri ile diğer kaynak yöntemlerinden daha avantajlı olmaktadır. Demir-demir dışı malzemelerin kaynağında da yoğun bir şekilde tercih edilmektedir [10].

Endüstride demir ve demir dışı malzemelerin kaynağında en çok tercih edilen kaynak yöntemi gaz metal ark kaynağıdır [11]. Gazaltı kaynağında kaynak için gerekli olan ısı, ergiyen ve sürekli beslenen tel elektrot ile parça arasında oluşan ark yoluyla elektrottan geçen akımın direncinin ısınmasıyla üretilir. Kaynak için kullandığımız tel ark bölgesine direkt olarak beslenir, ergir ve kaynak metalini (depozit) oluşturur [12]. Gaz altı ark kaynağında kullanılan ark boyu, kaynak makinesi tarafından kontrol edilmektedir. Kaynağının gaz memesini kaynak banyosu üzerinde sabit tutulan mesafede bulundurarak belirli hızda hareket ettirmesi beklenilir [13]. Kaynak makinesi ark boyunu kontrol ettiği için bu yöntem “yarı otomatik” kaynak yöntemi ismi verilmiştir [14]. Gaz altı kaynağı yapıldığı sırada koruyucu gazdan beklenen iyi metal transferi, yüzeye dahi iyi bir nüfuziyet, kaynak geometrisi, ergime genişliği, kaynak hızı ile birlikte düşük maliyetli olmasıdır.

Aynı zamanda çatlaklar ve gözenekler oluşturmamalıdır. Otomatik olmayan kaynak işlemlerinde, önemli ve test edilmesi gerekli olan parametreler (kaynak amperi, kaynak hızı, kaynak teli türü, kullanılan koruyucu gazlar ve malzeme türü gibi parametreler) bulunmaktadır. Alaşımsız çelikler, yüksek mukavemete sahip olan az alaşımlı çelikler, alüminyum ve alaşımları, paslanmaz çelikler, titanyum, bakır ve nikel alaşımları gibi ticari önemi yüksek bütün metaller metal türüne uygun olacak şekilde koruyucu gaz, elektrod ve kaynak değişkenlerini belirlemek koşuluyla bu kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirler [15].

Pulse, elektron ışını malzemelerin mikroyapısıyla faz kompozisyonunu değiştirerek alan niteliklerini ilerletmesini sağlayan kaynaktır [16]. Bu teknoloji, saf tabaka oluşumuna nedendir [17]. Yaptığımız araştırmada endüstride sıklıkla kullanılan, östenitik paslanmaz çelik (AISI 304) ve çelik malzemelerin (düşük karbonlu), farklı üç kaynak akımı (70 A, 80 A ve 90 A) kullanarak MIG kaynak yöntemiyle birleştirilme işlemi incelenmiştir [18].

Ayrımlı malzemelere gerçekleştirilen kaynak akımının, kaynak yapılan bölge üzerindeki tesirlerini tespit etmek amacıyla birleştirilen malzemelere, eğme, çekme, çentik darbe ve mikrosertlik testleri yapılmıştır. Kaynaklı aktarmalar üstünde mikroyapı sonuçları elde edilmiştir [5]. Paslanmaz çelikler double pulse ve pulse ile birleştirilmesi araştırılmıştır [19]. Numunelerin tahribatlı testleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER (MATERIAL AND METHODS)

2.1. Malzeme (Material)

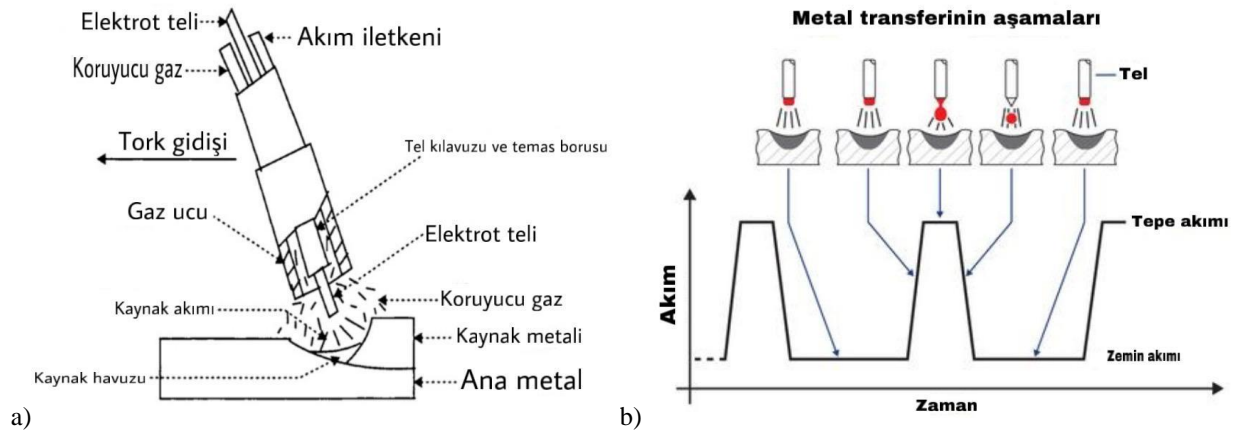
Araştırılan deneysel çalışmalarda kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimleri Tablo1’de, mekanik özellikleri Tablo 2’de, kaynak parametreleri ise Tablo 3’de gösterilmiştir [20]. Şekil 2’de şematik olarak gazaltı kaynağı ve kaynak esnasında metal transferi verilmiştir [21]. Şekil 3’de ise gazaltı terminolojisi ve ark gerilim oluşumu ve düzenlenmesi verilmiştir. Şekil 4’te darbe akım oluşumu ve gazaltı kaynağında kullanışı görülmektedir.

Tablo1. Deneyde kullanılan numunelerin kimyasal bileşimleri (Chemical compositions of the samples used in the experiment)

Sınıf	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu
AISI 304	0.08	2	0.75	0.045	0.03	18.35	8.12	0.07	0.23
S235JR	0.170	1.40	0.3	0.035	0.035	-	-	-	0.550

Tablo2. Deneyde kullanılan numunelerin mekanik özellikleri (Mechanical properties of the samples used in the experiment)

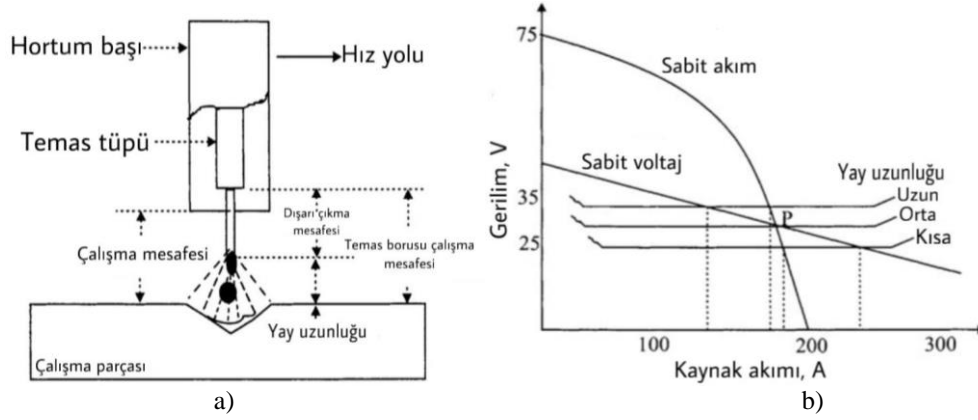
Sınıf	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (daN/mm ²)	Kesit Daralması	Uzama (%)	Akma Dayanımı (daN/mm ²)	Sertlik (Rockwell)
AISI 304	Tavlı	586	65	55	241	B80
S235JR	Tavlı	340-470	-	25	235	137HV0



Şekil 2. a) Gaz metal ark kaynağı işleminin basit şeması, b) Metal transferi (a)Simple schematic of gas metal arc welding process, b) Metal transfer)

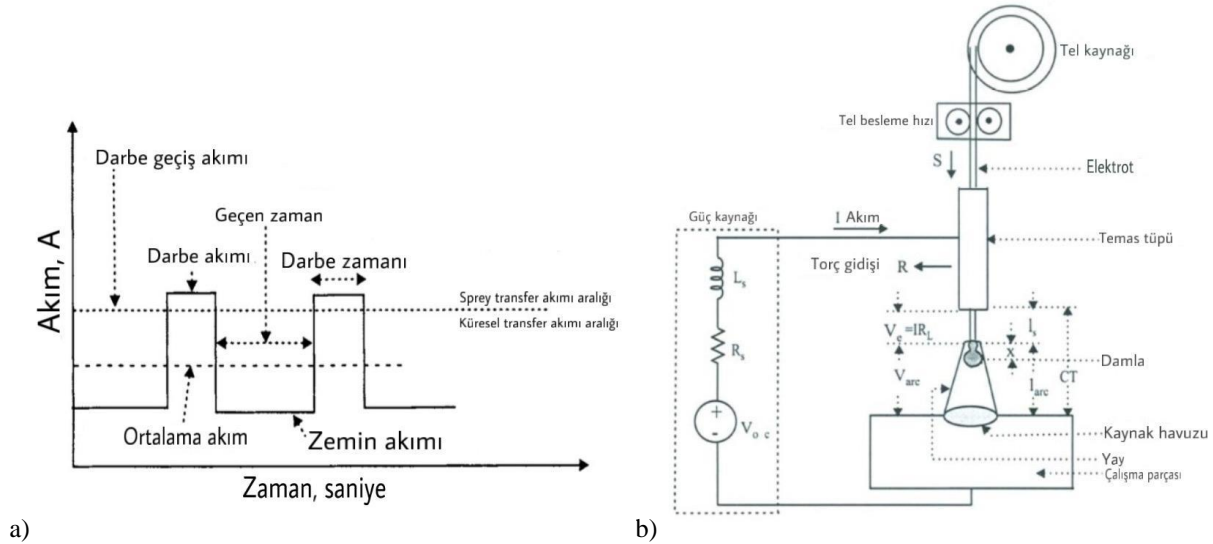
Tablo 3. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak parametresi (Welding parameter used in welding processes)

Kaynak Yöntemi	Kaynak Akımı (A)	Kaynak Hızı (cm/dak)	Isı Girdisi (kJ/mm)	Kullanılan Gaz	Ek Metal Çapı (mm)	Akım Türü
MIG	85	9.5	0.72	Argon (%85) ve CO ² (%15)	0.8	DC (+)



Şekil 3. a) Gaz metal ark kaynağı terminolojisi, b) Ark geriliminin otomatik regülasyonu [18] (a) Gas metal arc welding terminology, b) Automatic regulation of arc voltage)

Ark boyunca ark gerilimi yay uzunluğu ile doğrudan orantılıdır. Bu sebeple ark gerilimi yay uzunluğu değiştirilerek kontrol edilir [22]. Bir ark voltajı eğrisinin voltaj kaynağı eğrisi ile kesişimi güç kaynağının çalışma noktası olarak adlandırılmaktadır. Kaynak işlemi sırasında çalışma noktası sürekli değişebilmektedir [21].

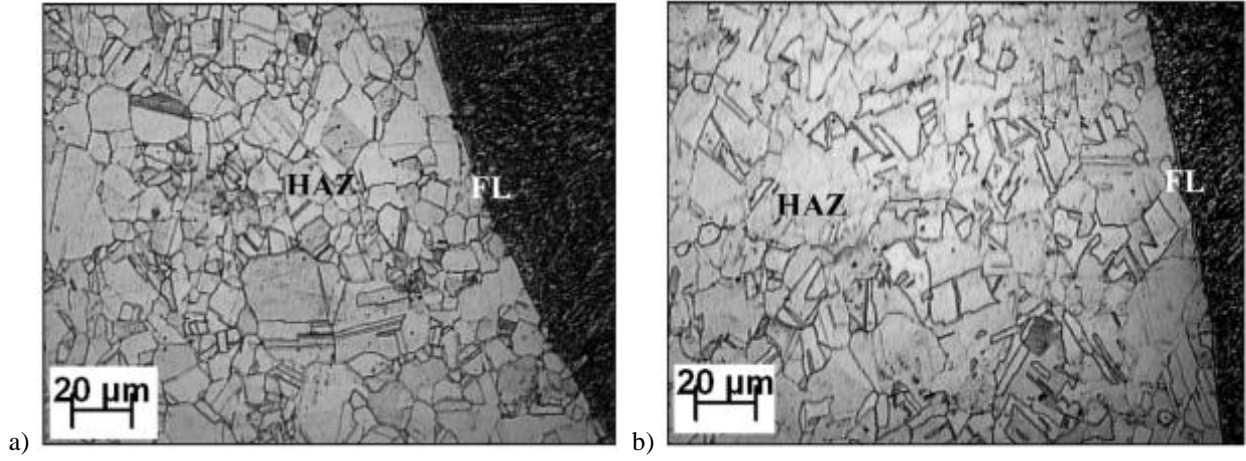


Şekil 4. a) Metal aktarımı için darbe akımı, b) MIG işleminin şeması [21] (a) Pulse current for metal transfer, b) Diagram of MIG process)

Bir araştırmada, gazaltı kaynak teknolojilerinin (MIG ve P-MIG) mekanik özellikler ve mikroyapı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik bir boruya uygulanan kaynaklı birleştirmede Tablo 4'te verilen kaynak metalleri kullanılmıştır. Şekil 5'te, gazaltı kaynak teknolojisiyle üretilen numunelerden alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. P-MIG yönteminin kullanılmasıyla homojen dağıtılmış bir mikro yapı elde edilmiş olup (Şekil 5), aynı zamanda çekme dayanımı ve başlangıç kırılma tokluğu artarken kaynaklı bağlantındaki kalıntı gerilmeler azalmıştır [23].

Tablo 4. Kaynak metalinin kimyasal analizi ve δ -Ferrit içeriği (Chemical analysis of weld metal and δ -Ferrite content)

Kaynak Tel	Kaynak Metalinin Kimyasal Analizi (Wt.)										Eş Değerler		δ -Ferrit İçeriği (%)	
	C	Cr	Ni	Mn	N	Mo	Si	Cu	S	P	Cr _{eq}	Ni _{eq}	Est.	Obs.
MIG	0.024	19.1	9.4	1.6	0.1	0.14	0.38	0.14	0.013	0.02	19.3	12.3	6-8	7
P-MIG	0.029	19.1	9.35	1.56	0.1	0.14	0.46	0.2	0.012	0.01	19.3	12.4	6-8	6



Şekil 5. Mikroyapı görüntüleri; a) MIG, b) P-MIG (Microstructure images; a) MIG, b) P-MIG)

2.2. İlave Telin Önemi (Importance of Additional Wire)

Çeliklerin birleştirilmesinde (MIG) argon gazına oksijen ve karbondioksit karıştırılır. Böylelikle oksijen hafif erime özelliğine sahip oksitlerin meydana gelişini hızlandırmakla birlikte ergiyen elektrod ilave telden akan damlaların yüzey gerilimini zayıflatır ve ince taneli metal geçişini sağlar. Oksijenin oksitleme özelliği, uygulanan kaynak telinde bulunan silisyum, alüminyum, mangan, titanyum, kükürt ve krom gibi alaşım elementlerinin artırılmasıyla oluşur [24].

2.3. Koruyucu Gazın Önemi (Importance of Shielding Gas)

Yüzde yüz saf Ar, Ar ve CO₂ karışımları, Ar ve O₂ karışımları ile duru CO₂ gazı çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır (Tablo 5). Damlaları, kaynak banyosunu ve ısı tesiri altında kalan bölgeyi ve kaynak arkı hareketlerini iyileştirmek gazların görevidir [25]. MIG kaynağında kullanılmakta olan gaz karışımlarında argonun rastgele reaksiyona katılmayacağı bu sebeple ark oluşumu ile kararlılığının daha hafif olacağı saptanmıştır. CO₂'in ise ergimiş banyoyu oksitleyeceği, tüm durumlarda kısa devre kaynağını hafifleştirici ve sağlam geçişi hazırlayacağı seçilmiştir. CO₂'in sıçramasının fazla olmasından dolayı CO₂ ve O₂'in karıştırılmasıyla akımın azalarak kaynak formunun ve akışının düzelmesi, sıçramanın düşeceği, kaynak getirisinin yükseleceği görülmektedir [26]. Daha önceden yapılan çalışmaların neticeleri incelenmiş ve buna göre CO₂, Ar ve O₂ karışımı gazlar kullanılmasının daha net sonuçlar vereceği saptanmıştır [27].

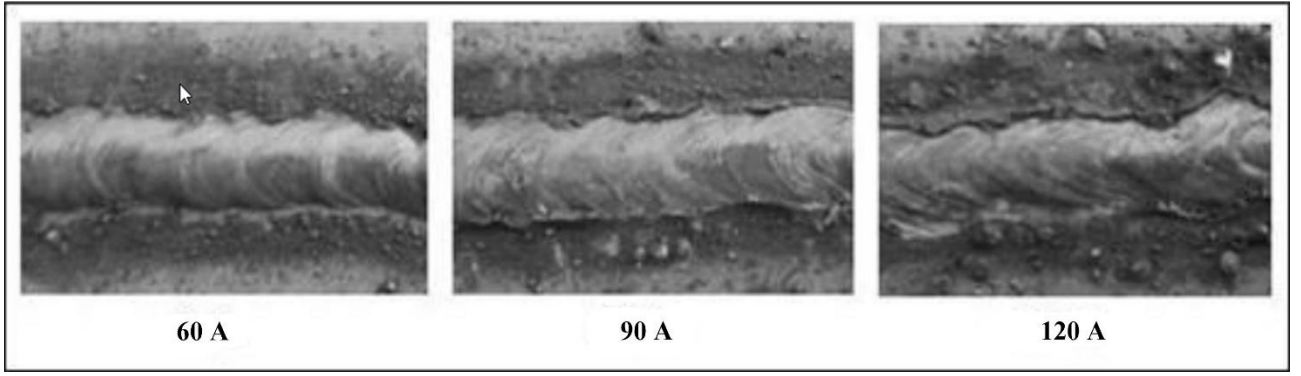
Tablo 5. Koruyucu gazların karışım oranı (Mixing ratio of shielding gases)

Karışım Gaz	Karışım Oranı (%)		
	Ar	CO ₂	O ₂
S1 (80Ar+18CO ₂ +2O ₂ karışımı)	80	18	2
S2 (88Ar+10CO ₂ +2O ₂ karışımı)	88	10	2
S3 (93Ar+5CO ₂ +2O ₂ karışımı)	93	5	2

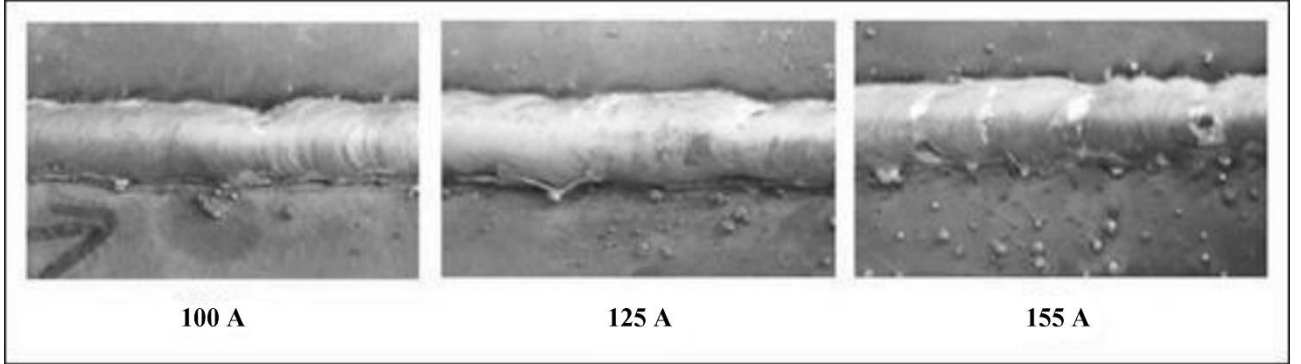
2.4. Gazaltı Kaynağına Etki Eden Parametreler (Parameters Affecting Gas Welding)

2.4.1. Ark gerilimi (Arc voltage)

MIG kaynağı ve örtülü elektrot ark kaynağında pek çok sebep sıçranta oluşumuna sebebiyet vermektedir. Bu sebepler; kaynak ilerleme hızı, kaynak akım şiddeti, ark gerilimi, tel sürme hızı, serbest tel uzunluğu, kullanılan elektrota ait kimyasal bileşimi, koruyucu gazın cinsi, bağlanılan kutup ve gaz debisidir [28]. Yapılan çalışmalarda ark kaynağında, örtülü elektrotta ve MIG kaynağında akım şiddetinin yükselmesi kaynak metaliyle sıçrantının arttığını göstermektedir. Şekil 6 ve 7'de kaynak esnasında farklı amperlerin kaynak dikişlerine etkileri gösterilmiştir.



Şekil 6. Örtülü elektrotla birleştirilen kaynak dikişlerine ait yüzey görünümü [28] (Surface view of weld seams joined with covered electrode)



Şekil 7. MIG kaynağıyla yapılan kaynak dikişlerine ait yüzey görünümü [28] (Surface view of weld seams made with MIG welding)

2.4.2. Tel hızı (Wire speed)

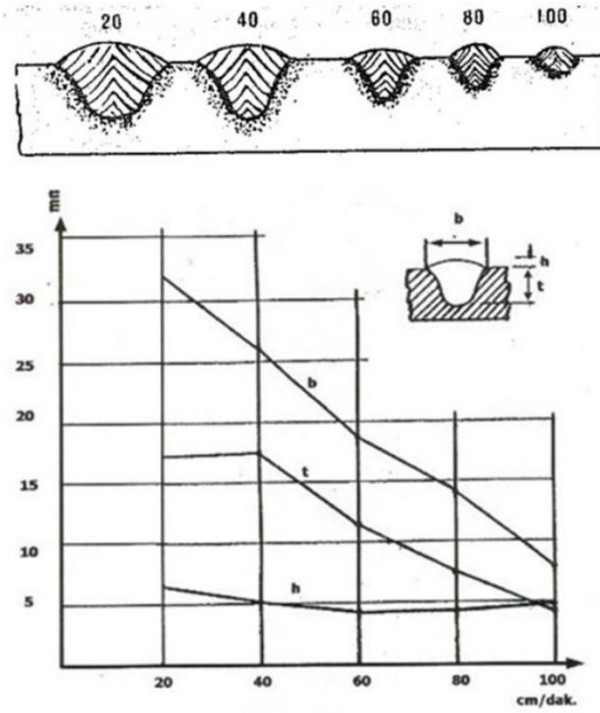
Yapılan kaynakta kullanılan akım şiddetinin, kaynak dikiş biçimine ve boyutlarına, ergimeye ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelere göre daha şiddetlidir. Sabit gerilimli sistemli olan gazaltı ark kaynak makinelerinde kaynak akım şiddeti tel hızı ile beraber tel hız ayarı düğmesinden ayarlanır [29].

2.4.3. Kaynak hızı (Welding speed)

Sabit kaynak parametrelerinde kaynak hızının artırılması dikişin kesitini küçülten etmendir. Daha yüksek kaynak hızında aynı dikiş geometrisine sahip olmak için kaynak gerilimi ile birlikte tel hızının da artırılması gerekmektedir. Kaynağı yapan kişi hızı isteğe bağlı olarak seçemez. Elle kaynak kullanımında 40-60 cm/dak'lık kaynak hızları orantılıdır, fazla yüksek hızlarda kaynakçı üfleci elle biçimli hareket ettirmekte zorlanır. Mekanize olanlarda ise hız yükseltilebilir. Kaynak hızı aşırı fazlaysa kaynak dikişi dışbükey şekilde olmakla beraber darlaşır. 1-1.5 m/dak kaynak hızları seri üretimlerde kullanılmaktadır. 40 cm/dak'lık hızın altına düşüldüğünde, arkın önüne akan kaynak banyosu nüfuziyeti önemli miktarda düşürülebilir ve birleşme yanlılığına sebebiyet vermektedir [25]. Şekil 8'de kaynak hızlarının, dikiş nüfuziyetlerine oranları şematik olarak gösterilmiştir.

2.4.4. Elektrot çapı (Electrode diameter)

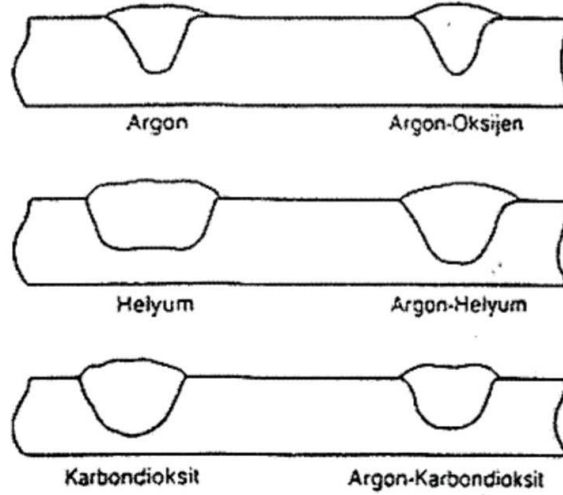
Çapa bağlı akım şiddeti aralığı her tür elektrot için bulunmaktadır. Geniş çaplı elektrodlar fazla akım şiddetiyle kullanılabilirler için daha yüksek bir ergimeye sahiptirler böylelikle daha derin nüfuziyete sahip dikişler biçimlendirip ortaya çıkarırlar. Ergime de akım yoğunluğuna ait fonksiyondur [29].



Şekil 8. Kaynak hızının nüfuziyet derinliğine etkisi (Effect of welding speed on penetration depth)

2.4.5. Koruyucu gaz türü (Shielding gas type)

Teknolojinin ilerlemesiyle soy gazlar koruyucu gaz olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu soy gazlara örnek olarak da argon ve helyum verilebilir. Soy gazlara ek olarak CO₂ gibi aktif gazlar da kullanılmaya başlanmış aynı zamanda argonla beraber belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmıştır [29]. Şekil 9'da koruyucu gazların kaynak nüfuziyetlerine olan etkileri verilmiştir.



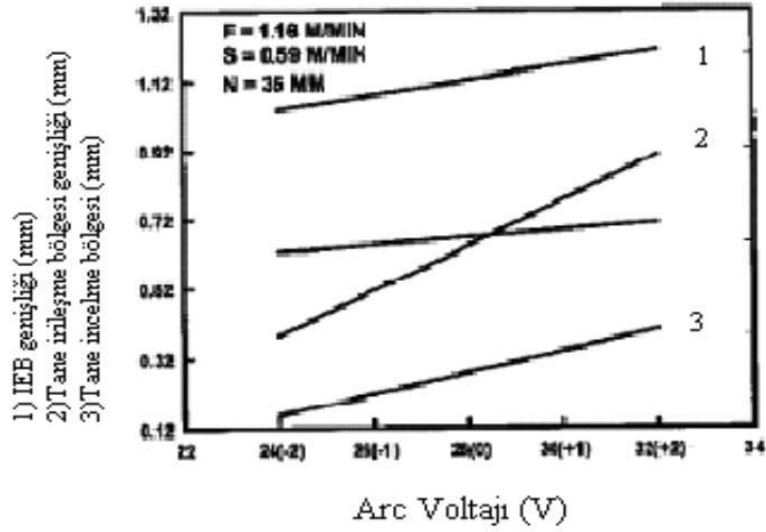
Şekil 9. Çeşitli koruyucu gaz türlerinde bulunan kaynak dikişinin şematik gösterimi (Schematic representation of the weld seam in various shielding gas types)

2.5. Tel Erime Hızı ve Akım Şiddeti Arasındaki Risk (Risk Between Wire Melt Rate and Current Intensity)

2.5.1. Kaynak geriliminin etkisi (Effect of welding voltage)

Ark ve kaynak gerilimi, elektrod ucu ile iş parçası arasındaki mesafeye göre belirlenir. Nüfuziyeti yükselen ark gerilimi ile birlikte en uygun değere kadar artış gösterir ve bundan sonra azalır. Yüksek ark gerilimi, nüfuziyetin azlığı sebebiyle birkaç geniş aralıklarda bağlantı kurabilmek amacıyla uygulanır. Fazla küçük ark gerilimi, şişkin ve fazla dar kaynak dikişlerinin

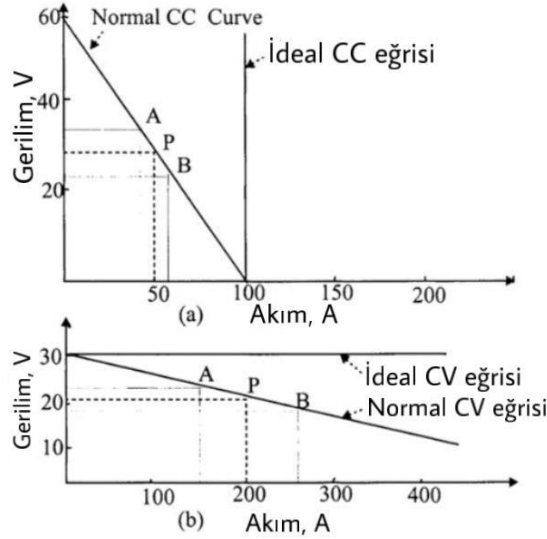
biçimlenmesine neden olmaktadır. Aşırı küçük ark gerilimleri ise gözenek oluşumuna sebep olmaktadır [25]. Şekil 10'da verilen diyagrama göre farklı ark gerilimlerine göre kaynak dikişi genişlikleri değişiklik göstermektedir [30].



Şekil 10. Ark geriliminin kaynak genişliğine etkisi (Effect of arc voltage on welding width)

2.5.2. Kaynak hızının etkisi (Effect of welding speed)

Kaynak hızını yarı otomatik yöntemlerde kaynakçı, otomatik yöntemlerde ise makineler tarafından ayarlanır. Maksimum derin nüfuziyet, kaynak hızının en yüksek olduğu değerde elde edilir. Bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise nüfuziyet azalır [25]. Şekil 11'de sabit akım gücü için volt-ampere eğrileri verilmiştir [21]. Akım ve ark geriliminin sabit tutulduğu bir araştırmada, optimum kaynak hızına ulaşılan kadar penetrasyonun artacağı sonucuna varılmıştır. Ancak, hızı bu optimum değerin üzerine çıkarmak penetrasyonun azalmasına neden olacaktır (Tablo 6) [31].

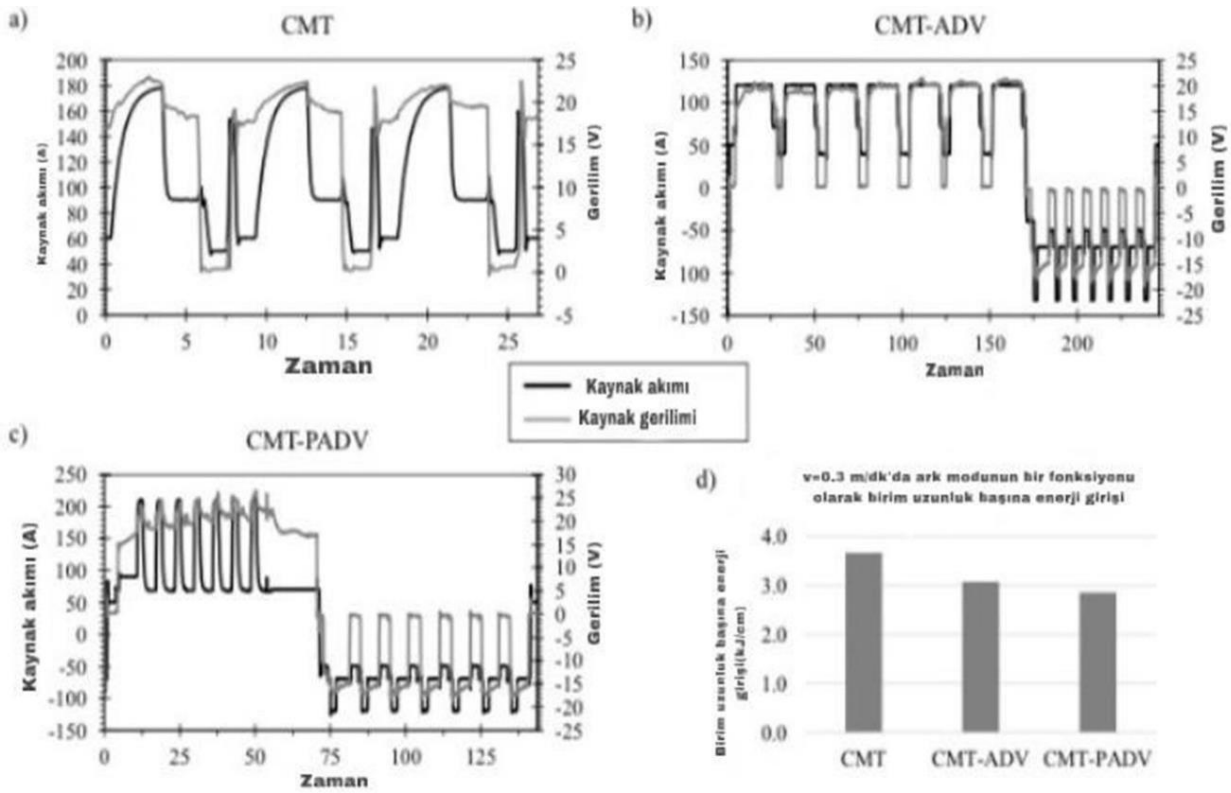


Şekil 11. a) Sabit akım gücü için volt-ampere eğrileri, b) Sabit gerilimli güç kaynakları [21] (a) Volt-ampere curves for constant current power, b) Constant voltage power supplies)

Tablo 6. Akımın ve ark geriliminin sabit kalması durumunda kaynak hızının nüfuziyete etkisi (The effect of welding speed on penetration when current and arc voltage remain constant)

Sıra No	Akım (A)	Ark Gerilimi (V)	Ark Zamanı (sn)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Isı Girdisi (J/mm)	Nüfuziyet (mm)
1	105	24	25.40	94.48	1600.30	4.3mm
2	105	24	23.60	101.43	1490.68	5.1mm
3	105	24	21.90	109.58	1379.81	5.3mm
4	105	24	21.74	110.39	1369.68	5.41mm
5	105	24	19.70	121.82	1241.17	3.7mm
6	105	24	18.47	129.94	1163.61	3.5mm
7	105	24	15.76	152.28	992.90	3.3mm
8	105	24	14.60	164.38	919.82	3.19mm
9	105	24	13.50	177.77	850.53	3.10mm

Şekil 12'de soğuk metal transferi (CMT), kaynak akımının polaritesinin ters çevrilmesi (CMT-ADV) ve elektrodun pozitif kutuplu olması (CMT-PADV) gibi kaynak uygulamalarında akım ve voltaj gerilimi değişimleri gösterilmiştir [32, 33].



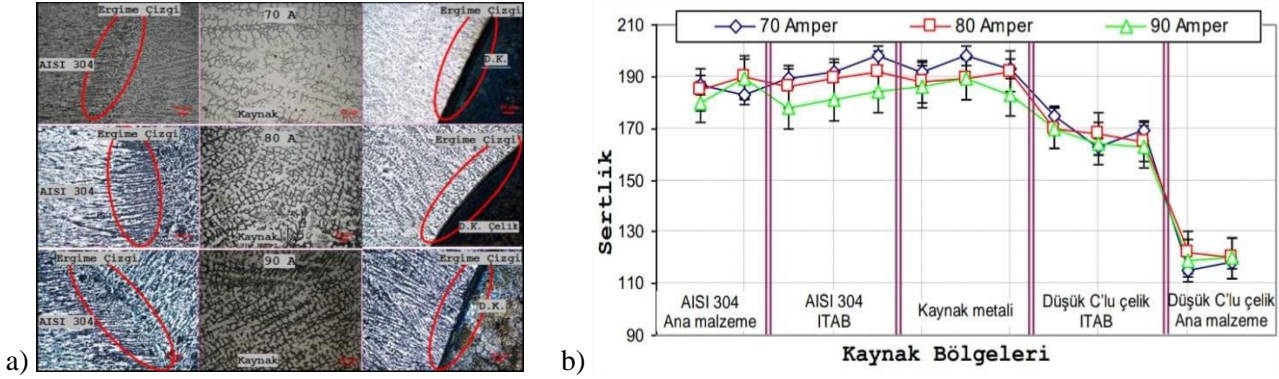
Şekil 12. a) CMT, b) CMT-ADV, c) CMT- PADV'nin akım ve gerilim özellikleri ve d) $v = 0.3$ m/dak kaynak hızında ark modunun bir fonksiyonu olarak birim uzunluğu başına enerji girişi

Burada, ölçülen tel besleme hızındaki hafif sapmalar, farklı ark modları ve kaynak güç kaynağının uygun entegre kontrolü ile açıklanmaktadır. Şekil 6b, CMT-ADV işleminin karakteristik bir özelliği olan hem pozitif hem de negatif polarite sırasında malzeme transferi kısa devre fazında gerçekleşir. Negatif polarite, pozitif polaritenin aksine, daha düşük ısı girişine rağmen biriktirme oranını artıran arklanma noktasını artırır. Pozitif döngü sırasında, temel malzemeye daha fazla ısı verilir ve iş parçası yüzeyi alüminyum oksit tabakasından temizlenir. Şekil 6c'deki CMT-PADV işlemi, döngüsel tel hareketine sahip negatif kutuplu CMT döngülerinin ve sürekli tel beslemeli pozitif kutuplu puls döngülerinin kombinasyonunu göstermektedir. Burada yedi negatif kutuplu CMT döngüsü, pozitif kutuplu yedi puls döngüsünü takip eder. Darbe döngülerinde, malzeme transferi kısa devresizdir ve temel malzemeye daha yüksek bir ısı girişine izin verir. CMT-ADV sürecinden daha yüksek biriktirme hızlarına ulaşılabilir.

Deneyel araştırmalarda, MIG işlemi için sürekli akımın yaygın olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Darbeli akımın kullanılmasının ise WM mikroyapısını değiştirdiği ve kaynak için gereken ısı girdisini azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda WM'nin tane inceltme işlemi, krom konsantrasyonunun azalmasına sebebiyet verdiği saptanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIşMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

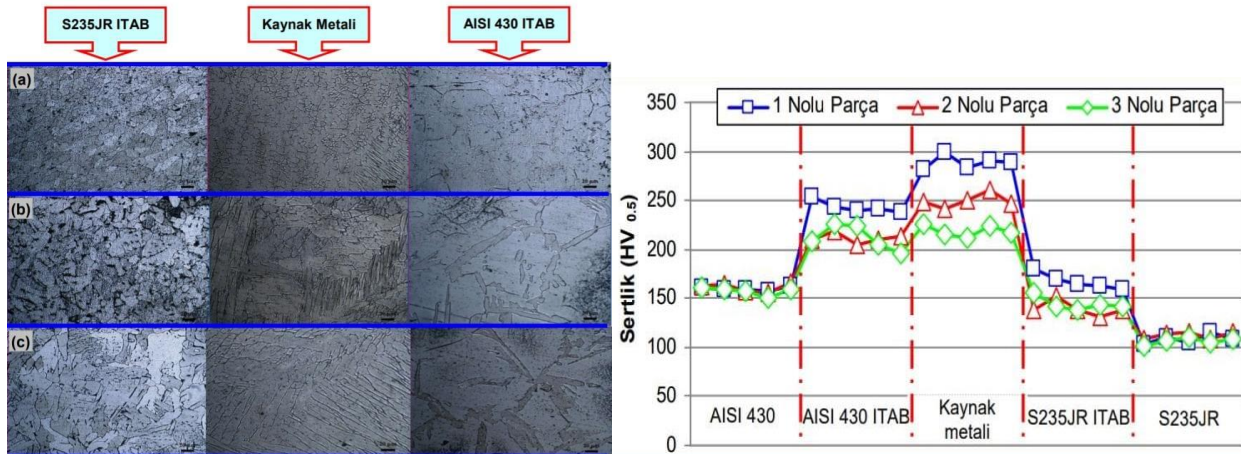
Kaya ve ark. [5], çekme deneyinin kaynaklı numunelere uygulanması neticesinde ayrılma, kaynak bölgesinin dışında ve az karbonlu elik levhalarda oluştuğu, yapılan eğme deneylerinde; kaynaklı numuneler her iki yönlü 180° eğildiklerinde izlenebilir birleştirme hatası olmadığı ve çentik darbe deneylerinde, kaynak metalinin darbe doyumluğu ITAB'lara göre daha fazla lldği görülmüştür. Şekil 13'de farklı akım değerlerinin kaynak dikişi sertliklerine etkileri verilmiştir.



Şekil 13. a) Mikroyapı incelemeleri, b) Sertlik testi (a) Microstructure investigations, b) Hardness testing)

Yapılan sertlik ölümlerine bakıldığında en yüksek sertlik, kaynak metalinde olmuştur. Mikroyapı incelemelerinde, ısı girdisine bağlı kalarak düşük karbonlu elik ile paslanmaz eliğin ITAB yerinde taneciklerin büyümesi görülmüştür. Isı girdisinin arttığıca tanecik büyümesinin çoğaldığı ve kaynak metaline ait taneciklerin ısı akış doğrultusunda ynlendikleri fark edilmiştir.

Yrk ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [34], çekme testleri sonucunda kaynaklı bağlantıların farklı parametrelerde birleştirilmesiyle çekme mukavemeti ile % uzama byklği birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Kopmanın yakın olması yapılan deneylerin asıl malzemede uygulanmış olmasından kaynaklanmıştır. Sertlik ölümlerine bakıldığında birleştirmenin iki tarafındaki ITAB ile kaynak metalinin sertliklerinin, iki önemli malzemeden fazla oluştuğu saptanmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. a) Mikroyapı incelemeleri, b) Sertlik testi (a) Microstructure investigations, b) Hardness testing)

Topçu'nun yaptığı çalışmaya göre MIG kaynak yöntemi kullanılarak kaynak yapılan numunelerin çekme testleri incelendiğinde, en yüksek çekme dayanımının (678 MPa/662 MPa) MIG kaynağı ile birleştirmiş 304 paslanmaz numunelere ait olduğu görülmüştür. Kaynaklı numunelerin hepsinde kopma işlemi kaynak yapılan bölgede ve ITAB'ın dışında bulunan büyük

adetli bölgede yapılmıştır. Kopmanın ITAB bölgesinin dışında yer alması çalışmanın doğruluğunu kanıtlar niteliktedir. Optik mikroskop çalışması sonucunda, ergiyip katılaştıran kaynak metalinin eş eksenli dendritik tanelerden meydana geldiği belirlenmiştir. Mekanik özellikler ile mikroyapı birbiri ile orantılı ilerlemektedir. Bu etkileri anlamak, çeliklerin performansının optimize edilmesi açısından çok önemlidir. Kaynak endüstrisinin yükselmesi ve mekanik özelliklerini geliştirecek malzemelerin incelenmesi sağlanacak şekilde doğrulanması öngörülmektedir. Bütün incelemeler neticesinde MIG kaynak yöntemi ile yapılan bütün kaynaklar TIG kaynak yöntemine nazaran daha iyi mekanik sonuçlar vermiştir. Bu sebeple genelde otomatik kaynak yöntemi ile toprak altı ana çelik boru hatlarında istenen mekanik özelliklere yanıt veren MIG (Metal Inert Gas) hem daha işlevsel hem de seri yöntemine uygun olduğu için tercih edildiği saptanmıştır [1].

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan makale inceleme çalışması sonucunda elde edilen veriler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Yapılan deneylerde paslanmaz çeliklerin diğer çelik türlerine göre ısıyı iletme bakımından 4-7 kat daha fazla direnç gösterdiği için normal çelik kaynaklarına göre %20-25 oranında daha az akım şiddeti uygulandığı görülmüştür.
- Kolayca oksitlenen paslanmaz çelik, alüminyum gibi malzemelerin kaynağında MAG kaynağı tercih edilmemiştir. Bu nedenle MIG kaynak tercih edilmiştir. MAG kaynağı daha çok az alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin kaynağında kullanılmıştır.
- Paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek ergime, derin nüfuziyet, her pozisyonda kaynaklanabilmesi, ara vermeden kaynak yapılabilmesi gibi özelliklerinden dolayı MIG kaynak tercih edilmiştir.
- Demir esaslı ile demir dışı metaller ve alaşımlarının kaynağında uygun koruyucu gaz, kaynak değişkenleri ve elektrot seçmek şartıyla kaynak yapılabilmesi, uygulamanın kolay olması, yarı otomatik bir kaynak yöntemi olması, ekonomik bir kaynak yöntemi olması, gerekli ekip ve donanım sağlandığında tam otomatik kaynak yapılması nedeniyle MIG kaynağı tercih edildiği görülmüştür.
- Çift darbeli kaynak, aynı ısı girişinde geleneksel darbeli kaynağa kıyasla artan bir katılma büyüme hızına ve soğuma hızına sahiptir. Çift darbeli kaynak tarafından rafine katılaştırma yapıları sayesinde geliştirilmiş katılma çatlama duyarlılığı elde edilmiştir.
- Yapılan deneyler incelendiğinde MIG kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine nazaran daha iyi nüfuziyet etkisine, daha az sıçrama özelliklerine ve yüksek verimliliğe sahip olmasından dolayı endüstride yoğun bir şekilde kullanıldığı saptanmıştır.
- Füzyon metalinin çift darbeli kaynak ile mikro yapısal arıtımı birkaç araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Mikro yapısal iyileştirme mekanizması, kaynak havuz karıştırma etkisinin ve artan soğutma hızının birleşik etkisi olarak ortaya çıkarmıştır. Sayısal ve deneysel sonuçlar bir ısı girdisini değiştirmek yerine darbe parametrelerini ayarlayarak rafine mikro yapı elde edilebilmesini göstermiştir.
- Yapılan incelemeler sonucunda AISI 304 ile düşük karbonlu çelik malzemelerin kaynağında sıklıkla MIG kaynak yöntemi yapıldığı görülmüştür.
- Eğme testleri sonucunda kaynaklı numuneler her iki yönden 180° eğildikleri zaman gözle görülür herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmamıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. İ. Topcu, TIG ve MIG kaynağı ile işlem gören 304 ve 1040 çeliklerin ITAB bölgesindeki mekanik özelliklerin incelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3):171-181, 2019.
2. G. Quercia, I. Grigorescu, H. Contreras, C. Di Rauso, D. Gutiérrez-Campos, Friction and wear behavior of several hard materials, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 19(4-6):359-369, 2001.

3. Y. Kaya, AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin TIG, MIG ve örtülü elektrod ark kaynağıyla birleştirilebilirliğinin araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(3):549–557, 2010.
4. A. Türkyilmazoğlu, Dubleks, martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 2006.
5. Y. Kaya, G. Çayırhan, M. Bökü, N. Kahraman, Paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik malzemelerin mig kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin incelenmesi, NWSA Academic Journals, 15(2): 89–99, 2020.
6. B. Demir, AA 5083-H111 alüminyum alaşımının mig kaynağında farklı akım türlerinin mekanik ve mikroyapıya etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, Türkiye 2019.
7. S. Apay, Weldability of grade 2 titanium sheets with pulsed Nd:YAG microlaser welding filler and without filler, Materials Science (Medziagotyra), 28(2):190–195, 2022.
8. H. Guo, J. Hu, and H. L. Tsai, Formation of weld crater in GMAW of aluminum alloys, International Journal of Heat and Mass Transfer, 52(23–24):5533–5546, 2009.
9. B. İşcan, V. Onar, A. Uluköy, Investigation of the mechanical properties of AISI 304 austenitic stainless steel joints produced by TIG and MIG welding methods using 308L filler wire, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 6(10):5-12, 2017.
10. V. Onar, Robotik MAG kaynak metodunda XAR 500 serisi çeliklerin mikrosertliğine farklı kaynak akımlarının ve hızlarının etkisi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(1):1058–1068, 2020.
11. P. Kah, J. Martikainen, Influence of shielding gases in the welding of metals, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 64(9–12):1411–1421, 2013.
12. A. Yürük, Y. Kaya, N. Kahraman, Alüminyum alaşımlarının MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(1):42–52, 2021.
13. E. T. Şimşek, A. Akkuş, Investigation of the effect of protective gas composition on welding quality in MAG welding by tensile test, European Journal of Science and Technology, (32):531–535, 2022.
14. A. Şık, MIG/MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(4):769–777, 2007.
15. J. Pilarczyk and E. Szczoł, Properties of gas mixtures used in MAG welding, Welding International, 8(11):845–850, 1994.
16. I. A. Soomro, S. R. Pedapati, M. Awang, Double pulse resistance spot welding of dual phase steel: parametric study on microstructure, failure mode and low dynamic tensile shear properties, Materials (Basel), 14(4):1–19, 2021.
17. Y. Yaralı Özbek, Pulse Plazma yöntemi modifiye edilmiş sıcak iş takım çeliklerinin yüzey özellikleri, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2):99–99, 2017.
18. T. Reza Tabrizi, M. Sabzi, S. H. M. Anijdan, A. R. Eivani, N. Park, H. R. Jafarian, Comparing the effect of continuous and pulsed current in the GTAW process of AISI 316L stainless steel welded joint: microstructural evolution, phase equilibrium, mechanical properties and fracture mode, Journal of Materials Research and Technology, 15(1):199–212, 2021.
19. L. Wang, J. Xue, Perspective on Double pulsed gas metal arc welding, Applied Sciences, 7(9):894, 2017.
20. Y. Kaya, AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin tıg, mig ve örtülü elektrod ark kaynağıyla birleştirilebilirliğinin araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(3):549–557, 2010.
21. D. S. Naidu, Modeling, Sensing and control of gas metal arc welding, Welding Fundamentals and Processes, ASM International, USA, 2011.
22. A. Işıtan, V. Onar, M. A. Bayrak, Effect of applied welding methods on mechanical properties of welded joints on welding of 304L austenitic stainless steels, 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, 30 Kasım - 2 Aralık 2018, Samsun.
23. S. Kulkarni, P. K. Ghosh, S. Ray, Improvement of weld characteristics by variation in welding processes and parameters in joining of thick wall 304LN stainless steel pipe, ISIJ International, 48(11):1560–1569, 2008.
24. A. Şık, MIG / MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(4):769–777, 2007.
25. S. Karakoç, Çeliklere gazaltı kaynağının uygulanması ve kaynağa etki eden parametreler, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye, 2012.

- 26.O. Olkun, 304L çeliklerin alın kaynağında mekanik özelliklerin kaynak parametrelerine bağlı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum, Türkiye, 2019.
- 27.S. Kılınçer, N. Kahraman, AISI 409 ve Ç1010 çeliğin östenitik elektrod kullanarak MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(1):23–31, 2009.
- 28.B. Çevik, Örtülü elektrot ark kaynağı ve MIG kaynağında akım şiddetinin kaynak nüfuziyetine etkisinin incelenmesi, Journal of Advanced Technology Sciences, 2(2):22–29, 2013.
- 29.Ş. Durmuşoğlu, Gazaltı kaynağında kaynak kalitesine tesir eden parametrelerin mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 2006.
- 30.B. K. Srivastava, A review on effect of arc welding parameters on mechanical behaviour of ferrous metals / alloys, International Journal of Engineering, Science and Technology, 2(5):1425–1432, 2010.
- 31.S. P. Tewari, A. Gupta, J. Prakash, Effect of welding parameters on the weldability of material, International Journal of Engineering, Science and Technology, 2(4):1–5, 2010.
- 32.J. Bruckner, Schweißpraxis aktuell: CMT-Technologie, Cold Metal Transfer-Ein neuer Metall-Schutzgas-Schweißprozess, 1st ed., Kissing, Germany, 2013.
- 33.M. Gierth, P. Henckell, Y. Ali, J. Scholl, J. P. Bergmann, Wire arc additive manufacturing (WAAM) of aluminum alloy AlMg5Mn with energy-reduced gas metal arc welding (GMAW), Materials (Basel), 13(12): 1–22, 2020.
- 34.A. Yürük, N. Kahraman, B. Bozkurt, S235JR Karbon çeliği ile AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin MIG kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21(2): 91–91, 2017.