



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



QSTE420TM çeliğinin TIG kaynak yöntemiyle kaynak edilmesinde ilave metal tel çapının metalurjik ve mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi

Determination of the effect of additional metal wire diameter on metallurgical and mechanical properties in TIG welding of QSTE 420TM steel

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa HARMAN¹, Hakan ADA², Cemil ÇETİNKAYA³

ORCID¹: 0000-0001-6045-0570

ORCID²: 0000-0002-0412-5789

ORCID³: 0000-0002-0298-1143

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Harman M., Ada H. ve Çetinkaya C., “QSTE420TM çeliğinin TIG kaynak yöntemiyle kaynak edilmesinde ilave metal tel çapının metalurjik ve mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 829-839, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.620390

QSTE420TM Çeliğinin TIG Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilmesinde İlave Metal Tel Çapının Metalurjik ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Belirlenmesi

Determination of the Effect of Additional Metal Wire Diameter on Metallurgical and Mechanical Properties in TIG Welding of QSTE 420TM Steel

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ QSTE420TM TIG / QSTE420TM TIG.
- ❖ Isı girdisi / Heat Input.
- ❖ İlave tel çapı / Additional Wire Diameter.
- ❖ Mikro yapı / Micro Structure.
- ❖ Kaynak hızı / Weld Speed.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

QSTE 420TM malzeme, Tungsten Inert Gaz Kaynağı yönteminde 1,6 mm ve 2,0 mm çapında ilave metal tel kullanılarak kaynaklanabilirlik testlerine tabi tutulmuştur. TIG'de farklı ilave tel çapları kullanılarak yüksek ısı girdisinin mekanik ve metalurjik özelliklere olan olumsuz etkileri incelenmiştir.

Çizelge. Deneylere göre kaynak parametreleri / Chart. Welding parameters according to the experiments

Grup-Deney No	Kalınlık	Paso no	Dolgu metal	Dolgu tel çapı	Akım ve kutuplama	Konyucu Gaz (EN ISO 14175)	Tel besleme -m/dk	Akım şiddeti (Amp.)	Gerilim (Volt)	Kaynak hızı (mm/sn.)	Isı girdisi kJ/mm	
											Tek paso	Ort. Paso
1	2,5	1	TG-102	2,0	DC (-)	II (%100Ar)	0,45	150	126,6	7,5	1,77	1,77
		2		2,0	DC (-)	II (%100Ar)	0,50	150	126,6	7,5	1,77	
2	2,5	1	ER 70 S-2	1,6	DC (-)	II (%100Ar)	0,60	150	126,6	10,8	1,23	1,23
		2		1,6	DC (-)	II (%100Ar)	0,65	150	126,6	10,8	1,23	

Amaç (Aim)

QSTE420TM'nin TIG kaynağında farklı ısı girdilerinin kaynaklanabilirliğe etkisini incelemek. / To examine the effect of different heat inputs on weldability of TIG welding of QSTE420TM.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Tungsten Asal Gaz kaynak yöntemi / Tungsten Inert Gas welding method.

Özgünlük (Originality)

Bulgular standart deneysel verilerle ispatlıdır. / The findings are evidenced by standard experimental data.

Bulgular (Findings)

Tahribatlı ve tahribatsız deneyler içermektedir. / It includes destructive and non-destructive experiments.

Sonuç (Conclusion)

1.6 mm ilave tel çapı TIG'te en iyi sonucu vermiştir. / 1.6 mm additional wire diameter worked best in TIG.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

QSTE420TM Çeliğinin TIG Kaynak Yöntemiyle Kaynak Edilmesinde İlave Metal Tel Çapının Metalurjik ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Belirlenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Mustafa HARMAN¹, Hakan ADA^{2*}, Cemil ÇETİNKAYA³

¹Çankırı Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu, Türkiye

²Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 16.09.2019; Kabul/Accepted : 14.11.2019)

ÖZ

Bu çalışmada; savunma sanayi, otomotiv sanayi, petrol iletim hatları gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılan ince taneli ve mikro alaşımlı yapıya sahip QSTE 420TM kalitesindeki çelik sac plaka malzeme, Tungsten Inert Gaz Kaynağı yönteminde 1,6 mm ve 2,0 mm çapında ilave metal tel kullanılarak ayrı ayrı birleştirilmiştir. Farklı çaplardaki dolgu tellerine farklı ısı girdileri uygulanmıştır. Böylece kaynak bölgesi (ana malzeme, ısının tesiri altındaki bölge ve kaynak metali) üzerinde meydana gelen mekanik ve metalürjik değişiklikler, çekme, eğme, çentik - darbe, sertlik testleri ve makrografik, mikrografik muayeneler yapılarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen testler sonucunda; 1,6 mm ilave telin, kaynaklı birleştirmenin kendinden beklenen mekanik ve metalürjik özellikleri sağladığı gözlenmiştir. % 44 daha yüksek ısı girdisinin uygulandığı 2,0 mm ilave tel ile yapılan kaynaklı birleştirmelere ait çekme testlerinde ise kaynak metalinden kopma gerçekleşmiştir. Bu sonuçlarla QSTE420TM gibi malzemelerde yüksek ısı girdisinin mekanik ve metalürjik özelliklere olan olumsuz etkileri de incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: QSTE420TM, TIG, ısı girdisi, ilave tel çapı, mikro yapı, kaynak hızı.

Determination of the Effect of Additional Metal Wire Diameter on Metallurgical and Mechanical Properties in TIG Welding of QSTE 420TM Steel

ABSTRACT

In this study; QSTE 420TM quality steel sheet plate material, which is widely used in sectors such as defense industry, automotive industry, oil transmission lines, has fine-grained and micro-alloy structure are combined separately. Different heat inputs are applied to the filler wires of different diameters. Thus, mechanical and metallurgical changes occurring on the welded area (base material, heat affected zone and weld metal) were examined by tensile, bending, notch - impact, hardness tests and macrographic and micrographic examinations. As a result of the tests performed; It has been observed that the 1.6 mm additional wire provides the mechanical and metallurgical properties expected of the welded joint. In the tensile tests of welded joints made with 2.0 mm additional wire with 44% higher heat input, breakage from weld metal was realized. With these results, negative effects of high heat input on mechanical and metallurgical properties of materials such as QSTE420TM were also investigated.

Keywords: QSTE420TM, TIG, Heat input, Additional wire diameter, micro structure, weld speed.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Daha hafif ve daha dayanıklı savunma sanayi ürünleri ve konstrüksiyonların üretilmesi için yüksek mekanik özelliklerde; şekil verilebilirlik, hafiflik, kolay kaynaklanabilirlik gibi özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulmuştur.

Bu mekanik özelliklere dayalı gereksinimleri karşılayabilen ince taneli yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (YMDA) mühendislik çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. YMDA çeliklerinin, akma mukavemeti 360 N/mm²'den fazla olup,

günümüzde ekonomik açıdan kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. YMDA çeliği, ince cidar kalınlığı

hafiflik ve şekillendirilebilme kabiliyeti sayesinde bilinen yapı çeliklerinin yerini almıştır. Çekme kancaları, endüstriyel silolar, araç koltuğu bileşenlerinin yapımında kullanılan, hafifliğin ve dayanıklılığın ön planda olduğu otomobil sektöründe geniş kullanım alanına sahip, YMDA çelikleri savunma sanayi, taşımacılık ve gemicilik sektörü ile köprü gibi önemli yapılarda da tercih edilmektedir[2]. ABD'de yapı çeliklerinin dayanımının yetersizliği sebebiyle geliştirilen ve 70'li yıllardan sonra hız kazanan mikro alaşımlama çalışmaları ile geliştirilen YMDA çeliklerine; aşınmaya, korozyona,

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: mustafa.harman18@gmail.com

darbeye dayanıklılık gibi çok geniş özellikler kazandırılmıştır [3].

YMDA çelikleri standartlarda ve piyasada ihtiyaç duyulan akma mukavemetine göre 1- Normalizasyon haddelemesi yapılmış çelikler (S420N, S460N), 2- Termo mekanik şekillendirilmiş çelikler (S420M, S460M), 3- Su verilmiş ve temperlenmiş (ıslah edilmiş) ince taneli yapı çelikleri (S460Q, S690Q, S960Q) şeklinde üretilmektedir[4].

QSTE420TM çeliği YMDA çelik grubundan olup, bileşiminde bulunan tane inceltici elementler (V, Ti, Nb) sayesinde yüksek dayanım kazanmış bir malzemedir [3,32]. Şekil 1.a'da QSTE420TM çeliğinde tane içi ve tane sınırlarında çok küçük boyutlarda bulunan karbürler, nitrürler ve karbonitrürler 1100°C'ye kadar çözeltiye geçmeden, tane büyümesine engel olacak şekilde tane içi ve tane sınırlarında çökelmek suretiyle mukavemeti yüksek tok bir malzeme grubunun ortaya çıkmasını sağlarlar [5].

YMDA çeliklerinde; yeni faz ve yeni tanelere sahip yapılar, heterojen çekirdeklenme noktaları olan tane içi ve tane sınırlarında bulunan mikro karbürler üzerinde daha kolay ortaya çıkmaktadır [6].

Bu mikro karbürler, çeliklerde bulunma şekillerine göre literatürde 5 sınıfa (M_2C , M_3C , M_7C_3 , $M_{23}C_6$, MC) ayrılarak incelenir [7]. Karbürlerin ergime sıcaklığının farklı olması nedeniyle bazıları temperleme sıcaklığında çözülürken, bazıları ise östenitleme süresince bile çözülmeden kalabilmektedir [8].

Şekil 1.b'de verilen S315MC kalitesinde YMDA çeliğine ait detaylı SEM fotoğrafında; tane sınırlarında, aşırı doymuş östenitin ferrite dönüşümü sonrası östenitten dışarı atılan fazla karbürlerin tane sınırlarında kümelendiği (aglomerasyon) görülmektedir [2, 9].

Tane sınırı karbürleri, topaklanmış (aglomera) karbürler ve büyük noktasal karbürlerin maruz kaldığı östenitleme sıcaklığı ve zamanı artıkça östenit içinde daha ince

tane sınırlarında biraraya gelerek kümelenmektedir [2,6,9,10].

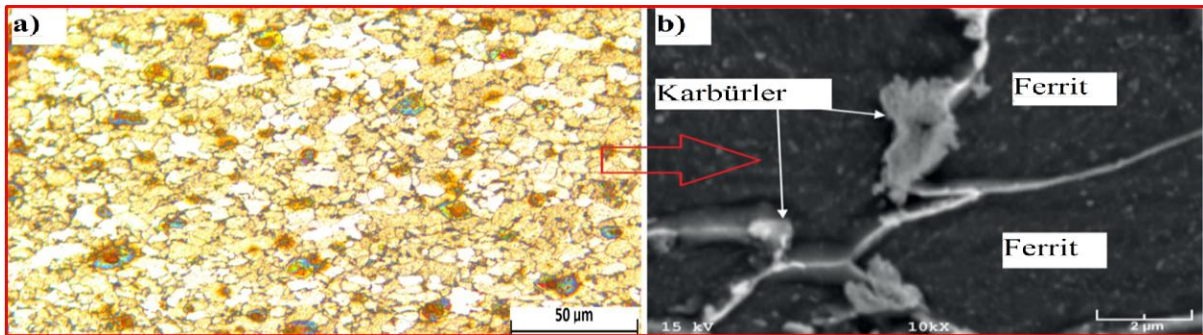
Günümüzde kaynak işlemlerinin hâlâ çoğunlukla elle veya kısmen mekanize şekilde uygulanması nedeniyle ürünlerin kalitesi, bir başka imalat yönteminde olmadığı kadar kaynakçıya ve onun maharetine bağlıdır. Kazanılan bilgi, beceri ve ustalığın devamlı olarak yapılan işin kalitesine yansıtılabilmesi gerekmektedir. Her ne kadar bu yetenekler kaynakçı sınavları ile sürekli kontrol altında olsa dahi kaynaklı imalatta sabit ve süreklilik arz eden sonuçlara ulaşmak mümkün olmamaktadır. Yani kaynaklı imalatta insan faktörü minimum seviyeye indirilmeye çalışılsa da (Robotik TIG kaynağı) manuel yöntemler daha çok tercih edilmektedir [11].

TIG Kaynak yöntemi esas itibariyle boru hattı, kazan, kap, reaktör, makine, havacılık ve uzay sanayinde yüksek kalite gerektiren kök dikişleri ile ince levhaların kaynak dikişleri için tercih edilmektedir[28].

Akım şiddeti, gerilim, tel besleme hızı, ilave dolgu metali çapı, koruyucu gaz türü, malzeme kalınlığı, kaynak hızı, tungsten elektrod çapı, kaynak ağız hazırlığı, akım türü ve ısı girdisi TIG kaynak yönteminde kaynak dikişinin kalitesini etkileyen parametrelerdir. TIG kaynağı ekonomik olarak 0,2-6 mm arası kalınlığa sahip tüm metallere tüm pozisyonlarda uygulanabilir[28].

Manuel olarak uygulanan TIG kaynağında çoğunlukla 1 m uzunluğunda 1-3,2 mm çapında kaynak çubukları dolgu malzemesi olarak kullanılır. Mekanize kaynak yöntemlerinde ise 0,8-1,6 mm çap aralığında sonsuz (sürekli) teller kullanılır [28].

Daha önceki yapılan çalışmalarda akım ve gerilim şiddeti sabit tutulduğunda ilave dolgu metali çapı artırıldığında kaynak kep genişliğinin arttığı ancak nüfuziyet derinliği ve metal yığıma oranının ise arttığı tespit edilmiştir[38]. İnce tel çaplarındaki akım yoğunluğunun kalın tellere göre daha yüksek olması durumunda dikişin penetrasyon derinliğini arttığı görülmüştür[28]. Ancak arkın



Şekil 1. a) QSTE420TM çeliği mikro yapısı, b) YMDA çeliği detaylı SEM fotoğrafı [2] (a) Micro structure of QSTE420TM steel, b) Detailed SEM photograph of YMDA steel)

dağılımlı karbürler elde edilmekte ve bu karbürler hızlı soğumanın ardından östenitin dönüştüğü faz içinde çökelmektedirler. Östenitin çözebileceği kadar karbürü bünyesinde çözüldürdükten sonra, çözünme durmakta ve bu sefer doymuş östenit içindeki fazla karbürler, yüksek sıcaklıkta uzun bekleme süresi boyunca östenit

kararlılığı açısından her ilave telin taşıyabileceği akım yoğunluğu da tel çapına göre farklılık oluşturmaktadır. Tel çapına göre aşırı yüksek akım yoğunluğu arka kararsız yaparken, aynı akım şiddetinde tel çapı arttırıldığında ise akım şiddeti tel çapına oranla düşük kalmakta ve arkın patlama, sıçrama, yapışma yaptığı

görülmüştür. Literatürde daha önceden yapılan deneylerde mekanize yöntemlerde aynı akım şiddetinde küçük tel çapında sağlanan metal yığıma oranının, kalın tel çapındaki metal yığıma oranına ulaşabilmesi için tel sürme hızında artırılması gerektiği sonucuna varılmıştır[28,38].

Bu çalışmada ise akım ve gerilim şiddeti sabit, kaynak hızı farklı olacak şekilde normal ark geçiş türünde farklı ilave tel çaplarına bağlı olarak ana malzeme üzerinde ortaya çıkan ısı girdisinin etkileri mekanik ve metalürjik açıdan incelenmiştir. Ayrıca yüksek akım şiddetinin neden olduğu yüksek ısı girdisine bağlı ortaya çıkan çarpılmalar, ana malzeme dayanım değerinin düşmesi ve metal yığıma oranının gereksiz yere yüksek uygulanması sebebiyle ürünün kullanılmayarak hurdaya ayrılması engellenerek, en uygun tel çapı ve kaynak hızında verimlilik ve karlılık arttırılmak suretiyle maliyetlerin düşürülmesi sağlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada QSTE420TM çeliği TIG kaynak yöntemi kullanılarak, 2,5 mm kalınlığında plakalar 1,6 mm ve 2,0

kurallardan faydalanılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerden alınan numuneler tahribatlı muayenelerden çıkan sonuçlar ile birlikte değerlendirilerek ilave metal teli çapının kaynak metaline ve ana malzemeye olan etkileri detaylı incelenmiştir [14].Çalışmada kullanılan QSTE420TM çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

QSTE420TM malzeme genel olarak savunma sanayi ve makine imalat sektöründe kullanılmakta olup ince plakaların TIG kaynağı uygulamalarında veya kalın kesitlerin kök kaynağı uygulamaları için 2,5 mm kesit kalınlık çalışmamızda tercih edilmiştir.

Çizelge 1’de özellikleri verilen QSTE420TM çeliği TIG kaynak yöntemiyle DC (-) akım tipinde, 5,5 lt/dk. gaz debisi bulunan % 100 Argon gazı koruması altında, 9,5 mm seramik gaz nozulu çapında ve 1,6 mm çapında

ZrO₂ karakterli tungsten elektrod kullanılarak birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. TIG kaynağında ilave tel olarak AWS/ASME SFA-5.18 TG-102 ve AWS/ASME SFA-5.18 70S-2 teli kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirme işlemlerinde kullanılan TG-102 ve 70S-2 ilave telin kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 2 ve 3’te verilmiştir. TIG kaynağında her iki birleştirmede de II

Çizelge 1. QSTE420TM malzeme kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of QSTE420TM material)

Kimyasal kompozisyon								
% ... Bileşim değerleri	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	0,0659	0,0165	1,33	0,0167	0,0056	0,0403	0,0041	0,0334
	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	0,0298	0,0112	0,0204	0,0392	0,0146	0,0052	<0,0050	0,0015
	Sn	As	Zr	Bi	Ca	Ce	Sb	Se
	0,0109	<0,0010	0,0012	0,004	0,0006	0,0042	<0,0010	<0,0020
	Ta	B	Zn	La	N	Fe	Te	Ceş
	<0,0070	0,00087	0,0028	<0,00030	0,0056	98,3	<0,0010	0,301
	Mekanik özellikler							
Akma Mukavemeti (MPa)			Kopma Mukavemeti (MPa)			Minimum Toplam Uzama (%)		Darbe Enerjisi (0 °C) Ortalama (Joule)
≥420			480-620			19		202

mm çapındaki ilave teller ile iki farklı ısı girdisi [29], aynı kodlu koruyucu saf Argon gazı (%99,998 Ar) koruyucu gaz ve paso sıralamasında yapılan kaynaklı kullanılmıştır.

Çizelge 2. AWS/ASME SFA-5.18 TG-102 kodlu dolgu teli kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of AWS/ASME SFA-5.18 TG-102 filler wire)

Kimyasal kompozisyon					
Element (%)	C	Mn	Si	Zr	Ti
	0,05	1,2	0,7	0,06	0,1
Mekanik özellikler					
Test Şekli	Koruyucu Gaz	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama A5 (%)	Çentik Darbe Dayanımı ISO-V (J)
Kaynak sonrası	II	> 490	> 570	> 24	-30°C → 60

birleştirmelerin mekanik ve metalürjik özelliklerinin belirlenmesi için uluslararası standartlarca belirlenmiş

Çizelge 3. AWS/ASME SFA-5.18 70S-2 kodlu dolgu teli kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Chemical composition and mechanical properties of AWS/ASME SFA-5.18 70S-2 filler wire)

Kimyasal kompozisyon						
Element (%)	C	Mn	Si	Zr	Ti	Al
	0,05	1,1	0,55	0,07	0,12	0,11
Mekanik özellikler						
Test Şekli	Koruyucu Gaz	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama A5 (%)	Çentik Darbe Dayanımı ISO-V (J)	
Kaynak Sonrası	II	> 400	> 480	> 22	-30°C → 47	

2.2. Metod (Method)

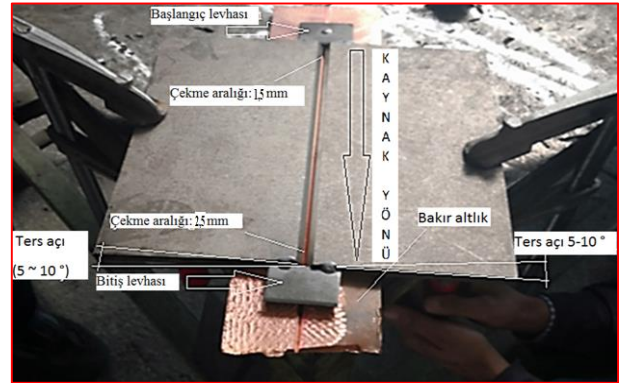
Deneysel çalışmalarda; kaynaklı imalatta birleştirme metodu olarak endüstriyel uygulamalarda ince plakaların birleştirilmesinde en çok tercih edilen yöntemlerden biri olan TIG kaynak yöntemi uygulanmıştır. Kaynak işlemleri Makina ve Kimya Endüstrisi (MKE) fabrikalarında bulunan Oerlikon marka ADW 360 model TIG kaynak makinesi ile gerçekleştirilmiştir.

2,5 mm kalınlığındaki QSTE420TM ana malzemeden üretilen plakalar 150 x 350 mm ölçülerinde kesilerek kaynak işlemine hazırlanmıştır. Kaynak ağız hazırlığında kaynak kök yüksekliği ve geometrisi kaynağın kalitesini etkilemektedir. Talaşlı imalat yöntemleri ile açılan kaynak ağızlarında kalan çapak veya keskin uç, köşe, kenar gibi yapıların alınması veya bunlara pah kırılması, radius çekilmesi gerekmektedir. Kesit kalınlığının incelendiği ve kaynak ısısının tahliye edilemediği bu yapılar kaynak ısısı altında ergimek yerine yanmaktadır ve bu yanma esnasında kaynak metalinden çıkamayan oksit kalıntıları kaynaklı ürünün dayanımını düşürmektedir [15]. Bu gerekçelerle kaynak ağız hazırlığı Şekil 2.b’de görülen ölçüler dahilinde yapılmış ve kaynak operasyonu esnasında endüstriyel tip fırçalar ve temizlik ekipmanları kullanılmıştır.

Kaynaklı birleştirme aşamasında; QSTE420TM çeliği için TS EN 10025-6+A1 [16] standardına göre metalürjik özellikler ve SEW 088:1993 [17] standardında göre bilimsel veriler ile kaynaklanabilirlik tavsiyeleri referans olarak alınmıştır. Kaynak esnasında TS EN ISO 15614-1 [18], kaynak prosedürü deneyi kuralları ile TS EN 9606-1 [19] kaynakçı yeterlilik sınavı kapsamında yapılan birleştirmelerde kaynak işlemi esnasında bir noktada kaynağa ara verilip tekrar devam edilmiştir. Çizelge 4’teki kaynak parametreleri EN ISO 14731’e [20] uygun şekilde hazırlanmış ve bu parametrelere göre uluslararası kaynak mühendisi gözetim ve denetiminde kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde kullanılan

kaynak parçası ölçüleri, kaynak ağız geometrisi ve paso sıralaması ise her bir kaynak metodu için ayrı ayrı Şekil 2’de verilmiştir. Çizelge 4’te ısı girdisi hesaplanırken η : Verimlilik faktörü katsayısı 0,7 olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalarda Akım şiddeti birimi Amper (I), Gerilim şiddeti birimi Volt (V), kaynak hızı (V :), Isı girdisi (Q : kJ/mm) alınarak $Q=(I \times V) \div (1000 \times V)$ formülü kullanılmıştır.

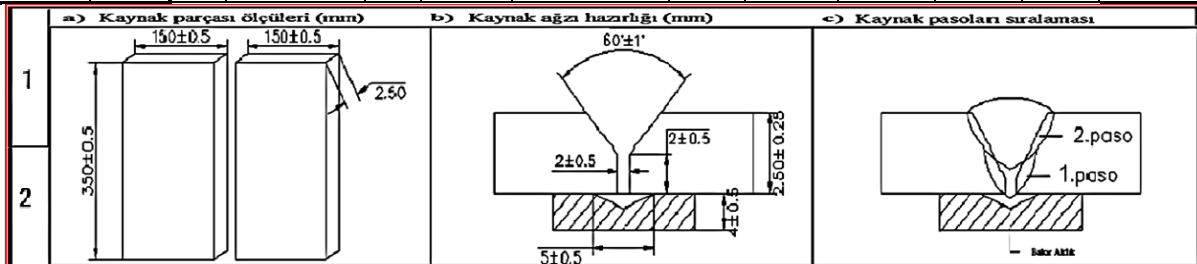
Test parçaları TS EN ISO 15614-1 [18] standardına uyularak 150 x 350 mm ölçülerinde, kaynak ağız kesimi esnasında ısıdan etkilenmiş bölge oluşturmayan su jeti ile kesme yöntemi kullanılarak kesildikten sonra talaşlı imalatta 30° kaynak ağızı açılmış ve Şekil 2.a ve b’de verilen ölçülere işlenmiştir. Kaynaklı birleştirme işlemlerinde Bkz. Şekil 2.c’de ki paso sıralamasına uygun kaynak işlemine geçebilmek için, test plakaları işkenceler yardımıyla ve 4 mm kalınlıkta bakır altlıkla kök tarafı desteklenmiş biçimde Şekil 3’te gösterilen şekilde sabitlenerek Çizelge 4’te belirlenen kaynak parametreleri uygulanacak şekilde kaynak operasyonu gerçekleştirilmiştir.



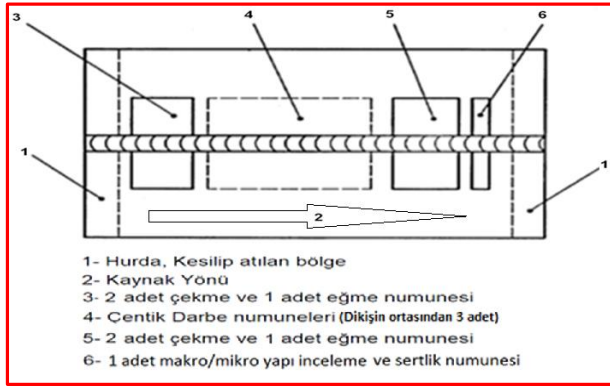
Şekil 3. Kaynak işlemi için hazırlanan test parçaları (Test parts prepared for welding process)

Çizelge 4. Deneylere göre kaynak parametreleri (Welding parameters according to the experiments)

Grup-Deney No	Kalınlık	Paso no	Dolgu metali	Dolgu teli çapı	Akım ve kutuplama	Koruyucu Gaz (EN ISO 14175)	Tel besleme -m/dk.	Akım şiddeti (Amp)	Gerilim (Volt)	Kaynak hızı (mm/sn.)	Isı girdisi kJ/mm	
											Tek paso	Ort. Paso
1	2,5	1	TG-102	2,0	DC (-)	II (%100Ar)	0,45	150	126,6	7,5	1,77	1,77
		2		2,0	DC (-)		0,50				7,5	
2		1	ER 70 S-2	1,6	DC (-)	II (%100Ar)	0,60	150	126,6	10,8	1,23	1,23



Şekil 2. a. Kaynak parçası ölçüleri, b. Ağız ağız hazırlığı, c. Kaynak pasoları sıralaması (a.Dimension of weld piece, b.Joint design c.Sequence of passes)

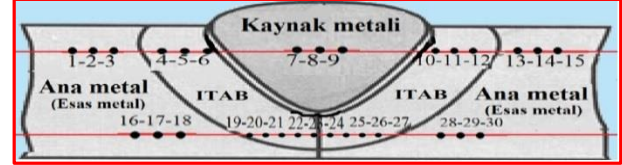


Şekil 4. Test numunelerinin plakadan çıkarılan yerleri (Test specimens removed from the plate) [18]

Kaynaklı birleştirme operasyonlarında pasolararası maksimum sıcaklık 200°C olacak şekilde uygulanmıştır. TIG kaynağında ilave metal ve ısı kaynağı (Ark) birbirinden ayrı olduğundan dikiş başlangıcında soğuk birleşme hatalarına rastlanmadığından dikiş kalitesi yüksektir. Standartlara uygun ölçülerde işaretlenen test parçalarından Şekil 4'te gösterilen bölgelerden 4'er adet çekme numunesi, 3'er adet çentik darbe numunesi, 2'şer adet eğme numunesi ve 1'er adet sertlik ve makro-mikro yapı inceleme numunesi olmak üzere 20 adet numune su jeti ile kesilerek çıkarılmıştır [18,21]. Makro yapı, mikro yapı ve mikrosertlik incelemeleri numune hazırlama işlemleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında, yapısal inceleme işlemleri ile makrosertlik, çekme, çentik - darbe, eğme testleri ise MKE labratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Birleştirmelerin makrosertlik davranışlarını kontrol etmek, makro ve mikro yapı analizlerini yapmak için kaynaklı plakalardan metalografik test numuneleri alınmıştır. Alınan numuneler, TS EN ISO 17639 [22] standardı ve metalografik numune hazırlama kurallarına uygun olarak sırasıyla 200, 400, 600, 800 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanmış, daha sonra ise sırayla 6, 3 ve 1 µm'lik keçe ve uygun solüsyonlar ile parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler % 5 Nital (5 ml HNO₃, 95 ml Etil alkol) çözeltisiyle dağlanmış. Dağlanan numunelerin makro – mikro yapı analizleri ve makrosertlik test işlemleri, Qness makro – mikro sertlik ölçme ve makro – mikro yapı görüntü alma cihazında gerçekleştirilmiştir. Sertlik uygulamaları TS EN ISO 9015-2011 [23] standardına göre 10 kg'lık yük ile Vickers cinsinden ölçümlerle belirlenmiştir. Şekil 5'te

şematik görüntüsü verilen bölgelerde kep ve kök yüzeylerinin 2 mm kadar altından 3 tane ana malzemeden, 3 tane ITAB'dan, 3 tane de kaynak metalinden olmak üzere simetrik olarak toplamda 30 noktadan Vickers (HV₁₀) makro sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik ölçümleri, cihazda bulunan 10 kg'lık yük uygulayan taban alanı kare şeklinde olan ve karşılıklı yüzeyleri arasında 136° açı bulunan düzgün piramit şeklindeki elmas batıcı uç kullanılarak yapılmıştır [23].



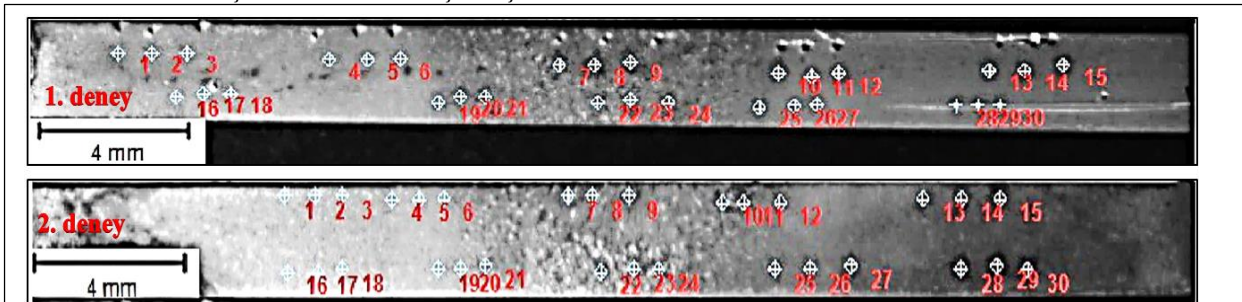
Şekil 5. Sertlik ölçüm bölgelerinin şematik örneği (Schematic illustration of hardness measurement zones)

Çekme numuneleri TS EN 4136 [24] standardına göre hazırlanarak 150 kN çekme kapasiteli Instron marka çekme cihazında test edilmiştir. Deneysel maksimum akma, çekme mukavemeti ve % uzama değerlerine bakılarak, ortalama değerler belirlenmiştir. Eğme testlerinde, TS EN ISO 5173:2010/A1 [25] standardı kurallarına göre hazırlanan 240 mm uzunluğundaki numuneler yine aynı cihazda 16 mm çapında eğme mandreli kullanılarak, 73,5 mm mesnet merkezleri arası açıklıkta, 5 mm/dk deformasyon hızında, 180° açıya kadar kök eğme (root bend) ve kep eğme (face bend) gerçekleştirilmiştir.

Çentik - darbe testleri için numunelere TS EN ISO 9016:2012 [26] standardına göre 2 mm derinlikli 45° açılı, 0,25 mm V çentik açıldıktan sonra sıvı azot banyosu içerisinde 0 °C sıcaklıkta 2 dakika kadar bekletildikten sonra, numunenin ısınmasına zaman bırakmadan teste başlanmıştır [28]. Çentik darbe testlerinde 300 joule enerji ölçebilen çarpma hızı 5.5 m/s olan Galdabini marka cihaz kullanılmıştır.

3. DENEYSEL BULGULAR (EXPERIMENTAL FINDINGS)

TS EN ISO 17639 [22] standart metalografik numune hazırlama kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kaynak test plakalarından Şekil 3'te 6 numara ile gösterilen alandan çıkarılan numuneler, makro yapı, mikro yapı ve makro sertlik incelemelerine tabi tutulmuştur. Makrosertlik ölçümlerini de ifade eden makroyapı gö-



Şekil 6. Kaynaklı birleştirmelerin makrografi görüntüleri (Macrographic images of welded joints)

rüntüleri Şekil 6’da verilmiştir. Makro yapı fotoğraflarında homojen ve ince tane yapılı ana malzeme, geçiş bölgesinin karakteristik özelliklerini gösteren ITAB ve sütunsal tane yapısına sahip kaynak metali bölgeler görülmektedir.

Her iki deneye ait fotoğrafta 2 pasonun yer aldığı 2 dikiş katmanı ve son pasoda (2. Paso) kaynak kep yüzeyine doğru yönelmiş tane yapısı görülmektedir

1. deneyde kullanılan ilave telin çapının 2 mm olması dolayısıyla kaynak dikişinde 1 mm’ye uygulanan ısı girdisi Deney 2’de uygulananın 1,44 katına ($1,771 \div 1,232$) çıkmaktadır. Buna bağlı olarak 1.deneyde ortalama ITAB genişliği yaklaşık 18 mm iken 2.deneyde 12 mm’dir. Her iki makro yapıda bulunan ITAB genişliklerinin ısı girdisi (kJ/mm) ile orantılı olarak aşağıdan yukarı doğru genişlediği görülmektedir.

Aynı iki ana metalin veya farklı metallerin kaynaklandığı durumlarda ilave metal kullanılarak yapılan katılaşma türlerinden “epitaksiyel olmayan katılaşma” yani homojen veya heterojen olarak ayrılmaktadır [27,33].

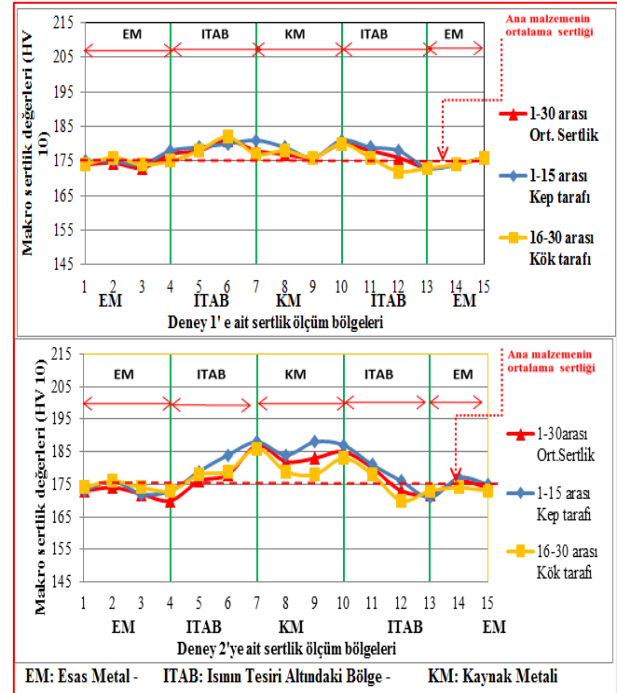
Bu durumda ergime çizgisinde (Bkz. Şekil 8-9’da kaynak bölgesi şematik resminde turuncu renkli 2 numaralı bölge) heterojen bölgelerde ana metalle ilave metalin taneleri etkileşmekte, rastgele yönelme ile karşılaştıkları ana metal tanesinin spesifik büyüme yönü oryantasyonuna uyum sağlayarak epitaksiyel olmayan bir katılaşma oluşturmaktadır.

Makro yapı fotoğraflarında meydana gelen kaynak metalindeki katılaşmalar ve ITAB’da soğuma esnasında meydana gelen faz dönüşümleri farklı sertlik ölçüm bölgelerini (Bkz.Şekil 5) oluşturmuştur. Şekil 5’te görülen ana metal ITAB ve kaynak metali bölgelerinden 3’er adet olmak üzere, kep ve kök yüzeyinin 2 mm kadar derinliğinde bir hat üzerinde toplamda 30 noktadan yapılan makro sertlik değerlerine ait sertlik profili grafikleri Şekil 7’de verilmiştir.

Şekil 7’de her iki deneyde de ana malzeme (EM – esas metal) sertliği ortalama 175 Vickers olarak ölçülmüştür. Farklı çaplardaki kaynak tellerine uygulanan ısı girdilerinin farklılık göstermesi nedeniyle her iki deney için kaynak bölgelerinde (EM, ITAB, KM) farklı sertlik değerleri oluştuğu Şekil 7’de görülmektedir. 1. deneyde kaynak metalinde (KM) kırmızı tonda gösterilen ortalama sertlik 180 Vickers civarında iken, 2. Deneyde yine kırmızı tonda gösterilen ortalama sertlik profili 185 Vickers çizgisine yakındır.

Her iki deneydede en yüksek sertlik değerleri ITAB ile ergime çizgisi sınırında oluşmaktadır. Östenitin karbonca en zengin olduğu bu noktada gerçekleşen faz dönüşümü sert ve kırılğan martenzit fazının oluşmasını sağlayamaya yetecek kadar hızlıdır. Yüksek soğuma hızı sonucunda çok dar bir alanda sertlik maksimumdur.

Literatürde bilinen faz dönüşüm diyagramlarında martenzit oluşumu için gerekli soğuma hızına östenitin karbonca zengin olduğu fazlarda daha kolay ulaşılmaktadır[30].



Şekil 7. Vickers sertlik profillerine ait grafikler (Charts of the Vickers hardness profiles)

Bu noktadan sonra hem kaynak metali hem de ITAB yönünde sertlik azalmaktadır. ITAB’ta sertlik düşüşü ve oluşan fazlar sürekli soğuma diyagramlarında gösterilmektedir. Ancak literatürde kaynak metalinde meydana gelen sertleşme ve katılaşma döküm yapısındaki katılaşma koşullarına göre değerlendirildiği bilinmektedir [31]. İlave telin kimyasal bileşiminde bulunan karbon eşdeğerinin kaynak metalinin katılaşma hızını artırıcı yönde etkilediği düşünülmektedir.

Literatürde, TSTE 420 çeliği kullanılarak Smitweld TCS 1405 simulator’ünde ITAB’da maksimum sertliğin 780°C’de elde edildiği görülmüştür [12,13]. Ayrıca API-5L X65 ve S460G2+M malzemeleri kullanılarak çok uzun boruların arasında her iki parçaya da temas ederek ergime sıcaklığına erişen dolgu malzemesi kullanılarak gerçekleştirilen yeni sürtünme kaynağı çeşidine ait çalışmada incelenmiş sertlik profilinde de en düşük sertlik değerlerinin ince taneli ITAB bölgesinde elde edildiği ve ayrıca aynı çalışmada en yüksek sertlik değerlerinin ergime çizgisinin hemen yanında elde edildiği bilinmektedir [34]. Bu çalışmada da en düşük sertlik değeri ITAB’ın ana malzemeden daha ince tane yapısındaki kısmında oluşmuştur.

1.deneyde kaynak metalinde yavaş soğuma sonucu tane irileşmesi ile sertlik değerleri azalmıştır. Yüksek ısı girdisinin gösterdiği etki ITAB genişlemesine paralel şekilde sertlik profilini de aşağı çekmiştir. Ayrıca plaka kalınlığının 2,5 mm olması da ısının kaynak bölgesinden kaçış hızını düşürmüştür.

Şekil 8-9’da deney numunelerinin kaynak bölgelerine ait ölçekli mikroyapı fotoğrafları verilmiştir.

Şekil 8.a'da östenitleme sıcaklığında uzun süre kalan östenit taneleri büyüyerek mikroyapıya sığmayan östenitin tane sınırından katılaştıran polimorfik ferritler (F) oluşturmuştur. Kaynak bölgesinden beklenen ideal yapı ise kaynak bölgesinin hızlı ısınıp hızlı soğuması sonucu ince yapılı östenit taneleri içinden heterojen katılaştırmış idiomorf ferrit oluşumudur. Tanelerin yukarı yönde yönlendiği

Literatürde yapılan çalışmalarda; soğuma hızı düşmesine bağlı olarak Widmanstatten Ferrit plakaları (W) ve beynitik (B) yapılar görülmektedir [35,36]. Ayrıca aynı çalışmalarda mikro granüler perlit yapıları (G.P) mikro alaşım elementi karbürlerinde (K) olduğu gibi ferrit matrisi içinde dağıldığı görülmüştür [37].

Şekil 8.a'da Widmanstatten Ferrit plakaları (W), beynitik (B) yapılar ve mikro granüler perlit yapıları (G.P) ve mikro alaşım elementi karbürleri (K) ferrit matrisi içinde dağılmış halde görülmektedir.

Şekil 8.b'de görülen mikroyapı ağırlıklı olarak ince taneli perlit (İ.P) ve ferritten (F) oluşmuştur. Östenitleme sıcaklığının yüksekliğinin etkisiyle ferritik matris içinde tane sınırlarında çökelen V, Nb ve Ti elementlerine ait mikro nitrür ve mikro karbürler (K) östenit-ferrit dönüşümü sonrası yeniden kristalleşmeyi geciktirmiş ve böylece yapının tamamında tanelerin büyümesini engelleyecek şekilde çökelmiştir.

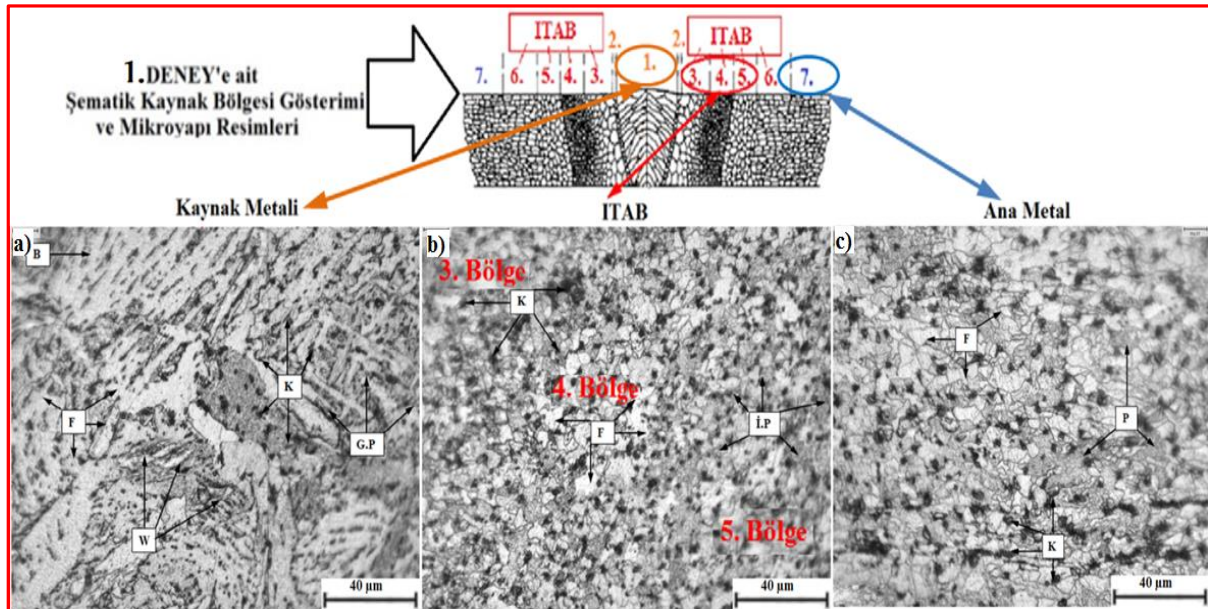
Şekil 8.c'de perlit (P) ve ferritten (F) oluşan daha homojen tane yapısı görülmektedir. C ile bileşik oluşturan Mn, Si, Al gibi elementlerden oluşan karbürlerde (K) görülmektedir. Sağdan sola doğru gidildikçe ergiyen kaynak metalinin verdiği ısının

etkisiyle taneler haddelenmiş şerit formundan çıkarak yuvarlak forma dönüşmüştür.

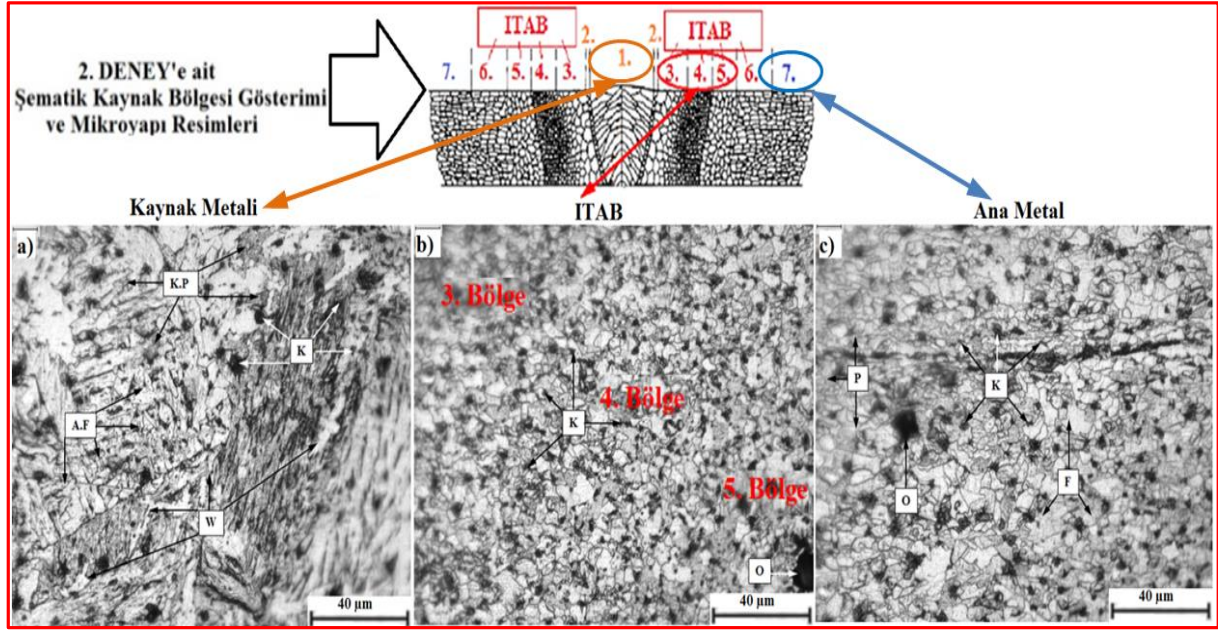
Şekil 9.a' da incelenen kaynak metalinde mikroyapıya sığmayan oldukça büyük, kaba taneli yapı içerisinde Şekil 8.a'daki resme kıyasla daha az yoğunlukta Widmanstatten Ferrit (W), asiküler ferrit (A.F) ve kaba perlitten (K.P) oluşan, yüzeye doğru yönelmiş tane yapısı görülmektedir. Küçük açılı taneler büyük açılı tane sınırlarını oluşturacak şekilde bir araya gelerek dendritik yönlü katılma oluşturmuştur. Sıcaklığın ve yönelme baskı kuvvetinin etki sonucu mikro karbürler şekil değiştirerek, çizgisel karbür (K) formuna dönüşmüştür.

Şekil 9.b'de ITAB'da temperleme ısı etkisinin taneleri daha da küçülttüğü ve tane sınırlarına olan karbon difüzyonunun hızlanması sonucu V, Nb, Ti gibi elementler ile oluşturulan nitrür, karbür ve karbo nitrür (K) yapılarının yoğun bir şekilde tane sınırlarında çökelindiği görülmüştür. Aynı mikroyapıda 10 µm'ye yakın büyüklükte oksit (O) inklüzyonu da farkedilmektedir.

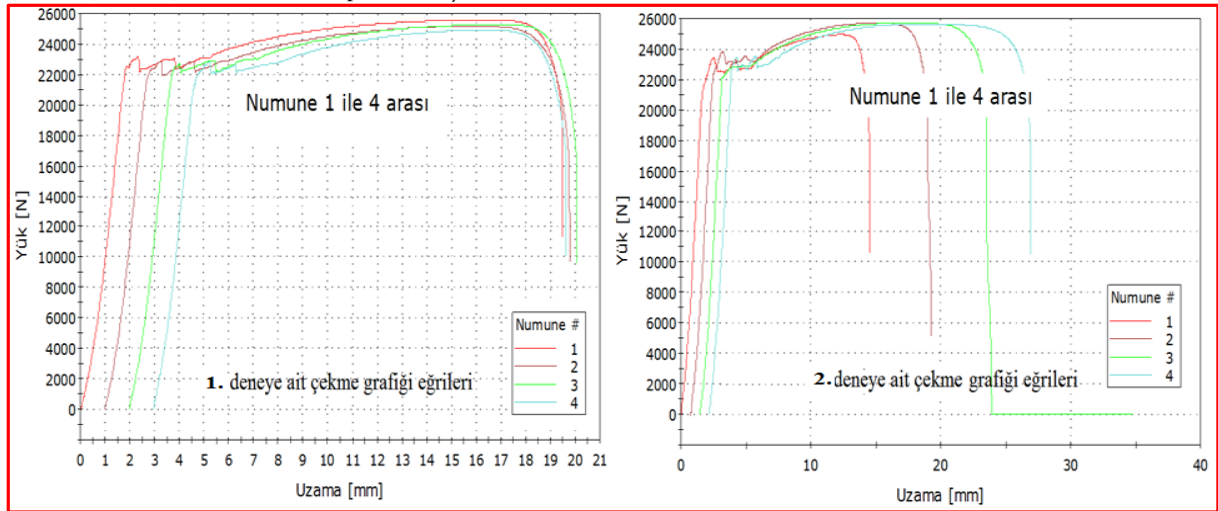
Şekil 9.c'deki Ana metal mikroyapısında ısı girdisinin etkisiyle homojen tane yapısı değişime uğramıştır. Fotoğrafta Ferrit (F) yoğunluklu, perlitik (P) yapı ile birlikte Mn, Si, Al gibi elementlerin O ile bileşik oluşturduğu düşünülen 10 µm boyutunda inklüzyon (O) tespit edilmiştir. Soldan sağa doğru ana malzeme tarafına yaklaşıldıkça ısı etkisinin azalmasıyla ferrit ve perlit tanelerinin ince uzun, yassı (Haddelenmiş form) hale geldiği tane şekillerinden farkedilmektedir.



Şekil 8. Deneysel 1'e ait a- Ana metal, b- ITAB, c- Kaynak metalinin mikro yapı fotoğrafları (Micro structure photos a) Base metal, b) HAZ, c) Weld metal of experiment 1)



Şekil 9. Deneysel 2'ye ait a- Ana metal, b- ITAB, c- Kaynak metali mikro yapı fotoğrafları (Micro structure photos a)Base metal, b)HAZ, c)Weld metal of experiment 2)



Şekil 10. Gerilme-uzama eğrileri (Stress Elongation Curves)

Kaynaklı birleştirmelerin çekme deneyi sonuçlar grafiği Şekil 10'da, test sonuçları ise Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Çekme testi sonuçları (Tensile test results)

Deney no	Akma muk.	Çekme muk.	Uzama	Kesit Alanı	Son boy	Kopma bölgesi
	[MPa]	[MPa]	[%]	[mm ²]	mm	
1.1	483,6	539,9	17,2	47,4	105,5	Kaynak metali
1.2	476,1	535,8	16,9	47,0	105,3	
1.3	482,2	539,8	15,8	46,9	104,2	
1.4	472,3	530,7	14,7	47,0	103,2	
Ort.	478,6	536,6	16,1	47,1	104,5	
2.1	469,0	531,0	11,8	47,0	100,7	Ana malzeme
2.2	478,0	539,3	17,1	47,8	105,4	
2.3	466,5	536,5	20,2	48,0	108,2	
2.4	486,7	534,7	22,2	48,0	110,0	
Ort.	475	535,4	19,8	47,7	106,1	

Ortalama değerlerden % 30'dan fazla sapma gösteren 2.1 numaralı numuneden ölçülen % 11,8 süneklik değerinin "duraklama noktasına" denk gelmiş olabileceği nedeniyle sonuçların doğruluğunu değiştireceği düşünülerek 2.1 numaralı numunenin sonuçları ortalamaya dahil edilmemiştir.

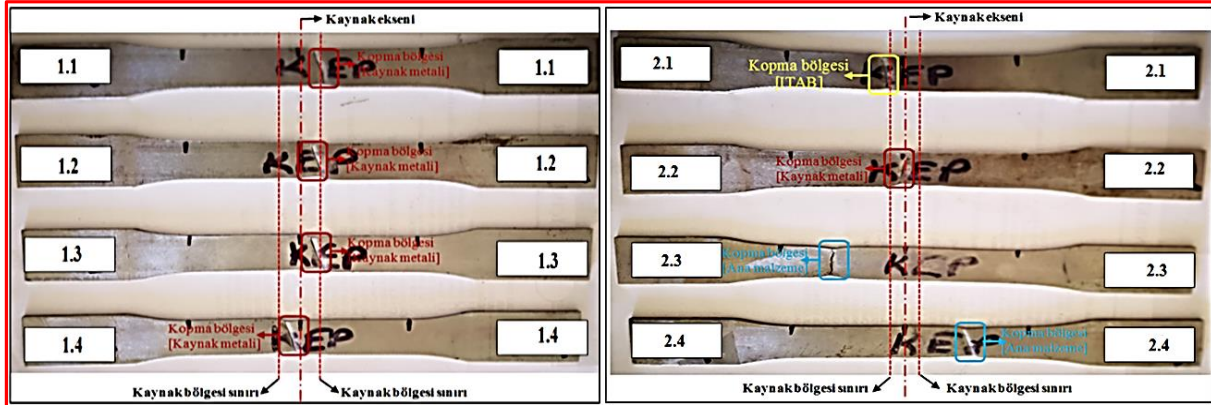
1 ve 2 numaralı birleştirmelerden ayrı ayrı alınan 4 numuneye ait çekme testi sonrası görüntüleri ise Şekil 11'de verilmiştir. Ana malzemenin TS EN 10025-6+A1 standardına göre katalog değerleri incelendiğinde 420 MPa minimum akma mukavemeti, 550 MPa (480 – 620 MPa arası) çekme mukavemeti, % uzama değeri ise minimum % 19 olarak verilmektedir [16]. Şekil 11 ve Çizelge 5'ten görüleceği üzere; 1. Deneyde numunelerin tamamının kaynak metalinden koptuğu, 2. Deneyde ise numunelerin çoğunluğunun ana malzemeden koptuğu tespit edilmiştir. 1. deney için yapılan çekme testlerinde; akma mukavemeti 478,6 MPa, maksimum çekme mukavemeti 536,6 MPa, yüzde uzama değeri ise % 16,1 olarak tespit edilmiştir. 2. Deneyden elde edilen sonuçlarda ise akma mukavemetinin 475 MPa, maksimum çekme mukavemetinin 535,4 MPa, yüzde uzama değerinin ise % 19,8 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar; statik zorlamalarda 2. Deneyde kaynak

bölgesinin dayanımının ana metale göre daha iyi durumda olduğunu göstermektedir. Kaynaklı test parçalarına ait gerçekleşen deneylerin dikişlerinde ilave dolgu metali beslemesi esnasında duraklama yapıp tekrar kaynağa devam edildiğinden, 4 numuneden birinin, duraklama yapılan bu noktaya denk gelmiş olabileceği ve genelde bu tür noktalarda birleşme hatası olma ihtimali bulunduğundan, 1'er adet numunenin ITAB'dan kopmasına izin verilmektedir [19]. 2. Deneyde numunelerden ölçülen akma ve çekme mukavemeti değerleri ana malzemenin limit değerlerini karşılamıştır

180° bükme işleminin kusursuz bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 12. Eğme numuneleri (Bending test samples)



Şekil 11. Çekme testi numuneleri (Tensile test sample)

Çizelge 6. Çentik darbe testi sonuçları (Notch impact test results)

Grup adı		Tungsten inert gaz kaynağı (TIG)						
Deneysel no		1			2			
Numune		1.1	1.2	1.3	4.1	4.2	4.3	
Kımlama enerjileri (Joule) 0°C	Kaynak Metali	Tek	181	165	170	188	192	175
		Ort.	172			185		
	ITAB	Tek	170	154	180	161	175	186
		Ort.	168			174		

Çizelge 6'da 0°C'de uygulanan çentik darbe testinden elde edilen sonuçlar yorumlandığında; her iki deneyde de tokluk değerleri birbirine yakın çıkmış olsa da ısı girdisinin arttığı 1. deneyden alınan tokluk enerjilerinin 2. deneyden düşük olduğu görülmüştür. 1.deneyde ısı girdisinin yükselmesi ile tokluk enerjisi hem kaynak metalinde hem de ITAB'da tane irileşmesine bağlı olarak azalmıştır.

Kılavuzlu bükme testlerine (eğme testi) ait sonuçlar ise Çizelge 7'de verilmektedir.

Çizelge 7. Eğme testi sonuçları (Bending test results)

Deneysel no	Mesnetler arası mesafe	Mandrel	Numune genişliği	Numune kalınlığı	Kök Yüzeyi Eğme		Kep Yüzeyi Eğme	
					Eğme açısı	Sonuç	Eğme açısı	Sonuç
1	73,5	16	10	2,5	180°	Hatasız	180°	Hatasız
Hatasız						180°	Hatasız	

Çizelge 7'de verilen eğme testi sonuçları ile Şekil 12'de verilen eğilmiş numune görüntülerine bakıldığında kaynaklı birleşmelerde herhangi bir hatanın olmadığı,

4. SONUÇLAR (RESULTS)

TIG kaynak yönteminde farklı ilave tel çapına bağlı olarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- ✓ İlave tel çapının artması ile artan ısı girdisi hem ITAB'da hem de kaynak metalinde tokluk enerjisini düşürmüştür.
- ✓ İlave metalde tel çapı farklılığına bağlı olarak yüksek ısı girdisi uygulanması durumunda sert fazlar ve gevrekleşme sonucu akma mukavemeti artarken süneklik azalmış ve kaynak metalinden kopmalar görülmüştür.
- ✓ Makroyapı bakımından yapılan incelemelerde artan ısı girdisinin daha geniş ITAB oluşturduğu ve bu genişliğinde ısı girdisi ile orantılı olduğu görülmüştür. İnce plakalarda ısının kalınlık yönünde dağılmayıp, plaka yüzeyi boyunca distorsiyon oluşturacak şekilde dağıldığı görülmüştür.
- ✓ Yüksek ısı girdisinde kaynak metalinde görülen karbür çökeltilerinin, iri östenit fazından dönüşen büyümüş ferrit ağırlıklı fazların tane sınırlarında iğneleme etkisi yapmadığı ve kaynak metalinde çözünmeleriyle mekanik özellikler düşmüştür.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada QSTE420TM yüksek mukavemetli ve düşük alaşımlı ince taneli yapı çeliğinin TIG kaynak yönteminde ilave metal tel çapı farklılığına bağlı olarak

ortaya çıkan farklı ısı girdisi değerlerinin mekanik ve metalürjik özelliklere olan etkileri incelenmiş ve savunma sanayinde kullanılan ince plaka malzemelerin (2 - 5 mm) TIG kaynağı ile birleştirilebilmesinde 1.6 mm tel çapının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.tatasteleurope.com%2Fstatic_files%2FDownload%2FGeneral%2520Industry%2520Strip%2FStrip%2520Products%2FEnglish%2FTata%2520Steel%2520-%2520YMPRESS%2520S420MC%2520-%2520data%2520sheet.pdf&date=2019-03-0
- [2] Aktarer, S.M., Küçükömeroğlu, T., "The microstructure and mechanical properties of FSPed HSLA steel", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 75(2): 55-60, (2016).
- [3] Taş, Z., "Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde metalürjik mukavemet artırma", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2): 97-101, (2012).
- [4] <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.e-mep.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F02%2FY%2C3%2FBCksek-Mukavemetli-D%2C3%2FBC%2C5%2F9F%2C3%2FBC-Ala%2C5%2F9F%2C4%2FB1ml%2C4%2FB1-Celiklerin-Kaynagi-Ozlem-Karaman.pdf&date=2019-03-04>
- [5] Kurt, H., "Yüksek Mukavemetli Yapı Çeliklerinde Kaynaklı Bölgenin Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2014).
- [6] Yalçın, M. "İnce Taneli Yüksek Mukavemetli Yapı Çeliklerinde Kaynaklı Bölgenin Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerinin İncelenmesi". *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı, (2008).
- [7] <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.steeldata.info%2Fcarbides%2Fdemo%2Flist%2Fmc.html&date=2019-02-04>
- [8] N. Mebarki, N. Lamesle, P. Delagnes, D. Levaillant, C. Delmas, F., "Relationship Between Microstructure and Mechanical Properties Of A 5%Cr Hotwork Tool Steel", *6th International Tooling Conference*, France, 737-754.
- [9] J.G.Silva, F., Santos, J., Gouveia, R., "Dissolution Of Grain Boundary Carbides By The Effect Of Solution Annealing Heat Treatment and Aging Treatment On Heat-Resistant Cast Steel", *Hk30. Metals*, 7(251): 1-12, (2017).
- [10] Kendirci, M. F., "İnce Taneli Yüksek Mukavemetli Yapı Çeliklerinde Kaynaklı Bölgelerin Isıl İşlem Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı, (2008).
- [11] Dündar, B., "Tozaltı Kaynak Yönteminde Altlık Olarak Kullanılan Kaynak Yöntemlerinden Kaynak Yeterliliklerinin Ve Maliyetlerinin Karşılaştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [12] Dunder, M., Vuherer, T., Samardžić, I., "Weldability of Microalloyed High Strength Steels TStE 420 and S960 QL", *Metalurgija*, 53(3): 335-338, (2014).
- [13] Samardžić, I., Čikić, A., Dunder, M., "Accelerated Weldability Investigation Of Tste 420 Steel By Weld Thermal Cycle Simulation", *Metalurgija*, 52(4): 461-464, (2013).
- [14] Savaşkan, T., "Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi", *Celpler Matbaacılık*, 347-350 Trabzon, (2015).
- [15] Komaç, E., "Teknik Eğitim El kitabı", *Askaynak*, 6-8, Kocaeli, (2009).
- [16] TS EN 10025-6+A1, "Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri - Bölüm 6: Suverilmiş ve Temperlenmiş Durumdaki Yüksek Akma Dayanımlı Yapı Çeliklerinden İmal Edilmiş Yassı Mamullerin Teknik Teslim Şartları", (2013).
- [17] SEW088:1993, "Weldable Fine Grained Steels; Guidelines For Processing, Particular For Fusion Welding", (1993).
- [18] TS EN 15614-1, "Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması - Kaynak Prosedürü Deneyi - Bölüm 1: Çeliklerin Gaz ve Ark Kaynağı", (2017).
- [19] TS EN 9606-1, "Kaynakçıların Yeterlilik Sınavı-Ergitme Kaynağı - Bölüm 1: Çelikler", (2017).
- [20] TS EN 14731, "Kaynak koordinasyonu - Görevler ve sorumluluklar", (2010).
- [21] Akkurt, A., "Su jeti ile kesme sistemleri ve uygulama alanlarının değerlendirilmesi", *Politeknik Dergisi*, 7(2): 129-139, (2004).
- [22] TS EN 17639, "Metalik Malzemelerdeki Kaynaklarda Tahribatlı Muayene - Kaynakların Makroskopik ve Mikroskopik Muayenesi", (2014).
- [23] TS EN 9015-1, "Metalik Malzemelerdeki Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler-Sertlik Deneyi-Bölüm 1: Ark Kaynaklı Birleştirmelerde Sertlik Deneyi", (2011).
- [24] TS EN 4136, "Metalik Malzemelerin Kaynakları Üzerinde Tahribatlı Deneyler-Enine Çekme Deneyi", (2013).
- [25] TS EN 5173:2010/A1, "Metalik Malzemelerde Kaynak Dikişleri Üzerinde Tahribatlı Muayeneler- Eğme Deneyleri", (2012).
- [26] TS EN 9016:2012, "Metalik Malzemelerde Kaynaklar Üzerinde Tahribatlı Deneyler - Vurma Deneyleri", (2012).
- [27] <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fnptel.ac.in%2Fcourses%2F112101005%2Fmodules%2Flec4-3%2F1.3.html&date=2019-02-21>
- [28] Elektronik Kitap, "Uluslararası Kaynak Mühendisliği Eğitim Notları", *O.D.T.Ü K.T.M.-GSI-SLV-TR*, Ankara, (2013).
- [29] Popović, O., Prokić, C., Burzić, R.M., Milutinović, Z., "The Effect of Heat Input on the Weld Metal Toughness of Surface Welded Joint", *14th International Research/Expert Conference*, Mediterranean Cruise, 61-64, (2010).
- [30] D. Callister, W., G. Rethwisch, D., "Malzeme bilimi ve mühendisliği 8. basımdan çeviri", *Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic.Ltd.Şti*, Ankara, 343-390, (2014).
- [31] Kang, B.Y., Kim, H.J., Hwang, S.K., "Effect of Mn and Ni on the Variation of the Microstructure and Mechanical Properties of Low-carbon Weld Metals", *ISIJ International*, 40(12): 1237-1245, (2000).

- [32] Zhang, Z., Farrar, R.A., “Influence of Mn and Ni on the Microstructure and Toughness of C-Mn-Ni Weld Metals”, *Welding Research Supplement*, 183-196, (1997).
- [33] Tüzünalp, K.K., “Yönlü Katılma” *Basılmamış Ders Notları*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Teknoloji Fakültesi, Ankara, (2017).
- [34] Faes, K., Maas, F., De Waele, W., De Baets, P., Verstraete, M., Delbaere, D., Van Der Donckt, E., “Weldability Of Micro-Alloyed High-Strength Pipeline Steels Using A New Friction Welding Variant”, *The 2nd South -East European IIW International Congress*, Bulgaria, (2010).
- [35] <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fdocplayer.biz.tr%2F13903329-Mikroyapisal-goruntuleme-ve-tani.html&date=2019-02-08>.
- [36] Dong, H., Hao, X., Deng, D., “Effect of Welding Heat Input on Microstructure and Mechanical Properties of HSLA Steel Joint”, *Springer Science+Business Media*, 3: 138-146, (2014),
- [37] Kalkan, İ., “Yüksek mukavemetli çeliklerde çok pasolu kaynağının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2018.
- [38] Duren S. “The Procedure Handbook of Arc Welding”, *The James F.Lincoln Arc Welding*, 14, 6.3-2.