

GEMİ SAÇLARININ TOZALTI VE ÖZLÜ TEL KULLANARAK MAG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ”

Ramazan YILMAZ^{1*}, Mustafa TÜMER²

¹Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü 54187/SAKARYA

²TÜRKER Gemi Yapım San. ve Tic. A.Ş., Kocaeli Serbest Bölgesi

Özet

Bu çalışmada, Grade A tipi gemi sacı levhaları tozaltı ve özlü tel kullanılarak gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Seçilen kaynak yöntemlerinin birleştirilen gemi sac levhaların mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Birleştirilen parçalara çekme, eğme, mikrosertlik ve çentik darbe deneyleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda bu tür malzemelerin birleştirilmesinde kaynak yönteminin etkili olduğu ve kaynak esnasında malzemeye olan ısı girdisinin birleştirilenin sahip olduğu mukavemet değerlerini etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Gemi saçları, kaynak, tozaltı kaynağı, özlü tel kaynağı, mekanik özellikler, mikroyapı

MECHANICAL PROPERTIES AND WELDING OF SHIP PLATES BY SUBMERGED ARC AND FLUX CORED ARC WELDING METHODS

Abstract

In this study, Grade A type ship plates were welded using submerged arc welding (SAW) and flux cored arc welding (FCAW) methods. The effects of selected welding methods on mechanical properties of welded ship plates were investigated. Tensile tests, bending test, microhardness measurements and notch impact tests were performed. After the study, it is seen that welding methods has an influence on the mechanical properties of the weldments. Especially, it is observed that heat inputs during the welding effect on the strength values of the weldments.

Keywords: Ship plate, submerged arc welding (SAW), flux cored arc welding (FCAW), mechanical properties and microstructure

* E-posta: ryilmaz@sakarya.edu.tr

1. Giriş

Gemi inşa endüstrisi her geçen gün biraz daha önemini artırmaktadır. Çünkü dünya ticaret hacminin yaklaşık olarak % 95'i deniz yolu taşımacılığıyla yapılmaktadır. Bu nedenle teknik ve ekonomik bakımdan kaliteli ve uzun ömürlü gemilerin yapılması gerekmektedir. Dünyada ticaretin deniz taşımacılığı ile yapılıyor olması hem yurdumuzda hem de diğer ülkelerde gemilerin üretimi talebini ortaya çıkarmaktadır. Gemi sahiplerinin filo yenileme ihtiyaçları, uluslararası kurallar, yaygınlaşan toplu taşımacılık anlayışı, ABD ve Avrupa Birliği ülkelerinin kısıtlamaları vb. zorunluluklar da gemi inşa sektörünün gelişmesine etki eden faktörlerdir. Gemi inşa sanayi, esasta değişik endüstri ürünlerinin birleşimini içeren bir imalat endüstrisi olup, çelik, makina imalat, elektrik-elektronik, boya ve lastik-plastik endüstrisi gibi birçok yan endüstri dallarının var olmasına ve gelişmesine katkıda bulunmaktadır. Ülkemizdeki gemi imalat endüstrisi; yeni gemi imalatı, yat üretimi, gemi tamiri ve bakımı, gemi yan sanayi ve çelik konstrüksiyon işleri ve diğer teknik hizmetler gibi sektörleri içerisine almaktadır. Teknolojik alanlardaki gelişmeler gemi üretim sektörüne yansımaktadır. Bu anlamda kaliteli ve ekonomik gemilerin üretimi ile araştırma geliştirme çalışmaları gemi üreticilerinin uluslararası rekabet bakımından oldukça önemlidir. Bu bakımdan kaliteli tasarım ile düşük maliyetli ve yüksek kaliteli gemi üretimi gerçekleştirilerek rekabet gücü artırılmaktadır [1].

Ülkemizde gemi sacı olarak farklı tiplerde çelikler kullanılmaktadır. Bunlardan Grade A çelik seri olarak üretilmektedir. Metal gemilerin yapılarının kalitesi, güvenilirliği ve ekonomikliği gemi kaynak bağlantılarının kalitesine, güvenilirliğine ve ekonomikliğine bağlıdır. Gemi inşasında kaynaklı imalat üretimin hemen hemen tamamını oluşturmaktadır. Örtülü elektrotlar ile ark kaynağı ilk kaynak yöntemi olması nedeniyle gemi üretiminde bir süre kullanılmış olup, zamanla bu kaynak yöntemin dezavantajları nedeniyle yarı-otomatik bir yöntem olan gazaltı kaynak yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Gazaltı kaynak yönteminin avantajları arasında; elektrot değişimleri için harcanan zamanın ortadan kaldırılması, kaynak başlangıç ve bitişinde sıkça karşılan gözenek, krater çatlağı hatalarının önüne geçilmesi, yarı-otomatik olan bu yöntemin kaynakçılar tarafından uygulamasının kolay olması, sprey ark ile metal taşınmasıyla ince damlacıklar oluşturarak derin nüfuziyet elde edilmektedir. Otomatik taşıyıcı sistemlere ve kaynak robotlarına adaptasyonun mümkün olması nedeniyle gazaltı kaynak yöntemleri tersanelerde en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur [2-4]. Japon Tersanelerinde tüm kaynak yöntemleri arasında kullanım oranı % 70-80 özlü telle gazaltı yöntemleridir. Özlü tel elektrotun, katı tel elektroda göre; dolgu veriminin çok yüksek olması, öz maddesi yardımıyla kaynak esnasında koruyucu ortam oluşturması, sıçrama kayıplarının az olması, kaynak hızının yüksek olması ve derin nüfuziyetli kaynak elde edilmesi nedenleri ile kullanım oranları her geçen gün artmaktadır [2].

Tersane sektöründe kaynak dikişlerinin görüntüsü, nüfuziyete göre daha fazla önem arz etmektedir. Tozaltı kaynağı yöntemi ile birleştirme en uygun sonucu vermektedir. Tek tel kullanımından çoklu tel kullanımına kadar kurulu tozaltı sistemleri bulunmaktadır. Üretim hatlarında kalın malzemelerin kaynaklarında genellikle tandem ve üçlü tel kullanılan makineler bulunmaktadır. Klasik kaynak makinaları ile sadece düz alın ve köşe pozisyonlarındaki kaynakları yapılabilmektedir. Çok yüksek amper kullanılarak yapılan bu yöntemde başlangıç ve sona konulan lamaların kaynatılacak sac kalınlığında ve kaynak ağzına uygun olması sağlanırsa; uygun nüfuziyete sahip birleştirmeler sağlanmaktadır [2, 5].

Günümüzde teknolojinin gelişmesine paralel robot teknolojisi, lazer kaynağı ve çeşitli hibrid kaynak yöntemleri başarı ile gemi imalat sektöründe kullanılmakta ve bu kaynak yöntemlerinin avantajlı yönleri birleştirmelerde değerlendirilmektedir [6, 7]. Gemilerin imalatında kalitenin artırılması ve istenen servis özelliklerinin sağlanabilmesi için bazı hususların dikkate alınması gerekmektedir. Bunlar: Gemi inşa çeliklerinin yapısı ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, uygun kaynak yöntemi ve dolgu metalinin seçimi, kaynak esnasında yüksek ısı sonucunda oluşan deformasyonların nedenleri ve çareleri, kaynak planları ve kaynak parametrelerinin seçimidir. Üretimde uygun kaynak yöntemi seçimine ve kaynak kalitesinin kontrolüne dikkat edilmeli, yapılacak kaynak uzunlukları ve sırası önceden tespit edilmelidir. Nüfuziyet durumu, kaynak pozisyonu, elektrot verimi, ergime gücü, malzeme özellikleri uygun kaynak yöntemi seçilmeli ve uygulanmalıdır [2, 5].

Gemi gibi yük taşıyan malzemelerin dinamik yüklere karşı davranışı oldukça önemli olup, dinamik yükler altında göstereceği kırılmaların mekanizmaları, mekanik özellikler ile mikroyapı ilişkilerinin belirlenmesi üretilen konstrüksiyonların daha güvenli olmaları bakımından oldukça önemlidir. Bu nedenle bu tür malzemelerin bazı mekanik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar özellikle yorulma ve kırılma tokluğu üzerine yapılan çalışmalardır [8-10]. Bu çalışmada, FCAW (özlü tel ark kaynağı) ve tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen A grade gemi sacına çekme deneyi, eğme deneyi, sertlik ölçümü ve çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Yapılan bu deneylere ilave olarak

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan gemi sacı, ilave metaller ve tozun kimyasal bileşimi [11]

MALZEME	KİMYASAL ANALİZ DEĞERLERİ (% KütleSEL)										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Fe
Grade A (Gemi sacı)	0,150	0,727	0,189	0,013	0,012	0,023	0,017	0,002	0,016	0,041	kalan
ESAB E71-T1 (Özlü tel)	0,03	1,36	0,58	0,014	0,007	0,02	0,02	0,01	0,02	-	kalan
ESAB EM12-S2 (Tozaltı ilave metali)	0,1	1,5	0,4	0,025	0,025	-	-	-	-	-	kalan
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaF ₂	MgO	FeO	TiO	Na ₂ O			
ESAB OK FLUX 10.71 (Tozaltı kaynağı için toz)	18,2	31,1	6,1	18,8	27,3	3,5	1,2	2,5			

ayrıca mikroyapı çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Seçilen kaynak yöntemlerinin bahsedilen özelliklere etkileri araştırılmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

2. Deney ve tartışma

2.1. Malzemeler

Gemilerin imalatında gövdenin büyük bir bölümü Grade A gemi saclarından oluştuğu için kaynak işlemlerinde bu gemi sacı kullanılmıştır. Kaynak işleminde kullanılan A kalite gemi sacına ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Aynı çizelgede çalışmada kullanılan ilave metallerin kimyasal bileşimleri de verilmiştir. 150x300x10 mm boyutlarındaki malzemelere FCAW kaynak işlemi için Şekil 1’deki gibi kaynak ağızı açılmıştır. Tozaltı kaynak işlemi için kaynak ağızı açılmadan parçalar karşılıklı küt alın şeklinde birleştirilmiştir. Pasolar arası sıcaklığa dikkat edilmiş olup, her posa sonrasında parçanın soğuması beklenmiş ve diğer paso kaynatılmıştır. Kaynak edilen numunelerden çekme, eğme, çentik darbe, sertlik ve mikroyapı çalışmaları için numuneler çıkarılmıştır.

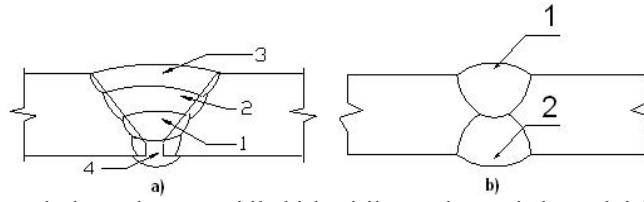
2.2. Yöntemler

Özlü tel elektrotlar, iç kısımlarına yerleştirilen ve toz halindeki çeşitli bileşenlerden oluşan özün bileşenlerinin amaca göre değiştirilebilmesi sayesinde çok yönlü kullanım özelliklerine sahiptirler. Günümüzde değişik kaynak yöntemleri ve değişik malzemeler için geliştirilmiş olan çeşitli özlü elektrotlar bulunmakta ve FCAW yönteminde özlü tel elektrotlarla yapılan mekanize kaynak da gittikçe önem kazanmaktadır. FCAW kaynak yönteminde dolgu metali olarak, 1,2 mm çapında ESAB E71-T1 özlü tel kullanılmıştır. Tozaltı kaynak yönteminde ise 5 mm kalınlığında EM12-S2 ilave dolgu metali kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar esnasında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 2’de ve Çizelge 3’te verilmiştir.

Uygulamada birim kaynak uzunluğundaki enerji kullanımı olarak ifade edilen ısı girdisi aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$H = \eta \frac{I \times E}{V \times 1000} \quad (1)$$

Eşitlikteki H ısı girdisini (KJ/mm), I: kaynak akımını (A), E: ark gerilimini (V), v ise kaynak hızını (mm/s) ifade etmektedir. η ise kaynak verimi olup boyutsuz bir sayıdır. Tozaltı kaynağı için ark verimi 0,95, Gazaltı MAG kaynağı için ise 0,75 olarak kabul edilmektedir [12].



Şekil 1. a) FCAW b) tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemede kaynak işlemlerinin gösterilmesi.

Çizelge 2. E71-T1 özlü tel kullanılarak Grade A gemi saçının FCAW kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri

Paso	Dolgu Teli Sınıfı	Dolgu Teli Çapı (mm)	Koruyucu Gaz	Akım Aralığı (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm /sn)	Isı girdisi (KJ/mm)
1				200–209	30–31	1.9	2.46
2	E71-T1	1.2	CO ₂	211–220	30–31	1.56	3.16
3				220–240	31–32	2.6	2.09
4				210–215	31–32	1.4	3.59

Çizelge 3. Grade A gemi saçının tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kullanılan kaynak parametreleri

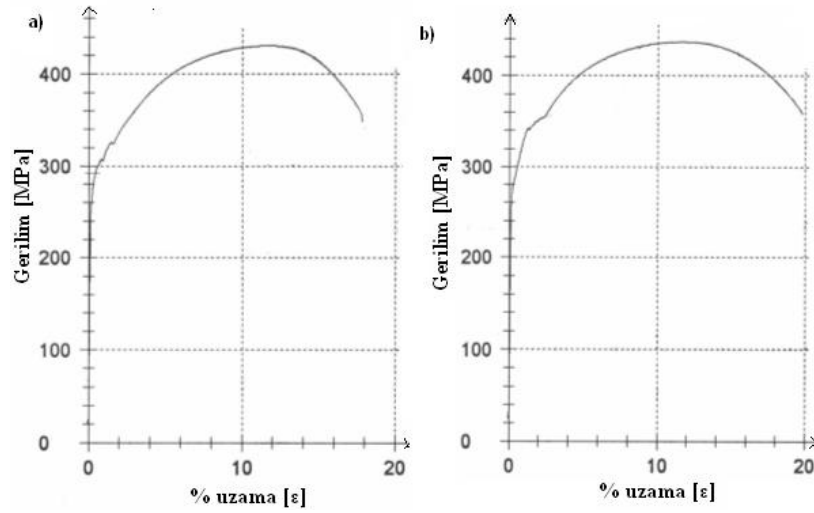
Paso	Dolgu Teli Sınıfı	Dolgu Teli Çapı (mm)	Toz	Akım Aralığı (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı girdisi (KJ/mm)
1	ESAB EM12-S2	5	ESAB OK FLUX	550	32.4	5.5	3.08
2		5	10.71	600	33	7	2.69

Mikroyapı için hazırlanan numuneler sırasıyla 80 ila 1200 arasında numaralara sahip SiC aşındırıcılar kullanılarak su altında zımparalandıktan sonra alümina kullanılarak parlatma çuhaları üzerinde parlatılmıştır. Bu numuneler daha sonra % 3'lük Nital dağlayıcısı kullanılarak dağlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Dağlama işleminden sonra numuneler alkolle temizlendikten sonra yüzeyleri kurutulmuş ve mikroyapı fotoğrafı almak için hazır hale getirilmişlerdir. Mikroyapı incelemeleri NIKON ELIPCE L 150 marka optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır.

Kaynaklı birleştirmelerin sertlik değerlerinin belirlenmesinde Vickers sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri MH3 METKON marka cihaz ile 300 gr yük altında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler kaynak kesitinden bir çizgi boyunca ve kaynak merkezinde ise yukarıdan aşağıya doğru yaklaşık olarak 1 mm'lik aralıklarla alınmıştır.

Kaynak edilen parçadan DIN 50120 standarda göre çekme test numuneleri hazırlanmıştır. Çekme deneyi ZWICK marka çekme cihazında ve 30 mm/dk hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyinde üç adet ölçüm yapılarak ortalama değerleri alınmıştır. Eğme deneyi için DIN 17100 standardında belirtilen ölçülere göre hazırlanan numuneler kep eğme şeklinde deney gerçekleştirilmiş ve deney işleminde bir adet numune kullanılmıştır. Eğme deneyi çekme cihazında gerçekleştirilmiş olup, deney hızı 1 mm/sn olarak belirlenmiştir. Çentik darbe için numuneler TS EN 10045-1 standardına göre hazırlanan numunelerin çentik darbe testlerinde ise RKP450 450J HUMMER marka cihaz kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup çentik darbe testlerinde üç test sonucunun aritmetik ortalaması alınarak çentik darbe tokluk değeri tespit edilmiştir.

3. Bulgular ve tartışma



Şekil 3. a) FCAW b) Tozaltı ve kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen Grade A gemi sacının çekme deneyinde elde edilen gerilme-uzama diyagramı

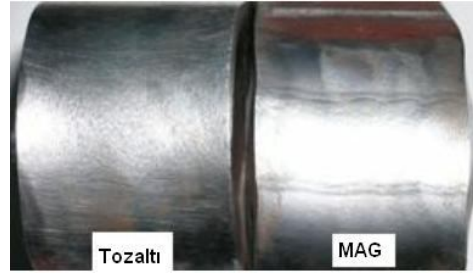
Çizelge 4. Çekme deneyi sonucunda elde edilen mekaniksel değerler ile % uzama miktarları

Kaynak Yöntemi	İlave Metal Cinsi	Koruyucu Gaz ve Toz	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	%uzama miktarı
FCAW	E71-T1	CO ₂	297±3	432±5	18±3
TOZALTI	ESAB EM12-S2	ESAB OK FLUX 10.71	291±2	436±3	19±1

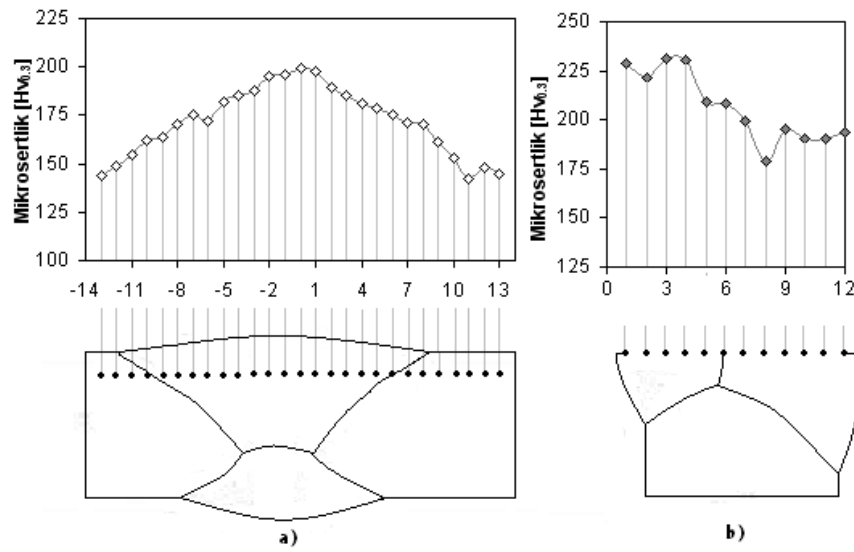
Grade A gemi sacı iki farklı kaynak yöntemi ile farklı ilave teller kullanılarak birleştirilmiştir. Çekme deneyinde elde edilen gerilme uzama diyagramları Şekil 3'de verilmiştir. Her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen parçaların gerilme-uzama diyagramları birbirine benzemektedir. Birleştirilen numunelere çekme deneyi uygulanmış elde edilen sonuçlar Çizelge 4'de özetlenmiştir. Çizelgeden anlaşılacağı gibi, her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak en yüksek akma dayanımı FCAW kaynak yöntemi ile birleştirilen numunede ortalama olarak 297 MPa değeri elde edilmiştir. Buna karşılık en yüksek çekme dayanımı ise tozaltı kaynak yönteminde elde edilmiş ortalama olarak 436 MPa olarak belirlenmiştir. Ayrıca tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numuneler daha yüksek uzama değerleri göstermişlerdir. Daha önceki bir çalışmada [5], A grade gemi sacı sırasıyla 270 MPa ve 436 MPa akma ve çekme dayanımına ve 35,6 % uzama değerine sahip olduğu belirtilmektedir. Bu değerlere bakıldığında yapılan bu çalışmada her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemelerin sahip olduğu değerler %uzama değeri hariç az da olsa daha yüksektir. Çekme dayanımı değerlerinin yüksek olması kullanılan ilave metallerin (tozaltı kaynağı için 410 MPa akma ve 510 MPa çekme dayanımı, özlü tel için 460 MPa ve 580 MPa çekme dayanımı) sahip olduğu değerlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kullanılan özlü telin uzama değeri ise %22'dir [11]. Her iki kaynak yöntemi ile birleştirme sonucunda elde edilen dayanım değerlerinin ana metalin sahip olduğu değerlerden yüksek olması, bu malzemenin birleştirilmesinde uygun kaynak ilave metali ve yöntemi seçildiğini göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen değerler daha önceki benzer konuda yapılan çalışmada elde edilen değerlerden daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi ise her iki çalışmada seçilen kaynak parametrelerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Eğme deneyi deney sonucunda birleştirilen malzemenin kaynak metali ve ITAB'da çatlak, boşluk gibi herhangi bir kaynak hatası araştırılmış olup, kep eğmesine maruz bırakılan malzemelerde deney sonrasında herhangi bir kaynak hatasına rastlanmamıştır (Şekil 4). Eğme deneyleri esnasında numunelerin iç yüzeyinde basma dış yüzeyinde ise çekme gerilmeleri meydana gelmekte olup, iç yüzeylerde kesit genişmesi dış yüzeylerde ise kesit daralması tespit edilmektedir. Kep eğmesi esnasında oluşan boyut değişmesi FCAW kaynağı ile birleştirilen numunelerde % 8, tozaltı kaynağı ile birleştirilen numunelerde ise % 9,5 olarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada, kaynaklı

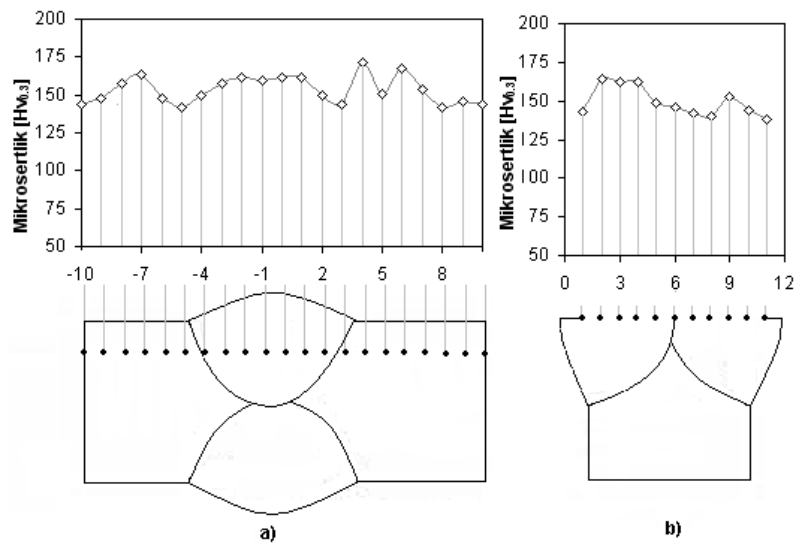
bağlantıların herhangi bir hasara uğramadan eğilmesi sağlıklı bir birleştirmenin yapıldığını ve birleşme bölgesinde herhangi bir kaynak hatasının oluşmadığını göstermektedir.



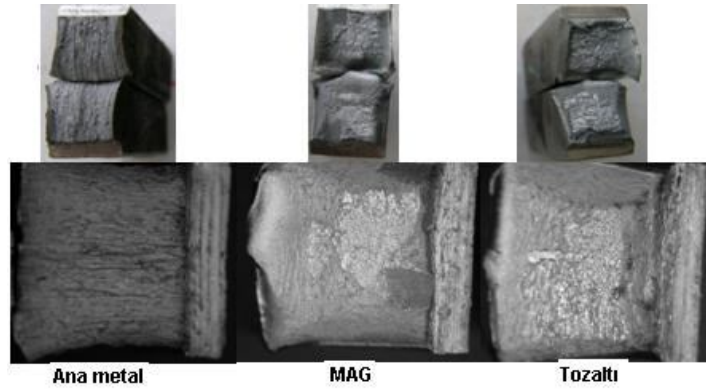
Şekil 4. Tozalıtı ve FCAW kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen Grade A gemi sacının eğme deneyi sonrası görüntüsü



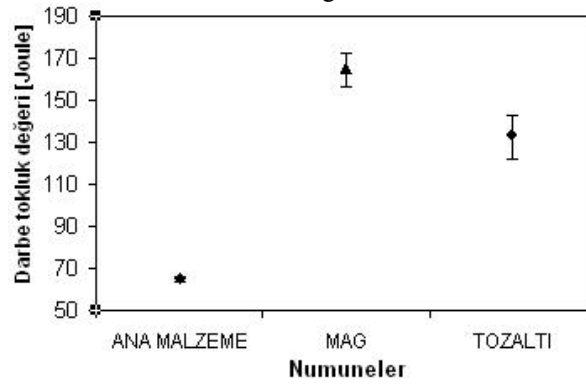
Şekil 5. FCAW kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen gemi sacının a) yatay b) dikey olarak alınan mikrosertlik değerlerinin dağılımı



Şekil 6. Tozalıtı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen gemi sacının a) yatay b) dikey olarak alınan mikrosertlik değerlerinin dağılımı



Şekil 7. Çentik darbe deneyi uygulanan Grade A gemi sacı, FCAW ve tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin görüntüleri

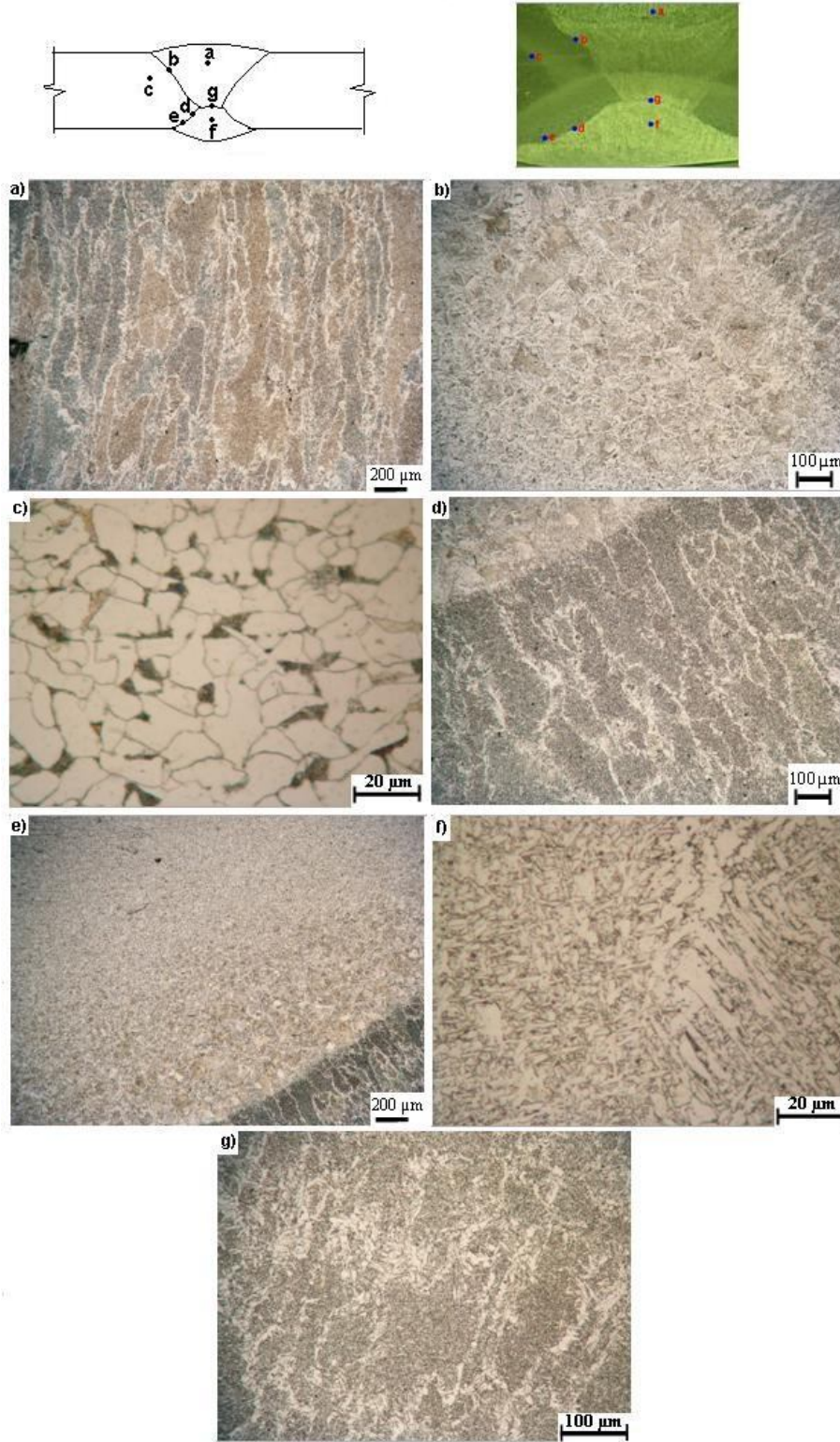


Şekil 8. Parçalara uygulanan çentik darbe deney sonuçlarının grafiksel gösterimi

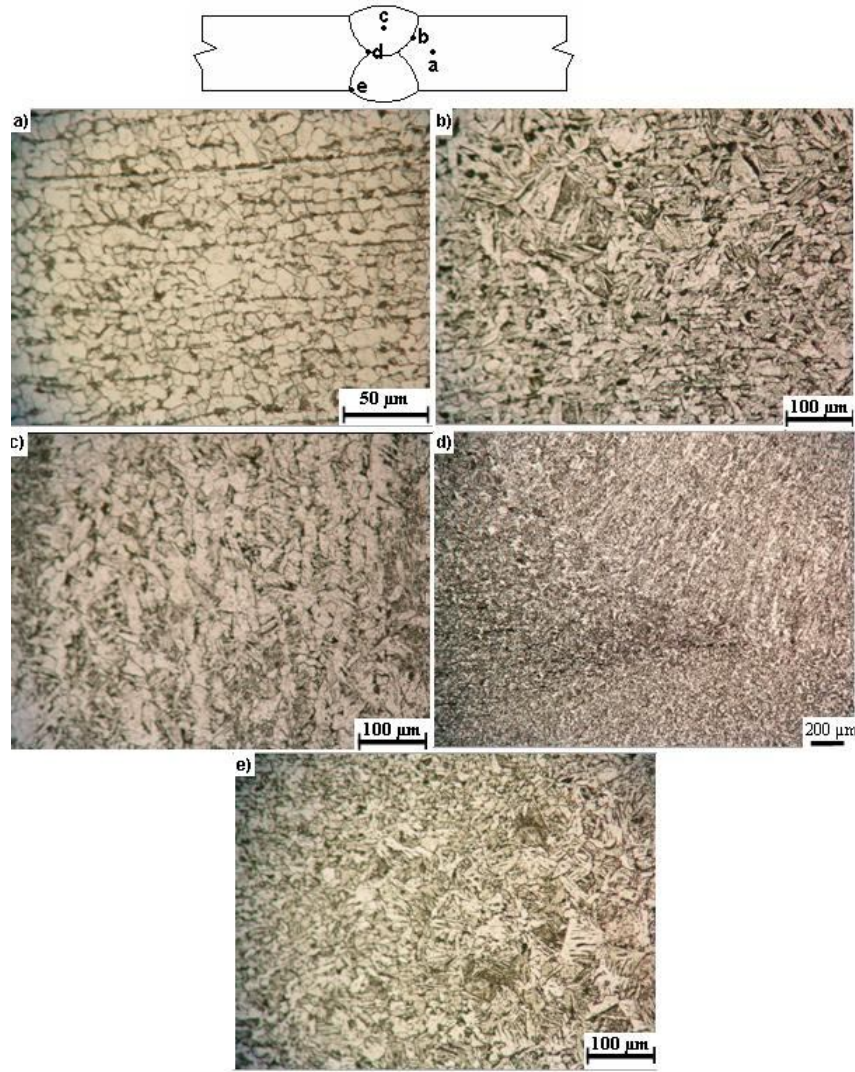
Şekil 5’de FCAW kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerden alınan sertlik değerlerinin dağılımı görülmektedir. Ana malzemenin sertlik değerleri 145 Hv civarında ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) 170 Hv civarında ve kaynak metali ise 200 Hv civarında elde edilmiştir. Yukarıdan aşağıya alınan sertlik ölçümlerinde sertlik değerlerinde düşme görülmektedir. Bu durum her kaynak pasosunun bir önceki pasoya bir ısıl işlem yapması nedeniyle kaynaklanmaktadır. Ayrıca, son olarak çekilen kaynak kök pasosunda daha yüksek sertlik değerleri elde edilmektedir. Kök dikişi kendisinden önce çekilen kep dikişine yapılan ısıl işlem niteliğindedir. Şekil 6’da ise tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen numunelerin sertlik değerlerini vermektedir. Ana malzemenin sertlik değeri 144 Hv civarında, ITAB 150 Hv civarında kaynak metali ise 162 Hv civarında elde edilmiştir. Eroğlu ve Aslan [13], kaynak edilen parçaya enerji girişinin artışı, sertlikte düşüşe neden olmasına ve kaynak sonrasında sünek fazların oluşmasına neden olduğunu belirtmektedirler. Kaynak merkezinden düşey olarak yapılan sertlik ölçümlerinde farklılıklar elde edilmektedir. Yukarıdan aşağıya yapılan sertlik değerlerinde ise düşmeler görülmüş olup, kaynak metalinin farklı sıcaklık bölgelerine ulaşması ve soğuma sıcaklık ve hız değerlerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha önce yapılan bir çalışma ile [14], bu çalışmada gazaltı kaynağı yönteminde yapılan birleştirmenin sahip olduğu sertlik değerleri birbirine yakındır. Bahsedilen çalışmada, gazaltı kaynağı ile birleştirilen düşük karbonlu bir malzemenin ITAB’daki ince taneli bölgede sertlik değerleri 190 Hv iken iri taneli bölgelerin sertlik değerleri 140 Hv civarında elde edilmiştir.

Şekil 7’de çentik darbe tokluk deneyi uygulanan numunelerin görüntüleri ile Şekil 8’de Grade A gemi sacının ve farklı kaynak yöntemleri ile birleştirilen parçaların çentik darbe tokluk değerleri verilmiştir. En yüksek tokluk değerine FCAW kaynak yöntemi ile birleştirilen parçaların sahip olduğu görülmektedir. Her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen parçaların ana metalden daha yüksek darbe tokluk değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Esasında kaynak metali içerisinde muhtemelen olabilecek cüruf, segragasyon ve gözenek gibi hatalar darbe tokluğunu olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada kaynak metalleri içerisinde bulunan fazla oranlardaki manganın numunelerin tokluk değerlerini artırdığı düşünülmektedir. Literatürde [5, 13], kaynak esnasındaki ısı girdisinin malzemelerin tokluk değerlerini etkilediği belirtilmektedir. Isı girdisinin yükselmesi tokluk değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Isı girdisi ile tanelerin irileşmesi tokluk değerlerinin düşmesine neden olmaktadır [13]. Tozaltı kaynak yönteminde tane büyümesi olmakta bu da daha düşük tokluk değerlerine neden olmaktadır. Özlü tel kullanılarak

FCAW kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde dört paso uygulanmıştır. Her paso bir önceki paso için bir ısı işlem özelliği taşımaktadır. Böylece tokluk değerlerine olumlu etki göstermektedir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan özlü telin oda sıcaklığında 180 Joule tokluk değerine sahip olması [11] bu çalışmada elde edilen değeri doğrulamaktadır.



Şekil 9. FCAW kaynak yöntemi ile birleştirilen Grade A gemi sacının farklı bölgelerinden alınan optik mikroskop görüntüleri



Şekil 10. Tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen Grade A gemi sacının farklı bölgelerinden alınan optik mikroskop görüntüleri

FCAW kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin çeşitli bölgelerinden optik mikroskop görüntüleri alınmıştır (Şekil 9). Kaynaklı birleşmelerde kaynak hızının düşük olması kaynak metalinde daha iri kolonsal tanelerin oluşmasına ve tanelerin kaynak merkezine doğru yönelmesine neden olmaktadır. Bu durum daha önceden yapılan araştırmalarda da görülmektedir [5]. Şekil 10'da tozaltı kaynağı ile birleştirilen parçaların mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Yüksek kaynak hızlarında hem ana metal hem de kaynak metalini iri tanelerden oluşmaktadır. Tozaltı kaynağı ile birleştirilen parçaların mikroyapısında tanelerin iri olması ısı girdisinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek ısı girdisi sonucu kaynak banyosunun oluşumu esnasında meydana gelen reaksiyonlar sonucu oluşan gazların hapsolmesi birleştirilen parçaların mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada elde edilen mikroyapı görüntüleri daha önceki çalışmalardan elde edilen mikroyapılara benzemektedir. Kaynak edilen malzemelerde kaba taneli bölgeler 1100-1500°C civarına ulaşmış ve bu sıcaklıktan soğuyan bölgeler, ince taneli bölgeler ise 900-1100°C civarındaki sıcaklığa maruz kalan bölgelerdir [14].

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Grade A gemi sacı FCAW ve tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çekme deneylerinde her iki kaynak yöntemi ile birleştirilen parçalardan benzer sonuçlar elde edilmiş olmakla beraber, FCAW kaynak yöntemi ile yapılan birleştirme biraz daha fazla akma dayanımına sahip iken, tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen parçalar daha yüksek çekme dayanımı ve % uzama değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen değerler Grade A malzemenin sahip olduğu değerlerden yüksektir. Ancak kaynak malzemesi daha az % uzama değerlerine sahiptir. Bu kullanılan kaynak ilave malzemesi ve seçilen yöntemlerin mekanik özellikleri etkilediğini ve uygun birleştirmenin sağlandığını göstermektedir.
2. Eğme deneyi uygulanan parçalarda kaynak metali ve ITAB bölgesinde herhangi bir çatlığa rastlanmamıştır. Eğme deneyi esnasında oluşan boyut değişme oranları hesaplanmıştır.
3. Özlü tel kullanılarak FCAW gazaltı kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmede düşük kaynak hızı nedeni ile daha yüksek ısı girdisi olmaktadır. Kaynak edilen malzemeye ısı girdisinin artışı hem ITAB'ın genişlemesine hem de birleştirilen malzemenin sertlik değerlerinin ve tokluk değerlerinin değişmesine neden olmaktadır.
4. Birleştirmede kullanılan kaynak yöntemi kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin dağılımına etki etmektedir. FCAW kaynak yöntemi ile birleştirilen parçaların kaynak metalindeki sertlik değerleri tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen parçaların sahip olduğu sertlik değerlerinden yüksektir. Elde edilen sertlik değerleri ısı girdisine ve paso sayısına dolayısıyla oluşan kaynak metali ve ITAB'ın mikroyapısına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.
5. Çentik darbe deneyi sonrasında FCAW kaynak yöntemi ile birleştirilen malzeme daha yüksek darbe tokluk değerlerine sahiptir. Paso sayısının alt paso için ısıl işlem etkisi göstererek tokluk değerlerinin artmasını sağladığı düşünülmektedir.
6. Kaynak yönteminin, kaynak parametrelerin farklılığından dolayı malzemenin mikroyapısına etki ettiği gözlenmektedir. Özellikle tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen parçaların mikroyapılarında tanelerin daha fazla irileştiği gözlenmiştir.

5. Teşekkür

Tozaltı kaynaklarının yapılmasında katkıları olan **TABOSAN A.Ş.** ve özlü tel kaynağını yapan **Hakan PARTANAZ** bey'e ve çekme, eğme ve darbe tokluk deneylerinde yardımcı olan **NOKSEL A.Ş.** yetkililerine teşekkür ediyoruz.

Kaynaklar

- [1] "Gemi İnşa Sanayi ve Rekabet Edebilirlik Özel İhtisas Komisyonu Raporu", 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT: 2588-ÖİK: 600. Ankara, 2001.
- [2] M. Asarkaya, "Tersanelerde Uygulanan ve Uygulanabilecek Kaynak Yöntemleri", *Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu*, 24-25 Aralık 2004, s.252-267
- [3] H.Özden, "Gemi İnşaatında Kalın Çelik Sac Kaynak Bağlantılarının İşletme Mukavemeti", 24-25 Ekim 2003 Kocaeli.
- [4] M.H. Ang, W. Lin, S.Y. Lim, "A Walk-Through Programmed Robot for Welding in Shipyards" *Industrial Robot*, 26, 5, 1999, pp. 377-388.
- [5] M. Asarkaya "Gemi İnşasında Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi", Y. Lisans Tezi. SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [6] C. H. J. Gerritsen, D. J. Howarth, "A Review of the Development and Application of Laser and Laser-arc Hybrid Welding in European Shipbuilding", *11th CF/DRDC International Meeting on Naval Applications of Materials Technology*, 7-9 June 2005, Halifax Canada
- [7] C.H.J. Gerritsen, C.M. Allen, J. Mawella "Development and Evaluation of CO₂ Laser-FCAW Hybrid Welding for DH36 Shipbuilding Steel", *11th CF/DRDC International Meeting on Naval Applications of Materials Technology*, 7-9 June 2005, Halifax Canada

- [8] T. Ay, U. Özşaraç, S. Aslanlar “Gemi Saçlarına Uygulanan Kaynaklı Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Kaynak Teknolojisi IV Ulusal Kongresi*, 24–25 Ekim 2003 Kocaeli.
- [9] W. Fricke, A. Kahl, “Comparison of Different Structural Stress Approaches for Fatigue Assessment of Welded Ship Structures”, *Marine Structures* 18, 2005, pp. 473–488
- [10] J.D.G. Sumpter, J.S. Kent, “Fracture toughness of grade D ship steel”, *Engineering Fracture Mechanics*, 73, 2006, pp.1396–1413.
- [11] ESAB “Welding Handbook for Manual and Automatic welding”, 2003.
- [12] M. Shome, “Effect of Heat-input on Austenite Grain Size in The Heat-Affected Zone of HSLA–100 Steel”, *Materials Science and Engineering A*, 445–446, 2007, pp. 454–460.
- [13] M. Eroğlu, S. Aslan, “Düşük Karbonlu Bir Çelikte Molibdenin ITAB’ın Mikroyapısı ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, 127–135, *Kaynak Teknolojisi III Ulusal Kongresi*, 19–20 Ekim 2001, İstanbul.
- [14] K. Kökemli, R. Kaçar, “Kontrollü Atmosferin Gaz Altı Ark Kaynak Bağlantılarının Isı Tesiri Altındaki Bölgesinin Özelliklerine Etkisi”, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18, 2005, s.671–680.