



---

**Makale / Research Paper**

---

**Nikel Bazlı Süper Alaşım Inconel 625 ile AISI 304L Paslanmaz Çelik Malzeme Çiftinin Birleştirilmesinde Farklı İlave Metallerin Tokluk ve Mikroyapısal Özelliklere Etkisi**

**Mustafa TÜMER<sup>1</sup>, Mithat Zaim KERİMAK<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Uzunçiftlik Nuh Çimento Meslek Yüksekokulu, Kocaeli Üniversitesi, [mustafa.tumer@kocaeli.edu.tr](mailto:mustafa.tumer@kocaeli.edu.tr)

<sup>2</sup>Anadolu Döküm Sanayi A.Ş., [mkerimak@anadoludokum.com.tr](mailto:mkerimak@anadoludokum.com.tr)

---

**Özet:** Bu çalışmada Inconel 625 nikel bazlı süper alaşım ile AISI 304L paslanmaz çelik malzeme çifti, TIG (tungsten arc welding) yöntemi ile, ER 310 ve ERNiCrMo3 ilave metalleri kullanılarak birleştirilmiştir. Kullanılan ilave metallerin kimyasal özellikleri sonucu oluşan kaynak metalinin mikroyapı, tokluk ve mikrosertlik dağılımı incelenmiştir. Kaynaklı bağlantının genel mikroyapısı optik mikroskop ile çentik darbe deneyinden sonra kırılma yüzeylerinin incelenmesi taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Özellikle benzer olmayan birleştirmenin, ergime sınırında meydana gelen geçiş bölgesinin mikroyapısal karakterizasyonu yapılarak, bu bölgede meydana gelen değişimler açıklanmıştır. İlave metallerin Nikel içeriği nedeni ile tüm çentik darbe testi numunelerinde sünek kırılma meydana gelmiştir. Ayrıca ERNiCrMo3 kırılma tokluğu açısından diğerlerine göre çok daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur.

---

**Anahtar kelimeler:** Inconel, mikroyapı, tokluk, mikrosertlik, paslanmaz çelik

---

**The Effects of Different Filler Metals on the Toughness and Microstructure Properties of Dissimilar Welding of Nickel Base Super Alloy, Inconel 625 and Stainless Steel, AISI 304L**

---

**Abstract:** During this study, Ni-based super alloy Inconel 625 and stainless steel AISI 304L base materials are joined by TIG (Tungsten Inert Gas) method using ER310 and ERNiCrMo3 filler metals. After welding by these filler metals, microstructure, toughness and micro-hardness distribution of the weld metal is examined. Welded joint overall microstructure is observed through optical microscope, whereas the fracture surfaces after notch impact testing are observed through SEM (Scanning electron Microscope). Changes occurred in the transition zone within the fusion zone is explained through microstructural characterization of dissimilar base materials joined. Due to Ni content of filler metals, all notch impact test samples displayed ductile nature in fracture. Additionally, ERNiCrMo3 filler metal displayed improved notch impact toughness results in comparison to other filler metals.

---

**Keywords:** Inconel, microstructure, toughness, microhardness, stainless steel

---

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Tümer, M., Kerimak, M.Z., "Nikel Bazlı Süper Alaşım Inconel 625 ile AISI 304L Paslanmaz Çelik Malzeme Çiftinin Birleştirilmesinde Farklı İlave Metallerin Tokluk ve Mikroyapısal Özelliklere Etkisi" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(1); 116-126.

*How to cite this article*

Tümer, M., Kerimak, M.Z., "The Effects of Different Filler Metals on the Toughness and Microstructure Properties of Dissimilar Welding of Nickel Base Super Alloy, Inconel 625 and Stainless Steel, AISI 304L" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(1); 116-126.

## 1. Giriş

Nikel bazlı süper alaşımlar yüksek korozyon direnci ve yüksek mukavemet gibi olağanüstü özelliklere sahiptir. Inconel 625, yüksek krom ve molibden içeren nikel bazlı bir alaşım türüdür. Özellikle yüksek sıcaklıklara maruz kalan havacılık, nükleer ve termik santral bileşenlerinde yaygın olarak tercih edilir (1,2).

Nikel ve nikel alaşımlarının kullanımı maliyet nedenleriyle özellikle korozyon ve ısıl yükler altında çalışan parçalarla sınırlı olduğu için çoğunlukla –düşük alaşımlı veya ostenitik çelikler gibi– diğer malzemelerle kaynak edilmesi durumları ortaya çıkmaktadır. Kaliteli bağlantılar sağlanmasında ve kaynak dolgu malzemesi seçiminde şu konulara dikkat edilmelidir:

- Esas metal ile oluşturulacak karışım için dolgu metalinin iyi uyumluluk özelliği, diğer bir deyimle kırılğan intermetalik fazlar ve düşük sıcaklıklarda ergiyen ötektiklerden kaçınılmalıdır.
- Esas metal ile oluşturulacak karışımın kaynak metalinde yeterli mukavemet, tokluk, korozyon direnci ve alev dirençli olmasına dikkat edilmelidir.
- Metallerin kombinasyonuna bağlı olarak oldukça farklı olabilen ısıl genleşme davranışının her iki taraf açısından da uyumlu olmasına dikkat edilmelidir.

Farklı iki malzemenin kaynak ile birleştirilmesi ve bunun için en uygun ilave metal seçilmesi, oldukça zor bir işittir. Ayrıca ana malzemelerin ve ilave metalin özelliklerinin bilinmesi doğru analizler yapabilmek için çok önemlidir. Aynı iki cins malzemenin elde edilen kaynak dikişi yalnız ilave metalden meydana gelmez, aynı zamanda iki esas malzemenin de önemli miktarda alaşım elementi bulundurur. Farklı metallerin birleştirilmesi esnasında kullanılan malzemelerin ve ilave metallerin türlerine, kimyasal kompozisyonlarına ve kaynak şartlarına bağlı olarak seyrelme ve mikroyapıda farklılıklar meydana gelmektedir (3,4). Doğal olarak kaynak metali içerisinde birleştirilen iki malzemenin yanında birleştirmede kullanılan ilave metalde kaynak metali kompozisyonunda bulunmaktadır (5).

Farklı türlerdeki paslanmaz çelikler ile inconel malzemelerin birleştirilmesinde tozaltı ark kaynağı, tungsten inert gaz kaynağı ve gaz metal ark kaynağı gibi kaynak yöntemleri ile çeşitli nikel, nikel esaslı inconel ve paslanmaz çelik ilave metaller kullanılmaktadır (4-7).

Ostenitik paslanmaz çelikler yüksek sıcaklık uygulamalarında inconel malzemeler için iyi bir alternatiftir. Bu yüzden birleştirme işleminde 304L paslanmaz çelik ve inconel 625 kullanılarak farklı tür ilave metaller ile etkin bir dikiş bağlantısı elde edilmesi benimsenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda AISI 304 L östenitik paslanmaz çelik ve Inconel 625 süper alaşım çelik levhalar kullanılmıştır. Birleştirilen malzemelerin kimyasal kompozisyonları Tablo 1 'de verilmiştir. 350x150x10 mm<sup>3</sup> boyutlarında kullanılan plakalara 60° tek taraflı kaynak ağzı açılmış ve 3 mm kök aralığı bırakılmıştır. Isı girdisi 2,05-2,38 aralığında hesaplanmıştır. Birleştirmeler seramik altlık kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemleri çok pasolu olarak TIG kaynak yöntemi ile kök korumalı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda iki farklı ilave metal (ER310, ERNiCrMo3) kullanılarak kullanılmıştır. Ana malzemeler ve ilave metalin kimyasal kompozisyonu Tablo 1.'de verilmiştir. Koruyucu gaz ve kök gazı olarak Argon kullanılmıştır.

Çentik darbe deneyi için, kaynak metalinden numuneler çıkarılmış ve referans sıcaklık olarak tüm kaynaklı levhalar için -60°C, -20°C, 20°C 'de test sıcaklıkları da kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Kaynak edilmiş parçalardan çeşitli boyutlarda çıkarılan kaynak numuneleri

mikroyapı incelemeleri metalografik işlemlere tabi tutulmuştur. Mikroyapı incelemeleri için zımparalama ve parlatma işlemine tabi tutulan numuneler, 3:1 oranında HCl ve NOH<sub>3</sub> çözeltisinde 10,4V 'ta 15sn tutularak elektrolitik olarak dağlanmıştır. Dağlama işleminden sonra kaynaklı numunelerin makro ve mikroyapıları incelenmiştir. Kaynak metalinin mikroyapısı ve çentik darbe deneyi sonucu oluşan kırılma yüzey morfolojileri JEOL JSM-6060LV marka Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır. Birleştirilen kaynaklı levhalardan çıkarılan enine kesit numuneler, Foundry Master Pro marka Optik Emisyon Spektrometre ile % ağırlık olarak elementer analizleri gerçekleştirilmiştir. Metalografik inceleme için hazırlanan numunelere sertlik ölçümleri alınmıştır. Mikrosertlik işlemi EmcoDuravision250 marka cihaz ile, görüntü kontrollü, 1000 gr yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Malzeme ve İlave Metal

İlave Metaller	Ni	Cr	Mn	Si	Mo	C	Nb
ER310	21	26	1,8	0,4	<0,3	0,1	0,5
ERNiCrMo3	58	22	0,2	0,2	9	0,04	3,45

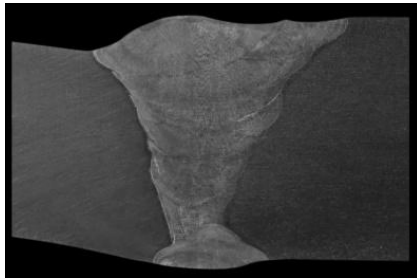
  

Malzeme	Ni	Cr	C	Mn	Si	Mo	Nb
Inconel 625	61,10	21,70	0,020	0,05	0,11	8,60	3,4
304 L	8,01	18,6	0,024	1,43	0,41	0,26	--

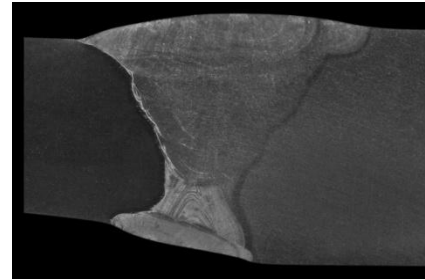
### 3. Deney Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Makro ve Mikroyapı

Farklı ilave metaller ile birleştirilen 304L-Inconel 625 malzeme çiftinin makro görüntüleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Çok pasolu olarak gerçekleştirilmiş olan kaynakta makro görüntülerinde herhangi bir hata ile karşılaşılmamıştır. Kök bölgesindeki sarkma mevcut değildir ve herhangi bir çentik oluşumu meydana gelmemiştir. Ergime sınırları ve pasolararası herhangi bir süreksizlik ve hata bulunmamaktadır.



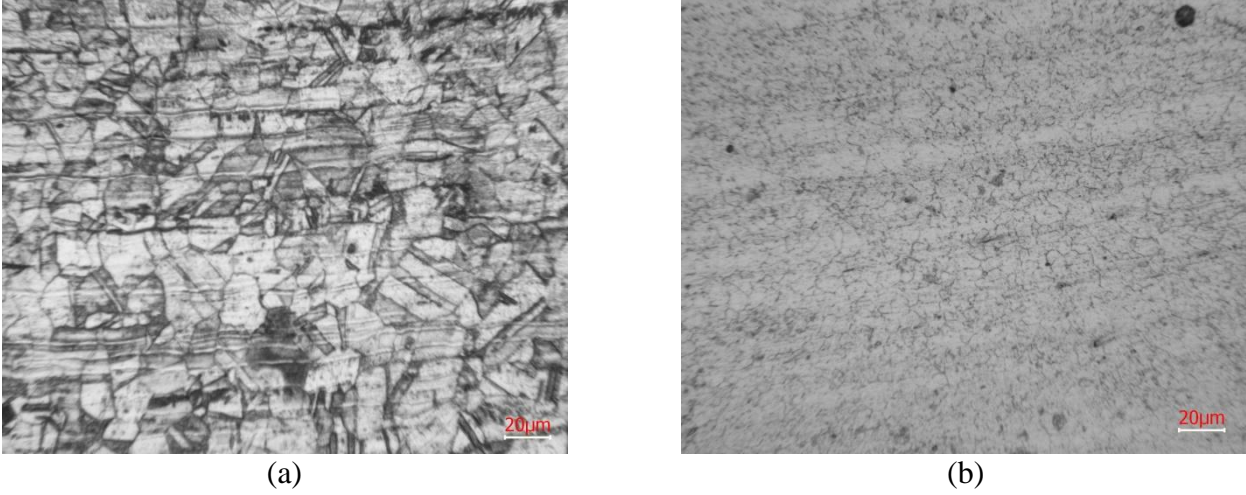
(a)



(b)

Şekil1. Makrograflar a) ER310 b)ERNiCrMo3 kaynak metali

Benzer olmayan metallerin birleştirilmesinde kullanılan 304L ostenitik paslanmaz çelik malzemeye ait mikroyapı görüntüsü Şekil 2a'da gösterilmiştir.

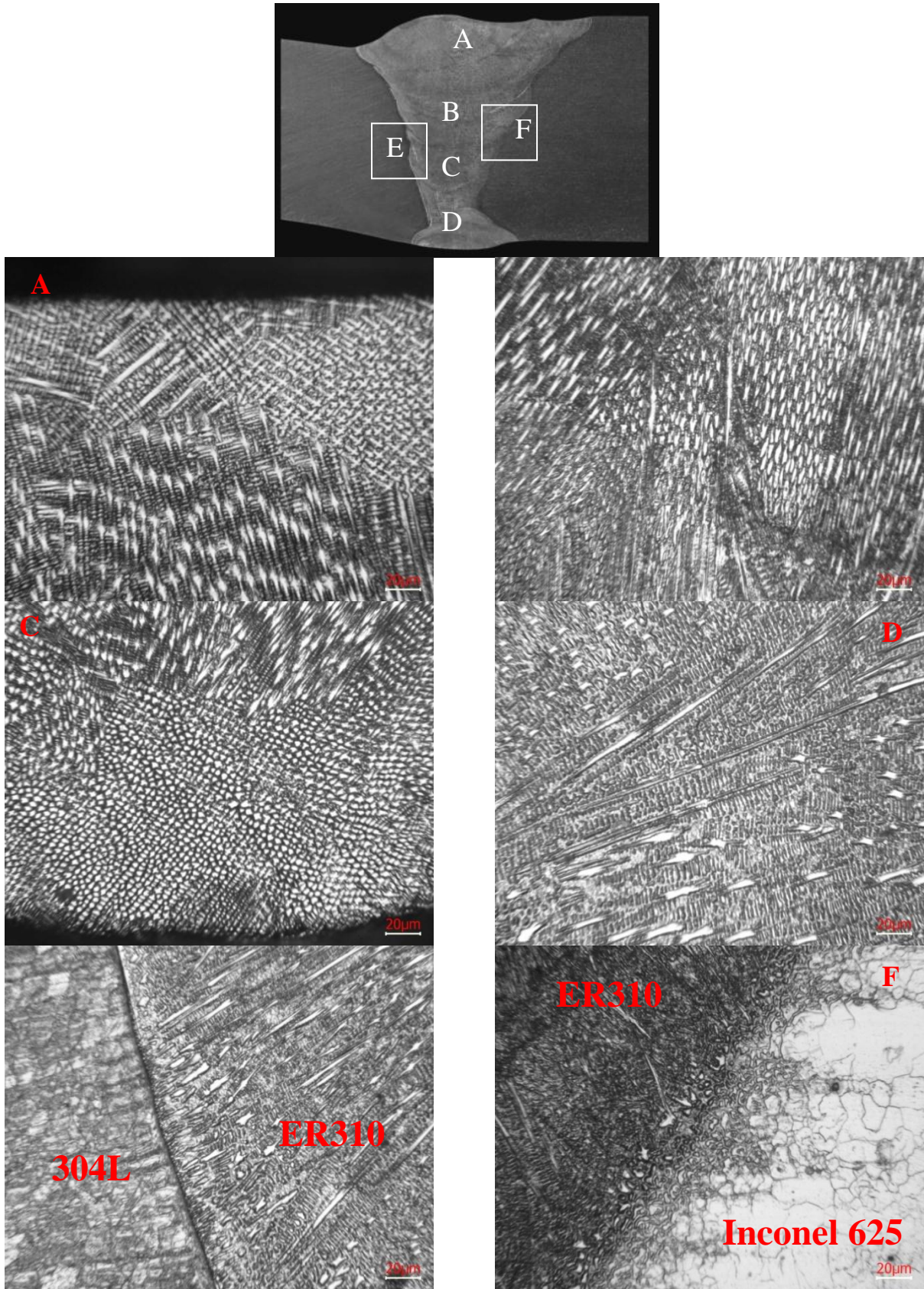


Şekil 2. Malzeme a)304L b)Inconel625

304L paslanmaz çelik malzeme ostenitik grup içerisinde yer almakta ve mikroyapıda çok az miktarda ferrit içermektedir. Ostenitik yapı genel olarak eş eksenli tane yapısı içerir. Ancak üretim esnasında bir miktar ferrit (delta ferrit) yüksek sıcaklıkta haddeleme yönü boyunca dizilebilmektedir. Bu katılaşma ve termo-mekanik işleme sırasında krom gibi ferrit oluşturuç elementlerinin segregasyonu olarak sonuçlanmaktadır(5). Eş eksenli ostenit taneleri, buna ilave olarak ufak miktarlarda ferrit kalıntıları ve  $Al_2O_3$  olması muhtemel küresel şekilli inklüzyonlar bulunmaktadır (4). Katı çözeltili mukavemetlendirilmiş nikel bazlı malzemelerin mikroyapısı ostenit olarak katılaşır ve katılaşma sonunda mikroyapıda meydana gelen segregasyonlar hariç tamamen ostenitiktir (8) (Şekil 2b).

ER310 ostenitik paslanmaz çelik ile elde edilen birleştirmede elde edilen Şekil 3'de gösterilmiştir. İlave metalin katılaşma modu diğer ostenitik paslanmaz çeliklerin tersine ostenit-ferrit modunda (AF) meydana gelmektedir. Yapılan mikroyapı çalışmalarından görüldüğü kadarı ile 304L ve Inconel 625 malzeme çiftinin birleştirilmesinde soğuma hızı ve katılaşmanın oldukça önemli olduğu görülmektedir. Soğuma hızının kaynak metali mikroyapısındaki etkisi; hızlı soğuma ferrit, yavaş soğuma ise ostenit fazlarının oluşumunda etkili olmaktadır(10). Kapak pasonun olduğu bölgede malzeme hızlı soğumaya maruz kaldığından ve tekrar bir ısı işleme maruz kalmadığı için ferrit miktarındaki artış kaçınılmazdır. Mikroyapı resimleri incelendiğinde birincil dentritler ostenit (koyu bölgeler), dentritler arası ötektik ferrit (açık bölgeler) olarak gerçekleşmektedir(9). Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde kaynak metali kapak pasosunda ferrit miktarının soğuma hızının yüksek olmasından dolayı arttığı görülmüştür. Aynı durum kök pasosunda da geçerlidir.

Ara pasolarda ferrit miktarının biraz azaldığı gözlenmiştir. Katılaşma hızı ve pasolar arası ısı işleminin etkisi ile bazı bölgelerde düzenli yapı gözlenirse de genellikle ostenit tanelerinin doğrusal bir uzaması mevcuttur. Isı etkisi altında kalan bölgelerin mikroyapısı ise ana malzemelerin türüne göre farklılık göstermektedir. 304L bölgesinde ostenitik yapı sebebi ile hiçbir tane büyümesi gerçekleşmemiştir. Fakat ergime bölgesinden sonraki bölgede ferrit tanelerinin doğrusal uzama gerçekleştirdiği ve oran olarak ferrit tanelerinin kaynak metalinin diğer bölgelerine göre daha fazla yer aldığı bir yapı görülmüştür. Bu durumun 304L ana malzemenin seyrelmesi sonucu ilave metalin elementleri ile karışması sonucu elde edilen yeni kimyasal değerlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Inconel 625 tarafının IEB bölgesi incelendiğinde, yüksek nikel içeriği sebebi ile katılaşmanın hemen hemen ostenit olarak gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3. ER310 ilave metali ile birleştirilen 304L-Inconel 625 malzeme çiftinin mikroyapı görüntüleri

Katılaşma üç adımı kapsar; birincil katılaşma on L (Sıvı)  $\rightarrow \gamma$  (Ostenit) , buna mütakip ikincil katılaşma reaksiyonun da L (sıvı)  $\rightarrow (\gamma + NbC)$  meydana gelir. Devam eden geniş sıcaklık aralığını takiben son ötektik reaksiyonu L (sıvı)  $\rightarrow (\gamma + \text{İntermetalik fazlar oluşur})$  meydana gelir. Bu durum daha düşük sıcaklık aralıklarında oluşur. İntermetalik fazların kimyasal kompozisyonu (Fe + Cr + Ni, 64.4% (in at.%) ve (Nb + Mo + Ti, 35.6%), bu durum intermetalik fazların formları ( $A_2B$ ) ile uyum sağlar (A: Ni, Cr, Fe; B: Nb, Mo, Ti). Genel olarak interdentirik fazlar Nb bakımından zengindir ve bu fazların morfolojileri dentritlerin yapısı ile ilgilidir. Bu fazlar birbirine birleşik bir ağ oluşturabilir. İntermetalik fazlar doğası gereği kırılğan olması nedeni ile kaynak metalinin kötü çekme süneklik, kırılma tokluğu, yorgunluk ve sürünme kopma özelliklerine neden olur (11-12).

Katı çözeltiyle mukavemetlendirilmiş nikel bazlı malzemelerin IEB bölgesinde bu malzemelerin kaynak kabiliyetini ve özellikleri etkileyebilen bir takım reaksiyonlar olur. Bu reaksiyonlar yeniden kristalleşme, tane büyümesi, çökeltme oluşumu, tane sınırı segregasyonu ve sıvılaşmasıdır. Çoğu nikel alaşımı tavlanmış halde üretilip satıldığından, bu malzemelerde yeniden kristalleşme meydana gelmez. Bu tür malzemelerde sadece IEB de tane büyümesi meydana gelir(8). Tane büyümesinin miktarı kaynak esnasındaki ısı girdisine ve ana malzemenin mikro yapısına bağlıdır. Inconel 625 tarafındaki IEB bölgesi incelendiğinde epitaksiyel büyüme ile tane sınırı kalınlaşması açık olarak görülmektedir. Bu durum, bölgedeki ikincil fazların az ergime oluşumundan kaynaklanabilir.

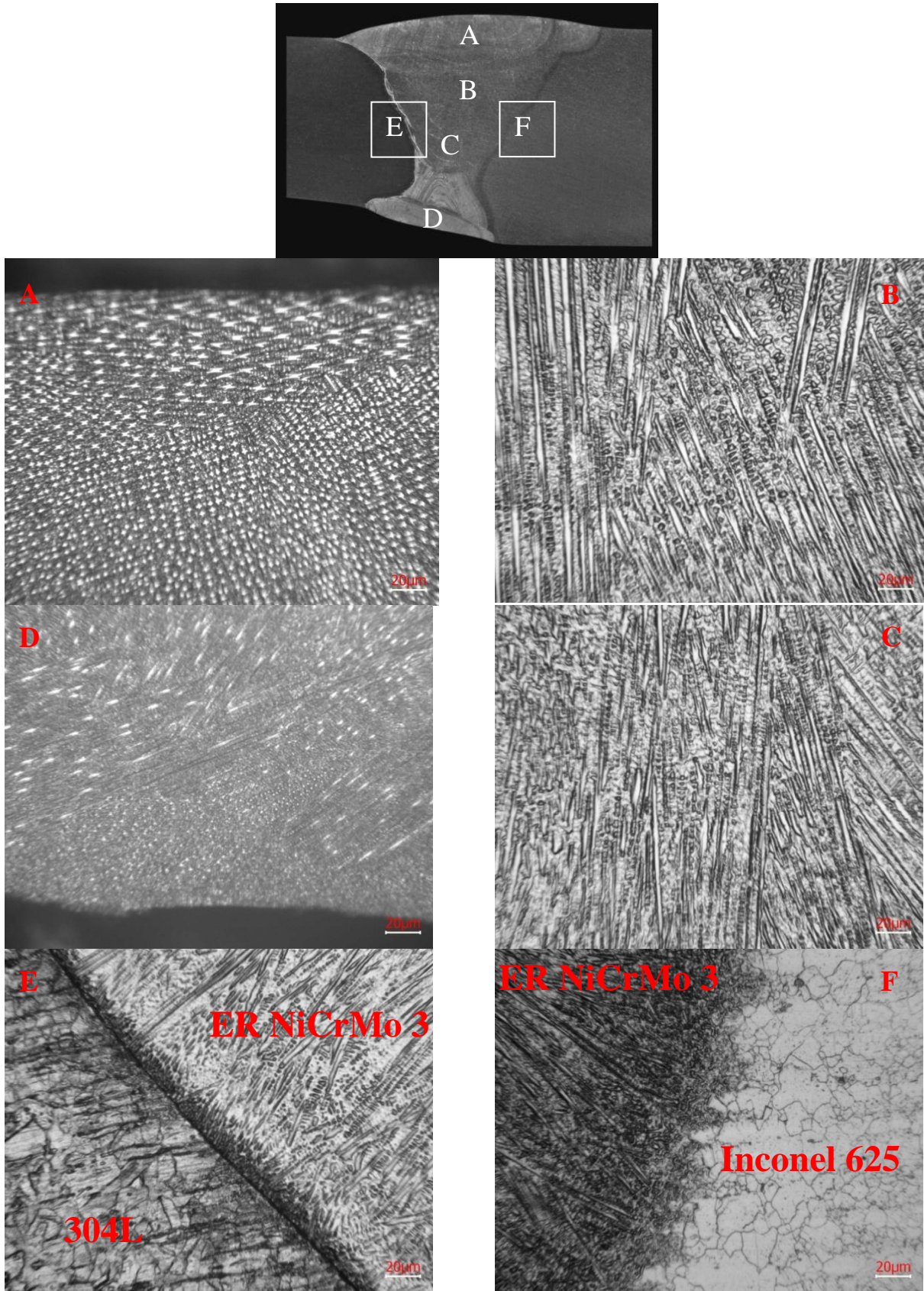
Inconel 625 tarafına yakın olan kaynak mikroyapısında eş eksenli dentritik kollarında bazı taneler arası ve taneler içi çökelti bulunmaktadı. 304L tarafında ise ergime sınırı boyunca tane sınırı kalınlaşması mevcut olup ostenitik paslanmaz çeliklerin yapısı gereği tane büyümesi bulunmamaktadır. Kaynak metali mikroyapısı daha açık tonda görülen dendritler arasındaki Nb ve Mo gibi ağır metallerin segregasyonunda dolayı, koyu dendritik ağ ters ışınımlı elektron mikroskopunda daha açıkça görülür (13).

### 3.2. Kimyasal Analiz

ER310 ve ERNiCrMo3 ilave metalleri ile birleştirilen 304L-Inconel 625 malzeme çiftinin kaynak metalinden kimyasal analiz sonuçları alınarak ergime sonucu meydana gelen kaynak metalinin kimyasal kompozisyonundaki değişiklikler araştırılmıştır. Analiz ölçümlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; Inconel 625 malzemenin Ni içeriği sebebi ile ER310 ilave metali ile yapılan birleştirmede, ilave metalin Ni içeriği %21 olmasına karşın kaynak metalinde bu değer %25,28’e çıkmıştır. Diğer fark gösteren durum Mo içeriğinde olmuştur. ER310 ilave metali ile yapılan birleştirmede, ilave metalin Mo içeriği <%0,3olmasına rağmen kaynak metaline Inconel 625 tarafında meydana gelen seyrelme ile bu değer % 1,48 ‘e çıkmıştır. Her iki ilave metal ile yapılan birleştirmede Cr miktarında ise önemli değişiklikler meydana gelmemiştir.

Tablo 2. 304L-Inconel 625 malzeme çiftinin kaynak metalinden alınan elementel analiz sonuçları

	Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Nb	Ti	Al
ER310	47,2	0,0694	0,336	1,31	23,23	1,48	25,28	0,537	0,0313	0,0618
ERNiCrMo3	6,78	0,0304	0,0932	0,136	22,2	7,88	58,8	3,45	0,126	0,286

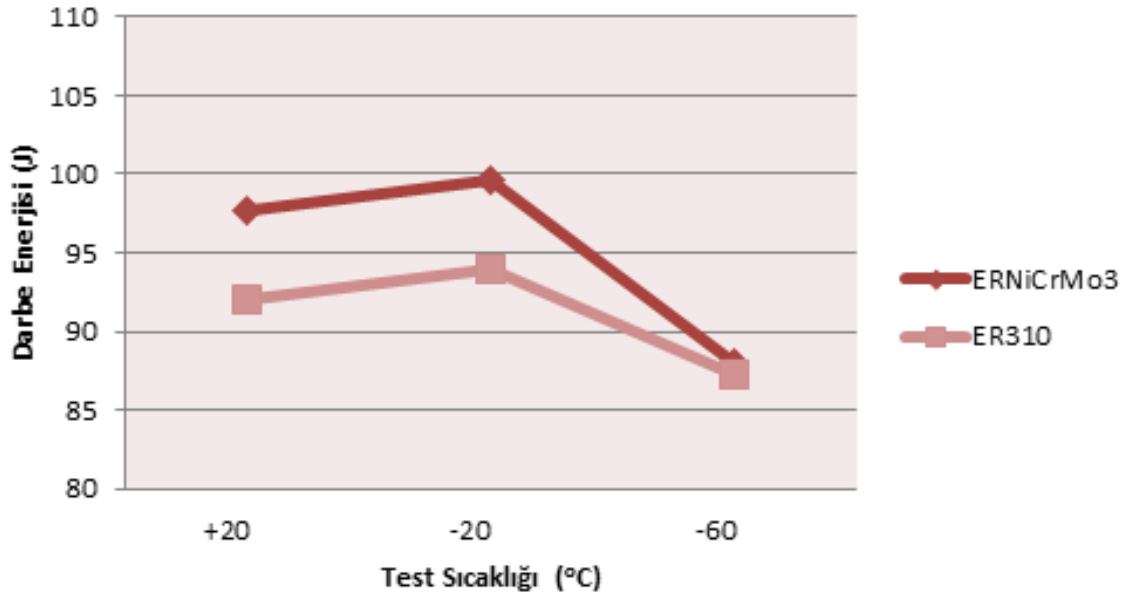


Şekil 4. ERNiCrMo3 ilave metali ile birleştirilen 304L-Inconel 625 malzeme çiftinin mikroyapı görüntüleri

### 3.3. Çentik Darbe Testi ve Kırılma Yüzeyi İncelemeleri

İlave metallerin birleştirilen 304L-Inconel 625 benzer olmayan malzemenin kaynak metalindeki çentik darbe tokluğuna etkisini incelemek amacı ile hazırlanan numunelere 20, -20 ve -60 °C deney sıcaklıklarında çentik darbe testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiksel olarak Şekil 5’de gösterilmiştir. Darbe deneyi sonuçlarında, ilave metal kimyasal içeriği ve deney sıcaklığının Charpy-V darbe tokluğunu etkilediği belirlenmiştir.

ERNiCrMo3 ilave metali ile birleştirilen numunenin darbe tokluk değerleri test sıcaklığına bağlı olarak 100-88 Joule arasında değişmektedir. ER310 ilave metali kullanılarak yapılan numunelerde bu değer 92-87 Joule olarak elde edilmiştir. Çentik darbe deneylerinde ERNiCrMo3 ilave metalinin tokluğu ER310 paslanmaz çelik ilave metaline oranla az da olsa yüksektir. -60 °C ’de yapılan deneylerde her iki kaynak metalinde de aynı değerler elde edilmiştir.



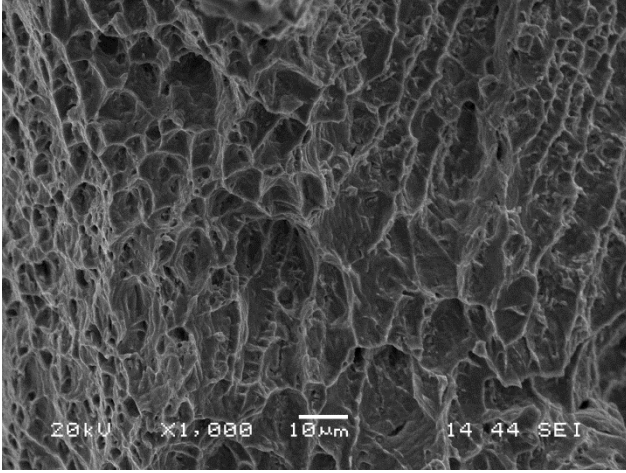
Şekil 5. Koruyucu gaz kompozisyonuna göre elde edilen ortalama çentik darbe enerjileri

ER310 ilave metali ile birleştirilen 304L ve Inconel 625 malzemelerin oda sıcaklığında ve -60 °C uygulanan çentik darbe deneyi sonucu oluşan kırılma yüzeylerinin SEM fotoğrafları Şekil 6’da gösterilmiştir. Kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde; genel olarak kırılma yüzey morfolojisi ostenitik paslanmaz çeliklerin kırılma yüzey morfolojisini sergilemekte, gamze şeklinde delikli bir ağ gibi kırılma yüzeyi görülmektedir. Bu görüntüye sahip kaynaklı birleştirmelerin sünek bir kırılma davranışı gösterdiği fakat -60 °C’de yapılan testlerde yer yer gevrek bölgelerin olduğu görülmüştür.

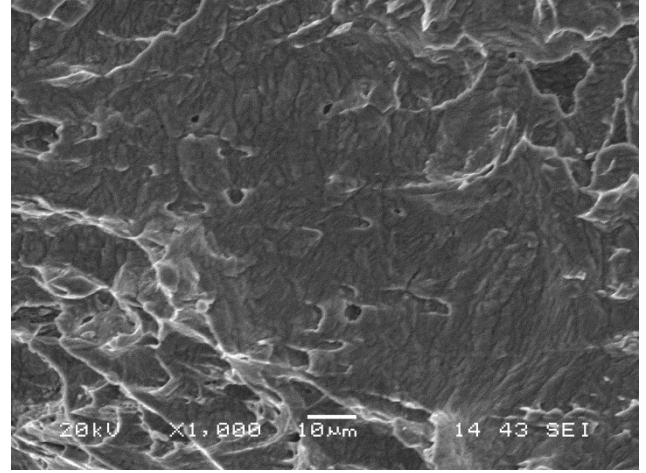
ERNiCrMo3 ilave metalin kullanıldığı birleştirmede kırılma yüzeyleri ER 310 ilave metaline göre biraz daha farklıdır. Özellikle SEM görüntülerinde fark edilen parlak Nb ve Mo gibi metallerin oluşturduğu intermetalik fazların olduğu düşünülmektedir. ER 310 ilave metaline benzer çukurlar matris içerisinde bulunmamaktadır. -60 °C’de yapılan testlerde az da olsa gevrek kırılma bölgeleri ve derin çukurlar bulunmaktadır.



## ER 310

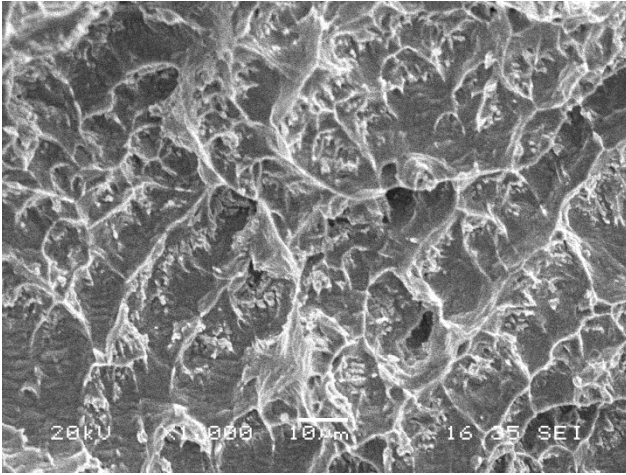


+20 °C

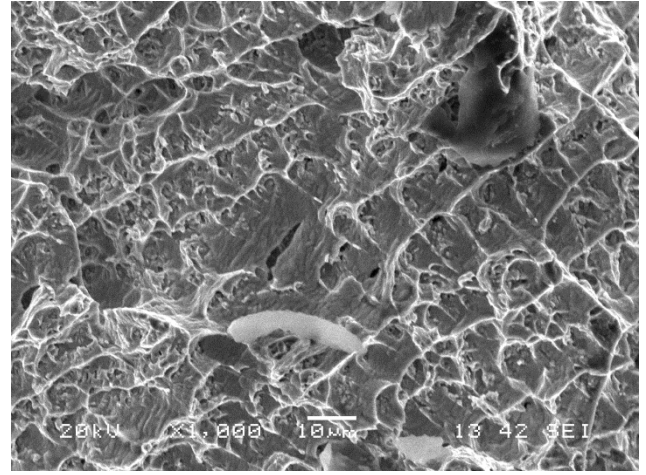


-60 °C

## ER NiCrMo3



+20 °C

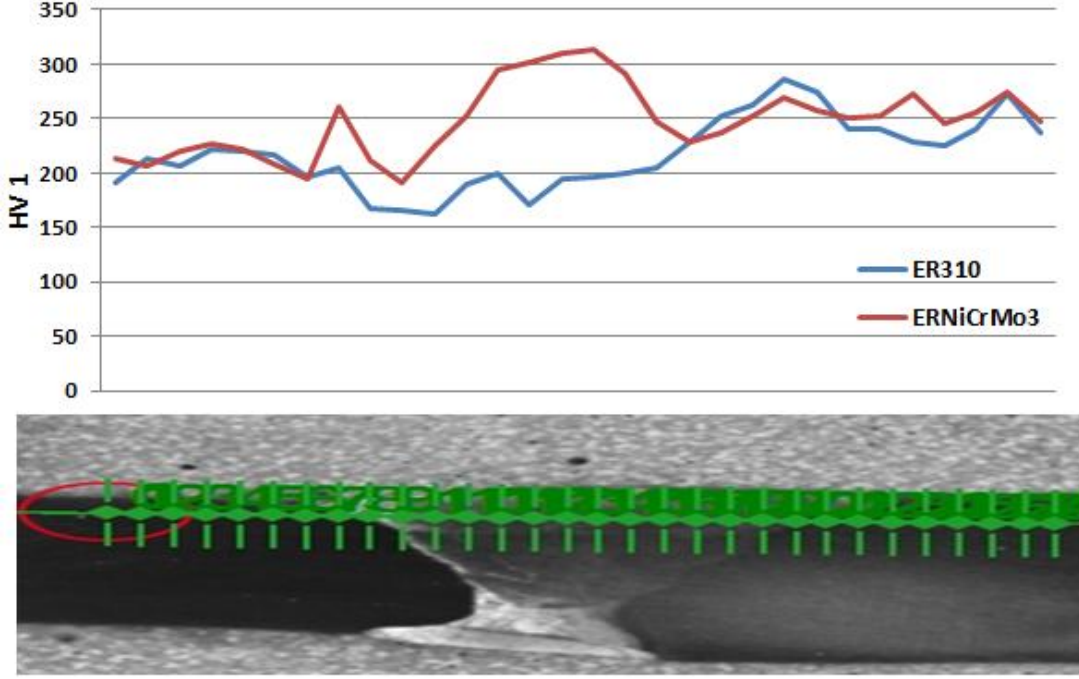


-60 °C

Şekil 6. Çentik darbe numunelerinin kırılma yüzeyleri SEM görüntüleri

**3.4. Mikrosertlik Deneyi**

TIG yöntemi ile birleştirilen 304L-Inconel 625 malzeme çiftinin kaynak bölgesi kesitinden alınan mikrosertlik değerleri grafiksel olarak Şekil 7'de gösterilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin kaynak metalindeki sertlik değerleri ER310 ilave metali ile yapılan birleştirmede 163-287 HV<sub>0,1</sub>, ERNiCrMo3 ilave metalinde ise 191-310 HV<sub>0,1</sub> arasındadır. Kaynak metali ve ITAB'dan alınan mikrosertlik değerlerine bakıldığında en sert bölge ERNiCrMo3 ile birleştirilen kaynak metalindedir. ERNiCrMo3 kaynak metali içerisindeki Mo içeriği, yüksek Ni içeriğine rağmen kaynak metalinin sertliğini artırmıştır. Ayrıca Inconel 625 kaynak metali IEB (Isı etkisi altındaki bölge)'e yakın bölgede meydana gelen seyrelme nedeni ile kaynak metali sertliğinde bir miktar artış meydana gelmiştir.



Şekil 7. Kaynak metalleri mikrosertlik değerleri

#### 4. Sonuçlar

- ER310 kaynak metaline uygulanan çentik darbe testlerinde oda sıcaklığı ve  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, ERNiCrMo3 'e göre daha düşük değerler elde edilmiştir.
- Isı etkisi altında kalan bölgelerin mikroyapısı ana malzemelerin türüne göre farklılık göstermektedir.
- Kaynak metali ve ITAB'dan alınan mikrosertlik değerlerine bakıldığında en sert bölge ERNiCrMo3 ile birleştirilen kaynak metalindedir.
- Ana malzemelerin ergimesi sonucu kaynak metalinin elementel içeriği etkilenmiştir.

#### 5. Teşekkürler

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi tarafından desteklenen projenin bir parçası olarak gerçekleştirildi (Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (BAPK 2014-09)). Çalışmalara destek veren Anadolu Döküm'e teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- [1] Korrapati P.K., Avasarala V.K., Bhushan M., Ramkumar K.D., Arivazhagan N., Narayanan S., Assessment of Mechanical properties of PCGTA weldments of Inconel 625, Procedia Engineering, 75, (2014 ), 9–13

- [2] Kumar K.G., Ramkumar K.D., Arivazhagan N., Characterization of metallurgical and mechanical properties on the multi-pass welding of Inconel 625 and AISI 316L, *Journal of Mechanical Science and Technology* 29 (3), (2015), 1039-1047
- [3] Sireesha M., Shankar V., Albert S.K., Sundaresan S., Microstructural features of dissimilar welds between 316LN austenitic stainless steel and alloy 800, *Materials Science and Engineering A292*, (2000), 74–82
- [4] Sireesha M., , Albert S.K., Shankar V., Sundaresan S., A comparative evaluation of welding consumables for dissimilar welds between 316LN austenitic stainless steel and Alloy 800, *J. Nucl. Mater.* 279: 1, (2000), 65–76
- [5] Lippold J.C., Kotecki D.J., *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*, John Wiley&Sons, Amerika, 8-16, (2005)
- [6] Wang S., Ma Q., Li Y., Characterization of microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of dissimilar welded joint between 2205 duplex stainless steel and 16MnR, *Materials and Design* 32, (2011), 831–837
- [7] Jang C., Lee J., Kim J.S., Jin T.E., Mechanical property variation within Inconel 82/182 dissimilar metal weld between low alloy steel and 316 stainless steel, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 85, (2008), 635–646
- [8] John ND., Lippold J.C., Samuel D.K., *Welding Metallurgy And Weldability of Nickel-Base Alloys* 57-83, 2009
- [9] Khalifeh A.R., Dehghan A., Hajjari E., Dissimilar Joining of AISI 304L/St37 Steels by TIG Welding Process, *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.)* Vol.26, No. 6, (2013), 721-727
- [10] Gunn N.R., *Duplex Stainless Steels*, Abington Publishing, England, (1997)
- [11] Silva C.C., Miranda H.C., Motta M.F., Farias J.P., Afonso C.R.M., Ramirez A.J., New insight on the solidification path of an alloy 625 weld overlay, *Journal of Material Resaerch Technology*, 2(3), (2013), 228–237
- [12] Ram G.D.J., Reddy A.V., Rao K.P., Reddy G.M., Sundar J.K.S., *J. Mater. Process Technol.* 167 (2005), 73-82
- [13] Sridhar R., Devendranath R.K., Arivazhagan N., Characterization of Microstructure, Strength, and Toughness of Dissimilar Weldments of Inconel 625 and Duplex Stainless Steel SAF 2205, *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.)*, 27(6), (2014), 1018–1030