

	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	<b>e-ISSN: 2147-835X</b> <b>Dergi sayfası: <a href="http://www.saujs.sakarya.edu.tr">http://www.saujs.sakarya.edu.tr</a></b>		
	<u>Gelis/Received</u> 01.11.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 10.11.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.348477	

## Inconel 718 süper alaşımın plazma ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde akım şiddetinin etkisi

Nida Katı\*, Mustafa Bölükbaşı, Sermin Ozan

### ÖZ

Bu çalışmada Havacılık ve Nükleer enerji sektöründe sıklıkla kullanılmakta olan Nikel bazlı Inconel 718 süper alaşımı plazma Kaynağı ile birleştirilmiştir ve birleştirme işleminde 130-140-160-180 ve 200 A olmak üzere beş farklı akım kullanılarak akım şiddetinin kaynaklı birleştirme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan kaynak işleminde ilerleme hızı 0,1 m/dk ve gaz debisi ise 0,5 lt/dk. Olarak sabit tutulmuş olup, kaynak işlemi numunelerin sadece tek yüzeyine uygulanmıştır. Kaynak işlemi sonrasında numunelere çekme testi uygulanmış ve mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda numunelerin birleşme noktalarında akım şiddetinin artması ile birlikte nüfuziyetin ve çekme mukavemetinin arttığı sertlik değerlerinin ise akım şiddetinden etkilenmediği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** süper alaşım, inconel 718, plazma kaynağı.

## The Effect of current intensity on joining the Inconel 718 super alloy with the plasma arc welding method

### ABSTRACT

In this study, Nickel-based Inconel 718 super alloy, which is frequently used in aerospace and nuclear energy, is combined with Plasma Welding Method. The effect of current density was investigated by using five different currents 130-140-160-180 and 200A in the coupling process. The speed of progress of the welding process is 0,1 m / min and gas flow is 0,5 lt / min. and the welding process is applied to only one surface of the sample. Tensile tests were applied to the samples and microhardness measurements were made after welding. As a result of the study, it was observed that the penetration with increasing current intensity at the junction points of the samples and the hardness values with increasing tensile strength were not affected by the current intensity.

**Keywords:** süper alloys, inconel 718, plazma welding,

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Süper alaşım ailesinin demir-nikel bazlı grubunda bulunan Inconel 718, çökeltme sertleşmesi sayesinde yüksek mukavemet değerlerine sahip olabilmekte ve dayanımını 650°C'ye kadar koruyabilmektedir. Dolayısıyla Inconel 718; uçak motorları, nükleer tesisler gibi yüksek sıcaklık dayanımı ve mukavemeti istenen uygulamalarda aranan malzeme grubu haline gelmiştir [1]. PTA kaynak yöntemi: Metallerin bir tungsten elektrod ve bir iş parçası arasında oluşturulan bir ark ile iletilen ısı sayesinde gazla korunan ark kaynağı işlemi olarak tanımlanabilir. Ark bakır alaşımli nozul deliği tarafından bir ark sütunu oluşturmak için yüksek oranda sıkıştırılır. Plazma, plazma gazının bir kısmının iyonlaştırılması yoluyla oluşur [2]. PTA kaynak yöntemi, üretim kaynağı olarak uzay endüstrisi, havacılık ve nükleer endüstrilerde çok yaygın kullanıma girmiştir. Özellikle dikiş kalitesi, güvenilirliği ve ekonomiklik açısından kabul edilen bir yöntemdir. GTA kaynak yöntemi ile kaynak edilebilen tüm metal ve alaşımları PTA kaynak yöntemi ile de güvenilir bir biçimde kaynak edilirler [3]. PTA kaynak yöntemi diğer ergitme kaynak yöntemleriyle karşılaştırıldığında yüksek sıcaklık, yüksek enerji girdisi, düşük termal girdi ve düşük üretim maliyeti gibi avantajlara sahiptir [4]. Choi, J.-P. Vd.; Inconel 718 süper alaşımını lazer ergitme yöntemi ile birleştirmişler, lazer tarama hızını çalışma parametresi olarak seçmişlerdir. Ergitme havuzunda hızlı soğuma nedeniyle sütun şekilli taneler gözlemlemiş ve istenilen özellikte mikroyapı ve yoğunlaşma bulgularını elde etmişlerdir [5]. Damodaram, R. Vd.; Inconel 718 süper alaşımını sürütme kaynağı ile birleştirmişler, kaynak öncesi ve kaynak sonrası yaptıkları ısıl işlemlerin sonucunda, kaynak sonrası yapılan ısıl işlemin daha yüksek mukavemet ve sertlik meydana getirdiği sonucuna ulaşmışlardır [6]. Ramkumar, K.D. vd Inconel 718 süper alaşımı ile AISI 316 paslanmaz çeliğini sürekli akım ve darbeli akım GTA kaynak yöntemleri ile birleştirmişler ve nikel alaşım kaplı dolgu teli olan ERNiCu-7 kullanmışlardır. Çalışma sonucunda dolgu telinin kaynak bölgesinde zararlı fazlar ortaya çıkarmadığını tespit etmiş, yapılan çekme deneylerinde kopmanın AISI 316 malzemesinde olduğunu gözlemlemiş ve sürekli akım kullanılan birleştirmelerde daha iyi metalurjik ve mekanik özellik elde etmişlerdir[7]. Mei, Y.vd.; Inconel

718 süper alaşımını EB kaynak yöntemi ile birleştirmişlerdir. Çalışma sonunda kaynak havuzu ve ITAB'daki mikroyapıda tane büyümesi meydana geldiğini ve ITAB da çatlak olasılığının ana metalin tane boyutuna ve kaynak hızına bağlı olduğunu belirtmişlerdir[8]. Ramkumar, K.D vd.; Inconel 718 süper alaşımını GTA kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve kaynak sırasında TiO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub> dolgu malzemesi kullanmışlardır. TiO<sub>2</sub> takviyeli kaynakların SiO<sub>2</sub> takviyeli kaynaklara göre daha yüksek çekme mukavemeti gösterdiğini belirlemişlerdir [9]. You, X. Vd.; Inconel 718 süper alaşımını elektron ışını ile ergiterek, ısıl işleminin çözültideki etkisini araştırmışlardır. Çözeltiye alma işleminin elektron ışını ile ergitilen Inconel 718 süper alaşımının mukavemetinin artışında çok ciddi rol oynadığını gözlemlemişlerdir [10]. Chen, J. vd; yaptıkları çalışmada Ti-6Al-4V süper alaşımını PTA ve GTA kaynak yöntemleri ile birleştirmişler, çalışma sonucunda PTA kaynak işleminde ısı girdisi kontrolünü daha kolay sağladıklarını ve PTA kaynak işlemi ile birleştirilen numunelerde daha iyi mekanik özellikler ortaya çıktığını tespit etmişlerdir [11]. Chun-Ming Lin vd. ; yaptıkları çalışmada ASM 6431 çeliğini PTA kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve numunelere temperleme ısıl işlemi uygulamışlardır. Isıl işlemin kaynak bölgesinde sertlik ve gerilme mukavemetini azalttığını gözlemlemişlerdir [12]. Dikbaş, H.; yaptığı çalışmada Ti6Al4V süper alaşımını PTA kaynak yöntemi ile birleştirmiştir. Çalışma sonucunda yorulma dayanımının kaynak gücü ile doğru, ilerleme hızı ile ters olarak değiştiğini, ilerleme hızının artması ve ısı girdisinin azalması sonucunda sertlik değerlerinin düştüğünü tespit etmiştir[13].

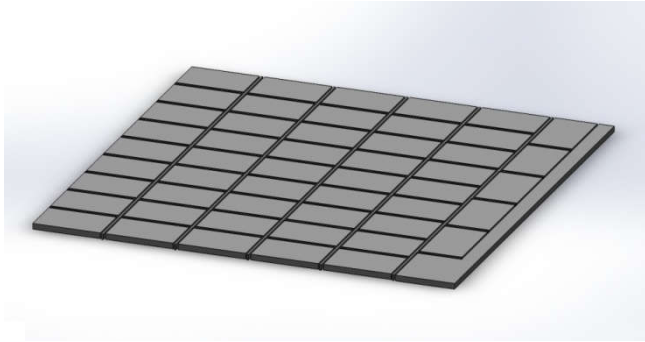
## 2. MATERYAL VE METOD (GENERAL REQUIREMENTS)

Çalışmada piyasadan 500x500x6 mm ölçülerinde plaka olarak temin edilen Inconel 718 süper alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşıma ait kimyasal analiz Tablo 1'de gösterilmiştir.-

Tablo 1. Inconel 718 malzemesine ait spektral analiz

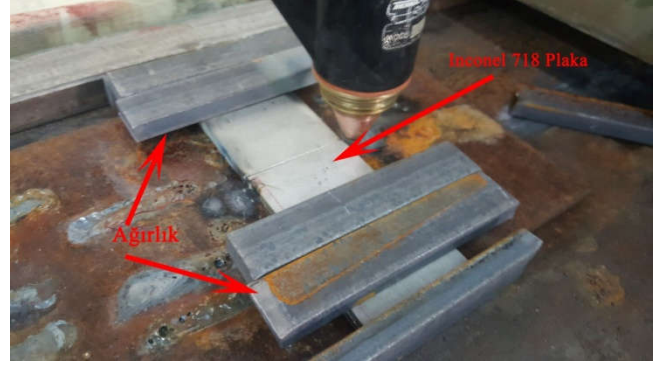
Ni	52,2	W	0,01
Cr	19,1	Si	0,05
Fe	17,8	V	0,05
Nb	4,6	Cu	0,03
Mo	3,4	C	0,04
Ti	1,34	S	0,01
Al	0,34	P	0,01
Co	0,27	Pb	0,01
Mn	0,23		

Inconel718 plaka, kaynak işlemi için Şekil 1’de şematik olarak gösterildiği üzere 80x50x6 mm ebatlarında lazer kesim tezgâhındakesilmiştir.



Şekil 1.Lazer ile kesilen Inconel 718 plakasının şematik görseli

Lazer ile 80x50x6 mm boyutlarında kesilen plakalar kaynak işlemi öncesi fırçalanarak yüzeyleri temizlenmiştir. Daha sonra plakalar PTA kaynak tezgâhınaŞekil 2’de de görüldüğü gibi kaynak torcunun ilerlediği yöne paralel olarak yerleştirilmiştir. Yerleştirilenmalzemelerin kaynak işlemi esnasında hareket etmesini engellemek için ağırlıklar yerleştirilmiştir.



Şekil 2.PTA kaynak işlemi öncesi plakaların plazma kaynak makinesi tablasına yerleştirilmesi

PTA kaynak yöntemi ile kaynak işlemine başlanmadan önce, kaynak parametrelerini belirlemek için bazı deneme birleştirmeleri gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlara göre numunelerin birleştirilme parametreleri belirlenmiştir. Kaynak işlemlerinde akım değişken olarak belirlenmiş olup PTA torcu 0,1 m/dk sabit hızda ilerlemiştir. Plazma ve koruyucu gaz olarak Argon gazı kullanılmış ve gazların debisi 0,5 lt/dk olarak belirlenmiştir. Numunelere ait kaynak parametreleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kaynak parametreleri

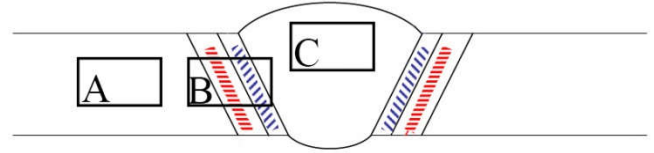
Numune Numarası	Akım (A)	Gaz Debisi (lt/dk)
N1	130	0,5
N2	140	0,5
N3	160	0,5
N4	180	0,5
N5	200	0,5

Kaynak işlemi dolgu teli kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Kaynaklanan numunelere kaynak işlemi veya sonrası herhangi bir ısıl işlem uygulanmamış, kaynak sonrası numuneler havada soğumaya bırakılmıştır. PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen numuneler çekme ve metalografik testler için tel erezyon ile kesilmiştir. Kesim sonrası kaynaklı numunelerin resimleri, Şekil 3’de gösterilmiştir.

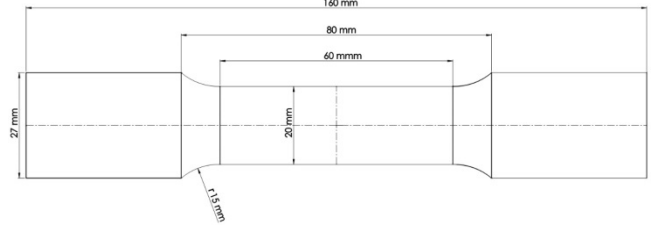


Şekil 3. Kaynaklı numunelerin tel erezyon kesimi sonrası

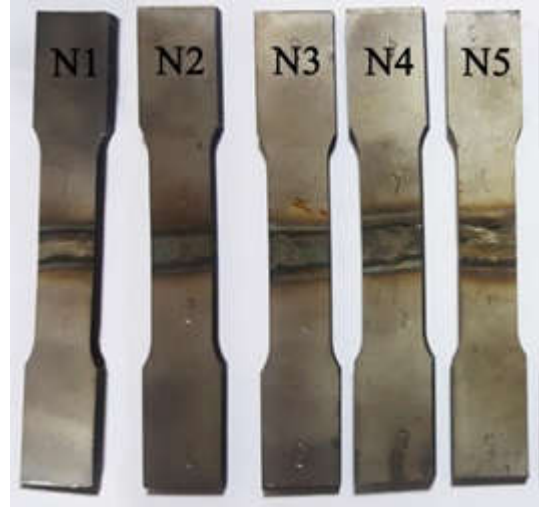
PTA kaynak işlemi sonrası tel erezyon ile kesilmiş olan 30x15x6 mm ölçülerine sahip olan numuneler bakalite alma işlemi sonrası metalografik inceleme için zımparalanmış ve ardından 3µm' lik elmas pasta ile parlatılarak dağlama işlemine hazır hale getirilmişlerdir. Dağlama işlemine hazır olan numuneler; 2 ml Nitrik Asit (HNO<sub>3</sub>), 2 ml Hidroklorik Asit (HCl), 1 ml Hidroflorik Asit (HF) içeriğine sahip çözelti içerisinde 20 saniye bekletilerek dağlanmıştır. Dağlama işleminin ardından numunelerin yapısında meydana gelen metalografik değişimleri inceleme amacı ile optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak görüntüleri çekilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri Şekil 4'de görülmekte olan şablona göre çekilmiştir. Şablonda bulunan A, B ve C noktaları sırası ile; ısıdan etkilenmeyen bölgede kalan ana malzeme bölgesi, ısının tesiri altında kalan bölge, kaynak havuzu bölgesidir. Daha sonra XRD analizleri yapılmıştır. Numunelerin kaynak ara yüzeyinde meydana gelmiş olan sertlik değişimlerini incelemek amacı ile sertlik analizleri yapılmıştır. Mikrosertlik analizleri yapılırken 3 farklı noktadan ölçümler alınmıştır. Bu noktalar; kaynak bölgesi, ince taneli bölge ve kaba taneli bölgedir. Sertlik analizleri 1 kg yük uygulanarak 10 saniye yükleme ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sırasında kare tabanlı, 136°'lik piramit uç kullanılmıştır. Numuneler, çekme mukavemetlerinin belirlenmesi amacı ile çekme testine tabi tutulmuşlardır. Çekme deneyi numuneleri DIN 50125 Standartlarına göre Şekil 5'de gösterilmiş olan ölçülerde tel erezyon kesim işlemi sonrası elde edilmiştir. Hazırlanan numunelerin çekme deneyleri 3 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da çekme deneyi için hazır bulunan numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4. Optik görüntü şablonu



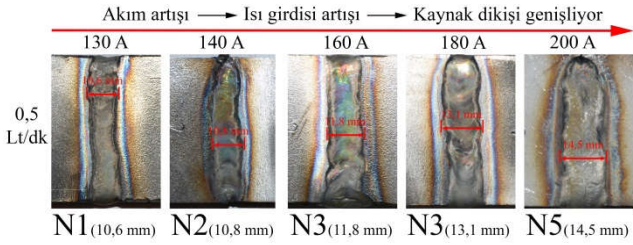
Şekil 5. DIN 50125 standartlarına göre hazırlanmış çekme numunesi boyutları



Şekil 6. Çekme numuneleri

### 3. BULGULAR VE İRDELEME (RESULTS AND DISCUSSION)

Numunelerin kaynak sonrası makro fotoğrafları incelendiğinde, akım şiddetinin artması ile artan ısı girdisinin sonucu olarak kaynak dikişlerinde genişleme gözlemlenmiştir. Kaynak dikişi kıyaslaması için yapılan ölçümler kaynak başlangıç ve bitiş noktalarına minimum 10 mm uzak olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de tüm numunelere ait kaynak dikişi kalınlıklarının yer aldığı karşılaştırma görüntüsü gösterilmiştir.



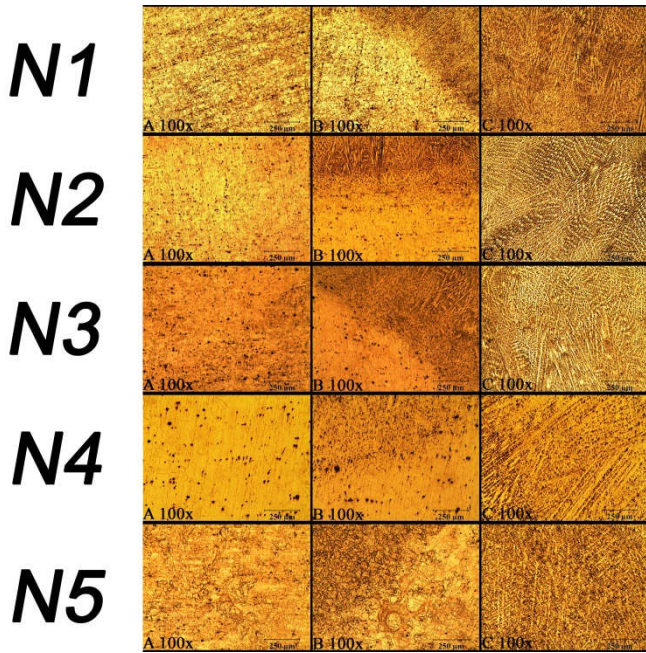
Şekil 7. Kaynak dikişi karşılaştırma görüntüsü

Numunelere mikroyapı incelemesi öncesi XRD analizi yapılmıştır. Tablo 3'de XRD analizi sonrası tespit edilen bazı fazlar verilmiştir.

Tablo 3. XRD analizleri

N1	N2	N3	N4	N5
Fe <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub>
Fe <sub>2</sub> Ni	Fe <sub>2</sub> Ni	Fe <sub>2</sub> Ni	FFe <sub>2</sub> Ni	Fe <sub>2</sub> Ni
Co <sub>3</sub> Ti	Co <sub>3</sub> Ti	Co <sub>3</sub> Ti	Co <sub>3</sub> Ti	Co <sub>3</sub> Ti
			Ni <sub>4</sub> Mo	Ni <sub>4</sub> Mo
Ni <sub>3</sub> Nb	Ni <sub>3</sub> Nb	Ni <sub>3</sub> Nb	Ni <sub>3</sub> Nb	Ni <sub>3</sub> Nb

Inconel 718 süper alaşımının kaynaklı birleştirilmesi sonucunda numunelere uygulanan XRD analizleri sonucunda bütün numunelerde literatürde, laves fazı olarak adlandırılan Fe<sub>2</sub>Ni fazı, literatürde  $\gamma'$  ve  $\delta$  olarak adlandırılan Ni<sub>3</sub>Nb fazı ve  $\gamma'$  olarak adlandırılan temel mukavemet arttırıcı Co<sub>3</sub>Ti fazı tespit edilmiştir.



Şekil 8. Numunelere ait optik mikroskop görüntüleri

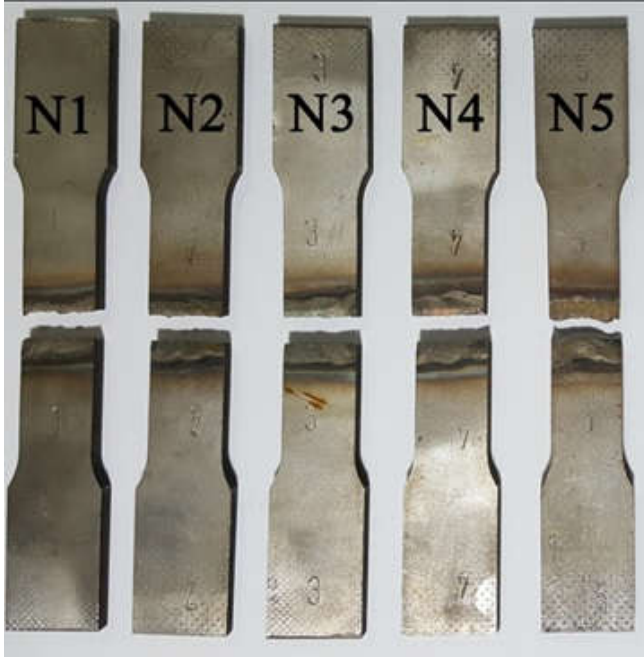
Şekilde 8'de N1, N2, N3, N4 ve N5 numunelerine ait optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde tüm numunelerde kaynak bölgesinde ergime sonrası katılaştan metalin eşksenli dentritik yapıda olduğu görülmektedir. Dentritlerin kısmen ergimiş bölgeden kaynak merkezine doğru yöneldiği

gözlemlenmiştir. ITAB'ın kaynak bölgesi dışında, ince taneli ve kaba taneli olmak üzere iki bölge içerdiği görülmektedir. Ergime bölgesinin hemen yanındaki ince taneli bölge ergime olmadan yüksek ısının etkisi ile rekristalizasyona uğramış olduğu, ince taneli bölgenin hemen dışındaki kaba taneli bölgede ısının etki ile tane irileşmesi meydana geldiği gözlemlenmiştir. Mikroyapıda siyah nokta benzeri yapılar ve iğnemi yapılar tespit edilmiş olup, siyah  $\gamma'$  (Ni<sub>3</sub>Nb) fazı olduğu, tane sınırlarında bulunan iğne benzeri yapıların  $\delta$  (Ni<sub>3</sub>Nb) fazı olduğu düşünülmektedir. Kaynak işlemi sonrası ergiyen metalin katılaşması döküm işlemi sonrasında metalin katılaşması ile benzerlik gösterir. Ancak ergiyük boyunca geniş sıcaklık eğilimi ve kaynak işleminin doğası gibi bazı temel farklılıklar vardır. Bu farklılıklar katılaşma davranışının kaynak hızına bağlı olduğu anlamına gelir. Kaynak işleminde malzeme hızlı bir ısı işlem döngüsüne maruz bırakılır. Bu durum malzemenin mikroyapısında çeşitli farklılıklar meydana getirmektedir. Kaynak işlemi sonrası oluşan bu mikroyapılar kaynak bölgesindeki yorulma, mukavemet, tokluk gibi mekanik özellikleri doğrudan etkilemektedir [14]. Kaynağın ergime bölgesine doğrudan bitişik olan bölgede ergime olmadan şiddetli bir termal döngüye uğramış ana metal bulunur. ITAB'ın mikroyapısı ve özellikleri istenmeyen şekilde değişir. ITAB, birkaç alt bölgeye ayrılabilir ve bu bölgelerin sayısı ve tipi kaynaklanan malzemeye bağlıdır. Her bir alt bölge farklı bir mikroyapıya karşılık gelir. Mikroyapıda meydana gelen genel değişiklikler rekristalizasyon ve tane büyümesidir. Inconel 718 süper alaşımının kaynaklarında ITAB iki bölgeden oluşur. Bunlardan biri kaba taneli, diğeri ince taneli bölge olarak adlandırılabilir. [14].

Tablo 4. Numunelerin kaynak işlemi sonrası mikrosertlik sonuçları (HV)

Numune Numarası	Kaynak Bölgesi	İnce Taneli Bölge	Kaba Taneli Bölge
N1	238	234	275
N2	282	258	264
N3	262	260	256
N4	254	257	258
N5	273	268	267

Tablo 4 incelendiğinde en düşük sertlik değeri N1 numunesinin kaynak bölgesinden elde edilmiştir. Kaynak işlemi sonrası elde edilen mikrosertlik değerleri çoğunlukla kaynaklı numunenin sertlik değerine (245 Hv) yakın veya yüksektir. Sertlik değerleri incelendiğinde herhangi bir düzene rastlanmamıştır. Bu durumun metal laves ve  $\gamma'$  fazlarının yapı içerisinde düzensiz olarak dağılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 9.Çekme deneyi sonrası numuneler

PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen Inconel 718 süper alaşımının hangi parametrelerde birleştirildiği ve birleştirme sonrasında uygulanan çekme deneyi sonrası numuneler Şekil 9'da gösterilmiştir. Tablo 5'de numunelerin kaynak parametreleri ile birlikte çekme deneyi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5. Çekme deneyi uygulanan numunelere ait çekme mukavemeti ve % uzama miktarları.

Numune Numarası	Akım (A)	Çekme Mukavemeti (MPa)	%Uzama
N1	130	213,9	12
N2	140	217,8	10
N3	160	229,8	6,4
N4	180	239,6	8
N5	200	405,8	11,9

Tablo 5 incelendiğinde en yüksek çekme mukavemeti değeri (405,8 MPa) N5 numunesinde

elde edilmiştir. Bunun sebebi diğer numunelere göre N5 numunesinde daha yüksek nüfuziyet oranı sağlanmış olmasıdır. Numuneler çekme deneyi sonrasında incelenmiş ve tüm numunelerin kaynak metalinden koptuğu gözlemlenmiştir. Tablo 5 incelendiğinde N1'den N5'e doğru akım artışı ile birlikte çekme mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebinin ısı girdisi artışına bağlı olarak A3B tipi YMK kafes yapısına sahip temel mukavemet artırıcı fazlardan olan  $\gamma'$  fazı (Co3Ti)'nin miktarının artması ve literatürde laves fazı olarak adlandırılan AB2 tipi YMK kafes yapısına sahip Inconel 718 süper alaşımının içerisinde mukavemet düşürücü Fe2Ni fazının azalması sonucu gerçekleştiği düşünülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR(CONCLUSION)

Bu çalışmada PTA kaynağı ile 5 farklı akım şiddeti ile Inconel 718 süper alaşımı birleştirilmiştir. Birleştirme işlemi sonrası numunelere mikroyapı analizi, sertlik analizi ve çekme deneyi uygulanmıştır. Tüm numunelerde kaynaklı bağlantının mikro sertliğinin ana malzemenin mikro sertliliğine yakın ya da daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sertlik değerleri incelendiğinde herhangi bir düzene rastlanmamıştır. Bu durum metal laves ve  $\gamma'$  fazlarının yapı içerisinde düzensiz olarak dağılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İnce taneli bölgenin hemen yanındaki kaba taneli bölgede sertlik değeri ana malzemenin sertlik değerinden yüksek, ince taneli bölgenin sertlik değerinden düşüktür. Bunun nedeni; ısının etkisi ile yeniden kristalleşmesi ve tane yapısının incelmesidir. Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde en yüksek çekme mukavemeti değeri (405,8MPa) N5 numunesinde elde edilmiştir. Bunun sebebi diğer numunelere göre N5 numunesinde daha yüksek nüfuziyet oranı sağlanmış olmasıdır. Numuneler çekme deneyi sonrasında incelenmiş ve tüm numunelerin kaynak metalinden koptuğu gözlemlenmiştir. Numunelerden akım artışına paralel olarak çekme mukavemetinde artma gözlemlenmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından Tef.16.01 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] H. Dinç, “Inconel 718 süperalaşımının termokimyasal borlanması,” *Yüksek Lisans Tezi*, 2013.
- [2] ASM Handbook Vol. 6(A), “Welding fundamentals and processes,” 2011.
- [3] M. Kılıç, “Aısı 304 paslanmaz çeliği ve 1040 çelik çifti'nin plazma kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması,” *Yüksek Lisans Tezi*, 2008.
- [4] T. Gürgeç and C. Özel, “PTA yöntemi kullanılarak fecrc , feb ve few alaşımlarıyla kaplanan aısı 1020 çeliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması,” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 28, no. 2, pp. 221–232, 2016.
- [5] J.-P. Choi *et al.*, “Densification and microstructural investigation of Inconel 718 parts fabricated by selective laser melting,” *Powder Technol.*, vol. 310, pp. 60–66, 2017.
- [6] R. Damodaram, S. R. . Ganesh, and K. R. Prasad, “Effect of post-weld heat treatments on microstructure and mechanical properties of friction welded alloy 718 joints,” *Mater. Des.*, vol. 53, pp. 954–961, 2014.
- [7] K. D. Ramkumar *et al.*, “Influence of filler metals and welding techniques on the structure-property relationships of Inconel 718 and AISI 316L dissimilar weldments,” *Mater. Des.*, vol. 62, pp. 175–188, 2014.
- [8] Y. Mei *et al.*, “Effect of base metal and welding speed on fusion zone microstructure and HAZ hot-cracking of electron-beam welded Inconel 718,” *Mater. Des.*, vol. 89, pp. 964–977, 2016.
- [9] K. D. Ramkumar *et al.*, “Studies on the weldability, microstructure and mechanical properties of activated flux TIG weldments of Inconel 718,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 639, pp. 234–244, 2015.
- [10] X. You *et al.*, “Effect of solution heat treatment on the precipitation behavior and strengthening mechanisms of electron beam smelted Inconel 718 superalloy,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 689, pp. 257–268, 2017.
- [11] J. Chen and C. Pan, “Welding of Ti-6Al-4V alloy using dynamically controlled plasma arc welding process,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 21, pp. 1506–1512, 2011.
- [12] C. M. Lin and C. H. Lu, “Effects of tempering temperature on microstructural evolution and mechanical properties of high-strength low-alloy D6AC plasma arc welds,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 676, pp. 28–37, 2016.
- [13] H. Dikbaş, “Ti6AL4V/Ti6AL4V malzeme çiftinin pta kaynağında kaynak bölgesinin incelenmesi,” *Doktora Tezi*, 2012.
- [14] D. W. J. Tanner, “Welded Inconel 718 At High Temperature,” *PhD thesis*, 2009.