

# Titanyum Sacların Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Çekirdek Oluşumuna Etkisi

**Yakup KAYA, Nizamettin KAHRAMAN**

Karabük üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Balıklarkayası mevkii, 78050, Karabük

Geliş/Received : 05.08.2011, Kabul/Accepted : 12.10.2011

## ÖZET

Bu çalışmada, ticari saf titanyum saclar (ASTM Grade 2) nokta direnç kaynak yöntemi ile farklı kaynak parametreleri (elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanı) kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde; elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanının; çekirdek çapı, elektrod dalma derinliği, kopma tipi, sertlik ve mikroyapı özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; artan elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanı ile oluşan çekirdek çapı ve derinliğinin arttığı tespit edilmiştir. Kopma tipleri incelendiğinde ise kaynak parametrelerinin uygun olduğu anlaşılmıştır. Bütün kaynak parametrelerinde, kaynak çekirdeği sertliğinin, ITAB ve esas metalden yüksek olduğu görülmüştür. Mikroyapı incelemeleri sonucunda; kaynak parametrelerinin artışıyla oluşan tanelerin irileştiği ve kaynak esasındaki ısı ve yüksek plastik deformasyondan dolayı bölgesel olarak bazı tanelerde ikizlenmelerin oluştuğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Titanyum, nokta direnç kaynağı, elektrod çapı, elektrod dalma derinliği ve mikroyapı

# The Effect of Welding Parameters on Weld Nugget Formation in Titanium Sheets at Resistance Spot Welding

## ABSTRACT

In this study, commercial pure titanium sheets (ASTM Grade 2) were joined by resistance spot welding method by using different parameters (electrode force, welding current and welding time). In the welded joints; effects on weld nugget diameter, electrode dept intensity, crack type, hardness and microstructure properties of electrode force, welding current and welding time were investigated. The experimental results showed that increasing electrode force, welding current and welding time increased the weld nugget diameter and electrode dept intensity. On examination of fracture types, welding parameters were understood to be suitable for this study. It was seen that weld nugget hardness is higher than HAZ and base metal in all weld parameters. Microstructural examinations showed that the grains formed increasing welding parameters were growed and local twins were formed due to heat emerged during welding and high plastic deformation.

**Keywords :** Titanium, resistance spot welding, weld nugget diameter, electrode dept intensity and microstructure

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Titanyum ve alaşımları endüstriyel uygulamalarda kullanılan en iyi mühendislik malzemelerden biridir [1-3]. Titanyum mükemmel korozyon direnci ve yüksek güce ağırlık oranı, sayesinde uygulamada başlıca korozyon direnci ve özel dayanım istenilen yapılar için idealdir [1,3-8]. Ticari saf titanyum; tank üretiminde, ısı değiştiricilerde, kimyasal işlem için reaktör gemileri ve güç üretim tesisinde kullanılır [1,5,8]. Titanyum ve alaşımları yüksek sıcaklıklarda son derece kimyasal reaktiftirler. Kaynak süresince, atmosferden kolaylıkla oksijen ve azot alırlar. Bu yüzden bu malzemelerin kaynağı zordur [1,3,9]. Titanyum ve alaşımlarının kullanımının artışıyla, bu malzemelerin kaynağı daha önemli hale gelmiştir [10].

Nokta direnç kaynağı, elektrik kaynak yöntemleri arasında en eskilerinden ve özellikle sac malzemeler için otomotiv endüstrisinde en sık kullanılan yöntemlerden biridir [11-13]. Bu yöntem genellikle yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelik, paslanmaz çelik, nikel, alüminyum, titanyum ve bakır alaşımlarının kaynağında kullanılır. [1,14-16]. Literatürde titanyum ve alaşımları, genellikle lazer ışın kaynağı [9,17], elektron ışın kaynağı [19] ve TIG kaynağı ile birleştirildikleri görülmektedir [8]. Titanyum ve alaşımlarının nokta direnç kaynağı [1] ile ilgili çok az çalışma bildirilmiştir. Sunulan bu çalışmada saf titanyum sacların nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin çekirdek oluşumuna etkileri araştırılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerde; elektrod çapı, elektrod dalma derinliği, kopma tipi, sertlik ve mikroyapı özelliklerinin elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanına bağlı olarak değişimleri incelenmiştir.

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ykaya@karabuk.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2011.14.4, 263-270

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada, 1,5 mm kalınlıktaki titanyum saclar nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak işleminde kullanılan titanyum saca ait kimyasal analiz değerleri ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Saf titanyum sacın kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri

ASTM Standard	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Dönüşüm Sıcaklıkları (°C)		Alaşım elementleri (%)				
			Alfa ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	N	C	H	Fe	O
Grade 2	276 MPa	345 MPa	913	890	0.03	0.10	0.015	0.30	0.25

Titanyum saclar 100x30x1.5 mm boyutlarında giyotin makas ile kesilmiş ve yüzeyleri asetonla temizlenmiştir. Kaynak işlemi sırasında bindirilmiş levhaların, ekseninden kaymasını önlemek için bir kalıp hazırlanmıştır. Titanyum sacların birleştirilmesinde, su soğutmalı ve pnömatik kontrollü nokta direnç kaynak ma-

parametreden dört adet olmak üzere toplam 72 adet olarak gerçekleştirilmiştir.

Nokta kaynağı yapılmış serilerden alınan örnekler metalografik inceleme amacıyla çekirdek ortasından kesilmiş ve bakalite alma işlemine tabi tutulmuşlardır. Alınan örnekler standart metalografik işlemlerden

sonra; 5 ml HNO<sub>3</sub>, 10 ml HF ve 85 ml saf su ile oluşturulan kimyasal ile dağlanmışlardır. Dağlanmış numunelerin mikroyapıları LEIKA DM 4000 M tipi cihaz ile, sertlik ölçümleri ise Shimadzu HMV tipi cihaz ile 500 g'lık (HV<sub>0,5</sub>) yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri

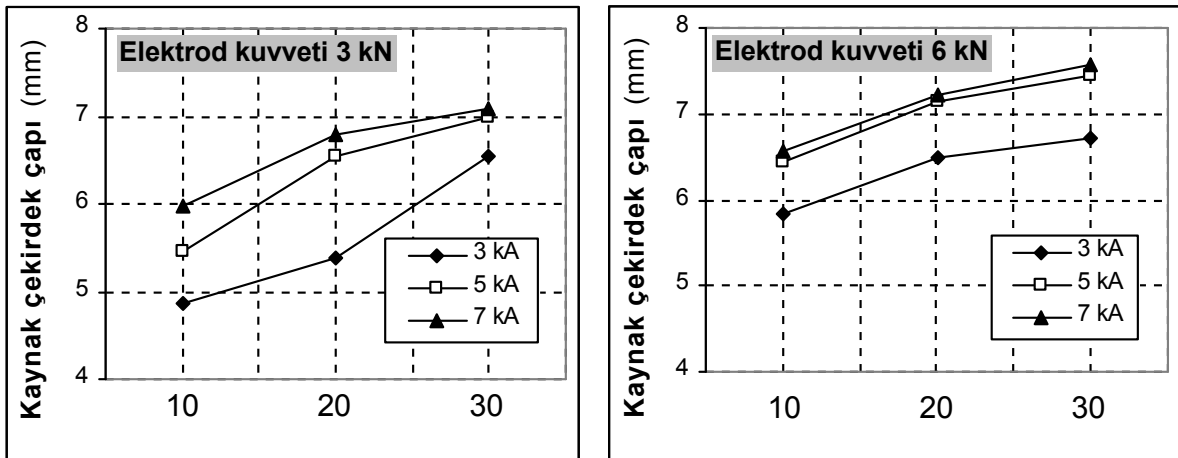
Elektrod kuvveti (kN)	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Zamanı (çevrim)			İnme Zamanı (çevrim)	Sıkıştırma Zamanı (çevrim)	Ara Zaman (çevrim)	Tutma Zamanı (çevrim)	Ayrılma Zamanı (çevrim)
3	3	10	20	30	10	30	25	30	20
	5								
	7								
6	3	10	20	30	10	30	25	30	20
	5								
	7								

kinesi kullanılmıştır. Titanyum levhaların birleştirilebileceği, kaynak parametrelerini belirlemek için ön deneyler yapılmıştır. Ön çalışmalarda, nokta direnç kaynak işlem parametrelerinden; elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanı değiştirilerek titanyum numunelerin birleştirilebildiği kaynak parametre aralığı belirlenmiştir. Deneyler esnasında kullanılan kaynak parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Birleştirmeler, her bir

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

### 3.1. Kaynak Çekirdeği Çapı ve Elektrod Dalma Derinliği Ölçümleri (Weld Nugget Diameter and Electrode Dept Intensity Dimensions)

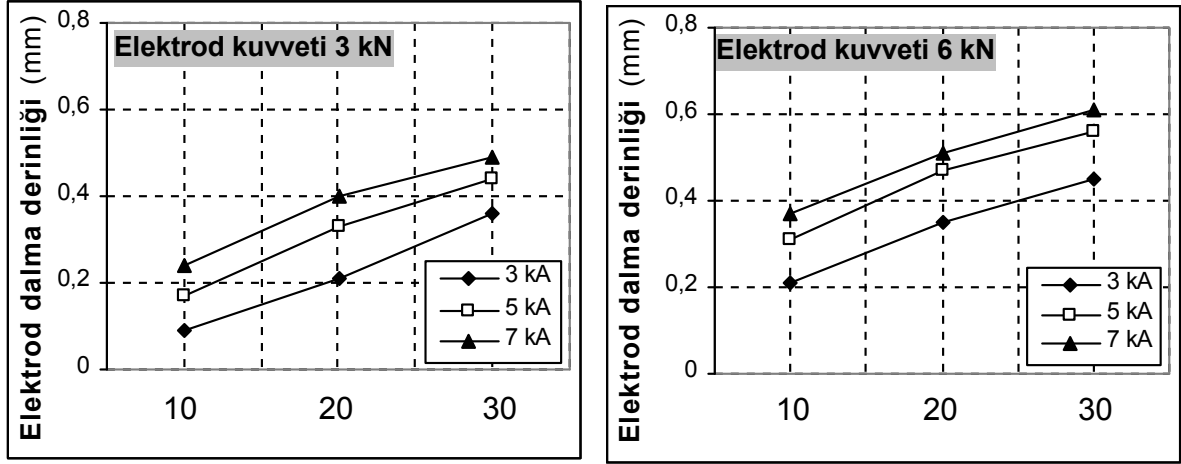
3 ve 6 kN elektrod kuvveti, 3, 5 ve 7 kA kaynak akımı, 10, 20 ve 30 çevrim kaynak zamanı kullanılarak birleştirilen kaynaklı bağlantılara ait çekirdek çapı ölç-



Şekil 1. Kaynak çekirdeği çapı grafikleri

çümü sonuçları Şekil 1’de, elektrod dalma derinlik sonuçları Şekil 2’de grafik olarak verilmiştir. Şekil 3’de ise elektrod çapı (yatay) ve elektrod dalma derinlikleri (dikey) olarak verilmiştir.

20 çevrim kaynak zamanı ve 3 kN elektrod kuvvetinde birleştirilen numunenin kaynak çekirdeği çapı 6,55 mm ve elektrod dalma derinliği 0,33 mm iken, elektrod kuvveti 6 kN’a çıkarıldığında ise çekirdek çapı 7,15 mm ve



Şekil 2. Elektrod dalma derinliği grafikleri

Çekirdek Çapları ve elektrod dalma derinlikleri (mm)							
3 kN Elektrod Kuvveti				6 kN Elektrod Kuvveti			
Kaynak Akımı	Kaynak Süresi			Kaynak Akımı	Kaynak Süresi		
	10 çevrim	20 çevrim	30 çevrim		10 çevrim	20 çevrim	30 çevrim
3 kA	0,09 4,86	0,21 5,38	0,36 6,54	3 kA	0,21 5,84	0,35 6,49	0,45 6,72
5 kA	0,17 5,46	0,33 6,55	0,44 6,98	5 kA	0,31 6,43	0,47 7,15	0,56 7,44
7 kA	0,24 5,97	0,40 6,78	0,49 7,08	7 kA	0,37 6,57	0,51 7,22	0,61 7,56

Şekil 3. Kaynak çekirdeği çapı ve elektrod dalma derinliği ölçümleri

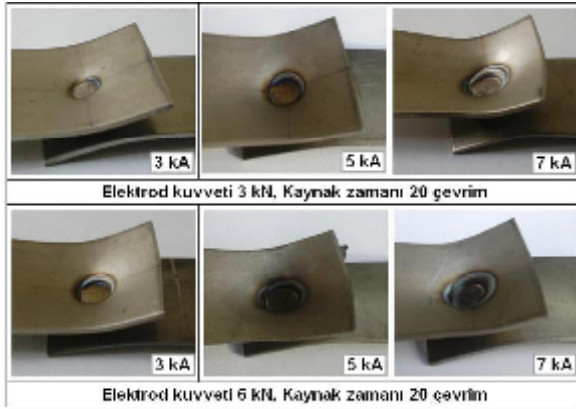
Şekil 1-3 incelendiğinde; en büyük kaynak çekirdeği çapı ve elektrod dalma derinliği, 6 kN elektrod kuvveti, 7 kA kaynak akımı ve 30 çevrim kaynak zamanında 7,56 mm çekirdek çapı ve 0,61 mm elektrod dalma derinliği olarak ölçülmüştür. En küçük çekirdek çapı ve elektrod dalma derinliği ise, 3 kN elektrod kuvveti, 3 kA kaynak akımı ve 10 çevrim kaynak zamanında 4,86 mm çekirdek çapı ve 0,09 mm elektrod dalma derinliği olarak belirlenmiştir. Sabit 3 kN elektrod kuvvetinde, 10 çevrim kaynak zamanı ve 3 kA kaynak akımında birleştirilen numunenin kaynak çekirdeği çapı 4,86 mm ve elektrod dalma derinliği 0,09 mm olarak ölçülmüştür. Aynı parametrelerde 5 kA kaynak akımında çekirdek çapı 5,46 mm ve derinlik 0,17 mm, 7 kA kaynak akımında ise çekirdek çapı 5,97 mm ve derinlik 0,24 mm olarak ölçülmüştür. 5 kA kaynak akımı,

derinlik 0,47 mm’ye yükselmiştir. 6 kN elektrod kuvveti, 3 kA kaynak akımı ve 10 çevrim kaynak zamanında birleştirilen numunenin çekirdek çapı 5,84 mm ve derinliği 0,21 mm iken, kaynak zamanı 20 çevrime çıkarıldığında çekirdek çapı 6,49 mm ve derinlik 0,35 mm’ye yükselmiştir. 30 çevrime çıkarıldığında ise çekirdek çapı 6,72 mm ve derinlik 0,45 mm’ye yükselmiştir.

Sonuç olarak; elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanının artmasıyla, ısı girdisi artmış, dolayısıyla kaynak çekirdeği çapı artmış olup bununla birlikte elektrod dalma derinliğinin de arttığı tespit edilmiştir. Nokta direnç kaynağında kaynak bölgesindeki ısı girdisi  $Q=I^2.R.t$  [20], formülüyle hesaplandığı bilinmektedir. Burada I iş parçasından geçen akımı, R toplam direnci ve t kaynak zamanını ifade etmektedir. Elektrod kuvveti,

tinin artışıyla, R toplam direnci azalırken, iş parçasından geçen akım artar ve iş parçası ısı girdisi artmış olur. Literatürde [11], artan ısı girdisinin, kaynak çekirdeği çapı ve elektrot dalma derinliğinin artmasına sebep olacağı bildirilmiştir. Martin vd. [21] kaynak zamanı ve kaynak akımı artışı, Özyürek [14], Vural ve Akkuş [15], Sun vd. [22] ve Anık ve Gülbahar [23], Fukumoto vd. [24], kaynak akımı artışı, Hayat vd. [11] ve Aslanlar vd. [25] kaynak zamanı artışı ile ısı girdisinin artacağını ve buna bağlı olarak, kaynak çekirdeği çapının arttığını bildirmişlerdir.

Şekil 4’de bütün elektrod kuvvetlerinde ve kaynak akımlarında fakat sadece 20 çevrim kaynak zamanında birleştirilmiş kaynaklı numunelerin çekme-makaslama testi sonrasında elde edilen kopma fotoğrafları örnek olarak verilmiştir. Çekme-makaslama testi yapılan numunelerdeki kopma türleri incelenerek, kriterlere uygun olup-olmadığı ve kaynaklı bağlantılarda elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanının kopma türüne etkisi incelenmiştir.



Şekil 4. Çekme-makaslama testi sonrası kopma görüntüleri

Kaynaklı numunelerin tümü ve Şekil 4’de örnek olarak verilen fotoğraflar incelendiğinde, çekme-makaslama testi sonrası birleştirmelerin tümünde kopmanın ITAB’da ve genelde birleştirmenin ITAB bölgesindeki tane irileşmesinin olduğu yerden başlayarak meydana geldiği görülmüştür. Deneysel çalışmalar yapılmadan önce ön deneyler yapıp, uygun kaynak parametreleri belirlendiği için birleştirmelerde istenmeyen kopma tipi olan ayrılma ve yırtılma tipi kopmaya rastlanmamıştır. Birleştirmelerin tümünde kopma tipi, nokta kaynaklı birleştirmelerde istenilen tip olan düğme tipi kopma türünde olmuştur. Bu sonuç, kaynak parametrelerinin uygun olarak seçildiğinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Düğme tip kopma, kaynak parametrelerinin uygun olduğunu gösteren, kaynak zamanı artışıyla ısı girdisinde artış meydana gelen, buna bağlı olarak, kaynak çekirdeği çapı ve kaynak bölgesinde artış görülen ve bağlantı dayanımında da yükselmenin görüldüğü kopma türüdür [25]. Malzemenin kopma tipi kaynak çekirdeğinden olmaksızın, ana malzeme veya ITAB’dan başlayıp malzemeye doğru olan yırtılma biçimidir. Bunun nedeni çekirdek bölgesinin dayanım değerinin, kaynaklı

malzemenin ITAB’ının dayanım değerinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

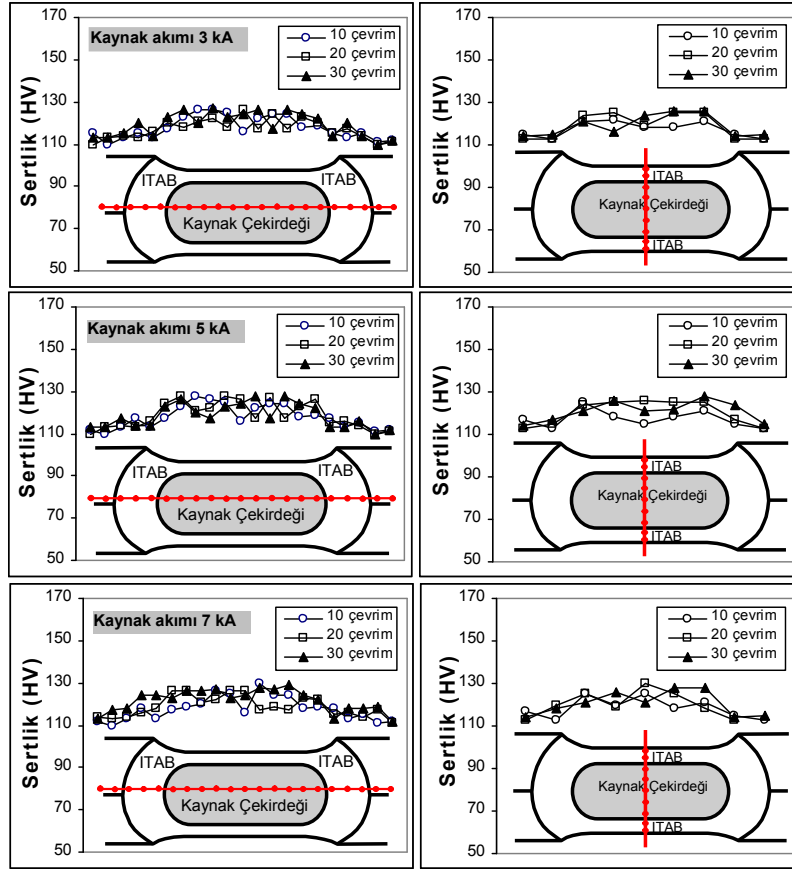
Hayat vd. [11], IF çeliğinin nokta direnç kaynağında, düşük kaynak akımı ve zamanında, yetersiz kaynak çekirdeği ve çekme-makaslama dayanımına bağlı olarak, ayrılma tip kopma olduğunu; kaynak akımı ve kaynak zamanı artışıyla ise düğme tip kopma olduğunu bildirmişlerdir. Hayat [26], çift-fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağında, düşük kaynak süresinde ısı girdisi miktarının düşük olması nedeniyle elektrod dalma derinliği ve çekirdek çapı küçük olduğunu, bunun sonucu olarak çekme-makaslama değerleri de düşük olduğunu ve ayrılma tip kopma görüldüğünü bildirmiştir. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak sürelerinin artırılmasıyla ısı girdisinin arttığını, böylelikle çekme-makaslama değerlerinde de artış görüldüğü ve düğme tip kopma tespit etmiştir.

### 3.2. Sertlik Testi (Hardness Test)

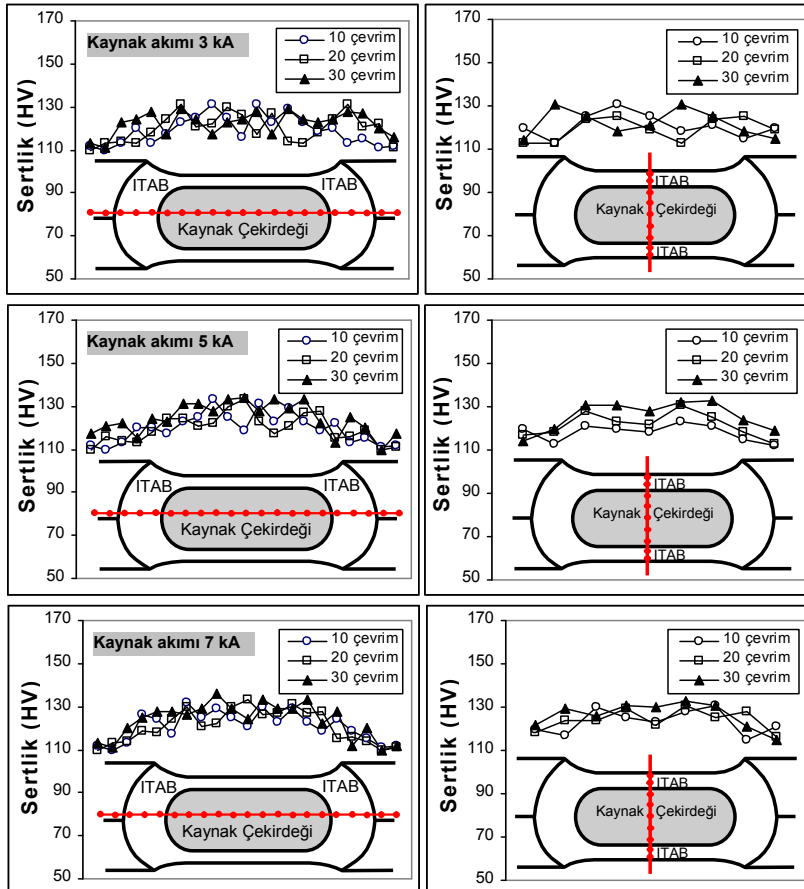
Nokta direnç kaynağı ile farklı kaynak parametrelerinde birleştirilen titanyum malzemelerde, kaynak bölgesindeki (ana malzeme, ITAB ve kaynak çekirdeği) sertlik değişimini belirlemek amacıyla kaynaklı numunelerin tümüne sertlik testleri uygulanmıştır. Kaynaklı numunelerdeki sertlik taramaları, kaynak çekirdeği kesitine paralel ve dikey olmak üzere iki farklı yönde gerçekleştirilmiştir. Şekil 5’de 3 kN elektrod kuvveti ve Şekil 6’da 6 kN elektrod kuvvetine ait sertlik deneyi sonuçları verilmiştir.

Sertlik grafikleri incelendiğinde; kaynak çekirdeğinden esas metale doğru sertlikte bir düşüş olduğu görülmektedir. En yüksek sertlik değerleri kaynak çekirdeğinden ölçülürken, onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme takip etmektedir. Ayrıca farklı kaynak parametreleri (elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanı) ile birleştirilen numunelerden elde edilen sertlik değerleri kıyaslandığında; en yüksek sertlik değeri, 6 kN elektrod kuvveti, 7 kA kaynak akımı ve 30 çevrim kaynak zamanında ölçülmüştür. Burada, esas metal  $113 \pm 5$  HV, ITAB  $128 \pm 5$  HV ve kaynak çekirdeği ise  $136 \pm 5$  HV olarak ölçülmüştür. En düşük sertlik değeri ise, 3 kN elektrod kuvveti, 3 kA kaynak akımı ve 10 çevrim kaynak zamanında (esas metal  $110 \pm 5$  HV, ITAB  $115 \pm 5$  HV ve kaynak çekirdeği  $126$  HV $\pm 5$ ) ölçülmüştür.

Kaynak parametrelerinden elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanının, kaynaklı bağlantıların sertlik değişimi üzerindeki etkisi incelendiğinde; gerek artan elektrod kuvveti, gerek kaynak akımı ve gerekse kaynak zamanının artmasıyla, kaynaklı numunelerden ölçülen sertlik değerlerinin çok belirgin olmamakla beraber artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Kaynak parametrelerinin artmasıyla kaynak bölgesine verilen ısı miktarı artmaktadır. Yüksek ısı girdisiyle birlikte kaynak bölgesinde ısı daha uzun süre kalmakta, bu da tane irileşmesine, dolayısıyla sertliğin azda olsa yükselmesine neden olmaktadır. Ayrıca, artan kaynak zamanıyla, kaynak esnasındaki plastik deformasyon miktarı artmakta, bu da ITAB’da



Şekil 5. 3 kN elektrod kuvvetine ait sertlik deneyi sonuçları

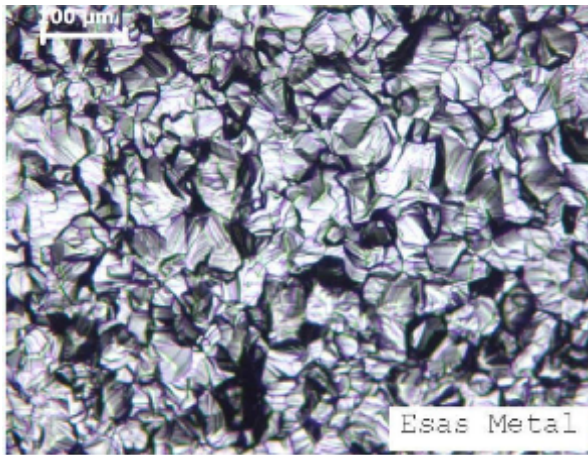


Şekil 6. 6 kN elektrod kuvvetine ait sertlik deneyi sonuçları

birleştirmelerin tümünde, kaynak zamanı ve kaynağa akımı artışı ile ısı girdisi artmış ve kaynak çekirdeği genişlemiştir. Bu nedenle, kaynak çekirdeğinin sertlik değeri, tutma zamanı boyunca elektrod gücünün sebep olduğu deformasyon sertleşmesinden dolayı esas metal ve ITAB'dan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Benzer çalışmada; Kahraman [1], sertlik testlerinde, en yüksek değerin kaynak çekirdeğinden elde edildiği, onu ITAB ve esas metalin takip ettiğini bildirilmiştir. Farklı malzemeler üzerine yapılan araştırmalarda; Vural ve Akkuş [15] ve Martin vd. [21] benzer sonuçları rapor etmişlerdir.

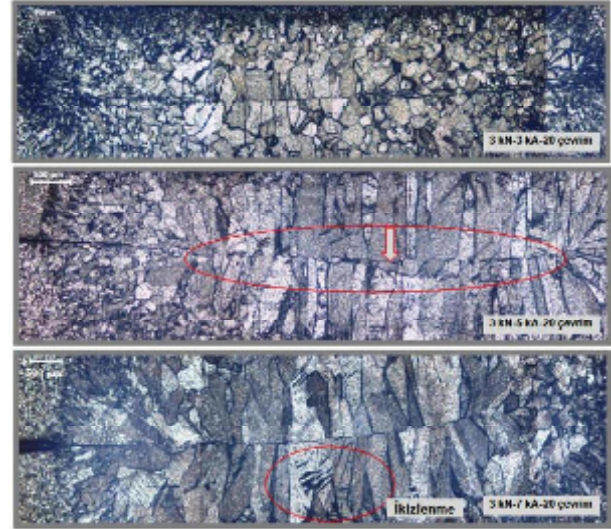
### 3.3. Mikroyapı Çalışmaları (Microstructure Studies)

Şekil 7'de deneysel çalışmalarda kullanılan titanyum malzemenin orijinal mikroyapısı verilmiştir.

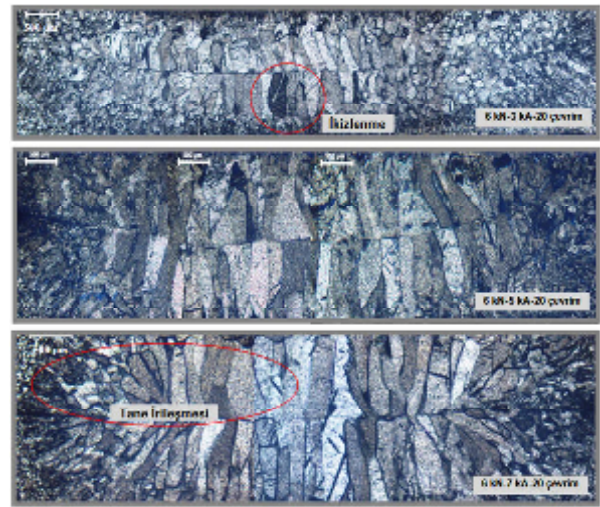


Şekil 7. Ticari saf titanyum malzemenin mikroyapısı

Şekil 7'deki esas metal mikroyapısı görüntüsünden, yapının ince eş eksenli  $\alpha$  (alfa) tanelerinden oluştuğu görülmektedir. Literatürde [5], saf titanyumun 600-700 °C'de tavlaniılarak kullanılması çok yaygın olduğu ve böyle bir ısıl işlem sonucunda mikroyapının ince eş eksenli  $\alpha$  (alfa) taneçiklerinden oluşacağı bildirilmiştir. Şekil 8'de 3 kN elektrod kuvveti ve Şekil 9'da 6 kN elektrod kuvvetine ait nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş saf titanyum malzemenin kaynak çekirdeği mikroyapısı görülmektedir. Şekil 8'de kaynak arayüzeyi örnek olarak gösterilmiş ve işaretli gösterilen bölgede, iki malzemenin birleşim arayüzeyi ve kaynak başlangıç noktası görülmektedir. Bu bölge, esas malzemenin mikroyapısından oldukça farklıdır ve taneler ısı merkezine doğru yönelmiştir. Ayrıca yapılan kaynak ile ara yüzeyde yeni taneler oluşmuş ve bu taneler kaynak süresince uygulanan ısı girdisine bağlı olarak, orijinal tanelerden daha büyük olduğu görülmektedir. Titanyumun ısıl iletimi çok düşük olduğundan, kaynak esnasındaki ısı, kaynak bölgesinde daha uzun süre kalmakta, bu da tanelerin daha fazla irileşmesine sebep olmaktadır [27].



Şekil 8. 3 kN elektrod kuvvetine ait kaynak çekirdeği mikroyapısı



Şekil 9. 6 kN elektrod kuvvetine ait kaynak çekirdeği mikroyapısı

Şekil 8 ve 9 incelendiğinde, orijinal esas metalden mikroyapısından oldukça farklı bir mikroyapı görülmektedir. Orijinal tanelerden farklı olarak, kaynak süresince uygulanan basınçtan (elektrod kuvveti) dolayı bazı tanelerde ikizlenme ve ısı girdisinden dolayı tane irileşmesi meydana gelmiştir. Literatürde [28], titanyum malzemelerde ikizlenmenin, uygulanan deformasyondan dolayı oluştuğu bildirilmiştir. Nokta direnç kaynaklı numunelerin mikroyapı görüntülerinden, tanelerin ısı akış yönüne paralel yönelerek oluştuğu görülmektedir. Bu taneler elektrod basınç yönüne paralel uzamıştır ve yüksek elektrod kuvvetlerinde uzama daha belirgindir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, tanelerarası yönelmeden dolayı tanelerde renk farkı olduğu ve yapının  $\alpha$  (alfa) tanelerinden oluştuğu görülmektedir. Kaynak çekirdeği dışında görülen küçük taneler ise elektrod kuvveti ile oluşan deformasyon ve hızlı soğumadan dolayı oluşmaktadır.

3 kN ve 6 kN elektrod kuvvetlerinde kaynaklanan bağlantıların mikroyapıları birbiriyle kıyaslandığında ise, artan elektrod kuvvetiyle de tanelerin irileştiği tespit edilmiştir. Artan elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanıyla, tanelerin irileşmesinin sebebi, artan ısı girdisinin etkisi olarak söylenebilir. Ayrıca ısı girdisi artışına bağlı olarak kaynak çekirdeğinin genişlediği görülmüştür. Kaynak işleminde kullanılan ısı girdisi, gerek kaynak çekirdeği gerekse ITAB'da oluşan mikro yapılar üzerinde direkt etkilidir. Literatürde [29], saf titanyum  $\beta$  alanı içinde ısıtılırsa (900-950 °C) hızlı bir tane büyümesi meydana gelir ve soğumayla birlikte kaba tırtıllı  $\alpha$  (alfa) tanelerinin oluşacağı bildirilmiştir. Benzer çalışmada Kahraman [1], artan elektrod kuvveti ve kaynak zamanının, kaynak bölgesine uygulanan ısı girdisi arttırdığını sonuç olarak ise tane irileşmesine neden olduğu rapor etmiştir. Mikroyapı deneyleri sonucunda, kaynak süresi boyunca uygulanan basınçtan dolayı, kaynak bölgesinde ikizlenmeler görüldüğünü ve elektrod kuvveti ve kaynak zamanı artışına bağlı olarak ikizlenmelerde de artış olduğunu bildirmiştir. Hayat vd. [11], Kocabekir vd. [12], Hayat [26] ve Almus [30] kaynak zamanı artışına bağlı olarak, Vural ve Akkuş [15] ve Hasanbaşoğlu [31], kaynak akımı artışıyla, ısı girdisinde artış tespit etmişler ve artan ısı girdisinin etkisiyle, birleştirmelerde tane büyümesi olduğunu bildirmiştir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

- Artan; elektrod kuvveti, kaynak akımı ve kaynak zamanıyla, ısı girdisi artmış, dolayısıyla kaynak çekirdeği çapı artmış olup, bununla birlikte elektrod dalma derinliğinin de arttığı tespit edilmiştir.
- Kaynaklı numunelerin tümünde kopma, düğme tipi kopma türünden olmuştur. Bu sonuç, kaynak parametrelerinin uygun olarak seçildiğinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.
- Sertlik testleri sonucunda, en yüksek sertlik değerleri kaynak çekirdeğinden ölçülürken onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme takip etmektedir.
- Mikroyapı incelemeleri sonucunda; kaynak parametrelerinin artışıyla kaynak çekirdeğinde oluşan tanelerin irileştiği ve kaynak esnasındaki ısı ve yüksek plastik deformasyondan dolayı bölgesel ikizlenmelerin oluştuğu belirlenmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kahraman, N., The influence of welding parameters on the joint strength of resistance spot-welded titanium sheets, *Mater. Design*. 28, 2, 420-427, 2007.
2. Atasoy, E., and Kahraman, N., Diffusion bonding of commercially pure titanium to low carbon steel using a silver interlayer, *Mater. Charact.* 59, 10, 1481-1490, 2008.
3. Kahraman, N., Gülenç, B., and Fındık, F., Corrosion and mechanical-microstructural aspects of dissimilar joints of Ti6Al4V and Al plates, *Int. J. Impact Eng.* 34, 8, 1423-1432, 2007..
4. Oh, J., Kim, N.J., Lee, S., and Lee, E.W., Correlation of fatigue properties and microstructure in investment cast Ti-6Al-4V welds, *Mat. Sci. Eng. A*. 340, 1-2, 232-242, 2003.
5. Kahraman, N., Titanyum levhaların patlamalı kaynak yöntemi ile farklı metallerle birleştirilmesi ve arayüzey özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
6. Baeslack III, W.A., Davis, J.R., and Cross, C.E. *ASM Handbook*, Vol. 6, Metals Park, OH, USA, 1993.
7. Baeslack III, W.A., Gerken, J.M., Cross, C., Hanson, J., Liu, P.S., Monses, J.C. Schley, J., ve Showalter, L., *Welding Handbook*, Vol. 4, American Welding Society, Miami, Florida, USA, 1998.
8. Lathabai, S., Jarvis, B.L., and Barton, K.J., Comparison of keyhole and conventional gas tungsten arc welds in commercially pure titanium, *Mat. Sci. Eng. A*. 299, 1-2, 81-93, 2001.
9. Sun, Z., Annergren, I., Pan, D., and Mai, T.A., Effect of Laser surface remelting on the corrosion behavior of commercially pure titanium sheet, *Mat. Sci. Eng. A*. 345, 1-2, 293-300, 2003.
10. Lee, W.B., Lee, C.Y., Chang, W.S., Yeon, Y.M., and Jung, S.B., Microstructural investigation of friction stir welded pure titanium, *Mater. Lett.* 59, 26, 3315-3318, 2005.
11. Hayat, F., Demir, B., Acarer, M., and Aslanlar, S., Effect of weld time and weld current on the mechanical properties of resistance spot welded IF (DIN EN 10130-1999) steel, *Kovove Materials*, 47, 1, 11-17, 2009.
12. Kocabekir, B., Kaçar, R., Gündüz, S., and Hayat, F., An effect of heat input, weld atmosphere and weld cooling conditions on the resistance spot weldability of 316L austenitic stainless steel, *J. Mater. Process. Tech.* 195, 1-3, 327-335, 2008.
13. Aslanlar, S., The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry, *Mater. Design*. 27, 2, 125-131, 2006.
14. Özyürek, D., An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel, *Mater. Design*. 29, 3, 597-603, 2008.
15. Vural, M., and Akkuş, A., On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets, *J. Mater. Process. Tech.* 153-154, 1-6, 2004.
16. Jou, M., Real time monitoring weld quality of resistance spot welding for the fabrication of sheet metal assemblies, *J. Mater. Process. Tech.* 132, 1-3, 102-113, 2003.
17. Wang, S.H., Wei, M.D., and Tsay L.W., Tensile properties of LBW welds in Ti-6Al-4V alloy at evaluated temperatures below 450°C, *Mater. Lett.* 57, 12, 1815-1823, 2003.
18. Li, C., Muneharua, K., Takao, S., and Kouji, H., Fiber Laser-GMA hybrid welding of commercially pure titanium, *Mater. Design*. 30, 1, 109-114, 2009.

19. Sares, N., Gopalakrishna Pillai, M., and Mathew, J., Investigations into the effects of electron beam welding on thick Ti-6Al-4V titanium alloy, *J. Mater. Process. Tech.* 192-193, 83-88, 2007.
20. Kaya, Y., Titanyum sacların nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
21. Martin, O., Tiedra, P.D., Lopez, M., San-Juan, M., Garcia, C., Martin, F., and Blanco, Y., Quality prediction of resistance spot welding joints of 304 austenitic stainless steel, *Mater. Design.* 30, 1, 68-77, 2008.
22. Sun, D.Q., Lang, B., Sun, D.X., and Li, J.B., Microstructures and mechanical properties of resistance spot welded magnesium alloy joint, *Mat. Sci. Eng. A.* 460-461, 494-498, 2007.
23. Anık, S., ve Gülbahar, B., %17 kromlu ferritik paslanmaz çelik sacların nokta direnç kaynağında çekme-makaslama kuvveti ile çekirdek boyutları arasındaki ilişkinin etüdü, II. Ulusal Kaynak Sempozyumu, İstanbul, ss. 94-105, 1989.
24. Fukuomoto, S., Fujiwara, K., Toji, S., and Yamamoto, A., Small-scale resistance spot welding of austenitic stainless steels”, *Mat. Sci. Eng. A.* 492, 1-2, 243-249, 2008.
25. Aslanlar, S., Uğur, A., Özseraç, U., and İlhan, E., Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding, *Mater. Design.* 29, 7, 1427-1431, 2008.
26. Hayat, F., Çift-fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağında mho ile kaynak süresinin mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
27. Sirin, S. Y., Sarı, N. Y. ve Kaluç, E., “Titanyum ve alaşımlarının kaynağı II”, *Makine Magazin Dergisi*, 20, 52-62, 1997.
28. Smith, W.F., Structure and properties of engineering alloys, 2<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 1993.
29. Karaca, S., Titanyum ve alaşımlarına uygulanan yüzey mühendisliği teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994.
30. Almus, Z., Nokta direnç kaynağında ara bağlayıcının birleşme özelliklerine etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
31. Hasanbaşoğlu, A., Direnç kaynak yöntemiyle birleştirilen IF çelikleri ile östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.