

DUBLEKS PASLANMAZ ÇELİKLERİN NOKTA DİRENÇ KAYNAĞINA AKIM ŞİDDETİ VE KAYNAK ZAMANININ ETKİSİ

Erkan DURGUT ve Ramazan KAÇAR

Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050, Balıklar kayası, Karabük
rkacar@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 09.02.2010; Kabul/Accepted: 09.03.2011)

ÖZET

Bu çalışmada AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik sacların nokta direnç kaynak kalitesine, kaynak zamanı ve akım şiddetinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kaynak kalitesini belirlemek için bağlantının çekme makaslama yükü taşıma kapasitesi ve sertlik değerleri bulunarak mikroyapısı incelenmiştir. Buna bağlı olarak mekanik özellik mikroyapı ilişkisi tespit edilmiştir. Bağlantının mekanik özelliklerinin kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanına bağlı olarak farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik, nokta direnç kaynağı, kaynak akım şiddeti, kaynak zamanı.

THE EFFECT OF WELD CURRENT INTENSITY AND WELDING TIME RESISTANCE SPOT WELD OF DUPLEX STAINLESS STEEL

ABSTRACT

In this study, effects of welding current intensity and welding time on the resistance spot weld quality of AISI 2205 duplex stainless steel was investigated in detail. To this purpose, the tensile shear load bearing capacity and the hardness profile of weldment were determined. The microstructure of welded samples was evaluated so the relationship between the microstructure and mechanical properties were determined. It was found that the mechanical properties of the welded samples were varied depending on the welding time and weld current intensity.

Keywords: AISI 2205 duplex stainless steel, resistance spot welding, welding current intensity, welding time.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çift fazlı bir içyapıya sahip, ferrit taneleri içinde östenit veya östenit taneleri içinde ferrit içeren dubleks paslanmaz çeliklerin östenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma dayanımlarının iki kat kadar daha büyük olmasıdır. [1-3].

Bu üstün özelliklerinden dolayı çift fazlı paslanmaz çelikler ısı eşanjörü, petrol, gaz ve deniz su boruları ile bağlantı elemanlarında, deniz petrol platformlarında, gaz kuyularında, döküm pompa ve vana gövdelerinde, jeotermal uygulamalarında büyük oranda kullanılmaktadırlar. Dubleks paslanmaz çelikler korozyon direnci ve mekanik özelliklerinin

çekici bileşimleri nedeniyle yıllardır yağ ve gaz endüstrisinde kullanılmaktadır. Ayrıca gerilmeli korozyona dirençli olması nedeniyle kimya endüstrisinde gittikçe genişleyen bir uygulama alanına sahiptir [3-6].

Dubleks paslanmaz çeliklerin kullanım alanının artmasının nedeni korozif ortamlarda, mekanik özelliklerini yitirmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleri, kolay şekillendirilebilme ve kaynaklanabilme özelliklerine sahip olmalarıdır [7,8].

Paslanmaz çeliklerin hangi kaynak yöntemiyle ne tür koşullarda birleştirilmelerinin uygun olacağını belirlemek araştırma konusu olmuştur. Nokta direnç kaynağı, yaklaşık 3 mm kalınlığa kadar olan aynı

kimyasal bileşimdeki sac ve levhaların birbiri üzerine bindirilerek birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılır [9]. Kaynak edilecek iş parçalarının birleşme (kontakt) yüzeyleri, kısa bir süre uygulanan düşük gerilim ve yüksek akım şiddeti ile plastik deformasyon sıcaklığına kadar ısıtılmakta, basıncın da etkisi ile noktasal kaynak çekirdeği oluşturulmakta ve böylece birleşme sağlanmaktadır [10].

Bu çalışmada; AISI 2205 kalite dubleks paslanmaz çelik sac lar, mukayese yapabilmek amacıyla, ticari olarak temin edildiği gibi, üç farklı kaynak akım şiddetinde (5 kA, 7 kA ve 9 kA) ve iki farklı kaynak zamanında (10 ve 20 çevrim) sabit elektrot baskı kuvveti (6 bar) uygulanarak atmosfer ortamında birleştirilmiştir. Bu amaçla birleştirmenin mekanik özelliklerinden çekme makaslama yükü taşıma kapasitesi tespit edilerek, sertlik dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca birleştirmenin metalografik incelemesi yapılarak, mekanik özellik mikroyapı ilişkisi belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

2.1 Malzeme ve metot (Material and method)

Deneysel çalışmada; 100 X 30 X 1,2 mm boyutlarında AISI 2205 kalite dubleks paslanmaz çelik sac malzeme ticari olarak temin edildiği şekliyle kullanılmıştır. AISI 2205 kalite sac malzemeye kimyasal bileşim analizi yapılarak sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi (% ağırlık) (Chemical composition of AISI 2205 duplex stainless steel (% wt))

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
66,2	0,03	1	2	0,03	0,02	22	5,5	3	0,14

Deneylerde, 60 kVA gücünde elektronik akım ve zaman kontrollü, pnömatik basma donanımlı elektrik nokta direnç kaynak makinesi kullanılmıştır. Elektrot basma kuvveti ise, kaynak makinesi üzerinden ölçülmüştür. Kaynak süresi makine üzerindeki donanım ile iki farklı değerde ayarlanmıştır. Birleştirme için sıkıştırma ve tutma süreleri çalışma süresince sabit tutulmuştur.

Deneylerde, kesik konik uçlu, uç çapı 8 mm olan, ticari saflıkta Cu-Cr elektrot kullanılmıştır. Elektrot uçlarında deformasyondan ve ısınmadan dolayı kalıntıların oluşmaması için, elektrotlar her beş kaynaktan sonra zımpara ile düzeltilmiştir. Ayrıca her on kaynaktan sonra elektrotların uçları kumpas ile kontrol edilmiş ve elektrot uç çap ölçüsü değişmiş ise, eğe ile tesviye edilerek gerekli ölçü ve geometriye

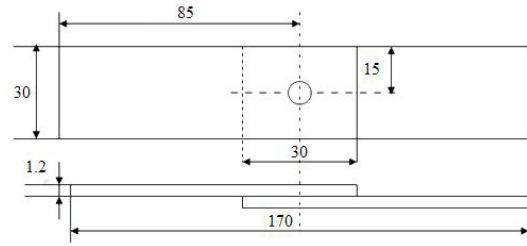
getirilmiştir. Elektrotlar arasındaki mesafe periyodik olarak kontrol edilmiştir.

2.2 Deneysel Numunelerinin Kaynak İçin Hazırlanması ve Birleştirilmesi (Preparation of Samples for Welding)

AISI 2205 kalite; et kalınlığı 1,2 mm, genişliği 30 mm ve boyu 100 mm olan 2 adet paslanmaz çelik sac Tablo 2'de verilen kaynak parametrelerine göre nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiştir. EN ISO 14273 standardı göz önünde bulundurularak hazırlanan numunelerin kaynak pozisyonu ve ölçüleri Şekil 2'de, çekme deney numunesinin görüntüsü Şekil 3'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kaynak parametreleri (Welding parameters)

AKIM (kA)	SÜRE (çevrim) 1 çevrim = 0,02 s	Soğuma Ortamı
5	10	Atmosfer
7	10	Atmosfer
9	10	Atmosfer
5	20	Atmosfer
7	20	Atmosfer
9	20	Atmosfer



Şekil 2. Deneysel numunelerin boyutları ve kaynak pozisyonu (Dimension of samples and welding position)



Şekil 3. Çekme deney numunesi (Tensile test sample)

Kaynaktan önce numunelerin yüzeyleri ince zımparayla kir, pas, yağ vb gibi kaynağı olumsuz olarak etkileyebilecek maddelerden temizlenip, sabunlu suda yıkanmış ve temiz bir bezle silinmiştir.

2.3 Birleştirmelere Uygulanan Mekanik Testler ve Metalografik İncelemeler (Mechanical Tests Applied for Weldment and Metallographic Evaluations)

AISI 2205 kalite 1,2 mm 'lik sac malzemeden çekme makaslama numuneleri çıkarılarak çekme işlemi için hazır hale getirilmiştir. Daha sonra çekme deneyi 50KN kapasiteli çekme test cihazında 2 mm/dak çekme hızında gerçekleştirilerek birleştirmelere ait kuvvet-uzama diyagramları elde edilmiştir.

Sertlik dağılımı kaynaklı bağlantıyı tamamen alacak şekilde metalografik yöntemlerle hazırlanmış numune üzerinde, aynı hatta ve kaynak ekseninden esas metale doğru belirli ölçüm aralıkları ile mikrosertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deney numunelerinde, kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı artışına bağlı olarak artan farklı ısı girdilerinin birleştirme üzerindeki etkilerini incelemek amacı ile kaynak çekirdek boyut ölçümü yapılmıştır. Boyut ölçümleri bir kumpas yardımı ile itinayla numunenin her iki yüzeyinde de gerçekleştirilmiştir. Ölçümler çekirdeğin en ve boy doğrultularında gerçekleştirilerek, ortalamaları alınarak o yüzeyin çekirdek boyutu bulunmuştur.

Metalografik inceleme numuneleri ise kaynak ilerleme yönüne dik olacak konumda metalografik inceleme yöntemindeki sıralama takip edilerek hazırlanmıştır. Parlatılan numuneler 90 ml saf su içerisinde 10g oxzalik asit çözeltisinde, 12 V gerilim altında, 2 A akım şiddetinde 10 sn. elektrolitik olarak dağlanmıştır. Metalografik incelemelerde 5X-100X büyütme kapasitesine sahip mikroskop kullanılarak numunelerin kaynak metalı, ITAB (ısı tesiri altındaki bölge) ve esas metalin mikroyapısı detaylıca incelenmiştir.

3. SONUÇLAR VE İRDELENMESİ (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada kaynak zamanı ve akım şiddetine bağlı olarak artan ısı girdisi farklılıklarının birleştirilen AISI 2205 serisi dubleks paslanmaz çeliklerin nokta direnç kaynak kalitesine etkisini incelemek amacıyla deney numunelerine çekme makaslama ve sertlik deneyi uygulanmıştır. Belirtilen şartlarda gerçekleştirilen birleştirmelerin, çekme makaslama yükü taşıma kapasitelerine, sertliğine ve mikroyapısına kaynak zamanına ve kaynak akım şiddetine bağlı olarak artan ısı girdisinin etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

3.1. Isı Girdisi Sonuçları (Heat Input Results)

Nokta direnç kaynak uygulamalarında kaynak ısı girdisine etki eden parametrelerden birisi kaynak akım şiddeti diğeri ise kaynak zamanıdır. Birleştirmeye uygulanan ısı girdisi artan kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti ile birlikte artış göstermektedir. Gupta ve diğerleri [11], ile Vural ve diğerleri [12,13] kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin ısı girdisini arttırdığını rapor etmişlerdir.

3.2. Kaynak Çekirdek Boyutu (Weld Nugget Dimension)

AISI 2205-AISI 2205 birleştirmesinin kaynak kalitesine etki eden parametrelerden birisi de kaynak çekirdek boyutudur. Tablo 3'te tüm şartlar için elde edilen deney numunelerinin ortalama çekirdek boyutu ölçümleri verilmiştir. Çekirdek boyut ölçümü her bir

kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı için hazırlanan 2 adet deney numunesinin üzerinde gerçekleştirilerek; her bir şart için 2 adet boyut ölçümü ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Ortalama çekirdek boyut sonuçları Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Birleştirmelerin çekirdek boyut ölçüm sonuçları (Weld nugget dimensions of weldment)

AISI 2205 BİRLEŞTİRMELERİNİN ORTALAMA ÇEKİRDEK ÇAP BOYUTU ÖLÇÜMÜ			
Akım Şiddeti (kA)	Kaynak Süresi (çevrim)	Soğuma Ortamı	Kaynak çekirdek çap ortalamaları (mm)
5	10	Atmosfer	5,80
7	10	Atmosfer	5,85
9	10	Atmosfer	6,65
5	20	Atmosfer	6,90
7	20	Atmosfer	6,95
9	20	Atmosfer	7,07

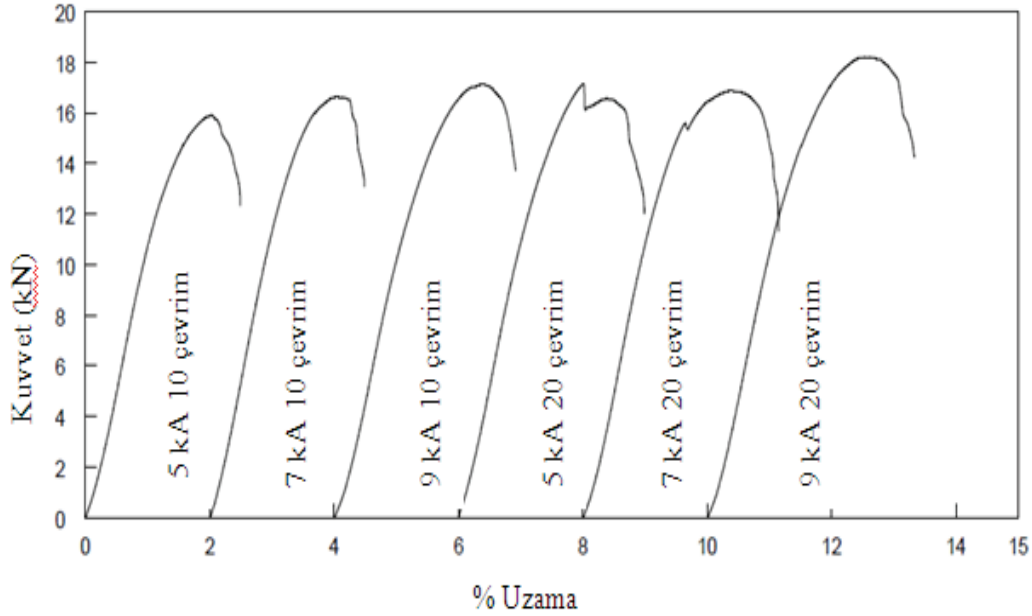
Tablo 3'den görüldüğü gibi artan kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanına bağlı olarak ısı girdisinin artması sebebiyle kaynak çekirdek boyutunun arttığı görülmektedir. Kaynak ısı girdisi artışının çekirdek boyutunu artırdığı daha önce yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir [11,13,14]. Kaynak çekirdek boyutu nokta direnç kaynak kalitesini belirleyen parametrelerden bir tanesidir. Kaynak kalitesi ve dayanımı kaynak çekirdek boyutu ve kaynak nüfuziyetini ölçerek tahmin edilmeye çalışılır. Normalde kabul ve tekrar edilebilir bir nokta direnç kaynak birleştirmesi için minimum çekirdek boyutu, birleştirilen en ince parça kalınlığının 3,5-4 katı kalınlığında olması istenir [15]. Nokta direnç kaynak nüfuziyetinin ise birleştirilen malzeme kalınlığının %20-80'ni arasında olması istenir. Çalışmada kaynak çekirdek boyutları yaklaşık olarak birleştirilen parçanın 5-6 katı ve nüfuziyetinde belirtilen aralık değerlerinde elde edildiği için kabul edilebilir olarak bulunmuştur.

3.3. Mekanik Özellik Sonuçları (Results of Mechanical Properties)

Nokta direnç kaynak kalitesini belirleyen parametrelerden mukavemet, çekme test cihazında çekme makaslama deneyi uygulanarak belirlenmiştir.

Çekme makaslama deneyi neticesinde; 10 ve 20 çevrim kaynak zamanlarında, artan akım şiddeti farklılıklarında birleştirilen deney numunelerine ait çekme makaslama yükü taşıma kapasitelerini gösteren kuvvet-uzama eğrileri Şekil 5'de gösterilmiştir.

Ticari olarak temin edildiği şekliyle birleştirilen numunelerin çekme makaslama yükü taşıma kapasiteleri artan kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetine bağlı olarak arttığını Şekil 5'deki gerilim uzama eğrileri net olarak göstermektedir. 20 çevrimde 5-7-9 kA kaynak akım şiddetiyle birleştirilen



Şekil 5. Farklı akım şiddeti ve kaynak zamanında birleştirilmiş numunelerin çekme makaslama yükü taşıma kapasitesi (Tensile load bearing capacity of weldment that welded at varies welding current intensity and welding time)

numunelerin çekme makaslama yükü taşıma kapasiteleri, 10 çevrimde 5-7-9 kA kaynak akım şiddetinde birleştirilen numunelere oranla daha yüksek bulunmuştur. 10 çevrim kaynak zamanında ve 5 kA düşük kaynak akım şiddetinde, küçük kaynak çekirdek boyutu olduğundan ayrılma tipinde kopma olmakta ve 15,4 kN gibi düşük çekme makaslama yükü değerleri elde edilmektedir. Aynı çevrimde, 7 kA akım şiddetinde ise ısı girdisinin artmasıyla birlikte kaynak çekirdek boyutunun artması çekme makaslama yükü değerinde 0,8 kN' luk bir artış meydana getirmiştir. 10 çevrim kaynak zamanındaki en yüksek çekme makaslama yükü değeri 9 kA kaynak akım şiddeti ile birleştirilen numunede, kaynak çekirdek boyutundaki artış sebebiyle 17,8 kN olarak belirlenmiştir. 20 çevrimde ve 5 kA kaynak akım şiddetiyle birleştirilen numunenin çekme makaslama yükü artan çekirdek boyutuna bağlı olarak 16,5 kN olarak belirlenirken, 7 kA kaynak akım şiddetinde birleştirilen numunenin 17,3 kN olduğu belirlenmiştir. 20 çevrim kaynak zamanındaki en yüksek çekme makaslama yükü değeri 9 kA kaynak akım şiddeti ile birleştirilen numunede, kaynak çekirdek boyutundaki artış sebebiyle 18,5 kN olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar direnç kaynak işleminin doğal kabul edilen istatistiksel değerleri içerisinde [17].

Sonuç olarak kaynak zamanına ve kaynak akım şiddetine bağlı olarak artan çekme makaslama yükü taşıma kapasiteleri kaynak çekirdek boyutuyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Araştırmacılar artan ısı girdisinin kaynak çekirdeğini genişlettiğini bununla çekme makaslama dayanımını arttırdığını rapor etmişlerdir [11,13,16,18]. Ancak, Vural ve diğerlerinin yapmış olduğu bir çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik çifti ve AISI304-galvanizli çelik çifti birleştirmelerinde

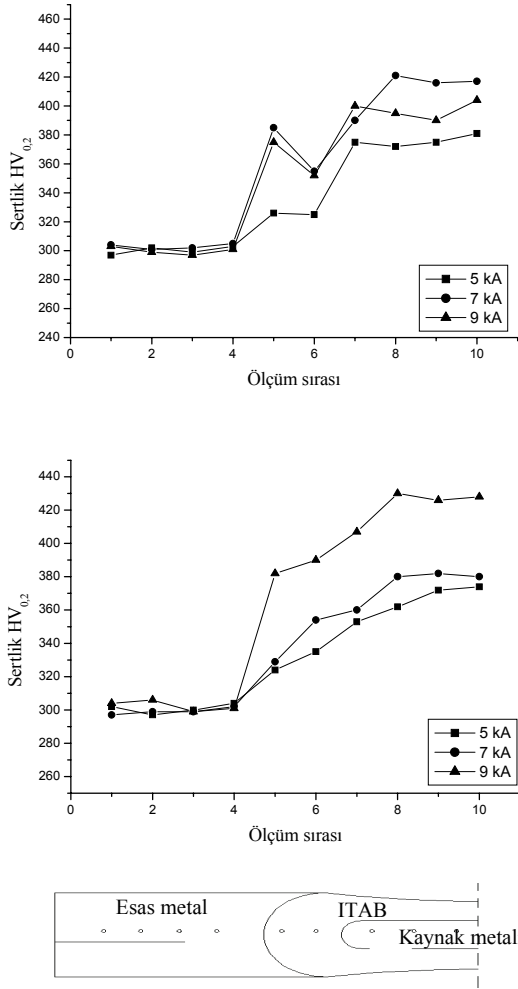
10 kA akım şiddetinden sonra kaynak çekirdek boyutunun aşırı erimeye ve sıçramaya bağlı olarak azaldığına işaret etmektedirler [19]. Çalışmada kullanılan maksimum 9 kA akım şiddeti kullanıldığı için çekirdek boyutunda bir azalma tespit edilmemiştir.

Çalışmada birleştirmelerin sertlik dağılımı da araştırılmıştır. Birleştirilen numunelerin kaynak zamanı değişimine bağlı olarak artan kaynak akım şiddetine göre sertlik dağılımı değişimi belirlenerek sırasıyla Şekil 6 a ve b'de gösterilmiştir.

Şekil 6 a ve b'den görüldüğü gibi ticari olarak temin edildiği şekliyle birleştirilen numunelerin kaynak çekirdeği sertlik değerleri kendi aralarında, 10 çevrim ve 20 çevrim kaynak zamanları için benzer bir dağılım sergilemektedir. Bunda dubleks paslanmaz çelik malzemenin allotropik bir dönüşüm göstermemesi sebebiyle ısı ile sertleştirilememesinin etkin rol oynadığı düşünülmektedir.

Sertlik değerlerine genel olarak bakıldığında en düşük sertlik değeri esas metalde, en yüksek sertlik değeri ise kaynak çekirdeğinde bulunmuştur. ITAB sertliği esas metalden yüksek, kaynak çekirdeğine göre daha düşük bulunmuştur. Birleştirmede kullanılan dubleks paslanmaz çelik esas metalin sertlik değeri beklenildiği gibi yaklaşık olarak 300 HV_{0,2} olarak bulunmuştur. Esas metalin kaynak ısı çevriminden etkilenmediğini göstermektedir.

Kaynaklı birleştirmelerin ITAB bölgelerinin sertlikleri kaynak süresi ve kaynak akım şiddeti farklılıklarına bağlı olarak irdelenmiştir. 10 ve 20 çevrim kaynak sürelerindeki ITAB sertlikleri



Şekil 6. (a) 5kA-7kA-9kA kaynak akımında 10 çevrimde birleştirilen numunelerin sertlik profili (b) 5kA-7kA-9kA kaynak akımında 20 çevrimde birleştirilen numunelerin sertlik profili (Hardness profile of sample (a) joined at 5kA-7kA-9kA weld current intensity for 10 cycles welding time, (b) joined at 5kA-7kA-9kA weld current intensity for 20 cycles welding time)

değerlendirildiğinde, en yüksek sertlik değeri 9 kA kaynak akım şiddetinde, en düşük sertlik değeri 5 kA kaynak akım şiddetinde birleştirilen numunede bulunmuştur. Ancak 10 çevrim kaynak süresinde birleştirilen numunede 7 kA kaynak akımında elde edilen numunenin ITAB sertliği de 9 kA elde edilen değerlerde tespit edilmiştir. Bu durum artan kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetine bağlı olarak artan ısı girdisi sonucunda ITAB bölgesinin kaynak ısı çevriminden etkilendiğine işaret etmektedir.

Birleştirilen numunelerin kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti farklılıklarına göre çekirdek sertlikleri irdelendiğinde; 10 çevrimde birleştirilen numunelerin kaynak çekirdeğinde ölçülen sertlik değerleri sırasıyla 7 kA 9 kA 5 kA şeklinde sıralandığı bulunmuştur (Şekil 6.a). 20 çevrimde birleştirilen numunelerin çekirdek sertlikleri ise 9 kA 7 kA 5 kA olarak

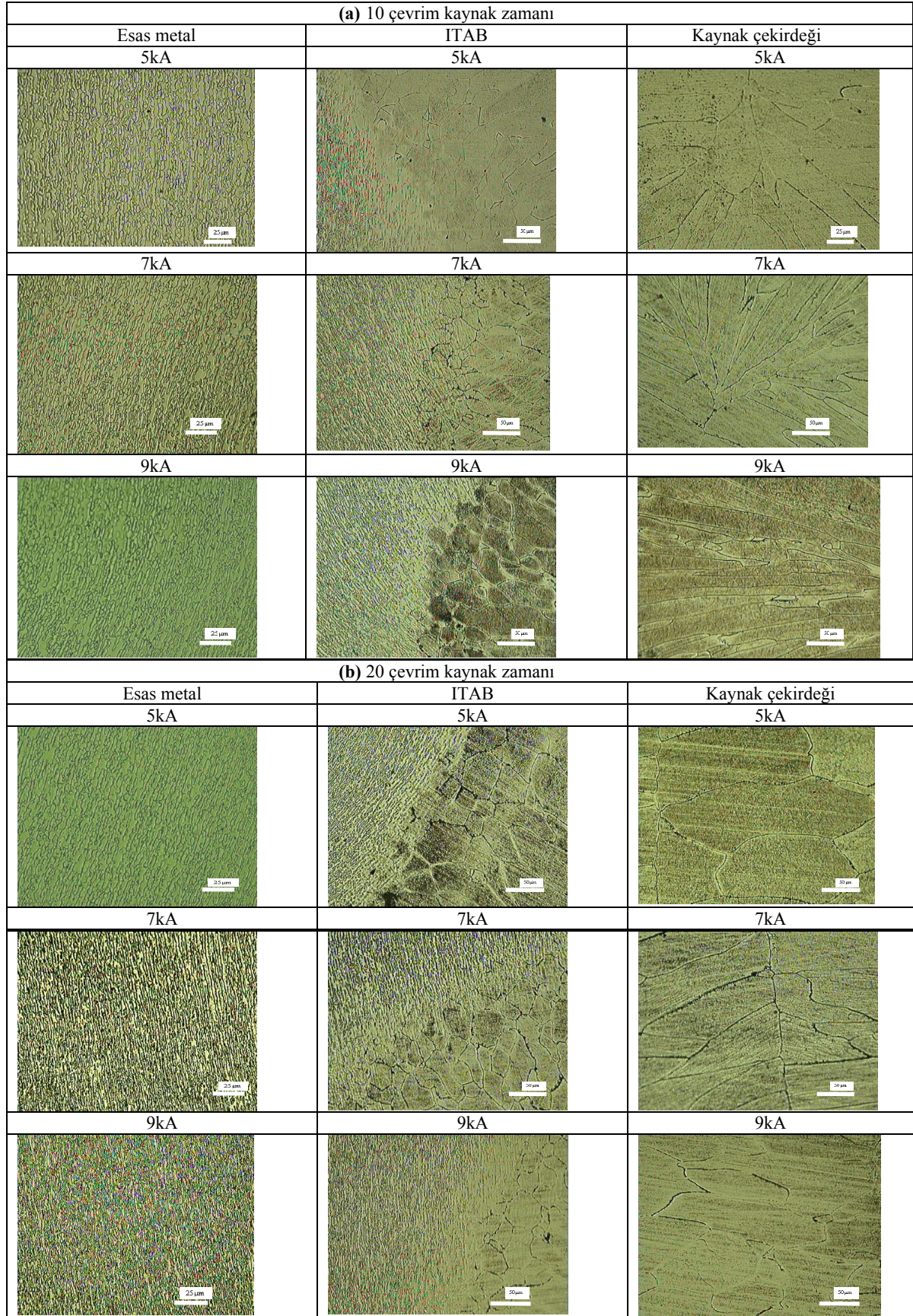
sıralandığı bulunmuştur. 10 çevrim ve 20 çevrim kaynak zamanları ile birleştirilen numunelerin kaynak çekirdeği sertlikleri kıyaslandığında en yüksek sertlik değeri 430 HV_{0.2} olarak 20 çevrimlik kaynak zamanında ve 9 kA kaynak akım şiddetinde birleştirilen numune tespit edilmiştir (Şekil 6.b). Bu durum artan kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetine bağlı olarak artan ısı girdisi sonucunda kaynak çekirdeğinin ısı çevrimden etkilendiğine işaret etmektedir. Bilindiği üzere dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak final mikroyapısını etkileyen parametreler kimyasal bileşim, ısı çevrim ve soğuma hızıdır [20,21]. Bu çalışmada kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetine bağlı olarak değişen ısı girdisi neticesinde kaynaklı birleştirmenin soğuma hızı da değiştiğinden dolayı kaynak çekirdeğinde ferrit-östenit dengesi bozularak ferrit lehinde oluşum meydana getirmesi beklenir. Kaynak çekirdeğindeki sertlik artışı da bununla ilgili olduğu düşünülmektedir. Dubleks paslanmaz çeliklerin kaynaklı uygulamalarında ITAB bölgesinde sıcaklık ferrit solvüs sıcaklığının üzerine çıktığı zaman tane irileşmesini engelleyen ikincil faz parçacıkları bulunmadığı için ferritik paslanmaz çeliklerde olduğu gibi hızlı ferrit tane irileşmesi oluşur [20]. Metalografik inceleme sonucu da bunu desteklemektedir.

3.4. Metalografik İnceleme (Metallographic Evaluation)

Mekanik özellik mikroyapı ilişkisini tayin edebilmek amacıyla birleştirmelerin metalografik incelemesi yapılmıştır. 10 çevrim kaynak zamanı kullanılarak farklı kaynak akım şiddetinde elde edilen numunelerin mikroyapı resimleri Şekil 7 a'da, 20 çevrim kaynak zamanı ile elde edilenler ise Şekil 7 b'de gösterilmiştir.

Şekil 7 a ve b'den görüldüğü üzere çalışmada kullanılan paslanmaz çelik esas metal yaklaşık olarak %50 ferrit %50 östenit fazlarından meydana gelmiştir. Bu çelikler optimum mekanik ve korozyon özelliklerini yapılarındaki ferrit-östenit faz oranlarının birbirlerine yakın olduğu durumlarda sergilerler [20,21].

Birleştirmelerin ITAB mikroyapıları artan akım şiddeti ve artan kaynak zamanı açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kaynak zamanı sabit, artan akım şiddetine bağlı olarak değerlendirme yapıldığında en belirgin husus ITAB'da ferrit tane irileşmesidir. Bilindiği üzere direnç kaynak işlemi doğası gereği ani ısınma ve müteakiben hızlı soğuma içeren bir yöntemdir. Dubleks paslanmaz gibi oda sıcaklığında ferrit ve östenit fazlarını bir arada yapılarında bulunduran çeliklerin kaynak uygulamasında kaynak ısı çevriminin etkisiyle ferrit solvüs sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklara ulaşılan bölgelerde daha öncede belirtildiği gibi ferrit tane irileşmesi meydana



Şekil 7.(a) 10 çevrim ve 5,7 ve 9 kA'de yapılan birleştirmenin; Esas metal, ITAB ve Kaynak çekirdeği mikroyapısı, **(b)** 20 çevrim ve 5,7 ve 9 kA'de yapılan birleştirmenin; Esas metal, ITAB ve Kaynak çekirdeği mikroyapısı. (**(a)** Microstructure of weldment; base metal, HAZ, weld nugget that joined 5kA-7kA-9kA weld current intensity for 10 cycles welding time, **(b)** Microstructure of weldment; base metal, HAZ, weld nugget that joined 5kA-7kA-9kA weld current intensity for 10 cycles welding time)

gelir. Bu durum tokluk ve şekillendirilebilirlikte azalmaya sebebiyet verir [20,22]. ITAB'da ferrit tane irileşmesi için artan akım şiddeti açısından da benzer şeyler söylenebilir. Çünkü kaynak ısı girdisi artıkça ferrit solvüs sıcaklığına yaklaştıkça benzer oluşumun meydana gelmesi kaçınılmazdır. Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti direnç kaynak ısı girdisini etkileyen en önemli kaynak parametrelerinden olduğu için en fazla tane irileşmesi 9 kA akım şiddetinde ve 20 çevrim kaynak zamanında meydana gelmesi beklenir.

Birleştirmelerin kaynak çekirdeği mikroyapısı irdelendiğinde 20 çevrim kaynak zamanında her üç kaynak akım şiddetinde birleştirilen numunelerin kaynak çekirdek tane boyutu 10 çevrim kaynak zamanında elde edilenlere oranla daha büyük olduğu görülmektedir (Şekil 7 a ve b). Kaynak çekirdeğinde ferrit solvüs sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa ulaşıldığından dolayı yapı kaba ferrit tanelerinden oluşmuştur. Bu durum artan ısı girdisi ve dubleks paslanmaz çeliklerin yapısı ile açıklanabilir. Bu yüzden iyi birleştirme elde edebilmek için birleştirme bölgesinin mikroyapısının kontrolü önemlidir [23].

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Yürütülen bu çalışmada, genel olarak elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Nokta direnç kaynak yöntemiyle birleştirilen numunelerin çekme makaslama yükü taşıma kapasitelerinde artan kaynak zamanı ve akım şiddetine bağlı olarak artış bulunmuştur. 20 çevrim kaynak zamanı ve 5-7-9 kA kaynak akım şiddetiyle birleştirilen numunelerin çekme makaslama yükü taşıma kapasiteleri, 10 çevrimde aynı kaynak akım şiddetinde birleştirilen numunelere oranla daha yüksek bulunmuştur. Bunun ısı girdisi artışına bağlı olarak artan kaynak çekirdek boyutu ile ilgili olduğu düşünülmektedir.
- Kaynaklı birleştirmelerin ITAB ve kaynak çekirdek sertlikleri kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanına bağlı olarak artan ısı girdisiyle arttığı bulunmuştur. Bunda kaynak ısıl çevrimin etkisiyle dupleks paslanmaz çeliklerin yapısındaki ferrit östenit dengesinin ferrit lehine bozulmasının etkisi olduğu düşünülmektedir.
- Birleştirmelerin mikroyapısı incelendiğinde artan ısı girdisiyle birleştirmelerin ITAB bölgesi ve kaynak çekirdeği tane boyutunun arttığı tespit edilmiştir. Yapı kaynak ısıl çevrimin etkisiyle ferrit solvüs sıcaklığının üzerine çıkılan bölgelerde tamamen ferrit fazına dönüştüğü ve ferritik paslanmaz çeliklerde olduğu gibi tane irileşmesi meydana geldiği görülmektedir.

Sonuç olarak; dubleks paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde tokluğun önemli olduğu uygulamalarda elektrik direnç nokta kaynak uygulamasından kaçınılmalıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Develi, K., **Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mig Kaynağında Argon Hidrojen Karışımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
2. Temel, E., **Paslanmaz Çeliklerin Üretimi Ve Kullanılması**, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
3. Miyamoto, H, Mirnaki, T., Hashimoto, S. "Superplastic deformation of micro-specimens of duplex stainless steel" **Materials Science and Engineering**, Department of Mechanical Energy Engineering Doshisha University, Japan, Sayı: A319, 779-783, 2001.
4. Baylan, O., **Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik-Martenzitik Farklı Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklı Bağlantılarında, Mikro Yapı İle Özellikler Arasındaki İlişkinin Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
5. Ulaş, A., **Duplex Paslanmaz Çelikler ve Kaynak Kabiliyeti**, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
6. Youns, S., Soon H., Hoong H., "Microstructural Changes During Superplastic Deformation Of Fe-24Cr-7Ni-3Mo-0.14N Duplex Stainless Steel" **Materials Science and Engineering**, Department of Material Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, South Korea, Sayı:A266, 276-284, 1998.
7. Kaluç, E., Tülbentçi, K., **Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği**, Seminer Notları, Kocaeli Üniversitesi, Kaynak Teknolojisi Araştırma Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli, s.239, 1995.
8. Committee., **Welding Handbook**, V.4. 7. Edition, AWS, U.S.A, 106-136, 1984.
9. Karıcı, F., **Soğuk Deformasyon ve Kaynak Isı Girdisinin AISI 304 Paslanmaz Çelik Direnç Kaynak Kalitesine Etkisi**, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2008.
10. Akkuş A. ve Çimen MŞ., **Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı**, Yayın No: 238, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara s. 85-86, 1999.
11. Gupta P, Ghosh P K, Nath K. and Ray S., "Resistance spot weldability of plain Carbon and

- low alloy dual phase steels”, **Z Metallkd.** 81(7), 502–508, 1990.
12. Vural M., Anık S. ve Anık E. S., **1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı**, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, s. 186-209, 1993.
 13. Vural M. and Akkus A., “On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets”, **J. Mater. Process. Technol.** 1 (6), 53-156, 2004.
 14. Aslanlar S., “The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry”, **Materials & Design**, 27 (2) 125-131., 2006.
 15. Kearns W. H., **Metals and their weldability**, AWS Welding Handbook, 7th edition, Cilt.4, American Welding Society, Printed in the USA, 76-146., 1982.
 16. Sharma P., Ghosh P. K. and Nath S. K., “Fatigue behavior of resistance spot welded Mn-Cr-Mo dual phase steels”, **Z Metallkd.** 84 (7), 13–517., 1993.
 17. Zhang H. and Senkara J. **Resistance welding; fundamentals and applications**, Taylor Francis CRC 196-201., 2005.
 18. Pouranvari M, Asgari H R, Mosavizadeh S M, Marashi P H and Goodarzi M., “Effect of weld nugget size on overload failure mode of resistance spot welds”, **Sci Techn. Weld. Joining**, 12, 217-225, 2007.
 19. Vural M., Akkuş A., Eryürek B., “Effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steel sheets”, **Journal of Materials Processing Technology** 176 127–132, 2006.
 20. Lippold, J.C. and Kotecki, D.J., **Welding metallurgy and weldability of stainless steel**, Wiley-interscience publications, ISBN 0471 47379 0, 231-263, 2005.
 21. Kou, Ş., **Welding metallurgy**, Wiley-interscience publications, ISBN 0471 84090 4, pp.179-188, 1997.
 22. Kuroda T, Ikeuchi K, Takahashi M, Kitagawa Y. **Proceedings of the IIW Asian Pacific international congress**, October, Singapore. Singapore: IIW;. 151–61, 2002.
 23. Kuroda, T., Ikeuchi, K., Ikede, H., “Flas butt resistance welding for duplex stainless steels”, **Vacuum** 80, 1331-1335,