

**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI YAPILMIŞ TRIP800
ÇELİĞİNİN YORULMA DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

İSMAİL ÇETİN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
TEMMUZ – 2014**

**NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI YAPILMIŞ TRIP800
ÇELİĞİNİN YORULMA DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

İSMAİL ÇETİN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Doç. Dr. İbrahim SEVİM**

**MERSİN
TEMMUZ – 2014**

İsmail ÇETİN tarafından, Doç. Dr. İbrahim SEVİM danışmanlığında hazırlanan “Nokta Direnç Kaynağı Yapılmış TRIP800 Çeliğinin Yorulma Davranışının İncelenmesi” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ

Doç.Dr. İbrahim SEVİM

Yrd.Doç.Dr. Önder ALBAYRAK

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/07/2014 tarih ve 2014.15/463 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Doç.Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN
Enstitü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI YAPILMIŞ TRIP800 ÇELİĞİNİN YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

İsmail ÇETİN

ÖZ

Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş TRIP800 çeliğinden sac parçaların yorulma dayanımları incelenmiştir. Nokta direnç kaynağı akımı deneysel parametre olarak seçilmiştir. Kaynak akımının yorulma dayanımı üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Yüksek döngülü yorulma testleri sonucunda her bir parametre için kuvvet-ömür eğrisi çıkarılmıştır. Yorulma testleri sonucunda kırılan yüzeyler SEM mikroskopunda incelenmiştir. Ayrıca nokta direnç kaynaklı numunelerden farklı kaynak akımı ile birleştirilen test numuneleri çekme-makaslama testine tabi tutulmuştur. Kuvvet-uzama değişimi grafikleri elde edilmiştir. Kaynak bölgesinin mikro sertlik taramaları yapılarak kaynak akımının mikro sertliğe etkisi gözlemlenmiştir. Üç farklı kaynak akımı değerine sahip test numunelerinin yorulma davranışları ve mikro sertlik değerleri birbirine yakın çıkmıştır. SEM taramalarında birçok mikro çatlak gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: TRIP800, Eksenel Yorulma, Nokta Direnç Kaynağı.

Danışman: Doç. Dr. İbrahim SEVİM, Mersin Üniversitesi, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

HIGH CYCLE FATIGUE BEHAVIOR OF RESISTANCE SPOT WELDED TRIP800 STEEL SHEET

İsmail ÇETİN

ABSTRACT

Fatigue behaviour of resistance spot welded TRIP800 steel sheet was investigated. Three different welding current were selected as experimental parameter. Effect of experimental parameters on fatigue strength were observed. The high cycle fatigue tests were performed and F-N curves were obtained for each parameter. Obtained fracture surface of failed samples were studied under SEM. Tensile-shear tests were applied to the welded specimens. Also microhardness testing was performed at welding area of specimens. The results show that used welding current parameters have similar fatigue trend and microhardness. Some microcracks were observed in the SEM images of the failed samples.

Key Words: TRIP800, Axial Fatigue Tests, Resistance Spot Weld

Advisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim SEVİM, Department of Engineering, Mersin University

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim süresince tecrübesini ve bilgisini esirgemeyerek bana destek olan danışmanım Doç. Dr. İbrahim SEVİM'e, deneysel testleri gerçekleştirebilmem için sundukları imkanlardan ötürü Sn. Serdar ERTURAN ve Ertuğrul YILDIRIM bey'e teşekkürlerimi sunarım.

Testlerimizi gerçekleştirebilmemiz için "BAP FBE MMB (İÇ) 2013-4.YL" numaralı projemize desteklerini esirgemeyen Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her anında varlıkları ile bana güç katan, bilfiil yanımda olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLERİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. TRIP800 ÇELİĞİ	12
3.2. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI YAPILIŞI.....	13
3.3. ÇEKME-MAKASLAMA TESTİ	15
3.4. EKSENEL YORULMA TESTİ.....	15
3.5. MİKRO SERTLİK TARAMASI	18
3.5. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) TESTİ.....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	22
4.1. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İŞLEMİNDE ELDE EDİLEN BULGULAR.....	22
4.2. ÇEKME MAKASLAMA TESTİNDE ELDE EDİLEN BULGULAR	23
4.3. EKSENEL YORULMA TESTİNDE ELDE EDİLEN BULGULAR	26
4.4. MİKRO SERTLİK TARAMASINDA ELDE EDİLEN BULGULAR	29
4.5. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMESİNDE ELDE EDİLEN BULGULAR	31
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. TRIP800 çeliğinin kimyasal kompozisyonu	12
Çizelge 3.2. TRIP800 çeliğinin mekanik özellikleri	12
Çizelge 3.3. Test numunelerine uygulanan kaynak parametreleri	14
Çizelge 3.4. Yorulma testi parametreleri	21
Çizelge 4.1. Numunelerin kaynak parametreleri ve bulgular.	25
Çizelge 4.2. Yorulma testi parametreleri ve bulgular	22

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. TRIP çeliğinin mikroyapısı.....	3
Şekil 2.2. Düşük mukavemetli, yüksek mukavemetli (HSS) ve ileri yüksek mukavemetli (AHSS) çelikler arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi.....	4
Şekil 2.3. Otomobillerde en çok kullanılan çeliklerin çekme grafik	4
Şekil 2.4. TRIP çeliğinden imal edilmiş otomobil parçaları	6
Şekil 2.5. Nokta direnç kaynağı makinası.....	7
Şekil 3.1. Kaynatılmış test numunesinin ölçüleri	13
Şekil 3.2. Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş test numuneleri.....	13
Şekil 3.3. Kaynak çekirdek çapı kumpas ile ölçüm yönleri.....	14
Şekil 3.4. TRIP800 Çekme deneyi test numunesi ölçüleri.....	15
Şekil 3.5. Nokta direnç kaynaklı parçalarda kırılma-kopma şekilleri.....	16
Şekil 3.6. Gerilmelerin sınıflandırılması	16
Şekil 3.7. Tasarlanan pnömatik eksenel yorulma makinası	17
Şekil 3.8. Bakalite alma işlemi öncesi direnç nokta kaynaklı numunelerin kesme yönü.....	19
Şekil 3.9. Bakalite alınan numuneler soldan sağa doğru 3, 6 ve 12 numaralı numuneler.....	19
Şekil 3.10. 3 ve 12 numaralı numunelerin HV ölçüm yönü.....	20
Şekil 3.11. 6 numaralı numune HV ölçüm yönü.....	20
Şekil 4.1. Nokta direnç kaynağı akımı-kaynak çekirdeği çapı grafiği.....	22
Şekil 4.2. TRIP800 çeliği çekme testi grafiği	22
Şekil 4.3. 8kA-10 cycle test numunesi çekme-makaslama testi grafiği.....	23
Şekil 4.4. 10kA-10 cycle test numunesi çekme-makaslama testi grafiği.....	23
Şekil 4.5. 12kA-10 cycle test numunesi çekme-makaslama testi grafiği.....	23
Şekil 4.6. Çekme & çekme-makaslama testinde elde edilen kopma gerilmeleri	24
Şekil 4.7. 8kA Kaynak akımında kaynatılan test numunelerinin kuvvet ömür grafiği	26
Şekil 4.8. 10kA Kaynak akımında kaynatılan test numunelerinin kuvvet ömür grafiği	26
Şekil 4.9. 12kA Kaynak akımında kaynatılan test numunelerinin kuvvet ömür grafiği	27
Şekil 4.10. 3 numaralı numune HV ölçüm değerleri grafiği.....	28
Şekil 4.11. 12 numaralı numune HV ölçüm değerleri grafiği.....	28
Şekil 4.12. 6 numaralı numune HV ölçüm değerleri grafiği.....	29
Şekil 4.13. Bakalite alınan 3 numaralı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri	30
Şekil 4.14. Bakalite alınan 6 numaralı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri	30
Şekil 4.15. Bakalite alınan 12 numaralı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri	31

KISALTMALAR DİZİNİ

AHSS : İleri yüksek mukavemetli çelik

CP : Kompleks fazlı çelik

DP : Çift fazlı çelik

HV : Vickers sertliği

HSS : Yüksek mukavemetli çelik

MS : Martensitik çelik

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

TRIP : Transformation induced plasticity (Dönüşümün sağladığı plastisite)

1. GİRİŞ

Transformation Induced Plasticity (TRIP) çelikleri otomotiv endüstrisi için geliştirilmiş yüksek mukavemetli (AHSS) çeliklerin en yeni türüdür [1].

Otomotiv üreticileri araçlar üzerinde güvenlik, emülsiyon, yakıt tüketimi performanslarını iyileştirmek için çalışmalar yapmaktadır. Bu iyileştirmeler araç yapılarının birçok gereksinimini artırmaktadır. Araç yapılarının gereksinimlerini karşılamak amacı ile yüksek mukavemetli çelikler (AHSS), çift fazlı çelikler (DP), TRIP çelikleri (Transformed Indused Plasticity), kompleks fazlı çelikler (CP), ve martenzitik (MS) çelikler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [2,3].

Araştırmacılar yüksek mukavemetli çelikleri üretmek için çalışmalar yapmaktadır. Yüksek manganezli çelikler, yüksek mukavemet ve sünekliğe, mükemmel şekil verme kabiliyetine ve düşük ağırlıkları sebebi ile dikkatleri üzerine çekmektedir. Bu geliştirilmiş yüksek manganezli çelikler, Transformed Indused Plasticity (TRIP) çelikleridir [4].

Nokta direnç kaynağı işlemi özellikle otomobil yapılarında olmak üzere sanayide yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çelik sacların birbirlerine birleştirilmesinde basitliği ve ucuzluğu ile tercih edilen bir yöntemdir [5].

Nokta direnç kaynağı yöntemi ucuz ve etkin bir birleştirme yöntemidir. Bir otomotiv gövdesinde 3000 - 5000 arasında nokta direnç kaynağı mevcuttur. Bundan dolayı nokta direnç kaynağı otomotiv endüstrisi için büyük öneme sahiptir [4,6].

Araçlar üzerindeki parçalar kullanım süreleri boyunca değişik yükleme durumlarına maruz kalırlar. Bu parçalar statik, darbe ve değişken yüklemeleri durumlarında dayanıklı ve güvenli olacak şekilde dizayn edilmesi oldukça önemlidir [2].

TRIP çeliğinin yukarıda açıklanan üstün özelliklerinden dolayı ve nokta direnç kaynağının otomotiv endüstrisindeki önemi göz önünde bulundurularak, 1,5mm kalınlığında nokta direnç kaynaklı TRIP800 çeliğinin deneysel yorulma davranışı incelenmesi amaçlanmıştır.

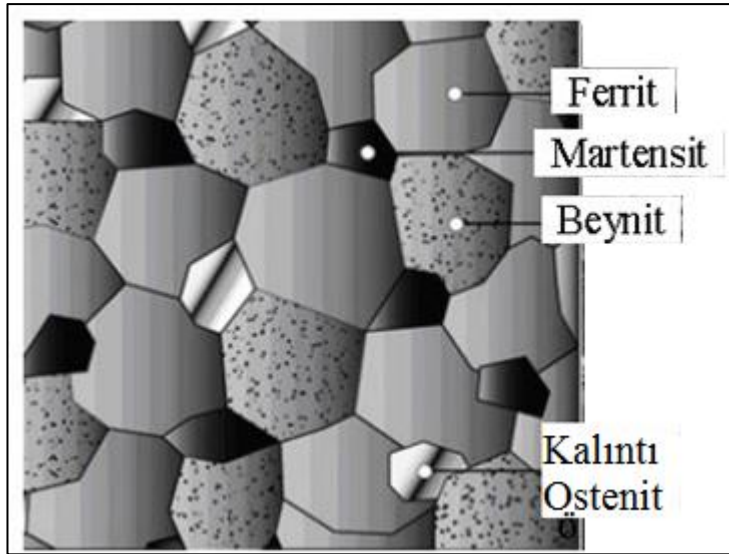
Bu çalışmada nokta direnç kaynağı yapılmış TRIP800 çeliğın yorulma davranışını incelemede üç farklı kaynak akımı deneysel parametre olarak seçildi. Test numuneleri, TRIP800 çeliğinden kesilen sac parçaların bindirme yöntemi ile nokta direnç kaynakları yapılarak oluşturuldu. Test numuneleri eksenel yorulma testine tabi tutularak kuvvet-ömür eğrileri elde edildi.

Literatürde yaptığımız araştırmalarda bu konuda bir çalışmaya rastlanmamış olup; çalışmamız neticesinde elde edilen sonuçlar TRIP800 çeliklerini kullanan çeşitli endüstri dalları ve bu konuda araştırma yapacak araştırmacılar için bir veri kaynağı olacağı düşünülmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

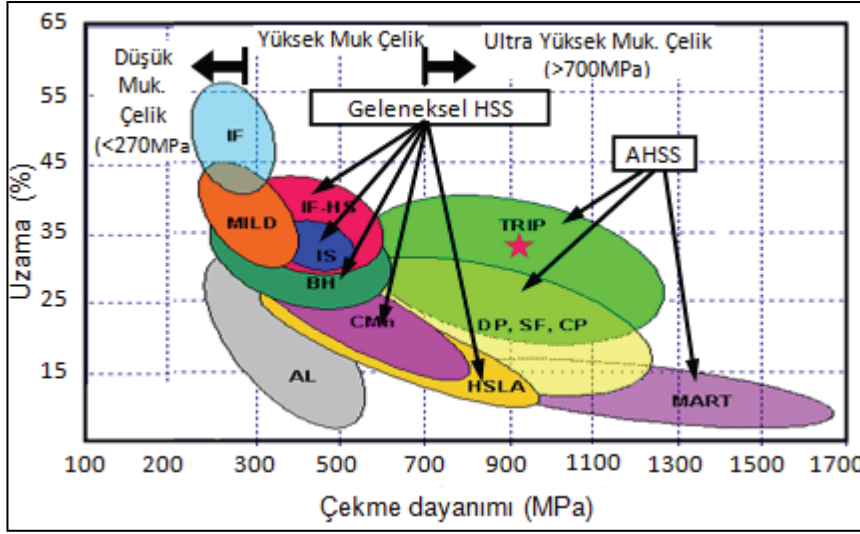
Transformation Induced Plasticity (TRIP) çelikleri otomotiv endüstrisi için geliştirilmiş yüksek mukavemetli (AHSS) çeliklerin en yeni türüdür [1].

TRIP çelikleri ile ilgili ilk uygulama Zackay tarafından yapılmış olup deformasyonun sebep olduğu martenzitik dönüşümden dolayı yüksek miktarda uzayabilen çelikler geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu çelikler ortam sıcaklığında tamamen ostenitik yapıdadır. 1980'lerde ise TRIP etkisi düşük alaşımli çelikler içinde gösterilmiştir. Geliştirilen bu çeliklerde mikroyapı hacimce %50-60 ferrit, %20-30 beynit ve geri kalan kısmı ise (%10-30) kalıntı ostenitten oluşmaktadır. Bu çelikleri tamamen ostenitik çeliklerden ayırabilmek için TRIP takviyeli (TRIP-assisted) çelikler olarak adlandırılmaktadır. İçyapıda yer alan kalıntı ostenitin deformasyon ile martenzit fazına dönüşmesi şekillendirilebilirliği önemli ölçüde artırabilmektedir [9]. Şekil 2.1'de TRIP takviyeli çeliğin tipik bir mikroyapı görüntüsü yer almaktadır.



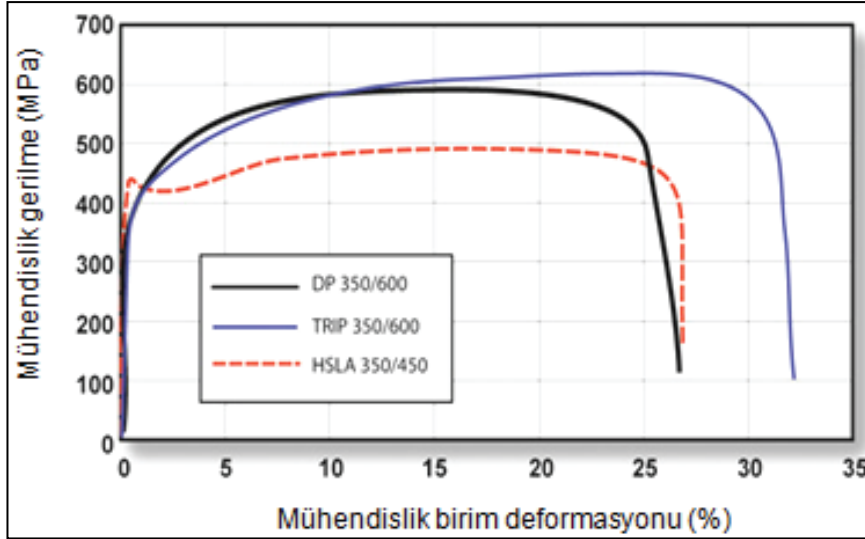
Şekil 2.1. TRIP çeliğinin mikroyapısı [1].

Otomotiv endüstrisinde farklı çelik türleri kullanılmaktadır. Şekil 2.2'de otomobil yapımında kullanılan çeliklerin mukavemet ve % uzama oranları verilmiştir.



Şekil 2.2. Düşük mukavemetli, yüksek mukavemetli (HSS) ve ileri yüksek mukavemetli (AHSS) çelikler arasındaki mukavemet ve % uzama ilişkisi [10,11].

TRIP çeliklerinin otomobillerde kullanılan diğer çeliklerle karşılaştırmalı çekme grafikleri Şekil 2.3'de verilmiştir. Şekil 2.3'de görüleceği gibi TRIP çelikleri, diğer iki çelik türünden daha üstün mekanik özelliklere sahiptir [12].



Şekil 2.3. Otomobillerde en çok kullanılan çeliklerin çekme grafikleri [12].

Özer [13] 2009 yılında çeliklere uygulanan TRIP işlemi ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi konulu çalışmasında, TRIP çelikleri ile ilgili uluslararası literatürde bilimsel yayınlar bulunmasına karşın, ülkemizde bu konu ile ilgili çalışmalara rastlanılmadığını. Bu nedenle literatür taraması yaparak, TRIP çeliklerini

tanıtmış ve sağladığı avantajları belirtmiştir. Özetle çalışmasında şu bilgileri paylaşmıştır; TRIP işlemi belirli kimyasal kompozisyona sahip çeliklere uygulanabilen termo-mekaniksel bir işlemdir. TRIP işleminin uygulandığı çelikler TRIP çelikleri olarak adlandırılır. Mühendislik malzemeleri ile ilgili yaşanan olumsuzluklardan biri de artan dayanımla birlikte şekillendirilebilirliğin azalmasıdır. Oysa mühendislik malzemelerinden yüksek dayanım ve süneklik kombinasyonu istenir. Bu optimum mekanik özellikler TRIP çelikleriyle karşılanmaktadır. Uygun kimyasal bileşime sahip çeliğe uygulanan TRIP işlemi ile 800-1000 MPa aralığında yüksek dayanım ve % 30'a varan uzamalar elde edilebilmektedir. TRIP etkisi nedeniyle yüksek dayanıma ve süneklığe sahip çelikler boru hatlarından otomotiv endüstrisine kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır.

Toros [9] 2013 yılında TRIP800 çeliğinin şekillendirme kabiliyetinin incelenmesi ve modellenmesi konulu doktora tezi çalışmasında TRIP800 çeliğinin mekanik özelliklerini kapsamlı olarak incelenmiştir. Mekanik testlerin yanı sıra başlangıçtaki ve mekanik deneyler sonrasındaki içyapı özellikleri de belirlenmiştir. Yapılan testler neticesinde elde edilen mekanik özellikler içyapı özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. Bunlara ilave olarak ta yapılan mekanik testler neticesinde elde edilen verilerin kullanılması ile malzemenin akma eğrisi ve akma yüzeyi gibi mekanik özelliklerini en iyi şekilde temsil eden modellenin tayini de gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında malzemelerin mikroyapısını sonlu elemanlar analiz programlarında modelleme işlemi gerçekleştirmiştir. Bu analizler ile kalıntı ostenitin morfolojisinin etkisi hakkında bilgi sahibi olunmuş, sonuç olarak ta granüler tipteki kalıntı ostenitin filament tiplerindekine göre dönüşüme daha yatkın olduğu yapılan analizlerde belirlenmiştir. Buna ilave olarak kalıntı osteniti çevreleyen diğer fazların tipi de dönüşüme etkili olmaktadır. Kalıntı osteniti daha yüksek mukavemete sahip olan beynit fazının çevrelemesi durumunda dönüşüm daha geç olmaktadır.

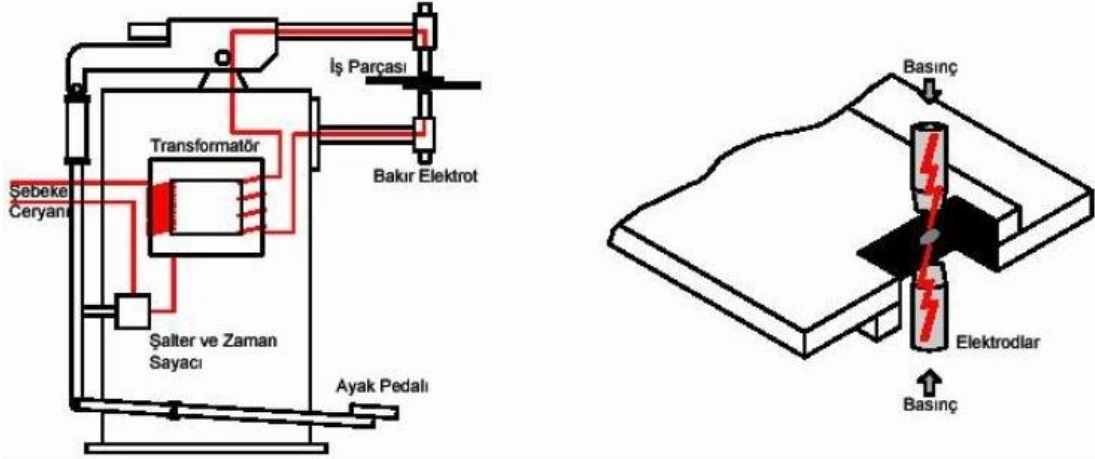
TRIP çelikleri otomotiv endüstrisi için geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik türüdür. Otomotiv endüstrisinde kullanılan çelik türlerinin yüksek mukavemet özelliğinin yanı sıra kaynak edilebilme ve şekillendirilebilme özelliklerinin de iyi olması gerekir [14].



Şekil 2.4. TRIP çeliğinden imal edilmiş otomobil parçaları [15].

Nokta direnç kaynağı yöntemi çelik sacların birleştirilmesinde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Diğer kaynaklı birleştirme yöntemlerine nazaran birçok üstün özelliğe sahiptir. Bu üstün özellikler; hızlı, kullanımı kolay, otomasyona uygun, seri üretim için ideal ve ucuz bir yöntem oluşudur. Nokta direnç kaynağı yöntemi bu üstün özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisinde çelik sac parçaları birleştirmek için kullanılan birincil yöntem olmuştur. Bir otomotiv gövdesi binlerce nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş sac parçalardan oluşmaktadır [16-18].

Basınç ve kaynak akımı yardımıyla ilave metal kullanmadan meydana getirilen kaynaklı birleştirmeye nokta direnç kaynağı denir. Nokta kaynağı, direnç kaynağı türleri içerisinde en çok kullanılan türdür. Kaynatılacak parçalar iki bakır elektrot arasına alınır ve belirli bir baskı uygulanmasıyla elektrik akımının geçişi sağlanır. Makina üzerindeki şalter ve zaman sayacı ile belirlenen süre boyunca, akım bir elektrottan diğerine akarken bu akıma karşı direnç, iki sac arasındaki temas noktasında en yükseğe ulaşır ve malzeme bu noktada ergimeye başlar. Elektrik akımının otomatik olarak kesilmesinden sonra kaynak banyosu, uygulanan basınç altında soğuyarak katılaştır ve iki sac malzeme sökülemez bir şekilde birleştirilmiş olur. Standart bir nokta direnç kaynak makinasının temel bileşenleri, bakır elektrotlara yük uygulamak için kullanılan mekanik bir sistem, şebekeden gelen gerilimi düşüren transformatör, bazı makinelerde akım kontrol cihazları ve bir zaman sayacından oluşur [19]. Şekil 2.5'de nokta direnç kaynağı makinası gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Nokta direnç kaynağı makinası [20].

Nokta direnç kaynaklı bağlantılar, işletme sırasında statik ve dinamik yükler altında zorlanmaktadır. Özellikle dinamik yükler altında zorlanan bölgelerde oluşan hasar tipi oldukça kritik olup, bunlar yorulma hasarı olarak adlandırılırlar. Yorulma hasarı, malzeme içerisindeki bir hata veya süreksizlikten başlar, giderek ilerler ve sonunda hasarla sonuçlanır [21].

Otomobiller çekme ve darbelere maruz kalmakla birlikte yorulmaya da maruz kalabilen araçlardır. Otomotiv yapılarında bulunan nokta direnç kaynaklarının dayanımı bu yapıların işlevlerini güvenli bir şekilde yerine getirebilecek mukavemette olmalıdır. Otomotiv yapıları üzerinde bulunan nokta direnç kaynakları genellikle yorulma sebebiyle hasara uğramaktadır. Bundan dolayı nokta direnç kaynaklı yapıların yorulma davranışlarını anlamak, güvenli bir araç tasarımı için çok önemlidir [22].

Bazı araştırmacılar [23-27] nokta direnç kaynaklı çelik sacların yorulma davranışlarını incelemek için nokta direnç kaynağı çekirdek çapı, çelik sacın et kalınlığı, ana metalin mekanik özellikleri gibi geometrik parametrelerin yorulma dayanımına etkisini incelemiştir. Araştırmaları neticesinde test numunelerine uygulanan yük-gerilme değerleri azaltıldıkça yorulma ömrünün arttığını, nokta direnç kaynağı çekirdeği çapındaki artışın ve malzeme et kalınlığındaki artışın yorulma ömrünü arttırdığını tespit etmişlerdir.

Nokta direnç kaynaklı yapıların termal ve mekanik analizinde, deneysel çalışmaların yanı sıra sonlu elemanlar metodu ile de çalışmalar yapılmaktadır. Bu sayede deneysel çalışmalarda harcanan efor ve süre minimize edilmektedir [28-30].

Kim ve diğer araştırmacılar [31] 2005 yılında galvanizsiz ve galvanizli TRIP çeliğinin nokta direnç kaynağı parametrelerinin kaynak dayanımına etkisini incelemiştir. Deneysel çalışmalarında uyguladıkları kaynak parametreleri içerisinde en iyi kaynak parametresi değerlerini 9kA kaynak akımı, 15 cycle kaynak süresi, 3.14 kN kaynak kuvvetinde gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Bu çalışma sonunda geliştirdikleri denklem sayesinde çeşitli kaynak parametrelerinde istenilen kaynak sonucunun ne olabileceğini (kaynak çapı, kesme gerilmesi, kaynak yoğunluğu) doğru bir şekilde tespit edebilmiştir.

Zhao ve çalışma arkadaşları [32] 2009 yılında TIG ve Lazer ışın (LB) kaynak yöntemleri ile kaynatılmış TRIP çeliğinin mikro yapısındaki ostenit kalıntısını incelemiştir. Ostenit kalıntısını optik mikroskop ile analiz edip, kaynak bölgesinde mikro sertlik taramaları gerçekleştirmişlerdir. TIG yöntemi ile TRIP çeliği kaynak işlemine tabi tutulduğunda yavaş soğutmaya bağlı olarak kalıntı ostenit yapıda artma olduğunu tespit etmişlerdir. Bu sonuç TRIP çeliğinin kaynaklanabilme özelliğinin üstün özelliklerini göstermektedir. Kaynak bölgesindeki sertlik taramalarında minimum sertliğin ısıdan etkilenen bölgede (HAZ) olduğunu, bunun nedeninin ferrit fazlalığından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Bu bölgede ostenit kalıntısı artırılması ile yüzey sertliği farklılıklarından meydana gelebilecek kırılmaların önüne geçilebileceğini bildirmişlerdir.

Vural ve Akkuş [33] 2004 yılında "galvanizli soğuk şekillendirilebilir çelik sac ile ostenitik paslanmaz çelik sacın nokta direnç kaynağını incelemiştir. Uygulanan kaynak akımı neticesinde meydana gelen kaynak çapını, nokta direnç kaynaklı numunelerin çekme-kesme testini, kaynak bölgesinin mikro sertliğini ve yüksek döngülü yorulma testini numuneler üzerinde uygulamışlardır. Çalışma neticesinde kaynak akımının artması ile kaynak çapının arttığını, kaynak çapındaki artışın çekme-kesme gerilmesine pozitif etki ettiğini, kaynak bölgelerinde max. 350

HV sertliğini, yorulma testlerinde ise net bir yorulma sınırı olmadığını fakat kaynak çapındaki artışın yorulma ömrüne olumlu yönde etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Hasanbaşoğlu ve Kaçar [35] 2006 yılında "Farklı Çeliklerin Nokta direnç Kaynağı" konulu çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmalarında AISI 316L ile DIN EN 10130-99 çeliklerini nokta direnç kaynağı ile birleştirmişlerdir. Benzer yapıdaki çeliklerin nokta direnç kaynağı işlemine nazaran farklı çeliklerin nokta direnç kaynağı işleminin; fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin farklılığından dolayı zor olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında nokta direnç kaynaklı yapıların mukavimliğine 7kA kaynak akımında ulaşabildiklerine ancak en iyi mukavemet değerlerine ise 9kA kaynak akımı, 6 bar kaynak basıncı ve 17 cycle kaynak süresinde elde etmişlerdir.

Vural ve çalışma arkadaşları [36] 2006 yılında nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş farklı çelik saclarında kaynak çapının yorulma dayanımına etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları kapsamında uygulanan çeşitli kaynak akımı ile parçalarda meydana gelen kaynak çaplarını tayin etmişlerdir. Kaynak çaplarına göre test numunelerinin çeşitli yüklerdeki yorulma ömürlerini test etmişlerdir. Kaynak çapı artışı ile yorulma ömrü arasında olumlu yönde etki olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca test numunelerinin çatlak ilerleme boyunu Paris-Erdoğan eşitliği ile hesaplamışlardır.

Tumuluru [37] 2010 yılında yaptığı nokta direnç kaynaklı TRIP ve DP çeliklerinin boyama prosesi sonrası fırınlanma işleminin çeliklerin yapısına ve özelliklerine etkisini araştırmıştır. Sistematik bir çalışma ile fırınlanmış ve fırınlanmamış nokta direnç kaynaklı DP ve TRIP çeliklerini mukayese etmiştir. Bu kapsamda çekme-kesme, Peel testi, mikro sertlik testleri yapmıştır. Bununla birlikte nokta direnç kaynağı bölgeleri SEM ve TEM ile incelemiştir. Fırınlanmış nokta direnç kaynaklı yapıda çekme-kesme mukavemetinin arttığını gözlemlemiştir. Fırınlama işleminin çekme-kesme gerilmesinde kopma şekline ve kaynak sertliğine bir etkisinin olmadığını gözlemlemiştir.

Ding ve çalışma arkadaşları [4] 2010 yılında 18,8% Mn oranlı TRIP çeliğinin Pekleşme davranışını incelemişlerdir. Çekme deneylerinde elde edilen

gerilme-şekil değiştirme eğrisinin 4 ayrı bölümde incelenebileceğini belirtmişlerdir. Elastik bölgenin verinim değeri $\varepsilon=0,06$ 'nın altında olduğunu gözlemlemişlerdir. Plastik bölge $\varepsilon=(0,06-0,14)$ aralığında iken ε -martenzitin ilk olarak oluştuğunu, ostenitin α -martenzite ve daha sonra ε -martenzite dönüştüğünü görmüşlerdir. $\varepsilon=(0,14-0,35)$ aralığında iken hata-kusur enerjisinin şekil değiştirme enerjisinden kaynaklanan enerji ile arttığını belirtmişlerdir.

Pal ve Cahattopadhyay [2] 2010 yılında M190 çelik saclarının nokta direnç kaynak edilebilirliğini ve yorulma davranışını incelemişlerdir. Bu kapsamda nokta direnç kaynaklı numunelere çekme-kesme gerilmesi, mikro sertlik, sıyırma ve yorulma testleri uygulamışlardır. Ayrıca yorulma testinden sonra kopan numunelerin kopma yüzeyini SEM ile incelemişlerdir. Çekme-kesme gerilmesi testlerinde nokta direnç kaynağının yapıya pozitif etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Mikro sertliğinde görülen yüksek sertlik değerlerinin sıyırma testine arayüzey kırılmasına negatif etki yaptığını gözlemlemişlerdir. Düşük yük yüksek döngülü yorulma testlerinde farklı kaynak parametrelili numunelerin benzer davranışlar sergilediğini görmüşlerdir.

Brauser ve çalışma arkadaşları [39] 2010 yılında otomotiv uygulamaları için kullanılan nokta direnç kaynaklı yüksek dayanıklı çeliklerin deformasyon davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında TRIP ve mikro alaşımlı HX340LAD çeliğini kullanmışlardır. Bölgesel şekil değişimi dağılımını incelemek için Digital image correlation (DIC) yöntemini kullanmışlardır. TRIP çeliğinin şekil değişimi dağılımını açıklayabilmek amacıyla kalıntı ostenit miktarını analiz etmişlerdir. TRIP çeliğinin yüksek kırılma dayanıklı nedeninin kalıntı ostenitin gerilme uygulandığında martenzite dönüşmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Jung ve çalışma arkadaşları [40] 2012 yılında yüksek karbon ve alüminyum oranlı TRIP çeliğinin nokta direnç kaynağı edilebilirliğini ve bu kaynak türünün karakteristiklerini incelemişlerdir. Nokta direnç kaynaklı test numunelerini kesme ve çekme testlerine tabi tutarak süneklik oranını hesaplamışlardır. δ -Ferrit oranının 0,19 dan 0,5 e artması ile kaynak ve ısıdan etkilenmiş bölgede sertlik değerinin 400 HV

den 150 HV düştüğünü gözlemlemişlerdir. δ -Ferrit varlığındaki artış sertliğin düşmesine yardımcı olmakta ve mükemmel bir süneklik oranı sağlamaktadır.

Fujii ve çalışma arkadaşları [41] 2011 yılında Çelik sacların nokta kaynaklı ve nokta kaynaklı-yapıştırırmalı bağlantılarının yorulma özellikleri konulu çalışma yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında yumuşak çelik sacları ve yüksek mukavemetli çelik sacları nokta kaynağı ve nokta kaynaklı yapıştırırmalı olacak şekilde birleştirmişlerdir. Numunelere yorulma testi uygulamışlardır. Nokta kaynaklı ve yapıştırırmalı bağlantıya sahip çeliklerin yorulma dayanımlarının daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun nedeni yapıştırma işlemi ile uygulanan yorulma kuvvetine karşı direnç yüzeyinin artması olduğunu belirtmişlerdir.

Cheng ve Deng [42] 2000 yılında Nokta direnç kaynaklı bağlantıların sonlu elemanlar metodu ile analizinde shell (kabuk) elemanların performansını incelemişlerdir. Bu kapsamda nokta direnç kaynaklı yapıları üç boyutlu elemanlarla ve shell elemanlarla modellemiş ve sonlu elemanlar analizini gerçekleştirmişlerdir. Gerilme ve deformasyon sonuçlarının benzer olduğunu görmüşlerdir. Bu sayede Sonlu elemanlar metodu ile analiz yapılırken shell elemanların kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

İncelediğimiz araştırmalar neticesinde TRIP çeliği ile nokta direnç kaynağı işleminin otomotiv ve çeşitli endüstri dalları için önemi görülmektedir. Ayrıca araştırmalarımız neticesinde nokta direnç kaynaklı yapıların yorulma davranışını incelemek için nasıl bir yöntem takip edildiği tespit edilmiştir.

Literatürde yaptığımız araştırmalarda nokta direnç kaynaklı TRIP çeliklerin yorulma davranışı üzerine henüz bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada nokta direnç kaynaklı TRIP800 çeliğinin yorulma davranışının deneysel incelenmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada 1,5mm kalınlığında TRIP800 çelik sac kullanıldı. Çelik saclar 100mm x 30mm ebatlarında giyotinde kesildi. Kesilen bu parçaların yüzeyleri etil alkol ile temizlendi. Daha sonra yüzeyleri temizlenen bu parçalar değişik kaynak akımlarında ve sabit kaynak akım sürelerinde nokta direnç kaynağı ile bindirme şeklinde kaynatıldı. Nokta direnç kaynağı yapıldıktan sonra oluşan kaynak çapları kumpas ile iki ölçümün ortalaması alınarak numunelerin kaynak çapları belirlendi. Kaynaklı numuneler daha sonra çekme-makaslama testine tabi tutuldu. Bu çalışmanın asıl amacı nokta direnç kaynaklı TRIP800 çeliğinin yorulma davranışını incelemektir. Bu amaçla tarafımızdan tasarımı yapılan ve daha sonra imal ettirilen aksel gerilmeli yorulma test cihazında yorulma deneyleri gerçekleştirildi. Deneyler sonucunda farklı kaynak akımlarında birleştirilmiş nokta direnç kaynaklı TRIP800 çeliğinin kuvvet ömür diyagramı elde edildi. Kaynaklı parçaların kaynak bölgesinin mikro sertlikleri ölçüldü. Ayrıca yorulma esnasında kırılmış yüzeylerin SEM taramaları yapıldı.

3.1. TRIP800 ÇELİĞİ

Bu çalışmada 1,5mm kalınlığında TRIP800 çeliği kullanılmıştır. TRIP800 çeliğinin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri çizelge 3.1. ve çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. TRIP 800 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık.)

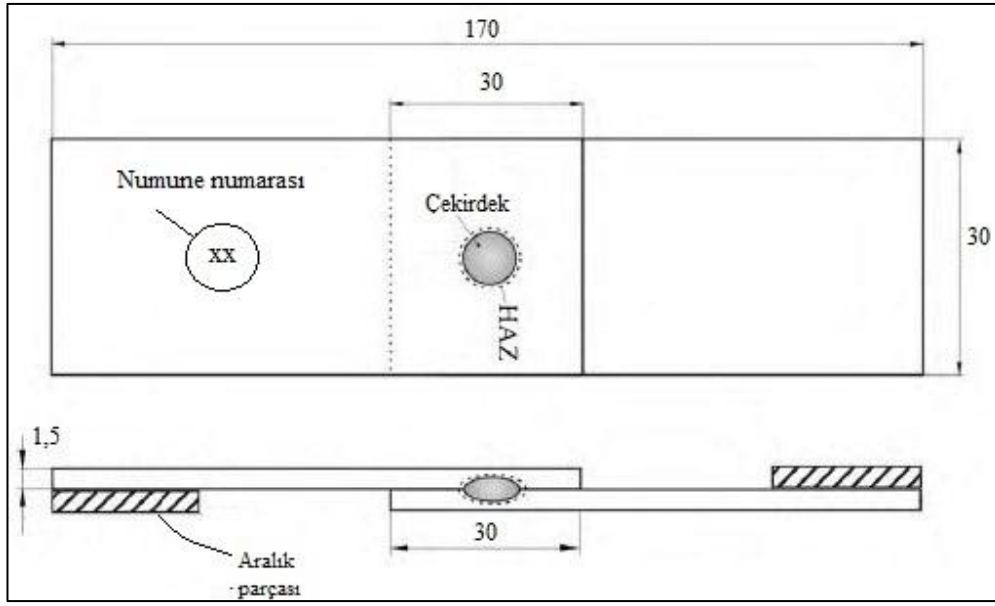
C	Mn	Cr	Ni	Si	V	Al	Nb	Fe
0,193	2,13	0,338	0,020	0,279	0,007	0,58	0,022	96,3

Çizelge 3.2. TRIP800 çeliğinin mekanik özellikleri [44]

Malzeme	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Uzama (%)
TRIP800	435	825	24,0

3.2. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI YAPILIŞI

Bu çalışmada 1,5mm kalınlığında TRIP800 çelik sac, giyotin kesme makinasında 100mm x 30mm ebatlarında kesildi. Nokta direnç kaynağı yöntemi kullanılarak Şekil 3.1'de gösterildiği gibi bindirme yöntemi ile parçalar birbirlerine kaynatıldı. Kaynak işlemi 16kVA DC hidrolik nokta direnç kaynağı makinasında, konik uçlu %99 bakır oranına sahip elektrotla yapıldı. Numunelere uygulanan kaynak parametreleri çizelge 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Kaynatılmış test numunesinin ölçüleri.

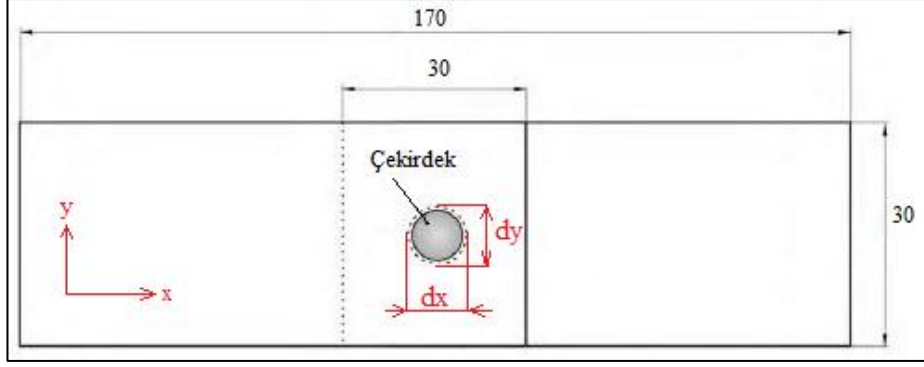


Şekil 3.2. Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş test numuneleri.

Çizelge 3.3. Test numunelerine uygulanan kaynak parametreleri

Numune No.	Elektrot kuvveti (kN)	Kaynak Akımı(kA)	Akım Süresi (Cycle)	Baskı Süresi (Cycle)	Soğutma Süresi (Cycle)
0	4	8	10	15	20
1	4	8	10	15	20
2	4	8	10	15	20
3	4	8	10	15	20
4	4	8	10	15	20
5	4	10	10	15	20
6	4	10	10	15	20
7	4	10	10	15	20
8	4	10	10	15	20
9	4	12	10	15	20
10	4	12	10	15	20
11	4	12	10	15	20
12	4	12	10	15	20
13	4	12	10	15	20

Kaynaklı numunelerin çekirdek çapları x ve y eksenlerinde şekil 3.3'de gösterildiği gibi kumpas ile ölçülerek ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak bulundu.

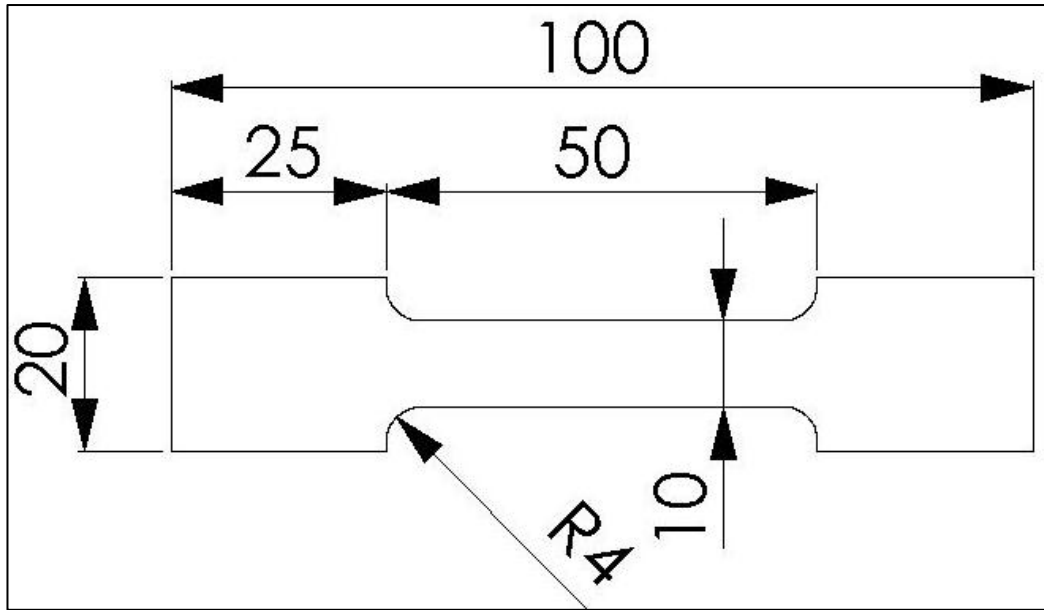


Şekil 3.3. Kaynak çekirdek çapı kumpas ile ölçüm yönleri .

3.3. ÇEKME - MAKASLAMA TESTİ

8, 10, 12kA kaynak akımı ile kaynak yapılan numuneler çekme-makaslama testine tabi tutuldu. Ayrıca TRIP800 çeliğinin mekanik özelliklerini belirlemek için şekil 3.4. te gösterilen numuneye çekme testi uygulanmıştır.

Çekme testleri 40 tonluk Alşa marka hidrolik çekme makinasında yapıldı. Çekme deneyi hızı 25mm/dk olarak yapılmıştır.



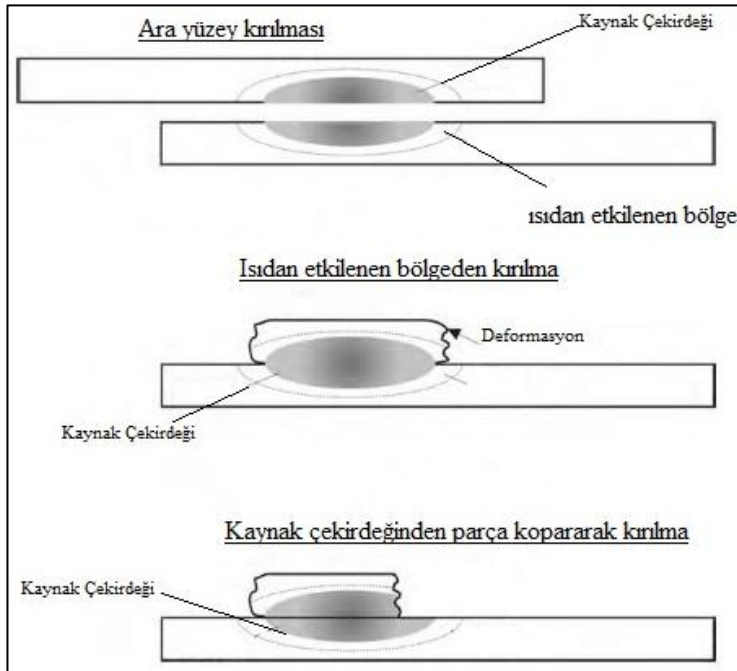
Şekil 3.4. TRIP800 Çekme deneyi test numunesi ölçüleri.

3.4. EKSENEL YORULMA TESTİ

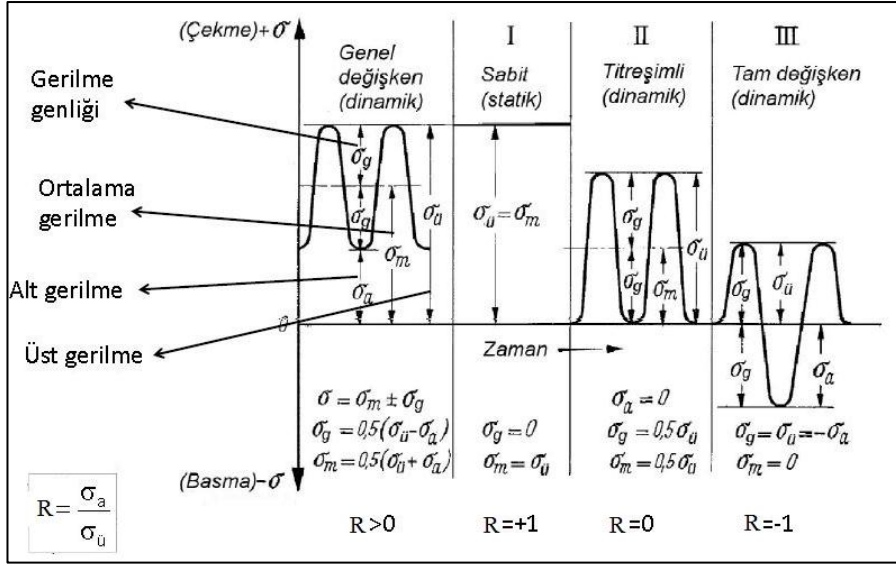
Nokta direnç kaynaklı test numunelerinde kırılma ara yüzey kırılması, ısıdan etkilenen bölgede kırılma veya kaynak bölgesinden parça kopararak kırılma şeklinde olur [45].

Gerilme oranı, R ile gösterilir. Üst gerilmenin alt gerilmeye oranıdır.

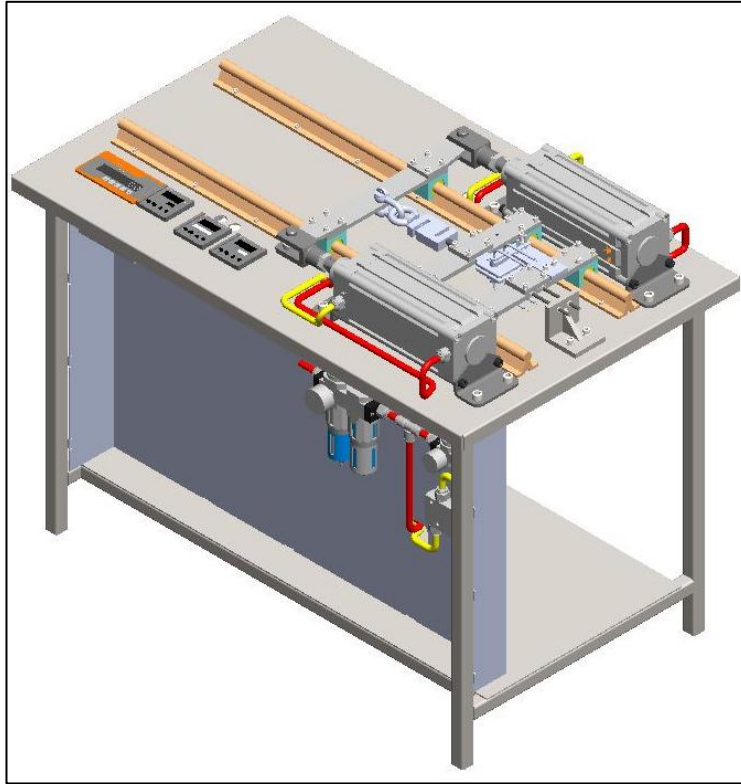
Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş 13 adet test numuneleri tarafımızdan tasarımı ve imalatı yapılan R=0 olan dinamik yorulma test düzeneğinde yorulma testleri yapıldı. Bu testin yapılma amacı otomotiv kaportasında sürekli olarak bu şekilde bir gerilme zorlanmasına maruz kaldığı düşünülüyor. Tarafımızdan tasarlanan ve imal ettirilen yorulma test makinasının şematik görünüşü şekil 3.8. de verilmiştir.



Şekil 3.5. Nokta direnç kaynaklı parçalarda kırılma-kopma şekilleri [39].



Şekil.3.6. Gerilmelerin sınıflandırılması [46].



Şekil 3.7. Tasarlanan pnömatik eksenel yorulma makinası.

Test makinasını dizayn etmeden önce genel yorulma makinalarında ne tür özellikler bulunması gerektiği konusunda araştırmalar yapılmıştır [47,49]

Tez kapsamında tasarlanan eksenel yorulma makinasının belirlenen özellikleri aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Genel değişken, sabit ve titreşimli dinamik yük uygulama kabiliyetli,
- Çevrim süresi ayarlanabilir,
- 0-1000 kg arası yük uygulama aralığı,
- İstenilen çevrim sayısında durma,
- Malzeme kopunca otomatik durma,
- Test numunesini 650 °C sıcaklığa kadar ısıtabilme,
- En 200mm-Boy 650mm-derinlik 100mm ye kadar numune test edebilme.

Deneyle esnasında numunelere uygulanan yorulma parametreleri, çizelge 3.4'de verilmiştir.

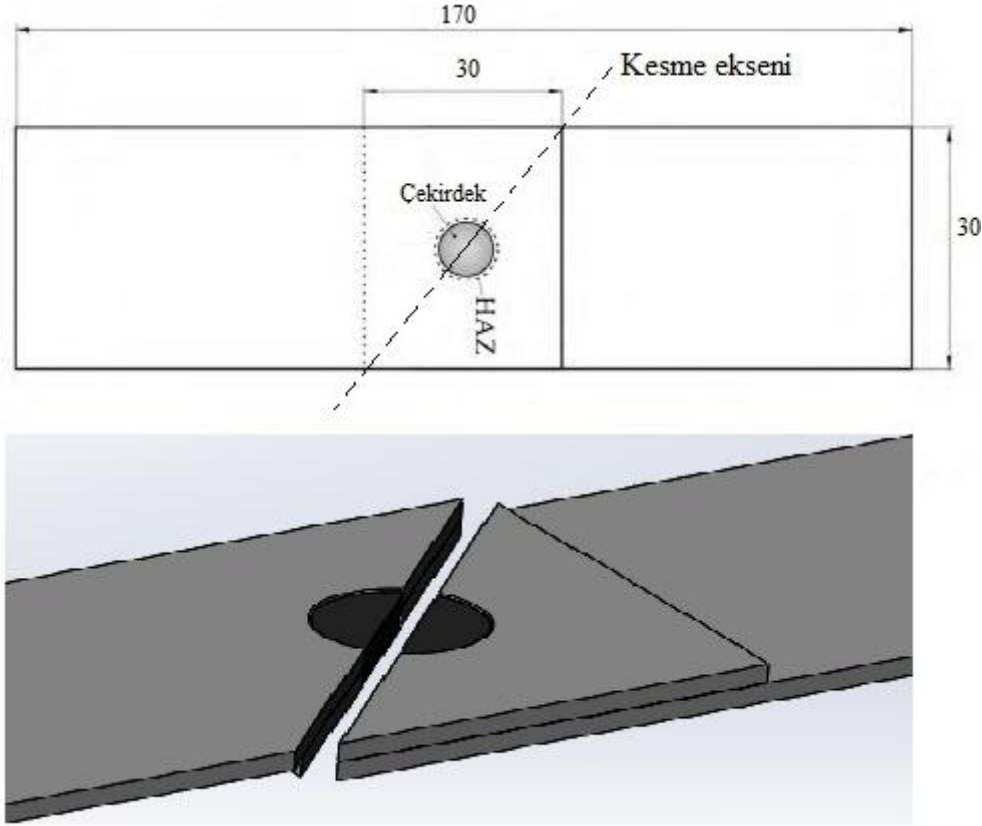
Çizelge 3.4. Yorulma testi parametreleri

Numune No.	Alt kuvvet (Fa=kN)	Üst kuvvet (Fü=kN)	Çevrim (Sn.)
0	0	6	3
1	0	4	3
2	0	5	3
3	0	3	3
4	0	2	3
5	0	6	3
6	0	5	3
7	0	3	3
8	0	2	3
9	0	6	3
10	0	5	3
11	0	4	3
12	0	3	3
13	0	2	3

3.5. MİKRO SERTLİK TARAMASI

8kA, 10kA ve 12kA kaynak akımına sahip 3, 6 ve 12 numaralı test numuneleri yorulma testinden sonra şekil 3.8'de gösterildiği gibi kesildi. Kesme işlemi Labotom-3 marka kesme cihazında soğutma sıvısı kullanılarak yapıldı. Daha sonra numuneler Struers marka sıcak bakalite alma cihazında bakalite alındı. Bakalitlerin çapı 3cm, derinliği 1cm'dir. Bakalite alınan numuneler 500-1200 PP su zımparası ile Labopol-1 marka mekanik parlatma cihazında parlatıldı. Daha sonra 0,3 µm elmas pasta kullanılarak parça yüzeyleri parlatıldı.

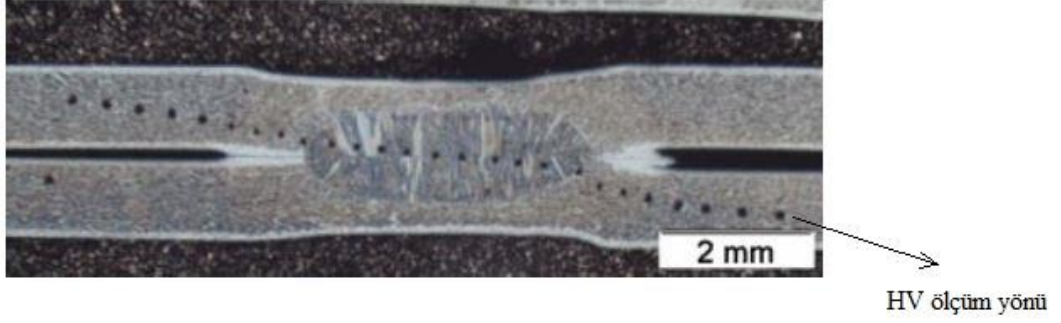
Mikro sertlik ölçümleri 3 ve 12 numaralı numuneler için AWS standartlarına göre diagonal yönde şekil 3.10'da gösterildiği gibi yapıldı [50]. 6 numaralı numunenin sertlik ölçümü numunenin şeklinden dolayı Şekil 3.11'de gösterilen yönde yapılmıştır. Sertlik ölçme aralıkları 0,4mm ve uygulanan yük 9,8N dur.



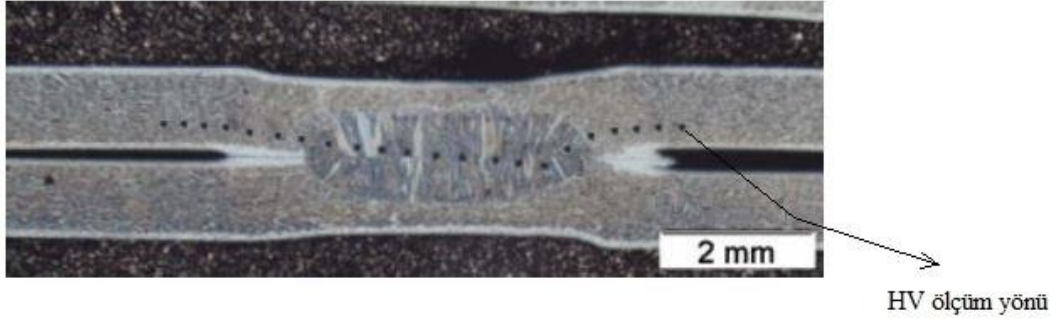
Şekil 3.8. Bakalite alma işlemi öncesi direnç nokta kaynaklı numunelerin kesme yönü.



Şekil 3.9. Bakalite alınan numuneler soldan sağa doğru 3,6,12 numaralı numuneler.



Şekil 3.10. 3 ve 12 numaralı numunelerin HV ölçüm yönü.



Şekil 3.11. 6 numaralı numune HV ölçüm yönü.

3.6. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMESİ

Yorulma testleri sonrasında kırılmanın gerçekleştiği, şekil 3.9'da gösterilen bakalite aldığımız 3, 6 ve 12 numaralı numunelerin parlatılmış yüzeyleri Zeiss marka Supra 55 model SEM mikroskopunda incelendi ve görüntüleri alındı.

SEM metodu ile TRIP800 çeliği üzerinden görüntü alınırken malzemenin iletkenliğini arttırıp daha net görüntü almak amacı ile, Quorum marka Q150R ES model otomatik yüzey kaplama cihazı kullanılarak, incelenecek yüzeyler platin ile kaplandı.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

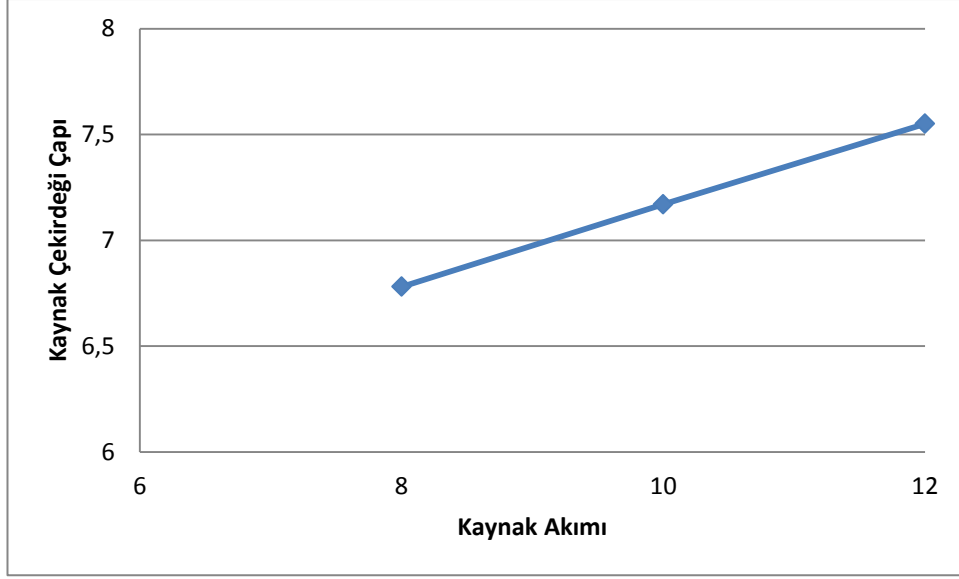
4.1. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI İŞLEMİNDE ELDE EDİLEN BULGULAR

Nokta direnç kaynağı işlemi neticesinde kaynak süresi sabit tutulduğunda, kaynak akımının artması ile kaynak çekirdeği çapının arttığı gözlemlenmiştir. Araştırmacılar çeliklere uygulanan nokta direnç kaynağı akımı arttırıldığında kaynak çekirdeği çapının arttığını gözlemlemişlerdir [2,6,21,33].

Çizelge 4.1 de numunelere uygulanan kaynak parametreleri neticesinde ölçülen kaynak çekirdeği çapları tablo halinde gösterilmiştir. Şekil 4.1'de kaynak akımı değişimi ile meydana gelen kaynak çapları grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelerin kaynak parametreleri ve bulgular

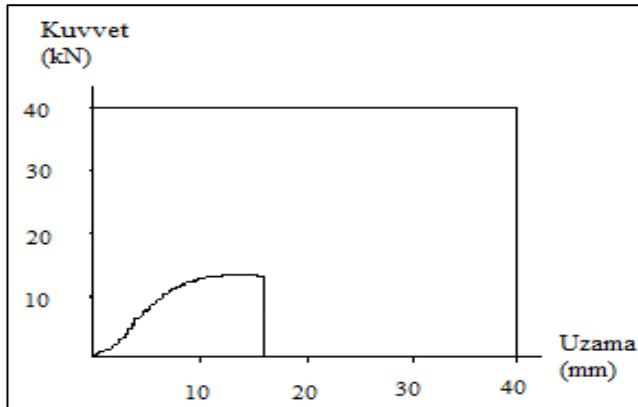
Numune No.	Elektrot kuvveti (kN)	Kaynak Akımı(kA)	Akım Süresi (Cycle)	Baskı Süresi (Cycle)	Soğutma Süresi (Cycle)	Çekirdek Çapı
0	4	8	10	15	20	6,71
1	4	8	10	15	20	6,72
2	4	8	10	15	20	6,95
3	4	8	10	15	20	6,85
4	4	8	10	15	20	6,69
5	4	10	10	15	20	7,05
6	4	10	10	15	20	7,47
7	4	10	10	15	20	7,215
8	4	10	10	15	20	6,95
9	4	12	10	15	20	7,65
10	4	12	10	15	20	7,86
11	4	12	10	15	20	7,25
12	4	12	10	15	20	7,475
13	4	12	10	15	20	7,52



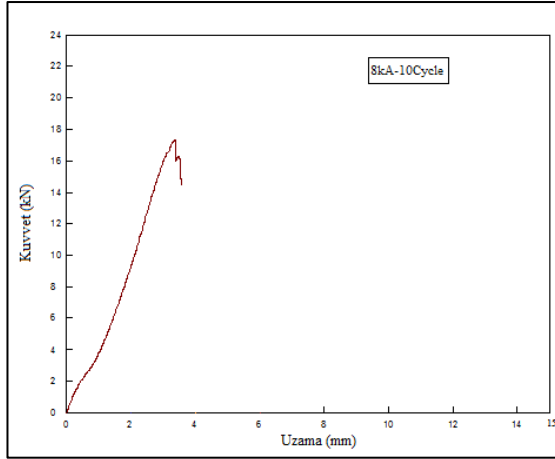
Şekil 4.1. Nokta direnç kaynağı akımı-kaynak çekirdeği çapı grafiği.

4.2. ÇEKME, ÇEKME - MAKASLAMA TESTİNDE ELDE EDİLEN BULGULAR

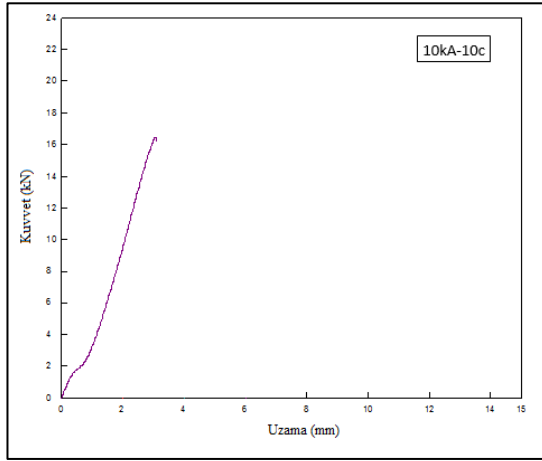
TRIP800 çeliğine uygulanan çekme testinde elde edilen kuvvet-uzama grafiği şekil 4.2'de gösterilmiştir. Nokta direnç kaynaklı, sırası ile 8kA, 10kA ve 12kA kaynak akımı ile kaynatılmış test numunelerine uygulanan çekme-makaslama testinde elde edilen kuvvet-uzama grafikleri şekil 4.3, 4.4 ve 4.5'de gösterilmiştir. Çekme ve çekme-makaslama testlerinde elde edilen kopma yükleri test numunelerinin kesit alanlarına bölünerek numunelerin kopma gerilmeleri bulunmuştur. Şekil 4.6'da çekme ve çekme-makaslama testinde elde edilen kopma gerilmesi değerleri gösterilmiştir.



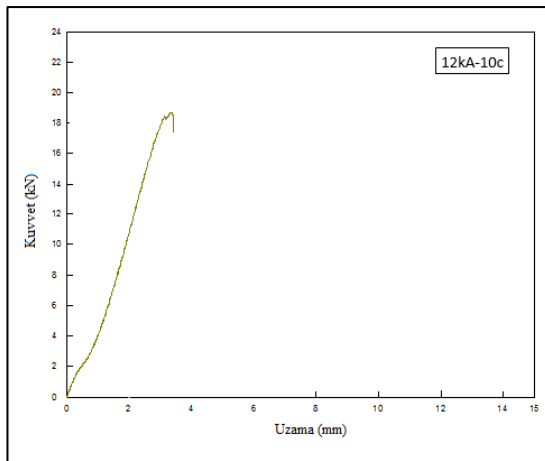
Şekil 4.2. TRIP800 çeliği çekme testi grafiği



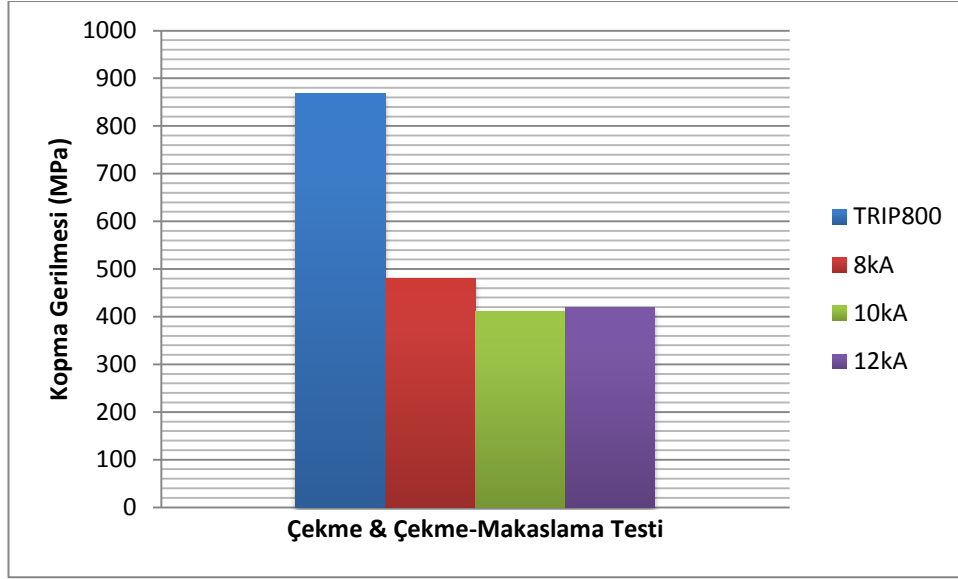
Şekil 4.3. 8kA-10 cycle test numunesi çekme-makaslama testi grafiği



Şekil 4.4. 10kA-10 cycle test numunesi çekme-makaslama testi grafiği



Şekil 4.5. 12kA-10 cycle test numunesi çekme-makaslama testi grafiği



Şekil 4.6. Çekme&çekme-makaslama testinde elde edilen kopma gerilmeleri.

TRIP800 çeliği çekme testinde sünek bir kırılma gösterirken nokta direnç kaynaklı test numuneleri çekme-makaslama testlerinde gevrek bir kırılma göstermiştir (şekil 4.2-4.5). Nokta direnç kaynaklı test numuneleri çekme-makaslama testinde ısıdan etkilenen bölgeden kırılmışlardır.

Nokta direnç kaynaklı test numunelerinin kopma dayanımları TRIP800 malzemesinin kopma dayanımından daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Beklenenin aksine kaynak çekirdeği çapındaki artış ile çekme-makaslama gerilmesi arasında doğrusal olarak değişmediği görülmüştür.

Tumurlu [37] 6,3mm kaynak çekirdeği çapına sahip TRIP780 numunelerinin çekme makaslama testinde ara yüzey kırılması olduğunu tespit etmiştir. Kaynak işleminde kaynak kuvveti ve kaynak akımı süresi bizim uyguladığımız değerlerin iki katı kadardır. Çekme-makaslama testinde farklı kırılma şekillerinin meydana gelmesini Tumurlunun uyguladığı kaynak parametrelerinin bizim uyguladığımız kaynak parametrelerinden farklı olmasından kaynaklandığını düşünüyoruz.

S.Brauser ve diğerleri, TRIP çeliğinden (HCT690T) nokta direnç kaynaklı çekirdek çapı 4,3mm olan numunelerin çekme makaslama testinde ısıdan etkilenmiş bölgede kırıldıklarını tespit etmişlerdir [39]. Çalışmalarında kullandıkları kaynak

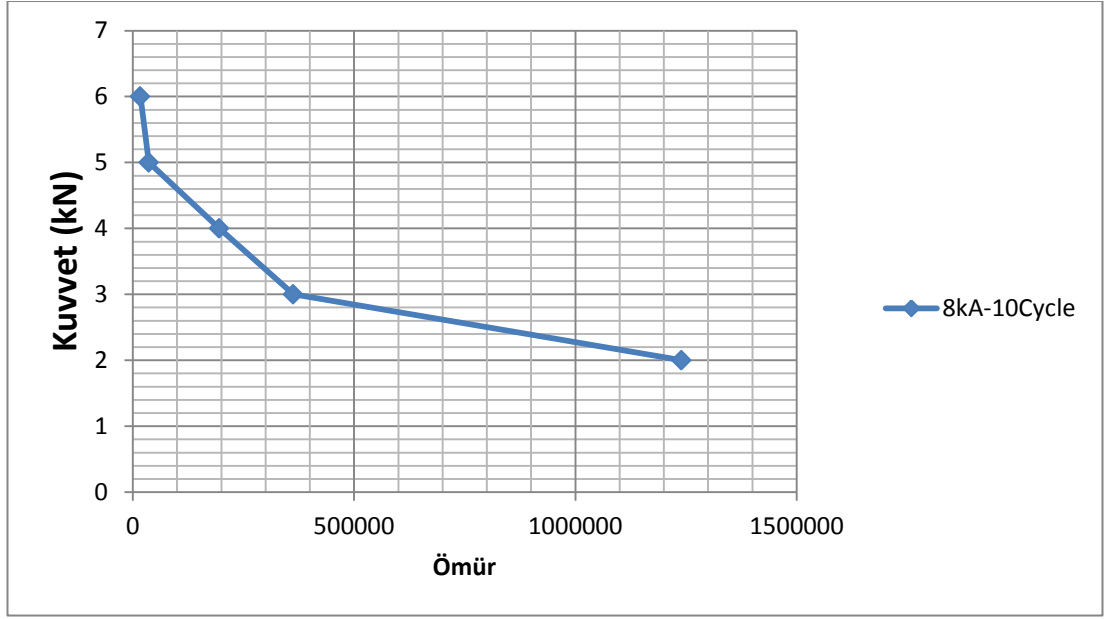
parametreleri; kaynak akımı ve kaynak kuvveti bizim kullandığımız kaynak parametreleri ile birbirine yakın değerlerdedir. Bu sebepten dolayı benzer sonuçlar elde ettiğimizi düşünmekteyiz.

4.3. EKSENEL YORULMA TESTİNDE ELDE EDİLEN BULGULAR

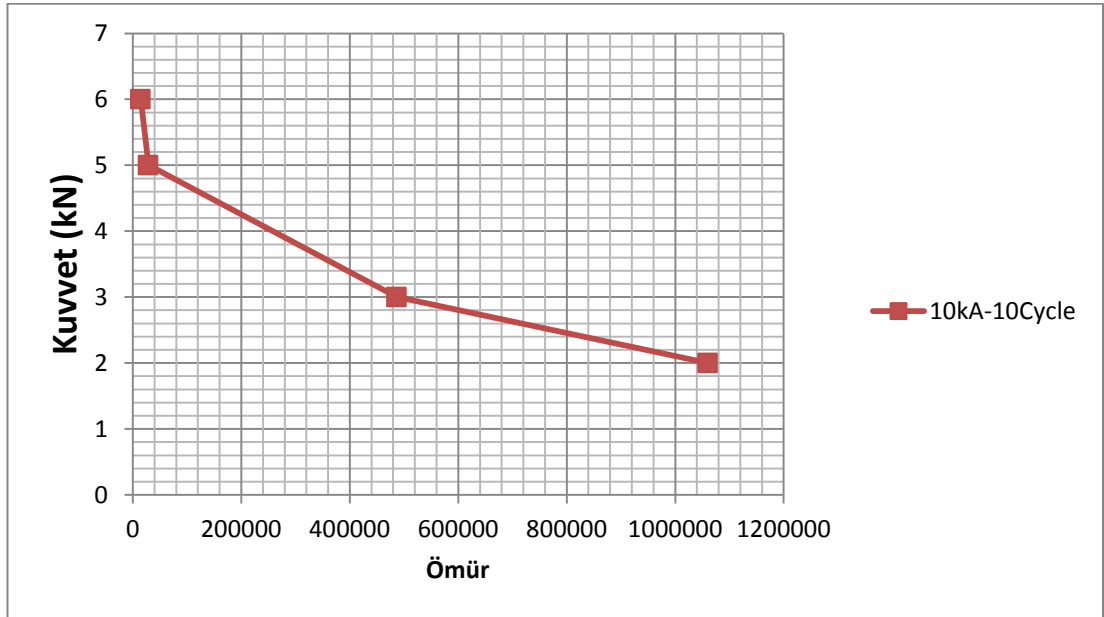
Numunelerde yorulma nedeni ile meydana gelen kırılma şekilleri ve kopma çevrimi çizelge 4.2'de verilmiştir. Elde edilen verilerden aynı nokta direnç kaynağı akımı değerine sahip numuneler için kuvvet-ömür grafikleri şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da gösterilmiştir. Yorulma testlerinde 10^6 çevrim sayısını aşan numuneler sonsuz ömür sınırını geçtiğinden bu numuneler için test sonlandırılmıştır.

Çizelge 4.2. Yorulma testi parametreleri ve bulgular.

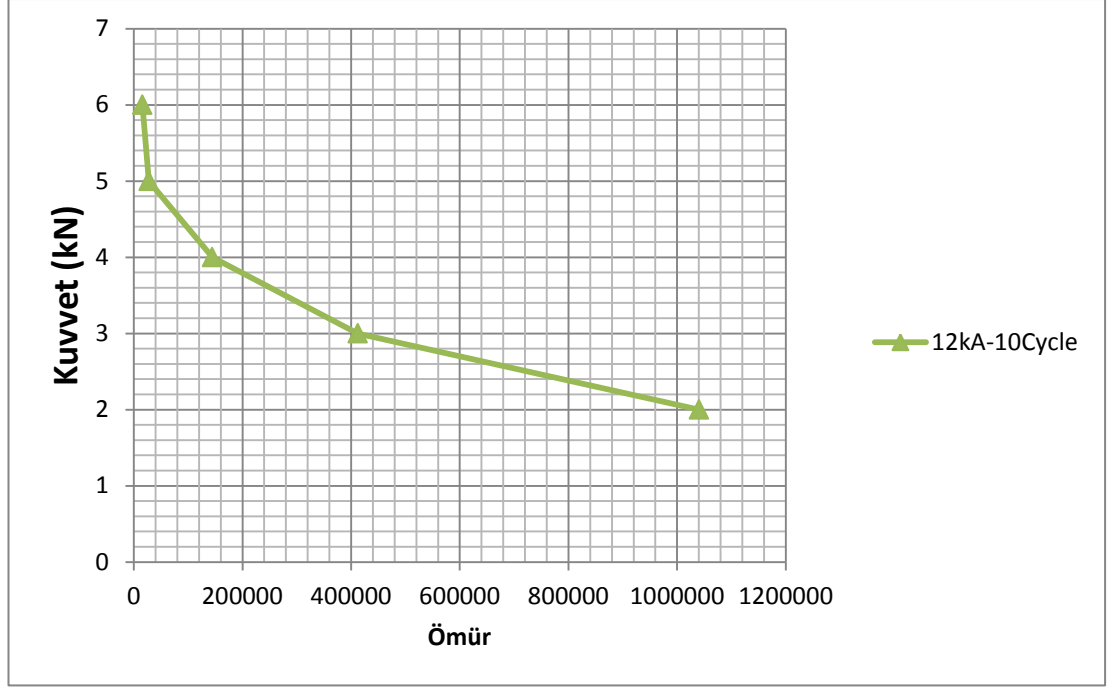
Numune No.	Kaynak Çapı (mm)	Alt kuvvet (Fa=kN)	Üst kuvvet (Fü=kN)	Bir Çevrim Süresi (Sn.)	Uygulanan toplam çevrim (Ömür)	Meydana gelen kırılma şekli
0	6,71	0	6	3	17008	Kaynak çekirdeğinden parça kopararak kırılma
1	6,72	0	4	3	195272	Isıdan etkilenen bölgeden kırılma
2	6,95	0	5	3	36113	Kaynak çekirdeğinden parça kopararak kırılma
3	6,85	0	3	3	362944	Isıdan etkilenen bölgeden kırılma
4	6,69	0	2	3	1240000	Kırılma meydana gelmedi
5	7,05	0	6	3	14622	Kaynak çekirdeğinden parça kopararak kırılma
6	7,47	0	5	3	28712	Kaynak çekirdeğinden parça kopararak kırılma
7	7,21	0	3	3	486606	Kaynak çekirdeğinden parça kopararak kırılma
8	6,95	0	2	3	1060000	Kırılma meydana gelmedi
9	7,65	0	6	3	16099	Isıdan etkilenen bölgeden kırılma
10	7,86	0	5	3	27647	Kaynak çekirdeğinden parça kopararak kırılma
11	7,25	0	4	3	144799	Isıdan etkilenen bölgeden kırılma
12	7,47	0	3	3	412643	Isıdan etkilenen bölgeden kırılma
13	7,52	0	2	3	1041174	Kırılma meydana gelmedi



Şekil 4.7. 8kA Kaynak akımında kaynatılan test numunelerinin kuvvet ömür grafiği.



Şekil 4.8. 10kA Kaynak akımında kaynatılan test numunelerinin kuvvet ömür grafiği.



Şekil 4.9. 12kA Kaynak akımında kaynatılan test numunelerinin kuvvet ömür grafiği.

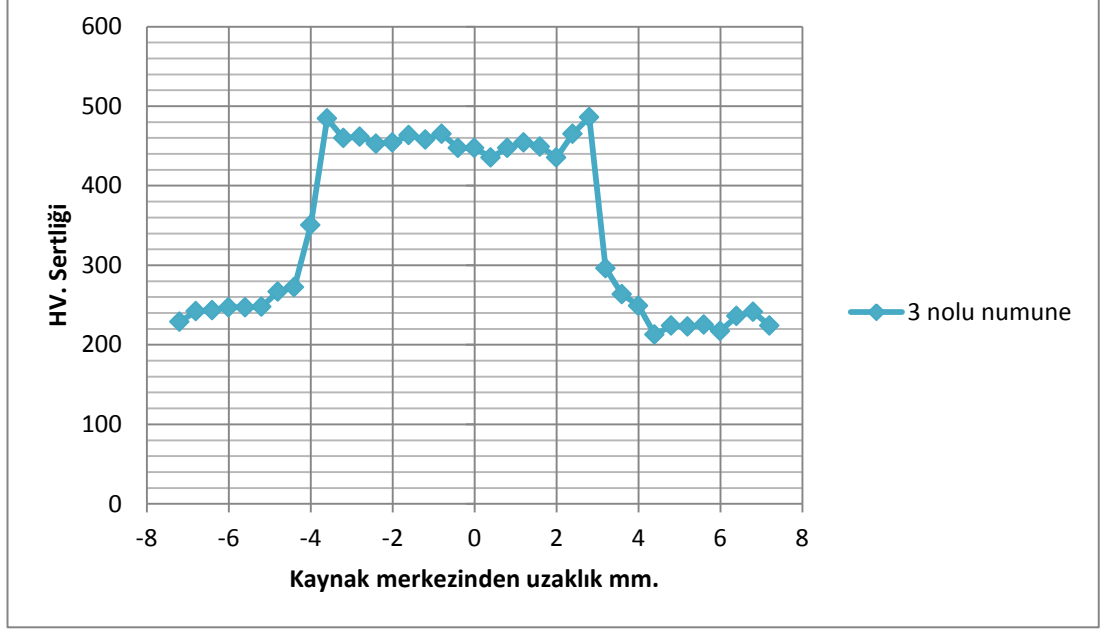
Nokta direnç kaynaklı bağlantıların yorulmalarında sonsuz ömüre 8kA, 10kA, 12kA kaynak akım değerlerinde elde edilmiştir. Üç farklı kaynak akımı parametresi için sonsuz ömür'e 2kN çekme yükünde ulaşılmıştır.

6kN, 5kN ve 4kN çekme yüklerinde en iyi yorulma ömrüne 8kA kaynak akımı ile kaynatılmış test numuneleri olduğu görülmüştür. 3kN çekme yükünde 10kA kaynak akımı ile kaynatılmış test numunesinin yorulma ömrü en yüksek çıkmıştır.

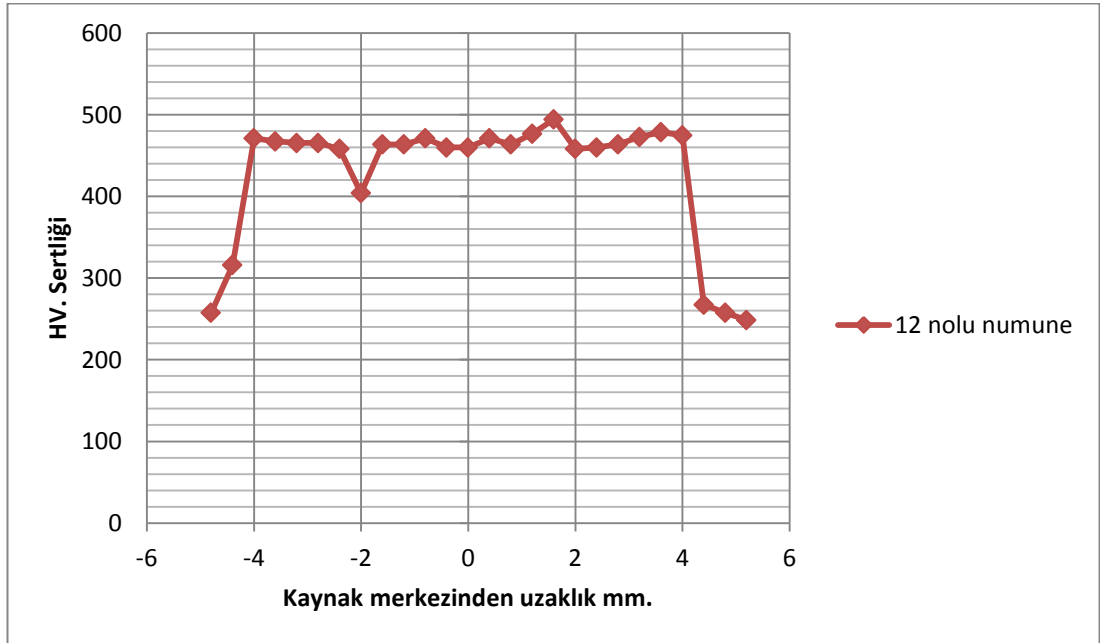
Vural ve çalışma arkadaşları [36] 6mm kaynak çekirdeği çapına sahip nokta direnç kaynaklı AISI 304 malzemesi için yorulma testlerinde elde ettikleri kuvvet ömür diyagramını incelediğimizde; AISI 304 malzemesi 5kN çekme yükünde 10000 çevrimde kopma yaşanmıştır. TRIP çeliğinde ise 6kN'luk çekme yükünde yorulma ömrü 16000 çevrimdir. 5kN çekme yükünde yorulma ömrü 36000 çevrimdir. Bu da bizi yüksek yük düşük çevrimli yorulma testlerinde nokta direnç kaynaklı TRIP800 çeliğinin yorulma dayanımının AISI 304 çeliğine göre daha iyi olduğunu göstermektedir.

4.4. MİKRO SERTLİK TARAMASINDA ELDE EDİLEN BULGULAR

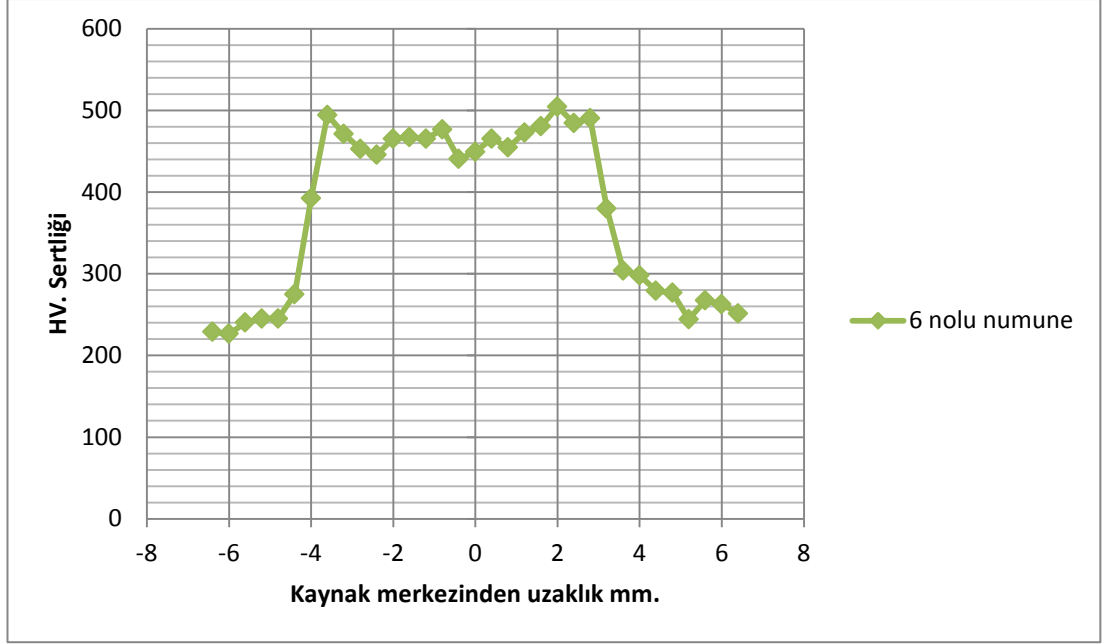
Mikro sertlik taramalarında 3, 12 ve 6 numaralı numunelerin mikro sertlik verileri sırası ile şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.10. 3 numaralı numune HV ölçüm değerleri grafiği .



Şekil 4.11. 12 numaralı numune HV ölçüm değerleri grafiği.

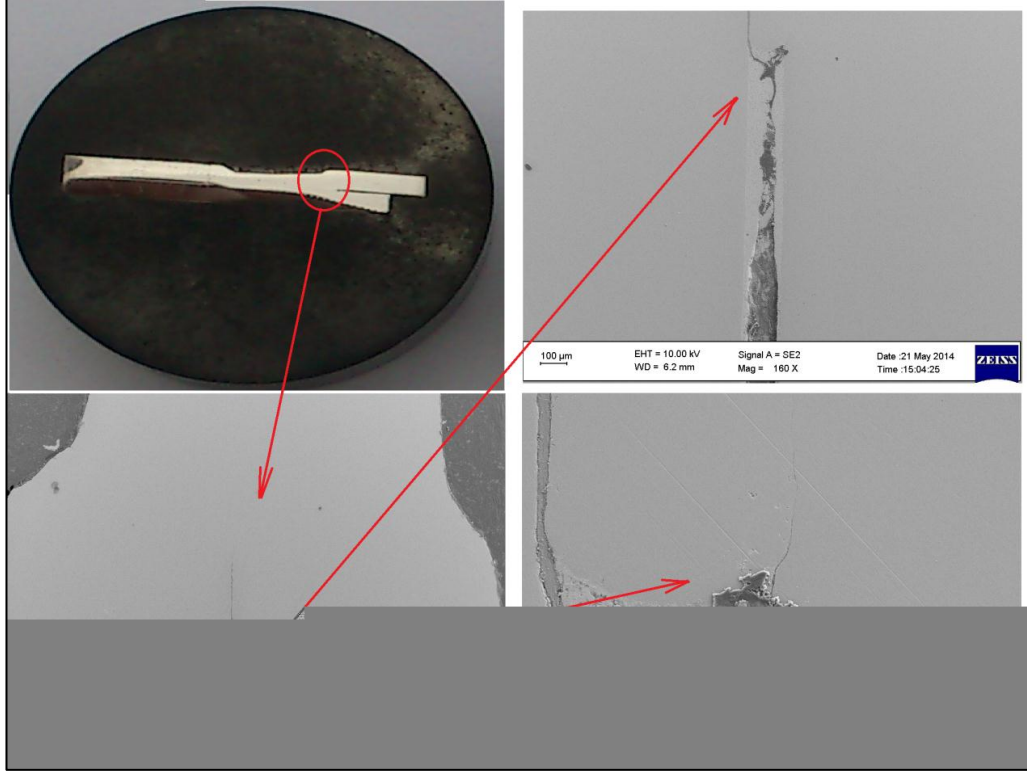


Şekil 4.12. 6 numaralı numune HV ölçüm değerleri grafiği.

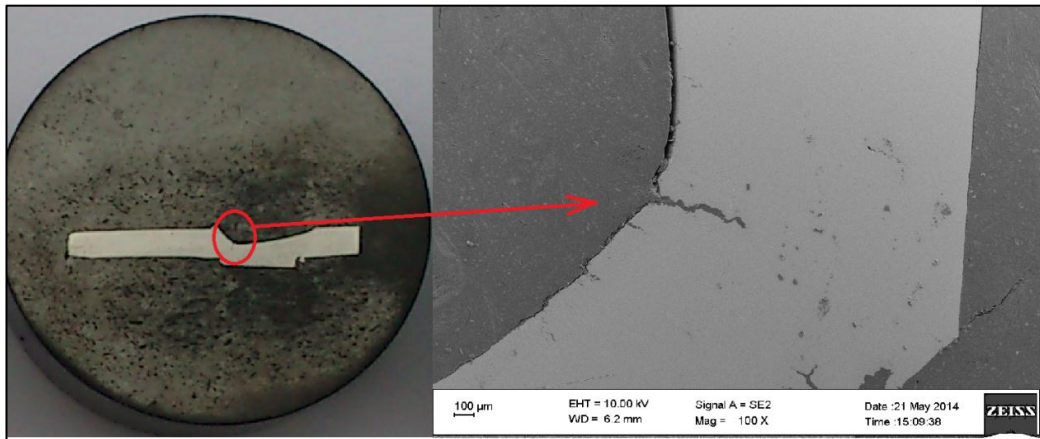
Mikro sertlik taramasında elde edilen sonuçlara kaynak akımının etkisi yok denecek kadar azdır. Numunelerin çekirdek merkezinde ve ısıdan etkilenen bölgelerde sertlik değerleri birbirlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. TRIP800 malzemesinde 230HV - 250HV aralığında, nokta direnç kaynağının ısıdan etkilenen bölgesinde 350HV, kaynak çekirdeğinin olduğu bölgede 440HV - 470HV değerleri tespit edilmiştir.

4.5. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMESİNDE ELDE EDİLEN BULGULAR

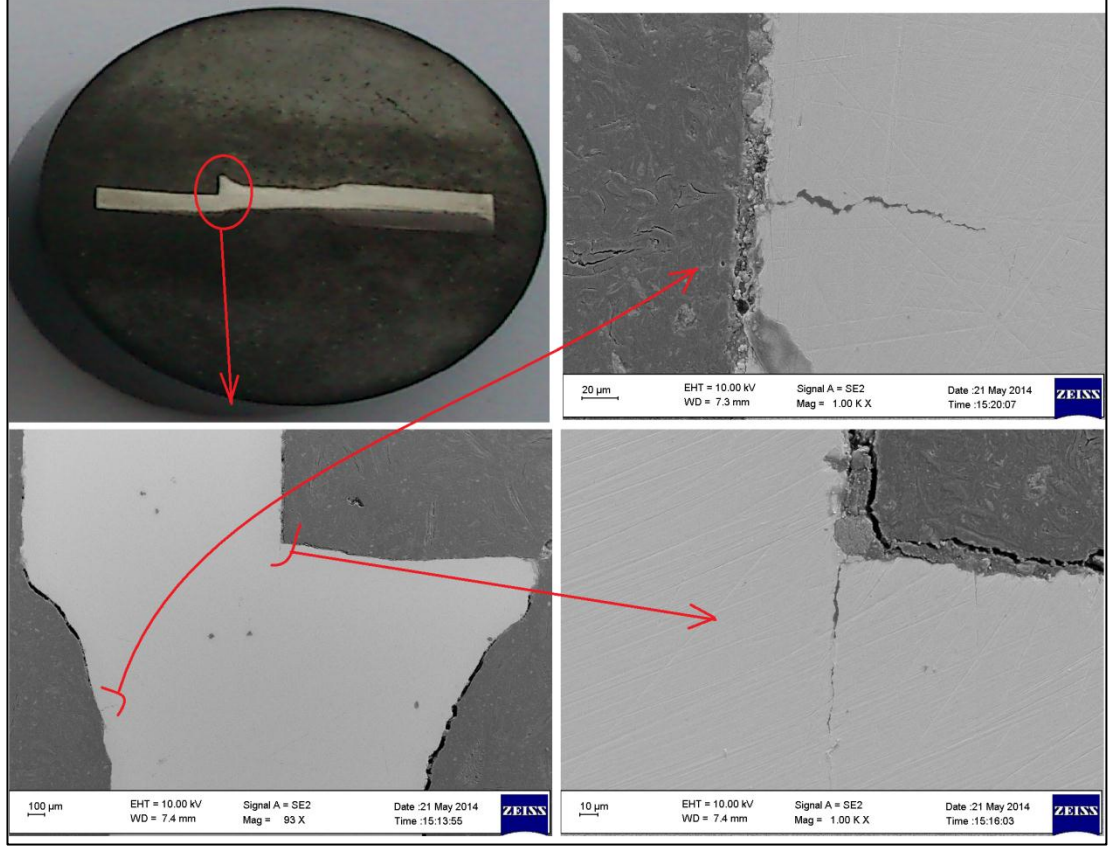
Yorulma testinde hasar meydana gelerek kırılan ve sonrasında bakalite alınan 3, 6 ve 12 numaralı numunelerin SEM incelemesinde elde edilen görüntüleri sırası ile şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Bakalite alınan 3 numaralı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri.



Şekil 4.14. Bakalite alınan 6 numaralı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri.



Şekil 4.15. Bakalite alınan 12 numaralı numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüleri.

İncelenen bu numuneler yorulma testlerinde hasara uğramış numunelerdi. SEM incelemelerimizde bu numuneler üzerinde birden fazla mikro çatlak olduğunu ve numunelerin hepsinde kaynak ara yüzeyinde çatlakların ilerlediğini gördük. Tespit ettiğimiz mikro çatlaklar kaynak bölgesi ve ısıdan etkilenen bölgede yoğunlaşmıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Nokta direnç kaynaklı TRIP800 çeliklerinin yorulma davranışı incelemesinde aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir;

- Kaynak çekirdeği çapı uygulanan kaynak akımlarıyla doğrusal olarak değişmektedir.
- 8kA, 10kA, 12kA kaynak akımı ve 10 cycle kaynak süresinde yapılan nokta direnç kaynaklı bağlantıların mikro sertliklerinde hem ısıdan etkilenen hemde kaynak çekirdeği ve ergiyen metal bölgesinde her üç kaynak akımı değeri için bir değişme olmadığı görülmüştür.
- Nokta direnç kaynaklı 8kA, 10kA ve 12kA kaynak akımı ile birleştirilmiş bağlantıların yorulma testlerinde sonsuz ömür değerleri elde edilmiştir.
- Yorulma sonucunda kırılan nokta direnç kaynaklı bağlantıların kırık yüzeylerinin SEM incelemesinde çatlağın ilk başlangıç yeri ısıdan etkilenen bölgede başladığı, bu bölgede çok sayıda kılcal çatlakların olduğu görülmüştür.
- Otomotiv gövdesinde kullanılan nokta direnç kaynaklı TRIP800 çeliğinin yorulma ömrünü belirlemek için kaynak akım şiddeti ve kaynak çekirdek çapı yanı sıra numune sayıları arttırılarak kaynak süresini ve korozyon durumları gibi değişik parametreleri de göz önünde bulundurarak ayrıntılı incelenmesi kanaatindeyim.

KAYNAKLAR

- [1] Hayat, F., “TRIP Çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımının incelenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 25(4): 701-712, (2010).
- [2] Pal, T. K. and Chattopadhyay, K., “Resistance spot weldability and high cycle fatigue behaviour of martensitic (M190) steel sheet”, Fatigue&Fracture of Engineering Materials&Structures, 34: 46-52, (2010).
- [3] International Iron & Steel Institute Committee on Automotive Applications, ‘Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines’, March 2005.
- [4] Ding, H. Song, D. Tang, Z. and Yang P., “Strain hardening behavior of a TRIP/TWIP steel with 18.8% Mn”, Material Science and Engineering A, 528: 868-873, (2011).
- [5] Ertaş, A. H., “Fatigue Behaviour Of Spot Welds”, Graduate Program in Mechanical Engineering, Boğaziçi University, Doktora Tezi, 120 s., (2004).
- [6] Satoh, T. Abe, H. Nakaoka, T. and Hayata, Y. “The fatigue life of the spot welded joint under a repeated load of R=-1”, Welding in The World, p.12, (1996).
- [7] Kang, T., Accorsi, N., Patel, B., Pakalnins, E., “Fatigue performance of resistance spot welds in three sheet stack-ups”, Engineering Procedia, 2: 129-138, (2010).
- [8] Lin, H., Pan, J., Wu, R., Tyan, T., Wung, P., “Failure loads of spot welds under combined opening and shear static loading conditions”, Solids and Structure, 39: 19 - 39, (2002).
- [9] Toros, S., “TRIP800 Çeliğinin Şekillendirme Kabiliyetinin İncelenmesi ve Modellenmesi ”, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 244s., (2013).
- [10] “Advanced High-Strength Steels—A Collision Repair Perspective”, Technical Information for the Collision Industry, June 12, 2006. (www.icar.com)
- [11] “Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines”, World Auto Steel, Version 4.1, 1-171, 08 June 2009. (www.worldautosteel@org).
- [12] “New Study Finds Increased Use of Advanced High-Strength Steels Helps Decrease Overall Vehicle Weight”, Automotive Applications Council, (2010). (http://www.steel.org/AM/Template.cfm?Section=Press_Releases9&TEMPLATE=/CM/ContentDisplay.cfm&CONTENTID=32077)
- [13] Özer, A., " Çeliklere uygulanan TRIP işlemi ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi", TUBAV Bilim Dergisi, Cilt:2, Sayı:3; 291-301, (2009).
- [14] Mujica, L. Weber, S. Pinto, H. Thomy, C. Vollertsen, F., “Microstructure and mechanical properties of laser-welded joints of TWIP and TRIP steels”, Material Science and Engineering A, 527: 2071-2078, (2010).

- [15] ArcelorMittal Automotive Steel Co. "TRIP Steels". (<http://corporate.arcelormittal.com/~-/media/Files/A/ArcelorMittal/investors/presentations/others/2013/R-D-presentation.pdf>).
- [16] Deng, X. Chen, W. Shi, G., "Three-dimensional finite element analysis of mechanical behavior of spot welds", *Finite Elements in Analysis and Design*, 35: 17-39, (2000).
- [17] Chen, X. Deng, X. "Performance of shell elements in modelling spot-welded joints", *Finite Elements in Analysis and Design*, 35: 41-57, (2000).
- [18] Fujii, T. Tohgo, K. Suzuki, Y. Yamamoto, T. Shimamura, Y. Ojima, Y., "Fatigue properties of spot welded and spot weld-bonded joints of steel sheet", *Engineering Procedia*, 10: 1075-1080, (2011).
- [19] MEGEP, "ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI", http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Elektrik%20Diren%C3%A7%20Kayna%C4%9F%C4%B1.pdf, (01.05.2014).
- [20] MEGEP, "DİRENÇ KAYNAĞI VE LEHİMLEME", http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Diren%C3%A7%20Kayna%C4%9F%C4%B1%20Ve%20Lehimleme.pdf, (01.05.2014).
- [21] Akkuş, A., "Nokta kaynaklı farklı çelik sacların yorulma dayanımlarının deneysel analizi", *İtü dergisi*, cilt:6 sayı:1, 37-46, (2007).
- [22] Kang, T.H. Dong, P. Hong, K.J., "Fatigue analysis of spot welds using a mesh-intensitive structural stress approach", *Internal Journal of Fatigue*, 29: 1546-1553, (2007).
- [23] Orts, D. H., "Fatigue strength of spot welded joints in a HSLA steel", *SAE Technical Paper No. 810355*; (1981).
- [24] Wilson, R.B. Fine, T.E., "Fatigue behavior of spot welded high strength steel joints", *SAE Technical Paper No. 810354*; (1981).
- [25] Davidson, J.A., "A review of the fatigue properties of spot-welded sheet steels", *SAE Technical Paper No. 830033*; (1983).
- [26] Jung, W.W. Jang, P.K. Kang, S.S., "Fatigue failure and reinforcing method of spot welded area at the stage of vehicle development", *SAE Technical Paper No. 960553*; (1996).
- [27] Kang, T-H. Accorsi, I. Patel, B. Pakalnins, E., "Fatigue performance of resistance spot welds in three sheet stack-ups", *Procedia Engineering*, 2: 129-138, (2010).

- [28] Shanmugam, N. Buvanashakaran, G. Sankaranarayananasamy, K. Kumar, S., “A transient finite element simulation of the temperature and bead profiles of T-joint laser welds”, *Materials and Design*, 31: 4528-45427, (2010).
- [29] Zhang, Y. Taylor, D., “Sheet thickness effect of spot welds based on crack propagation”, *Engineering Fracture Mechanics*, 67: 55-63, (2000).
- [30] Salvini, P. Francesco, V. Vullo, V., “A spot weld finite element for structural modelling”, *International Journal of Fatigue*, 22: 645-656, (2000).
- [31] Kim, T. Park, H. and Rhee, S., “Optimization of welding parameters for resistance spot welding of TRIP steel with response surface methodology”, *Production Research*, 43(21): 4643-4657, (2005).
- [32] Zhao, L. Wibowo, M.K. Hermans, M.J.M. “Retention of austenite in the welded microstructure of a 0.16C–1.6Mn–1.5Si (wt.%) TRIP steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 5286-5292, (2009).
- [33] Vural, M. Akkuş, A. “On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets”, *Material Processing Technology*, 153-154: 1-6, (2004).
- [34] Özyürek, D., “An effect of weld current and weld atmosphere on the resistance spot weldability of 304L austenitic stainless steel”, *Materials and Design*, 29: 597-603, (2008).
- [35] Hasanbaşıoğlu, A. Kaçar, R. “Resistance spot weldability of dissimilar materials”, *Materials and Design*, 28: 1794-1800, (2007).
- [36] 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”, *Materials Processing Technology*, 176: 127-132, (2006).
- [37] Tumurlu, M. “Effects of baking on the structure and properties of resistance spot welds in 780 MPa dual-phase and TRIP steels”, *Welding Journal*, 89: 91-100, (2010).
- [38] Önal, G., Avcı, A., “Yüzey çatlaklı 5086 Al-Mg alaşımının eksenel yorulma çatlak ilerleme davranışı”, *Journal of Technical-Online*, 8: 3, (2009).
- [39] Brauser, S. Pepke, L.A. Weber, G. Rethmeier, M. “Deformation behaviour of spot-welded high strength steels for automotive applications”, *Materials Science and Engineering*, 527: 7099-7108, (2010).
- [40] Jung, G.S. Lee, K.Y. Lee, J.B. Bhadeshia H.K.D.H. and Suh, W. “Spot weldability of TRIP assisted steels with high carbon and aluminium contents”, *Science and Technology of Welding and Joining*, 17(2): 92-98, (2012).

- [41] Fujii, T. Tohgo, K. Yukinori, S. Yamamoto, T. Shimamura, Y. Ojima, Y. “Fatigue Properties of Spot Welded and Spot Weld-Bonded Joints of Steel Sheet”, *Procedia Engineering* 10: 1075-1080, (2011).
- [42] Deng, X. Chen, W. “Performance of shell elements in modeling spot-welded joints”, *Finite Elements in Analysis and Design*, 35: 41-57, (2000).
- [43] Sun, X. Soulami, A. Choi, K.S. Guzman, O. Chen, W. “Effects of sample geometry and loading rate on tensile ductility of TRIP800 steel”, *Material Science and Engineering A*, 541: 1-7, (2012).
- [44] United States Steel Corporation, “TRIP780/800 steels”, <http://www.ussteel.com> (01.05.2014).
- [45] ISO 14329:2000: Resistance welding- destructive test of welds-Failure types and geometric measurements for resistance spot, seam and protection welds, (2003).
- [46] Temiz, V. "Makina Elemanlarının Sürekli Mukavemete Göre Hesabı" (<http://web.itu.edu.tr/temizv/VTDN/Yorulma.pdf>).
- [47] Kumru, N., “Metalik Malzemelerde Yorulma Dayanımı İncelemek için Kullanılan Yorulma Makinaları”, Celal Bayar Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu.
- [48] Burhan, M., Çavdar, K. “Eksantrik yay yorulma cihazının tasarımı ve imalatı”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 15, Sayı 1, (2010).
- [49] Saatçı, E. G., Tahralı, N., “Birikimli hasar teorileri ve yorulma çatlama göre ömür değerlendirmeleri”, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1: 33-39, (2003).
- [50] ANSI/AWS/SAE D8.9-98. Recommended practices for test methods for evaluating the resistance spot welding behaviour of automotive sheet steel materials. American Welding Society, Miami, Florida.

ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: İsmail Çetin

Doğum Tarihi: 10/10/1985

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Fen Bilimleri	Sefaköy Süper Lisesi	1999-2003
Lisans	Makina Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2004-2009
Yüksek Lisans	Fen Bilimleri Enstitüsü	Mersin Üniversitesi	2013-2014