

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OTOMOTİV GÖVDESİNDE KULLANILAN JAC270C VE JAC590R  
SAC LEVHA MALZEMELERİN NOKTA DİRENÇ KAYNAĞININ  
MUKAVEMET ANALİZİ**

**AHMET DEMİRKESEN**

**KOCAELİ 2020**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV GÖVDESİNDE KULLANILAN JAC270C VE  
JAC590R SAC LEVHA MALZEMELERİN NOKTA DİRENÇ  
KAYNAĞININ MUKAVEMET ANALİZİ

AHMET DEMİRKESEN

Prof.Dr. Mehmet UÇAR  
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Mustafa AY  
Jüri Üyesi, Marmara Üniv.

Doç.Dr. Hasan KAYA  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 03.01.2020

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında otomobillerin gövde üretiminde sıklıkla kullanılan galvaniz kaplı sac parçaları olan JAC270C ve JAC590R malzemelerinin nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesinin ardından oluşan kaynaklı bölgenin mukavemet analizlerinin yapılması ele alınmıştır. Nokta direnç kaynağı uygulamasında; deneysel parametreler olarak belirlenen kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot basıncı parametrelerinin kaynak mukavemetine olan etkileri açıklanmıştır. Kaynak ile birleştirilen malzemelerin çekme testi deneyleri yapılarak deneyler sonucunda gerilme-yüzde uzama eğrileri çıkartılmış ve maksimum çekme kuvveti değerleri saptanmıştır. Gerçekleştirilen mekanik testlerin ardından mikroyapı analizleri yapılmıştır. Mikroyapı analizlerini yapabilmek amacıyla kaynak bölgesinden kesiti alınan malzemeler optik mikroskop yardımı ile incelenmiştir. Kaynak çekirdek çapları ölçülmüştür ve değerler kaydedilmiştir. Mikrosertlik ölçümleri yapılmış ve yorumlanmıştır. Çalışmanın sonunda kaynak akımı, uygulanan basınç ve kaynak süresi gibi parametrelerin kaynak mukavemetine etkileri belirlenmiştir.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarımda yol gösteren, her zaman güvenen ve yüreklendiren danışmanım Prof.Dr. Mehmet UÇAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarım katkıda bulunan, desteğini esirgemeyen hocam Doç.Dr. Hasan KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda gösterdiği ilgi ve destek için sayın Dr.Öğr.Üyesi Rıza Emre ERGÜN'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel testleri gerçekleştirmeme olan katkıları ve değerli yardımları sebebiyle Sn.Umut MURGUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ocak – 2020

Ahmet DEMİRKESEN

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ .....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT .....	viii
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
1.1. Amaç ve Kapsam .....	3
1.2. Literatür Araştırması .....	3
2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI VE NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI HAKKINDA GENEL BİLGİLER .....	8
2.1. Elektrik Direnç Kaynağı .....	8
2.2. Nokta Direnç Kaynağı .....	8
2.2.1. Nokta direnç kaynağında temel parametreler .....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	11
3.1. JAC270C ve JAC590R Otomotiv Çelikleri.....	11
3.2. Nokta Direnç Kaynağı Uygulaması .....	12
3.3. Nokta Direnç Kaynaklı Numunelerin Çekirdek Çapı Ölçümü .....	15
3.4. Çekme Testi .....	15
3.5. Metalografik İnceleme .....	16
3.6. Mikrosertlik Ölçümü.....	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	20
4.1. Nokta Direnç Kaynağı Uygulamasından Elde Edilen Bulgular .....	20
4.2. Çekme Testi Sonucunda Elde Edilen Bulgular.....	22
4.3. Metalografik İnceleme Sonucunda Elde Edilen Bulgular .....	41
4.4. Mikrosertlik Ölçümü Sonucunda Elde Edilen Bulgular .....	43
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	47
KAYNAKLAR .....	49
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	52
ÖZGEÇMİŞ .....	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Nokta direnç kaynak makinası .....	9
Şekil 3.1.	JAC270C ve JAC590R çeliklerinin mekanik özellikleri .....	12
Şekil 3.2.	Bindirme yöntemiyle kaynatılmış numunelerin ölçüleri.....	12
Şekil 3.3.	Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş test numuneleri .....	13
Şekil 3.4.	Kaynaklı bağlantıların çekirdek bölgesi.....	15
Şekil 3.5.	Çekme testi cihazı .....	16
Şekil 3.6.	Kesme cihazı .....	17
Şekil 3.7.	Bakalit presi.....	17
Şekil 3.8.	Zımpara makinesi .....	18
Şekil 3.9.	Optik mikroskop.....	18
Şekil 3.10.	Sertlik testi ekipmanı.....	19
Şekil 4.1.	10 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	23
Şekil 4.2.	10 kA 10 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	24
Şekil 4.3.	8 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	25
Şekil 4.4.	10 kA 12 cyc 250 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	26
Şekil 4.5.	10 kA 9 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği.....	27
Şekil 4.6.	10 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği.....	28
Şekil 4.7.	10,5 kA 9 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği.....	29
Şekil 4.8.	10 kA 9 cyc 250 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği.....	30
Şekil 4.9.	10 kA 9 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	31
Şekil 4.10.	10,5 kA 9 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	32
Şekil 4.11.	10 kA 9 cyc 250 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	33
Şekil 4.12.	10 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	34
Şekil 4.13.	9,8 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	35
Şekil 4.14.	9,3 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	36
Şekil 4.15.	9,3 kA 16 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	37
Şekil 4.16.	9,3 kA 12 cyc 250 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği .....	38

Şekil 4.17. Birleştirilmiş malzemelerin gerilme yüzde grafikleri .....	39
Şekil 4.18. Bakalite alınmış numuneler.....	41
Şekil 4.19. Kaynağında çatlak görülen 10 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki aynı malzemeler.....	42
Şekil 4.20. Kaynağında çatlak görülen 10 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki farklı malzemeler.....	43
Şekil 4.21. 8 kA akım ile kaynatılmış JAC270C malzemeleri.....	44
Şekil 4.22. 10 kA akım ile kaynatılmış JAC270C malzemeleri.....	44
Şekil 4.23. 9,3 kA akım ile kaynatılmış JAC270C ve JAC590R malzemeleri .....	45
Şekil 4.24. 9,8 kA akım ile kaynatılmış JAC270C ve JAC590R malzemeleri .....	46



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Kaynatılan malzeme özellikleri ve kaynak parametreleri .....	14
Tablo 4.1. Birleştirilen malzemelere göre kumpasla ölçülen çekirdek çapları .....	21
Tablo 4.2. Birleştirilen malzemelere göre akım ve çap değerleri.....	22
Tablo 4.3. Kaynaklı malzemelerin çekme kuvveti dağılım tablosu .....	40



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Q	: Kaynak enerjisi, (kW)
I	: Kaynak akımı (kA)
t	: Kaynak süresi, (ms)
D	: Kaynak çekirdek çapı, (mm)
R	: Direnç, (ohm)
T	: Metal kalınlığı, (mm)

### Kısaltmalar

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
cyc	: Cycle
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standardizasyon Enstitüsü)
DP	: Dual Phase (Çift Fazlı)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
kA	: Kiloamper
kgf	: Kilogram force (Kilogram kuvvet)
MPa	: Megapascal
SAE	: Society of Automotive Engineers (Amerikan Otomotiv Mühendisleri Derneği)
TRIP	: Transformation Induced Plasticity (Dönüşüm Etkili Yoğruluk)
TWIP	: Twinning Induced Plasticity (İkizlemeyle Plastikliği Artırılmış)



## **OTOMOTİV GÖVDESİNDE KULLANILAN JAC270C VE JAC590R SAC LEVHA MALZEMELERİN NOKTA DİRENÇ KAYNAĞININ MUKAVAMET ANALİZİ**

### **ÖZET**

Bu çalışmada ağırlıklı olarak otomotiv gövde üretiminde kullanılan JAC270C ve JAC590R galvaniz kaplı sac parçalarının nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesi sonucunda kaynağın mukavemet analizleri yapılmıştır.

Nokta direnç kaynağı uygulamasında; kaynak akımı, elektrot basıncı ve akım süresi deneysel parametreler olarak belirlenerek kaynak mukavemetine olan etkileri incelenmiştir.

Kaynaklı birleştirmeleri yapılan malzemelerin çekme testi deneyleri yapılarak gerilme-birim uzama eğrileri elde edilmiş ve maksimum çekme kuvvetleri belirlenmiştir.

Kaynaklı bölgelerin mekanik testlerinin ardından mikroyapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kaynak bölgesinden kesiti alınan malzemelerin optik mikroskop ile mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Kaynak çekirdek çapları ölçülerek değerler kayıt altına alınmıştır. Mikrosertlik testleri gerçekleştirilmiştir ve açıklanmıştır. Çalışmanın sonunda kaynak akımı, uygulanan basınç ve kaynak süresi gibi parametrelerin kaynak mukavemetine etkileri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** JAC270C, JAC590R, Kaynak Parametreleri, Mukavemet Analizi, Nokta Direnç Kaynağı

## **STRENGTH ANALYSIS OF RESISTANCE SPOT WELDING OF JAC270C AND JAC590R MATERIALS USED IN AUTOMOTIVE BODY CONSTRUCTION**

### **ABSTRACT**

In this study, JAC270C and JAC590R galvanized coated sheet metal parts which are mainly used automotive industry were welded together with spot resistance welding and strength analysis was performed.

During spot resistance welding application; welding current, pressure applied during welding and the duration of the current were determined as experimental parameters and their effects on welding strength were investigated.

Tensile-unit elongation curves were obtained by tensile testing of the materials which welded and maximum tensile forces were determined.

Microstructure analysis of welded materials was carried out following mechanical tests. For this purpose, microstructure studies were carried out by optical microscope which materials taken from the welding zone. Microhardness measurements were conducted and explained. The nugget diameters were measured and the values were recorded. At the end of the study the effects of welding current, applied pressure and duration of welding on the welding strength were determined.

**Keywords:** JAC270C, JAC590R, Spot Resistance Welding, Strength Analysis, Welding Parameters

## GİRİŞ

Otomobil gövde üretiminde kullanılan çeliklerde şekillendirilebilirlik, kaynaklanabilirlik ve boya işlemi sonrasında korozyon direnci istenen en önemli özelliklerdir. Otomobillerin kabin tasarımlarında kullanılan yapısal parçalar yüksek dayanımlı, korozyon dirençleri yüksek ve iyi şekillendirilebilirliği olan malzemelerdir. JAC270C ve JAC590R çelikleri otomobil gövesi üretiminde kullanılan yüksek dayanımlı çelikler içerisinde yer almaktadırlar [1].

Otomobil üretiminde kullanılan çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan yöntem büyük önem arz etmektedir. Otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan birleştirme yöntemlerinden biri kaynaktır. Nokta direnç kaynağı ise kaynak yöntemlerinden bir tanesidir. Nokta direnç kaynağı; birleştirilecek olan parçalardan geçen elektrik akımına karşı gösterilen direncin yarattığı ısı ve basınç uygulanması ile gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir [2].

Metal malzemelerin başarılı bir şekilde kaynatılmasında nokta direnç kaynak yönteminin önemi büyüktür. Bu kaynak metodunun uygulamasında kaynatılacak olan malzemeler ik adet bakır elektrot arasına sıkıştırılır ve elektrik akımı malzelerin üzerinden belirli bir süre zarfında geçer. Akım kesildikten sonar malzemeler uygulanan basınç altında bir süre soğur ve ayrılmaz bir biçimde birleşir. Bir otomobil üzerinde aşağı yukarı 5000 adet nokta direnç kaynağı mevcuttur. Diğer kaynak yöntemleri ile mukayese edildiğinde taşıt gövde üretiminde % 90 oranında nokta direnç kaynak metodu kullanılmaktadır. Elektrotların yaptığı baskı ile beraber malzemelerin üstünden geçen akım kaynağın gerçekleşmesini sağlar. Kaynağın yapılması nokta direnç kaynağı tabancası adı verilen ekipman ile gerçekleştirilir. Bu ekipmanlar bir çalışan yardımı ile kullanılabilindiği gibi robotlara entegre etmek suretiyle de yararlanılabilir [3].

Nokta direnç kaynağının bazı temel parametreleri mevcuttur. Bunlar kaynak akımı, elektrot kuvveti ve kaynak süresidir. Kaynak akımı birleştirilecek malzemelerin üstünden geçerek ısı enerjisi oluşmasını sağlar. Elektrot kuvvetinin temel gayesi birleştirilecek malzemelerin sıkıştırılmasıdır. Kaynak süresi ise malzemelerin üzerine kuvvet uygulanması ve akımın akması arasındaki zamansal aralıktır. Kaynak parametreleri kaynak dayanımı ve kalitesi üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Çok yüksek akım uygulanması dayanımın düşmesine sebep olarak elektrotların daha kısa sürede aşınmasına yol açar. Kaliteli kaynak için yüksek elektrot kuvvetleri gerekir. Elektrot kuvvetini artırması ısı enerjisini düşürmektedir. Bu nedenle elektrot kuvveti yüksek olduğu zaman kaynak akımı da yüksek olmalıdır [4].

Bu tez çalışmasında otomotiv endüstrisinde kullanılan kaynak yöntemleri ve nokta direnç kaynağı ile ilgili temel bilgiler anlatılmıştır. Otomotiv sanayinde nokta direnç kaynağı uygulamalarında temel parametreler ile JAC270C ve JAC590R otomotiv çeliklerinin özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Nokta direnç kaynağı uygulanan çeliklerin çekme testine tabi tutulması sonrasında alınan deney sonuçları gösterilmiştir. Kaynak çekirdek çapları ölçülmüştür ve malzemelerin kaynak edilen bölgelerinin optik mikroskop kullanılarak metalografik incelemeleri yapılmıştır. Bakalite alınan numunelerin mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan test ve ölçümlerin sonuçları yorumlanarak verilmiştir.

## **1.GENEL BİLGİLER**

Otomotiv sektöründe güvenliğin sağlanması ve araç ağırlığının azaltılması çalışmaları farklı imalat yöntemleri uygulanmasına yol açmıştır. Günümüzde kullanılan en önemli birleştirme yöntemlerinden birisi nokta direnç kaynağıdır. Otomobil gövdeleri 3000 ile 5000 arasında nokta direnç kaynağına sahiptir. Diğer kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında bir aracın %85'ini nokta direnç kaynağı oluşturur [5].

### **1.1. Amaç ve Kapsam**

Çalışmada amaç kaynatılmış olan sac parçaların testler sonucunda mukavemet değerleri yeterli olanların hangi nokta direnç kaynak parametre değerlerinde yapıldığının belirlenmesidir. Kaynak parametrelerinin istenen mukavemeti sağlaması amacıyla optimize edilmesi, malzemelerin kalınlık ve türlerinin kaynak mukavemetine olan etkisi gözlemlenmek istenmiştir.

Bu çalışmada otomobil üretiminde kullanılan farklı kalınlıkta ve farklı özelliklere sahip çelik sacların nokta direnç kaynakları farklı parametreler altında gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi gerçekleştirilen farklı kombinasyonlara sahip numuneler çekme testi, çekirdek çapı ölçümü, metalografik incelemeler ve mikrosertlik testlerine tabi tutularak mukavemet analizleri gerçekleştirilmiştir.

### **1.2. Literatür Araştırması**

Vural ve Akkuş (2004), otomobil gövde üretiminde kullanılan galvanizli çelik saclar ile paslanmaz çelik sacları malzeme olarak belirleyerek nokta direnç kaynaklarını incelemiştir. Nokta direnç kaynaklarının uygulandığı numune sacların kaynak çekirdek çaplarını ve mikro sertliklerini ölçmüşlerdir. Numuneleri çekme-makaslama testi ve yorulma testlerine tabi tutarak aynı zamanda mikroyapı incelemelerini gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda kaynak akımının artışının çekirdek çapını büyüttüğü, çekirdek çapı artışının çekme mukavemetini artırdığını ve yorulma testlerinde kaynak çekirdek çapındaki artışın yorulma ömrüne pozitif etki ettiğini belirlemişlerdir [6].

Hasanbaşıoğlu ve Kaçar (2006), farklı malzemelerin nokta direnç kaynakları çalışmalarında AISI 316L ve DIN EN 10130-99 çeliklerini elektrot basıncı ve kaynak sürelerini sabit tutarak akım değişikliklerinin etkilerini incelemişlerdir. Yeterli kaynak mukavemetinin 7 kA akımda sağlanmasına rağmen 9 kA akım uygulandığında en yüksek mukavemet değerine ulaşıldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip metallerin benzer yapıdaki metallerin nokta direnç kaynaklarına göre daha zor olduğunu belirtmişlerdir [7].

Kishore ve diğ. (2019), galvanizli ve çift fazlı DP600 çeliğinin nokta direnç kaynaklarında maksimum yük taşıma kapasitesini sağlayan kaynak parametrelerinin optimizasyonu konusunda çalışma yapmışlardır. Çekme testi sonuçlarına göre maksimum yük taşıma kapasitesinin 9 kA akım ve 225 ms kaynak süresinde sağlandığını belirtmişlerdir [8].

Anijdan ve diğ. (2018), DP600 ve AISI 304 çeliklerinin maksimum çekme mukavemetine ulaştığı nokta kaynak parametrelerini belirlemek amacıyla çalışma gerçekleştirmişlerdir. Mikroyapı analizlerini taramalı elektron mikroskobu, kaynak mukavemeti analizini ise çekme testi deneyleri ile yapmışlar ve kaynak yoğunluğu, tutma süresi, akım süresi, elektrot kuvvetini değerlerinin en önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Birleştirilen metaller için optimum değerlerin 8 kA akım yoğunluğu, 40 cyc kaynak sonrası tutma süresi, 16 cyc kaynak süresi ve 5 kN elektrot basıncı olduğunu saptamışlardır [9].

Florea ve diğ. (2013), alüminyum 6061-T6 alaşımının yorulma davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Kaynak çekirdeklerinin mikroyapılarını incelemek için nominal, düşük ve yüksek olmak üzere üç kaynak koşulunu incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda 2 mm kalınlıklı alüminyum sacların nokta direnç kaynaklarında mikroyapı ve yorulma ömrünü etkileyen en önemli unsurların kaynak parametreleri olduğunu tespit etmişlerdir. Sabit bir frekans ve üç kaynak koşulunda çeşitli yük aralıklarında farklı yorulma hataları gözlemlemişlerdir [10].

Kahraman (2007), saf titanyum sacları farklı kaynak ve çevresel parametrelerde nokta direnç kaynağı ile birleştirmiştir. Kaynak bölgesinin mukavemetini belirlemek amacı ile kaynaklı bağlantıları çekme testine tabi tutmuştur. Bunlara ek olarak kaynak parametrelerinin kaynağın mukavemetine etkilerini incelemek için sertlik ve

mikroyapı incelemeleri gerçekleştirmiştir. Testler sonucunda artan kaynak süresi ve elektrot kuvvetinin çekme mukavemetini artırdığını ve tüm parametreler içinde mukavemete en çok etki edenenin kaynak süresi olduğunu tespit etmiştir [11].

Özgül ve Arslan (2018), otomotiv sanayinde kullanılan 5000 serisi Al 5754-H111 malzemesini değişken kaynak akımı, süresi ve elektrot basıncı altında kaynatmışlardır. Mekanik özellikleri tespit amacıyla çekme testi uygulamışlardır. Kaynak akımının artmasının kaynak bölgesinde oluşan ısıyı artırdığı, böylece hem artan nüfuziyet hem de kaynak çapında oluşan artmanın kaynak mukavemetini artırdığını belirtmişlerdir. Çekme dayanımının birden çok parametreye bağlı olduğunu yalnızca bir parametre ile mukavemetin yeterli olamayacağını söylemişlerdir [12].

Antika ve diğ. (2018), otomotivde kullanılan yüksek mukavemete sahip olan çelik türlerinden 1 mm kalınlığında DP1000 ve 1,5 mm kalınlığında TRIP800 saclarını değişken kaynak akımı ve sürelerinde kaynatarak numuneleri çekme makaslama, soyma testleri ve sertlik ölçümlerine tabi tutmuştur. Yaptıkları deneyler sonucunda kaynak akımı ve süresindeki artışın çekme mukavemetini artırdığını gözlemlemişlerdir [13].

Ertan ve diğ. (2019), farklı kalınlık değerlerine sahip DP800, Usibor 1500 ve Ductibor 500P olan üç farklı yüksek dayanıma sahip sacların farklı akım değerleri uygulanması ile nokta direnç kaynağını uygulamışlardır. Mekanik özellikleri belirlemek amacıyla hazırladıkları numuneler ile çekme testi gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda kaynak akım değeri değişiminden DP 800 ve Ductibor 500P daha çok etkilenirken Usibor 1500 çeliğinde kayda değer bir değişim olmadığını belirlemişlerdir. Ayrıca kaynak sonrasında en yüksek dayanım ve sertliğe sahip malzemenin Ductibor 500P olduğunu görmüşlerdir [14].

Yıldırım ve diğ. (2019), ticari saf titanyum sacları nokta direnç kaynağı ile kaynatmışlardır. Kaynak işleminde değişken elektrot kuvveti, kaynak akımı ve kaynak süresi kullanarak bu parametrelerin çekme dayanımına olan etkilerini araştırmışlardır. Taguchi metodu kullanarak yaptıkları optimizasyon sonucunda çekme dayanımının maksimum değerine 7 kA akım, 30 cyc kaynak süresi ve 6 kN elektrot basıncında ulaşmışlardır [2].

Bayramođlu ve Eşme (2002), 1010 çeliğinin nokta direnç kaynağı ile birleştirilmesi üzerine dayanan çalışmalarında kaynak akımı ve elektrot kuvveti gibi parametreler ile parça kalınlıkları arasında nasıl bir değişim olduğunu tespit etmek amacıyla deneyler gerçekteşirmişlerdir. Çalışmalarının neticesinde maksimum çekme mukavemet değerini sağlayan optimum kaynak parametrelerini saptamışlardır. Parametrelerin optimum sečilmemesi durumunda elektrotlarda ve parçada hasarlar olduğunu ve elektrot ömrünün azaldığını belirlemişlerdir [15].

Ertek Emre (2019), ileri yüksek mukavemetli çeliklerden olan TWIP çeliklerini nokta direnç kaynağı ile birleştirerek elde ettiği numuneleri çekme makaslama testine sokmuş ve kaynağın çekirdek çapını belirlemiştir. TWIP çeliği için en iyi mukavemeti veren kaynak parametrelerinin 7 kA akım ve 20 çevrim kaynak süresi olduğunu tespit etmiştir. Çekme mukavemetini etkileyen en önemli parametrenin akım olduğunu, çekirdek çapı için en önemli değişkenin ise kaynak süresi olduğunu tespit etmiştir [16].

Rajararan ve diğ. (2019), elektrot kuvvetinin DP800 çift fazlı çeliği üstündeki mekanik etkilerini incelemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Nokta direnç kaynağı işlemini uyguladıkları DP800 çeliğini çekme testine tabi tutup, optik mikroskop ile mikroyapı incelemelerini gerçekteşirmişlerdir. Çekme mukavemetinin belirli bir sınıra kadar elektrot kuvveti ile arttığı ardından azaldığını gözlemlemişlerdir. Maksimum çekme gerilmesi olan 18,3 kN değerine 4,5 MPa elektrot kuvvetinde ulaşıldığını ve elektrot kuvvetinin kaynak çekirdek çapını değiştirdiğini belirtmişlerdir [17].

Colombo ve diğ. (2018), kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot basıncı parametrelerini değişkenler kabul ederek TWIP çeliğine nokta direnç kaynağı uygulamışlardır. Mekanik mukavemet ve yorulma değerlendirmeleri için çekme testi yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda 8 kA kaynak akımı, 16 cycle akım süresi ve 2 kN elektrot kuvveti değerlerinin TWIP çeliği için optimum parametreler olduğunu tespit etmişlerdir [18].

Vural ve diğ. (2006), galvanizli çelik ile AISI 304 paslanmaz çeliklerini nokta direnç kaynağı ile birleştirmişler ve deneysel parametreler olarak malzeme kombinasyonlarını ve çekirdek çaplarını belirlemişlerdir. Çalışmada kaynak çekirdek



apının dayanıma olan etkisini gözlemlemişlerdir. Kaynak çapındaki artışın malzemelerdeki yorulma ömrünü olumlu şekilde etkilediğini aktarmışlardır [19].

İncelenen alışmalar sonucunda nokta direnç kaynağının ve kaynak parametrelerinin kaynak mukavemetine olan etkilerinin önemi ve nokta direnç kaynağının çeşitli malzemelere göre uygulama şekli anlaşılmaktadır. Yapılan literatür araştırması sonucunda JAC270C ve JAC590R malzemelerinin nokta direnç kaynağı ile birleştirilerek mukavemet incelemelerinin yapılmadığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında nokta direnç kaynağı ile kaynaklanmış olan JAC270C ve JAC590R eliklerinin mukavemet analizleri ve birleşimi sağlayan optimum kaynak parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

## **2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI VE NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI HAKKINDA GENEL BİLGİLER**

Direnç kaynağı oldukça eski bir kaynak yöntemidir. 1877 yılında Amerika’da tesadüfen bulunmuştur ve birinci dünya savaşına kadar kullanımı oldukça azdır. İkinci dünya savaşında sonra günümüze kadar elektrikte yaşanan büyük ilerlemeler neticesinde kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.

### **2.1. Elektrik Direnç Kaynağı**

Elektrik direnç kaynağı oldukça yaygın olarak seri üretimde kullanılan bir kaynak yöntemidir. Kaynak operasyonu makinayı çalıştırabilme ve durdurabilme yeteneğine sahip operatörler tarafından hızlı bir şekilde yapılır. Diğer kaynak yöntemleri ile mukayese edildiğinde işçilik maliyeti açısından oldukça avantajlıdır. Elektrik direnç kaynak yönteminde ek malzeme kullanılmamasından dolayı oluşturulan bağlantıda yüksek kaynak mukavemeti ve kaynak hızının yüksek olması gibi nedenlerden ötürü günümüzde otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

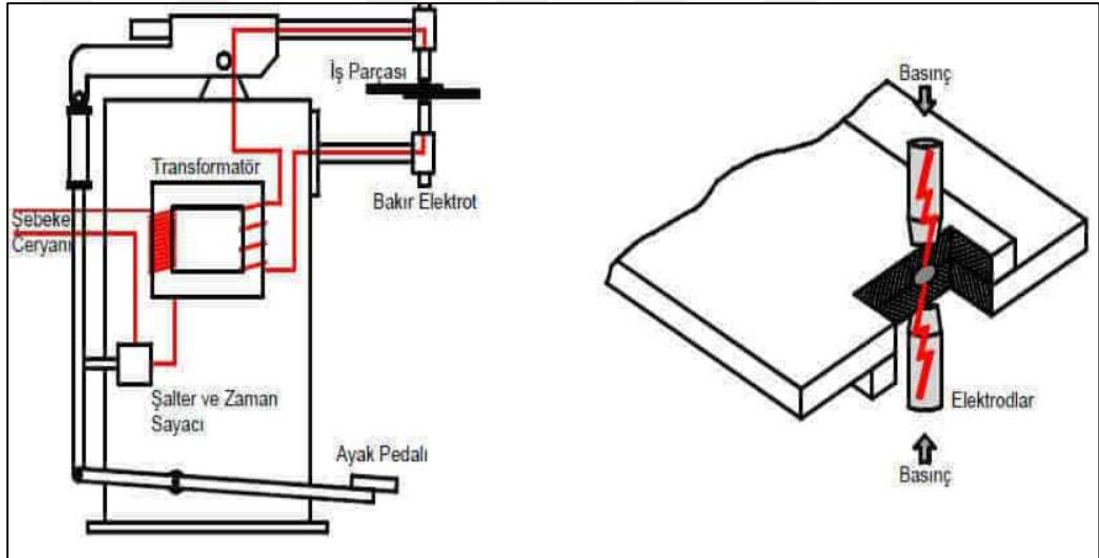
Elektrik direnç kaynağı iş parçalarının üstünden akan elektrik akımına karşı, parçaların gösterdiği dirençten elde edilen ısı ve uygulanan basma kuvveti sayesinde yapılan bir yöntemdir. Bu kaynak yönteminde ek bir ısı kaynağı kullanımına gerek duyulmamaktadır [20].

### **2.2. Nokta Direnç Kaynağı**

Nokta direnç kaynağı metallerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir kaynak yöntemidir. Diğer birleştirme yöntemlerine göre hızlı, kolay ve otomasyona uygun olması nedeniyle avantajlıdır. Otomobillerin gövde üretiminde birincil derecede öneme sahip olmakla beraber önemli bir rol üstlenmektedir. Bir otomobilin gövdesinde binlerce nokta direnç kaynağı bulunmaktadır [21].

Elektrik akımı ve basınç yardımı ile ilave malzeme kullanmadan gerçekleştirilen kaynak işlemine nokta direnç kaynağı adı verilmektedir. Direnç kaynağının en çok

kullanılan çeşitlerinden birisidir. Kaynatılacak olan metaller malzeme cinsleri bakır olan iki elektrot arasında yerleştirilerek uygulanan belirli bir basınç yardımı ile akım geçmesi sağlanarak birleştirilir. Ayarlanan süre boyunca uygulanan akım bir elektrottan diğer elektroda doğru akarken bu akıma karşı oluşan direnç sebebiyle malzemelerin temas noktasında erime meydana gelmeye başlar. Akımın sonlanmasından sonra oluşan kaynak bölgesi uygulanan basınç altında soğur ve katılaşarak iki metalin birbiri ile bağlantısının gerçekleşmesini sağlar. Nokta direnç kaynağı makinası elektrotlara basınç uygulanmasını sağlayan bir sistem, şebeke gerilimini ayarlamakla sorumlu transformatör, akım ayarlayan cihazlar ve zaman sayacından oluşmaktadır [22]. Şekil 2.1’de nokta direnç kaynak makinası gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Nokta direnç kaynak makinası [23]

### 2.2.1. Nokta direnç kaynağında temel parametreler

Nokta direnç kaynağının en önemli parametreleri; kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot kuvvetidir. Kaynak sırasında ortaya çıkan enerji miktarı bu parametrelere bağlıdır.

$$Q=I^2Rt \quad (2.1)$$

Bu denklemde;

Q: Kaynak sırasında ortaya çıkan enerji,

I: Kaynak akımı,

R: Kaynak alanı direnci,

t: Kaynak süresi anlamına gelmektedir.

Kaynak akımı, nokta direnç kaynağında ısı enerjisinin oluşumunu sağlayan en önemli parametredir. Yetersiz akım değeri çekirdek çapının küçük olmasına yol açarken, fazla akım uygulanması ise kaynak yapılacak olan bölgede erime ve çatlak problemlerine sebep olmaktadır.

Elektrot kuvveti, kaynağı yapılacak olan parçalara uygulanan baskı kuvvetidir. Düşük değerde uygulanması metal fişkıma problemine neden olabilmekte ve gereğinden yüksek olması durumunda ise elektrik direnci düşük çıkabilmektedir.

Kaynak süresi, kaynak akımının ne kadar süre ile uygulanacağıdır. Saniyenin ellide biri olarak tanımlanan periyot birimi ile kullanılır. Kaynak süresinin yetersizliği düşük ısı oluşumu ve nüfuziyet azlığı yaratırken, yüksek olması fazla erime ve metal fişkımasına sebep olmaktadır [24].

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu çalışmada 0,6 mm ve 1,2 mm kalınlıklarında JAC270C ve JAC590R cinsi galvanizli çelik saclar kullanılmıştır. Çelik saclar 125 mm x 40 mm boyutlarında kesilerek nokta direnç kaynağı işlemi için hazırlanmıştır. Parçalar farklı kalınlık ve cinslerde kombinasyonlar yapılarak birbirleri ile bindirme şeklinde farklı parametreler kullanılarak nokta direnç kaynağı yapılmıştır. Kaynak sonrası oluşan çekirdek çapları ölçülmüştür. Kaynaklı numuneler çekme testi cihazı ile test edilerek mukavemet değerleri belirlenmiştir. Kaynaklı bağlantılar bakalite alınarak mikroskop yardımı ile metalografik olarak incelenmiştir.

#### **3.1. JAC270C ve JAC590R Otomotiv Çelikleri**

Günümüzde otomotiv sanayinde kullanılan çelikler ince cidarlı malzemelerdir. Karbondioksit salınım değerlerini düşürmek için ağırlık azaltarak çevreye olan zararların önüne geçmek ve kaza anında yüksek dayanım değerleri elde etmek amacıyla ince ve dayanıklı çelikler kullanılmaktadır. Bu çeliklerden istenen bazı önemli özellikler vardır. Bunlar; şekillendirilebilirlik, nokta direnç kaynağına uygunluk, boya sonrası korozyon direncinin yüksek olması ve gevrek kırılmaya karşı dirençli olmasıdır. JAC270C ve JAC590R malzemeleri otomotiv sanayinde kullanılan yüksek dayanımlı galvanizli çeliklerdendir [1].

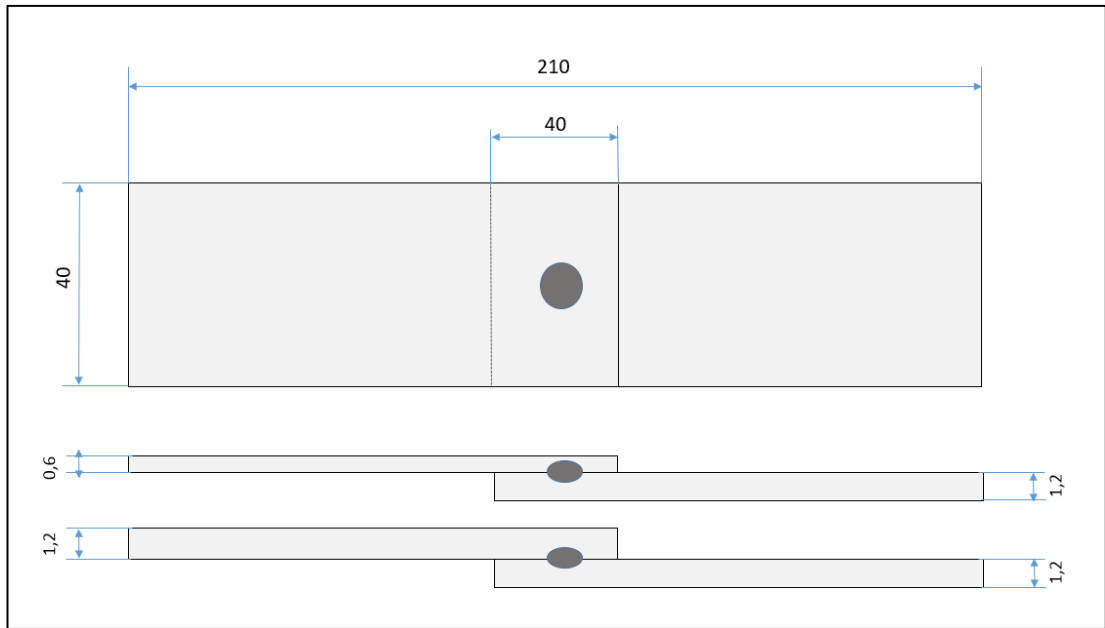
JAC270C ve JAC590R malzemelerinin çekme ve akma dayanımlarını içeren mekanik özellikleri şekil 3.1’de verilmiştir.

Designation	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )			Elongation (%)	Mean plastic strain ratio r value	
		0.4 ≤ t < 0.8	0.8 ≤ t < 1.0	1.0 ≤ t ≤ 2.4		0.4 ≤ t ≤ 2.4	0.5 ≤ t ≤ 1.0
JAC270C	270 min.	185~305	175~295	165~285	34~53	-	-
JAC270D	270 min.	135~225	125~215	115~205	39~57	1.2 min	1.1 min
JAC270E	270 min.	130~205	120~195	110~185	41~58	1.4 min	1.3 min
JAC270F	270 min.	120~185	110~175	100~185	43~60	1.5 min	1.4 min
JAC340W	340 min.	215~235	205~305	195~295	32~46	-	-
JAC390W	390 min.	255~365	245~355	235~345	28~43	-	-
JAC440W	440 min.	295~400	285~390	275~380	25~41	-	-
JAC340P	340 min.	175~265	165~255	155~245	34~48	-	-
JAC390P	390 min.	215~315	205~305	195~295	30~45	-	-
JAC440R	440 min.	365~470	355~460	345~450	22~38	-	-
JAC590R	590 min.	440~590	430~580	420~570	14~32	-	-
JAC590Y	590 min.	325~470	315~460	305~450	16~34	-	-

Şekil 3.1. JAC270C ve JAC590R çeliklerinin mekanik özellikleri [25]

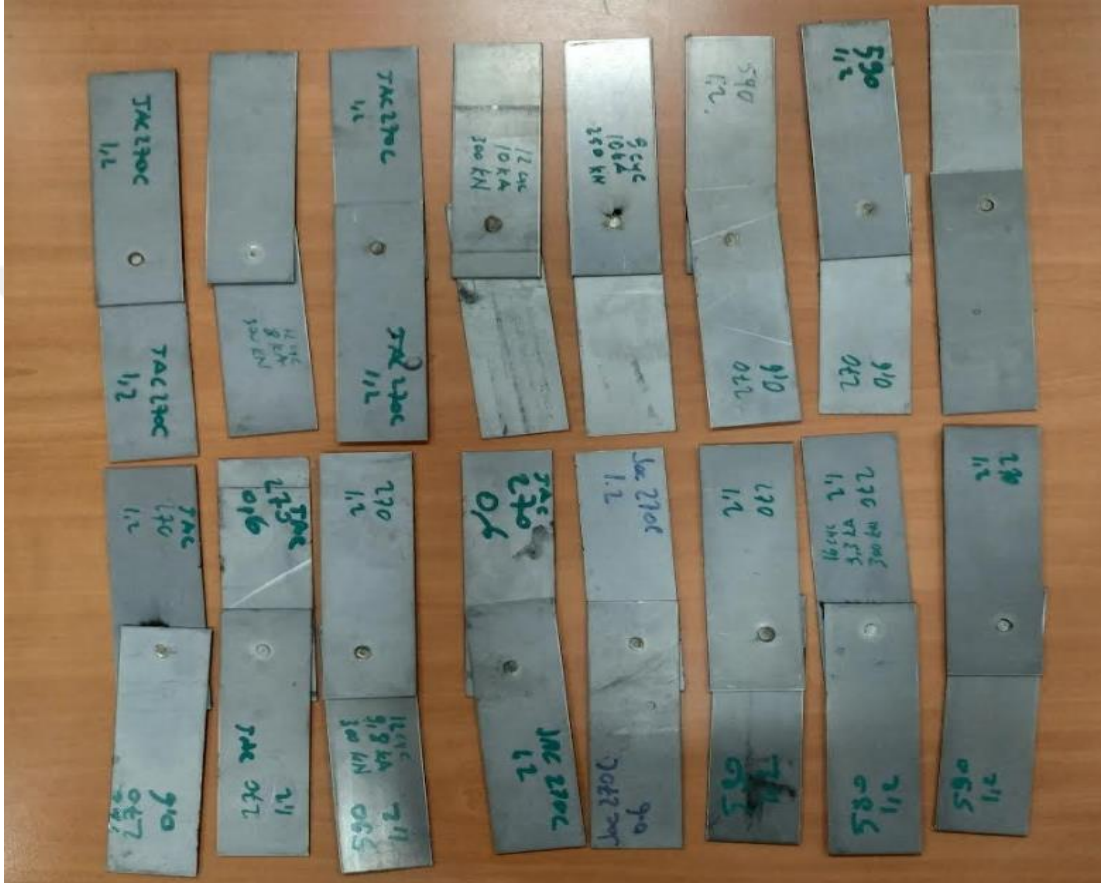
### 3.2. Nokta Direnç Kaynağı Uygulaması

0,6 mm ve 1,2 mm kalınlık değerlerine sahip JAC270C ve JAC590R malzemeleri 125 mm x 40 mm ölçülerinde kesilerek numuneler hazırlanmıştır. Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi bindirme yöntemi ile parçalar yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Bindirme yöntemi ile kaynatılmış numunelerin ölçüleri

Şekil 3.3’de nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş test numuneleri gösterilmiştir. 16 farklı özellikteki numunelerin herbirinden üçer adet olmak üzere toplamda 48 adet numune hazırlanmıştır. İlk grup numuneler çekirdek çapı ölçümü, ikinci grup numuneler çekme testi ve üçüncü grup numuneler ise metalografik inceleme ve mikrosertlik ölçümünde kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş test numuneleri

Nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin hangi kaynak parametreleri altında gerçekleştiği tablo 3.1’de görülmektedir.

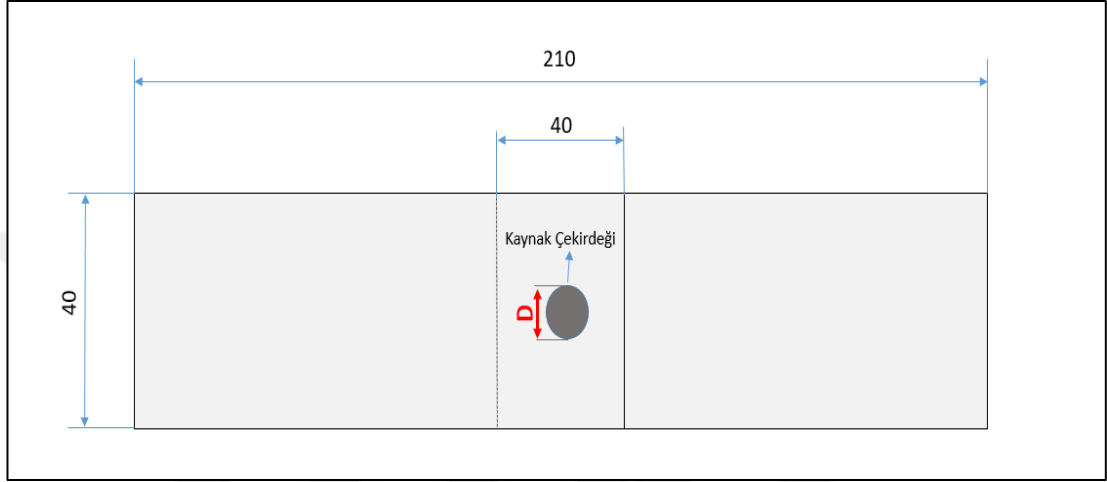
Tablo 3.1. Kaynatılan malzeme özellikleri ve kaynak parametreleri

NUMUNE NUMARASI	BİRLEŞTİRİLEN MALZEMELER(Kalınlık)	KAYNAK AKIMI (kA)	ELEKTROT KUVVETİ (kgf)	AKIM SÜRESİ (cyc)
1	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(1,2mm)	10	300	12
2	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(1,2mm)	10	300	10
3	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(1,2mm)	8	300	12
4	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(1,2mm)	10	250	12
5	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(0,6mm)	10	300	9
6	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(0,6mm)	10	300	12
7	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(0,6mm)	10,5	300	9
8	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(0,6mm)	10	250	9
9	JAC270C(1,2mm)- JAC590R(1,2mm)	9,3	300	12
10	JAC270C(1,2mm)- JAC590R(1,2mm)	9,8	300	12
11	JAC270C(1,2mm)- JAC590R(1,2mm)	9,3	300	16
12	JAC270C(1,2mm)- JAC590R(1,2mm)	9,3	250	12
13	JAC270C(0,6mm)- JAC590R(1,2mm)	10	300	9
14	JAC270C(0,6mm)- JAC590R(1,2mm)	10,5	300	9
15	JAC270C(0,6mm)- JAC590R(1,2mm)	10	250	9
16	JAC270C(0,6mm)- JAC590R(1,2mm)	10	300	12



### 3.3. Nokta Direnç Kaynaklı Numunelerin Çekirdek Çapı Ölçümü

Nokta direnç kaynağında kaynağın çekirdek çapı kaynaklı bölgenin dayanımı üzerinde etki sahibi olduğundan dolayı önemli bir parametredir [26]. Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen numunelerin Şekil 3.4'te gösterilen kaynak çekirdek çapları kumpas kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 3.4. Kaynaklı bağlantıların çekirdek bölgesi

### 3.4. Çekme Testi

Çekme testi verileri malzeme karakterizasyonu için önemli bilgiler sağlamaktadır. Çekme testi verilerine dayanarak malzemelerin ve alaşımların dayanım değerlerini belirlemek için çeşitli standartlar belirlenmiştir. Çekme testlerinde geleneksel olarak ekstansometre adı verilen çekme test cihazları malzemelerin elastiklik modülü, akma ve çekme gerilmelerini belirlemek amacı ile kullanılır [27].

Bu çalışmada farklı kalınlık ve kaynak parametrelerinde çeşitli kombinasyonlarda oluşturulan 16 adet numunenin hepsi çekme testi cihazı ile teste tabi tutulmuştur. Çekme testi cihazının ölçüm değerleri kaydedilmiştir. Şekil 3.5'te testin yapıldığı çekme test sistemi görülmektedir.



Şekil 3.5. Çekme testi cihazı

### 3.5. Metalografik İnceleme

Kaynaklı bağlantıda oluşan çatlak, yetersiz nüfuziyet gibi hataları belirlemek için metalografik inceleme yapılmaktadır. Malzemelerin iç yapı incelemelerinde optik mikroskop öncesi bazı hazırlıklar yapılmalıdır. Bu hazırlıklardan ilki numune alma işlemidir ve incelemenin temelini oluşturmaktadır. Numune el ile parlatılacak ise tutulabilmesi için yeterli büyüklükte olmalıdır. Bu yüzden numune sıcak ve basınç altında kalıplama yolu ile bakalite alınır. Daha sonra hazırlanan bakalit numunesi zımparalama işleminden geçirilerek parlatılır. Parlatma işleminden sonra belirli kimyasallar yüzeye uygulanarak dağlama işlemi gerçekleştirilir. Son olarak hazırlanan numuneler optik mikroskop yardımı ile incelenerek meydana gelen çatlak, gözenek gibi hatalar tespit edilir [28].

Bu çalışmada tüm numunelerin kaynak bölgesi Şekil 3.6'da görülen kesme cihazında soğutucu sıvı yardımı ile kesilerek alınmıştır.



Şekil 3.6. Kesme cihazı

Ardından kesilen numuneler Şekil 3.7’de görülen bakalite alma presinde bakalite alınmıştır.



Şekil 3.7. Bakalit presi

Bakalitlere alınan numunelerin yüzeyleri Şekil 3.8’de görülen zımpara cihazı ile zımparalanarak parlatıldıktan sonra etil alkol-nitrik asit karışımı da yüzeye uygulanmıştır.



Şekil 3.8. Zımpara makinesi

Daha sonra numuneler Şekil 3.9’da görülen optik mikroskop ile incelenerek görüntüleri kaydedilmiştir.



Şekil 3.9. Optik mikroskop

### 3.6. Mikrosertlik Ölçümü

Mikrosertlik ölçümü, metalografik inceleme için bakalite alınmış tüm numunelere uygulanmıştır. Sertlik ölçümleri kaynaklı bölge, ITAB ve esas malzeme üzerinden yapılmıştır. Ölçümler Şekil 3.10'da görülen sertlik testi ekipmanı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Sertlik testi ekipmanı

Sertlik ölçüm cihazı ölçümü gerçekleştirerek sonuçları vickers cinsinden göstermektedir. Sertlik ölçümünde uygulanan yük 1000 gf ve bekleme süresi 15 saniyedir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Nokta Direnç Kaynağı Uygulamasından Elde Edilen Bulgular

Nokta direnç kaynağında kaynak çekirdek çapı mekanik davranışı belirleyen çok önemli bir parametredir. Birleştirilecek olan metallerin kalınlık değerlerine göre minimum kaynak çapını veren çeşitli standartlar bulunmaktadır. SAE' ye göre kalınlık ve kaynak çapı arasındaki ilişkinin eşitliği Denklem (4.1)'de verilmiştir.

$$D=4\sqrt{T} \quad (4.1)$$

Burada;

D = Kaynak çekirdeğinin çapı,

T = Metal kalınlığı,

anlamında gelmektedir [29].

Tablo 4.1'de belirlenen kaynak parametreleri ile nokta direnç kaynağı yapılan numunelerin kumpasla ölçülen kaynak çekirdek çapları gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Birleştirilen Malzemelere Göre Kumplarla Ölçülen Çekirdek Çapları

NUMUNE NUMARASI	BİRLEŞTİRİLEN MALZEMELER	AKIM (kA)	BASINÇ (kgf)	SÜRE (cyc)	ÇEKİRDEK ÇAPI (mm)
1	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(1,2mm)	10	300	12	5,4
2	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(1,2mm)	10	300	10	5,3
3	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(1,2mm)	8	300	12	5,1
4	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(1,2mm)	10	250	12	5,3
5	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(0,6mm)	10	300	9	5,1
6	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(0,6mm)	10	300	12	5,2
7	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(0,6mm)	10,5	300	9	5,3
8	JAC270C(1,2mm)- JAC270C(0,6mm)	10	250	9	5,2
9	JAC270C(1,2mm)- JAC590R(1,2mm)	9,3	300	12	5,6
10	JAC270C(1,2mm)- JAC590R(1,2mm)	9,8	300	12	5,7
11	JAC270C(1,2mm)- JAC590R(1,2mm)	9,3	300	16	5,6
12	JAC270C(1,2mm)- JAC590R(1,2mm)	9,3	250	12	5,5
13	JAC270C(0,6mm)- JAC590R(1,2mm)	10	300	9	5,3
14	JAC270C(0,6mm)- JAC590R(1,2mm)	10,5	300	9	5,5
15	JAC270C(0,6mm)- JAC590R(1,2mm)	10	250	9	5,2
16	JAC270C(0,6mm)- JAC590R(1,2mm)	10	300	12	5,3

Birleştirilen malzemelerin kalınlık değeri 0,8 mm ve 1,2 mm olduğundan denklem 4.1'deki minimum kaynak çapı değerlerini tüm numuneler sağlamaktadır.

Bazı araştırmacılar nokta direnç kaynağında artan kaynak akımının kaynak çekirdek çapını artırdığını belirtmişlerdir [30,31]. Tablo 4.2’de aynı kalınlık ve özellikte birleştirilen malzemelerde basınç ve süre parametreleri aynı değerde uygulanırken, akım değeri artışının çekirdek çapını artırdığı görölmektedir.

Tablo 4.2. Birleştirilen Malzemelere Göre Akım ve Çap Değerleri

BİRLEŞTİRİLEN MALZEMELER	AKIM (kA)	ÇEKİRDEK ÇAPI (mm)
JAC270C(1,2mm)-JAC270C(1,2mm)	8	5,1
JAC270C(1,2mm)-JAC270C(1,2mm)	10	5,4
JAC270C(1,2mm)-JAC270C(0,6mm)	10	5,2
JAC270C(1,2mm)-JAC270C(0,6mm)	10,5	5,3
JAC270C(1,2mm)-JAC590R(1,2mm)	9,3	5,6
JAC270C(1,2mm)-JAC590R(1,2mm)	9,8	5,7
JAC270C(0,6mm)-JAC590R(1,2mm)	10	5,3
JAC270C(0,6mm)-JAC590R(1,2mm)	10,5	5,5

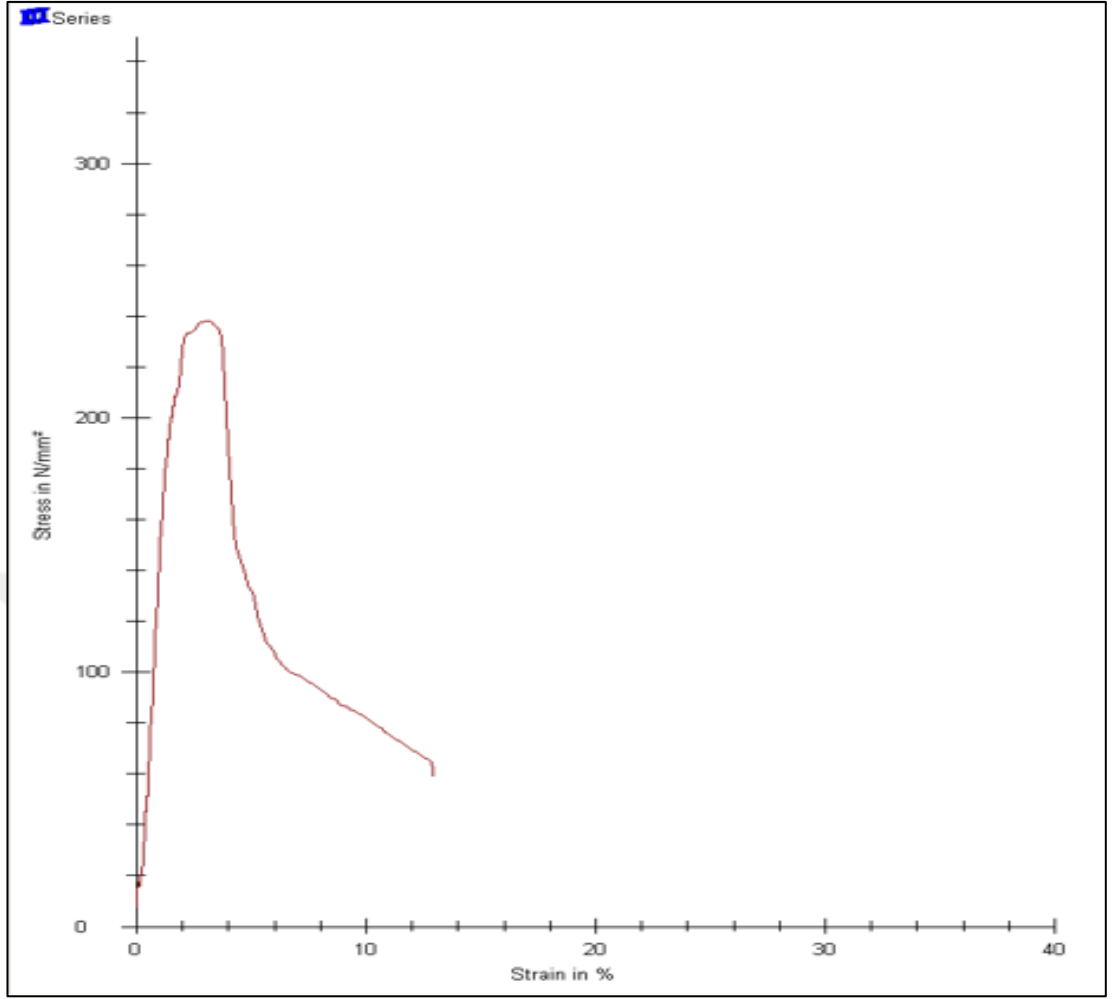
#### 4.2. Çekme Testi Sonucunda Elde Edilen Bulgular

Malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için kullanılan en önemli mühendislik yöntemlerinden birisi çekme testidir [32].

Hazırlanan tüm numuneler çekme testi cihazı ile test edilerek elde edilen kuvvet-yüzde uzama grafikleri alınmıştır.

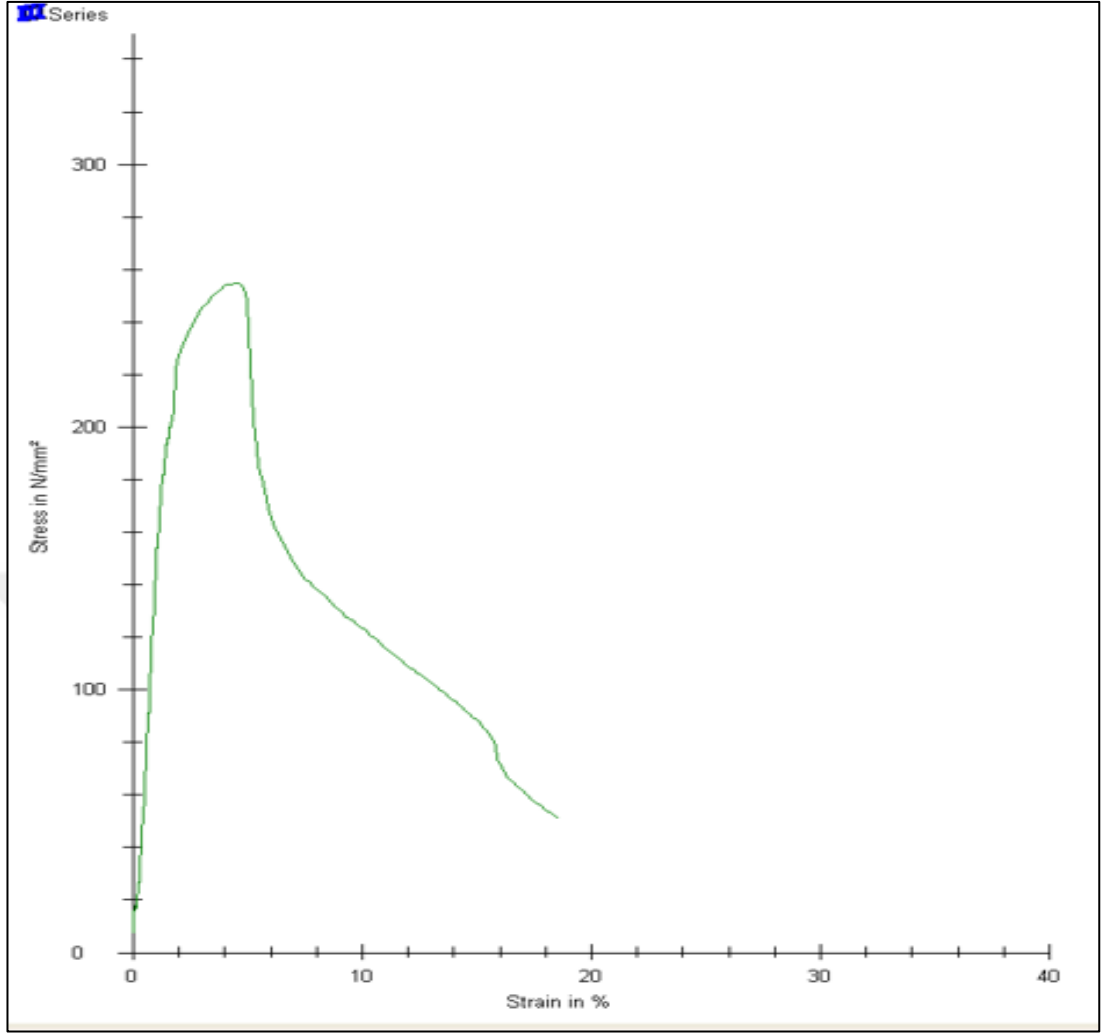
Şekil 4.1’de JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC270C 1,2 mm kalınlıklı 10 kA akım, 12 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 1 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 2,4 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı 200 MPa’nın üzerindedir.





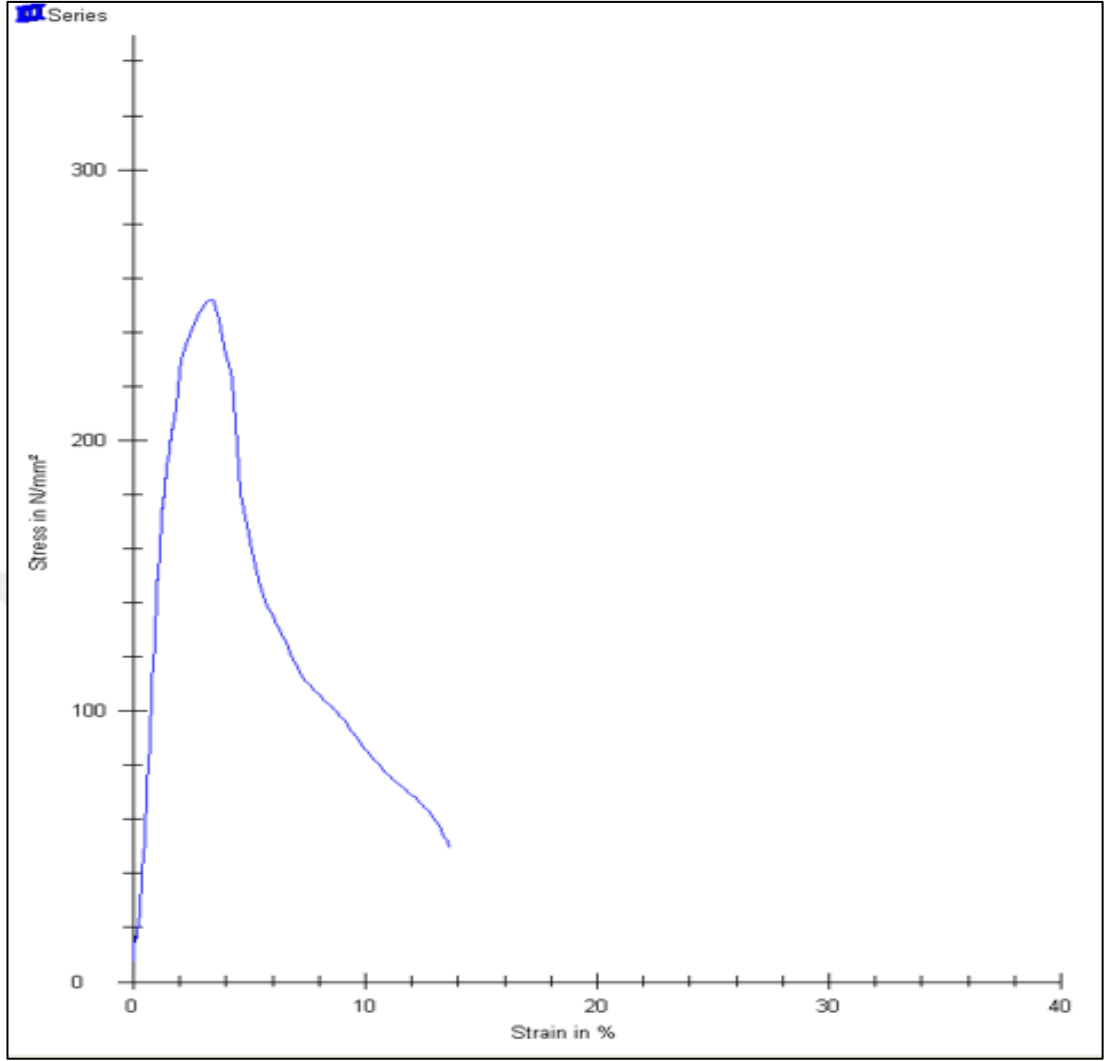
Şekil 4.1. 10 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.2’de JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC270C 1,2 mm kalınlıklı 10 kA akım, 10 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 2 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 2,4 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı 200 MPa’nın üzerindedir.



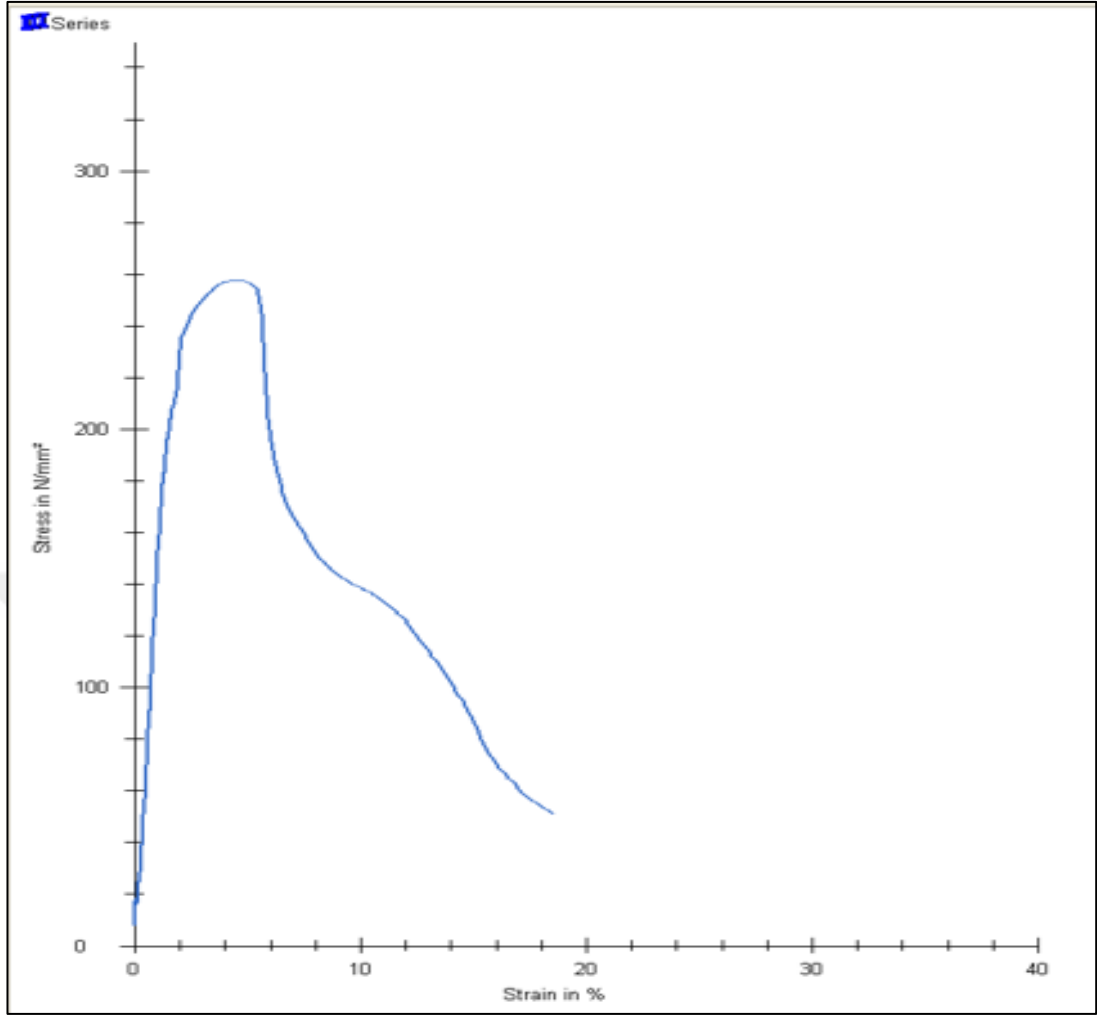
Şekil 4.2. 10 kA 10 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.3'te JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC270C 1,2 mm kalınlıklı 8 kA akım, 12 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 3 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 2,4 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı 200 MPa'nın üzerindedir.



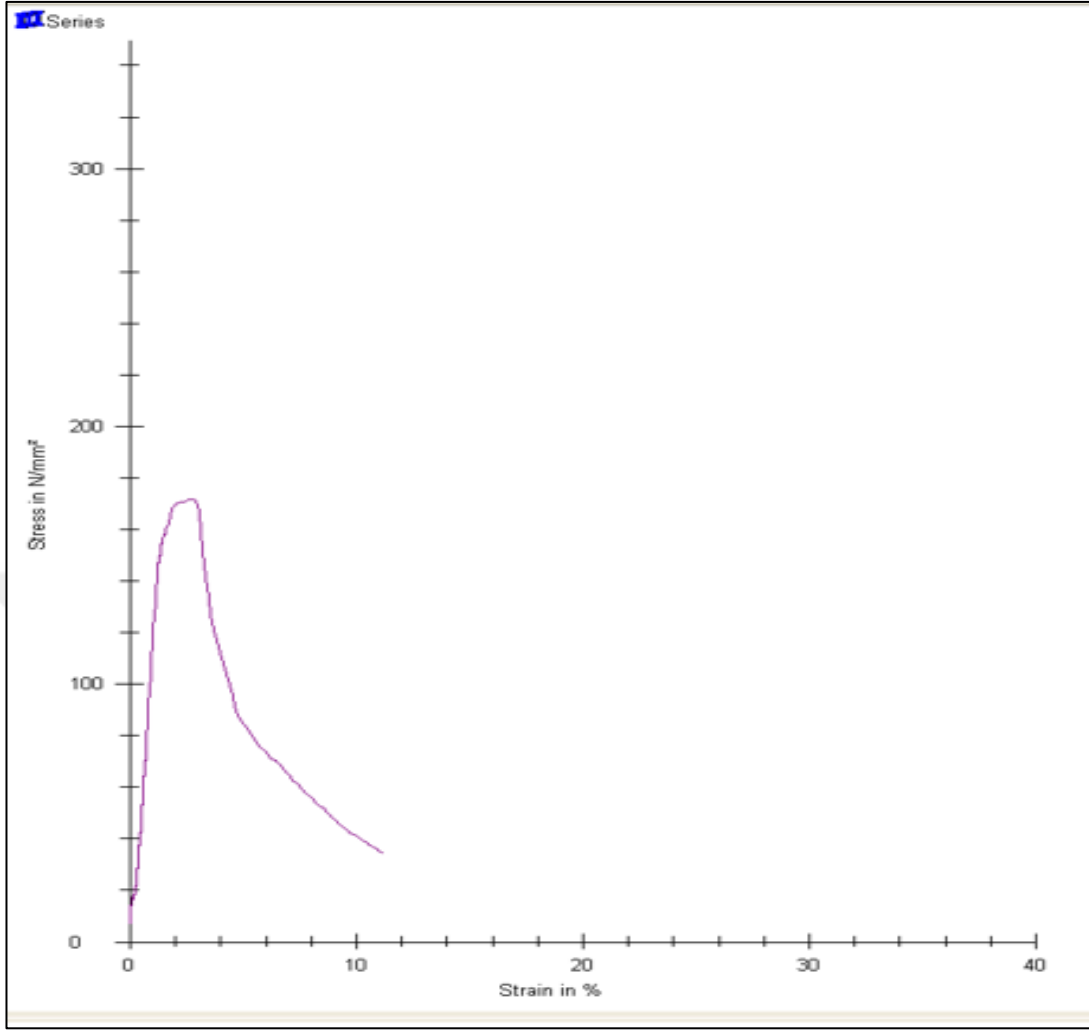
Şekil 4.3. 8 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.4'te JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC270C 1,2 mm kalınlıklı 10 kA akım, 12 cyc kaynak süresi ve 250 kgf basıncında kaynatılmış 4 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 2,4 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı 200 MPa'nın üzerindedir.



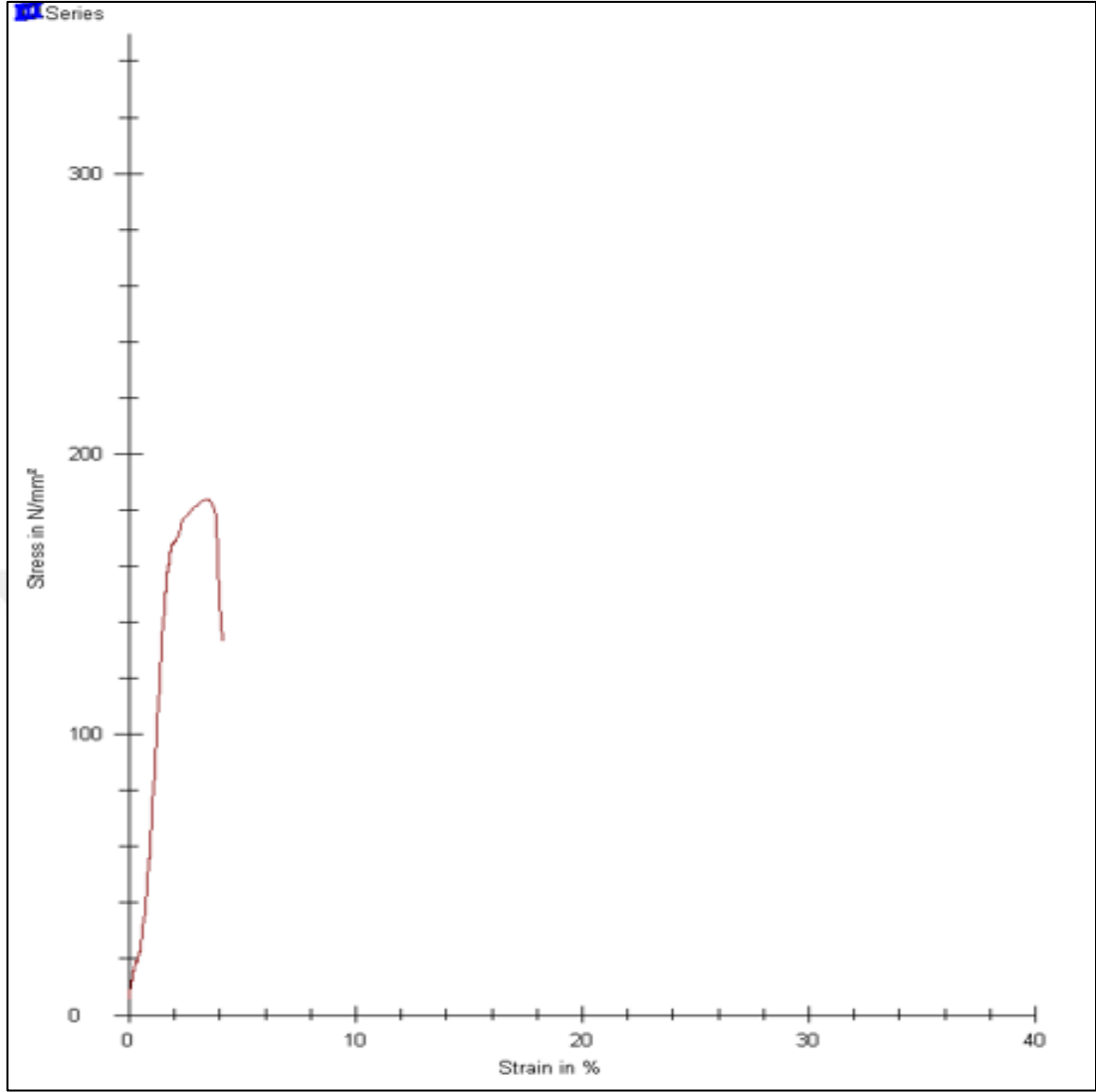
Şekil 4.4. 10 kA 12 cyc 250 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.5'te JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC270C 0,6 mm kalınlıklı 10 kA akım, 9 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 5 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 1,8 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı aynı malzeme cinslerinin daha kalın olanlarına göre 200 MPa değerinin altında kalarak daha düşük olarak tespit edilmiştir.



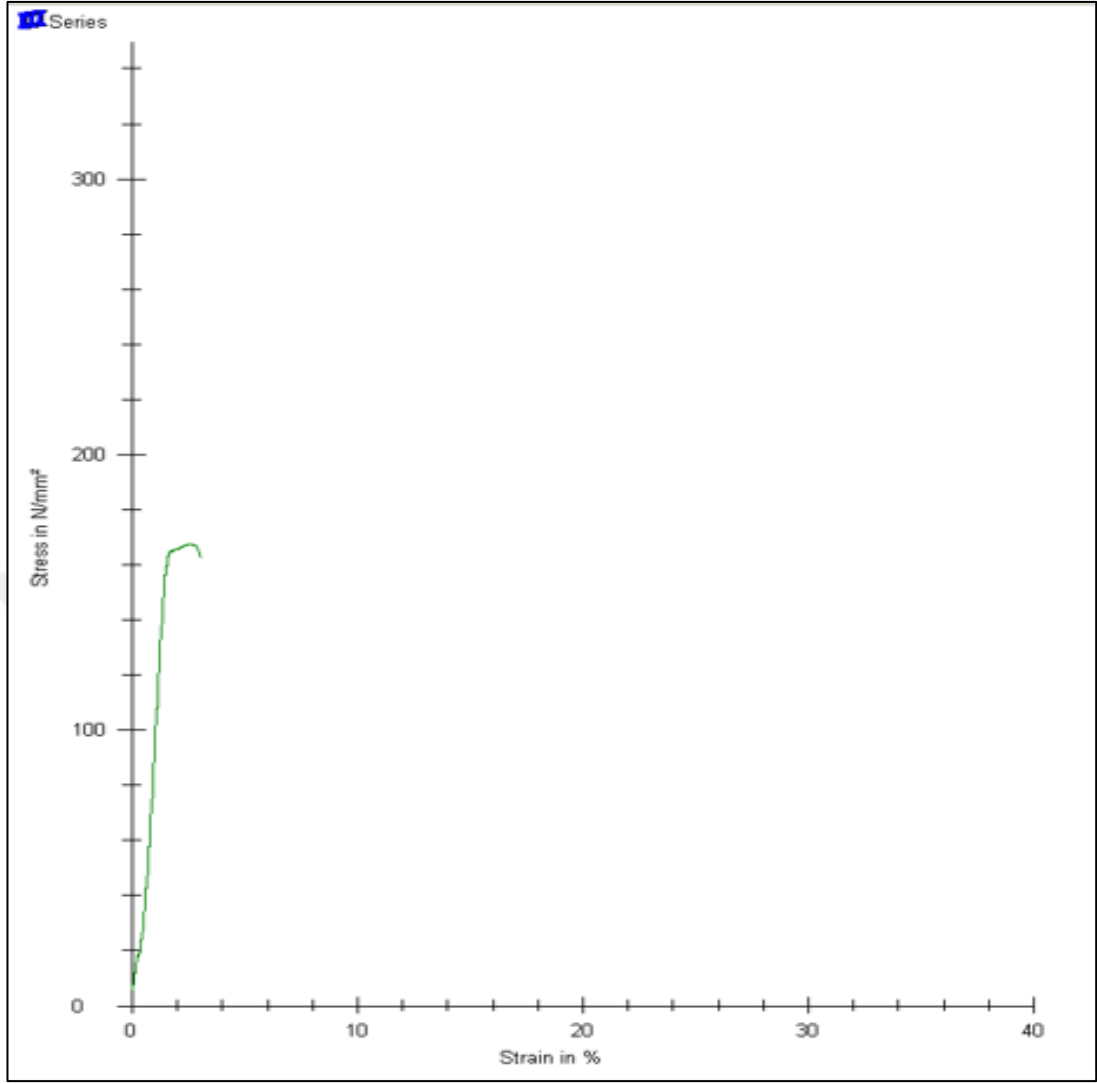
Şekil 4.5. 10 kA 9 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.6'da JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC270C 0,6 mm kalınlıklı 10 kA akım, 12 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 6 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 1,8 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı aynı malzeme cinslerinin daha kalın olanlarına göre 200 MPa değerinin altında kalarak daha düşük olarak tespit edilmiştir.



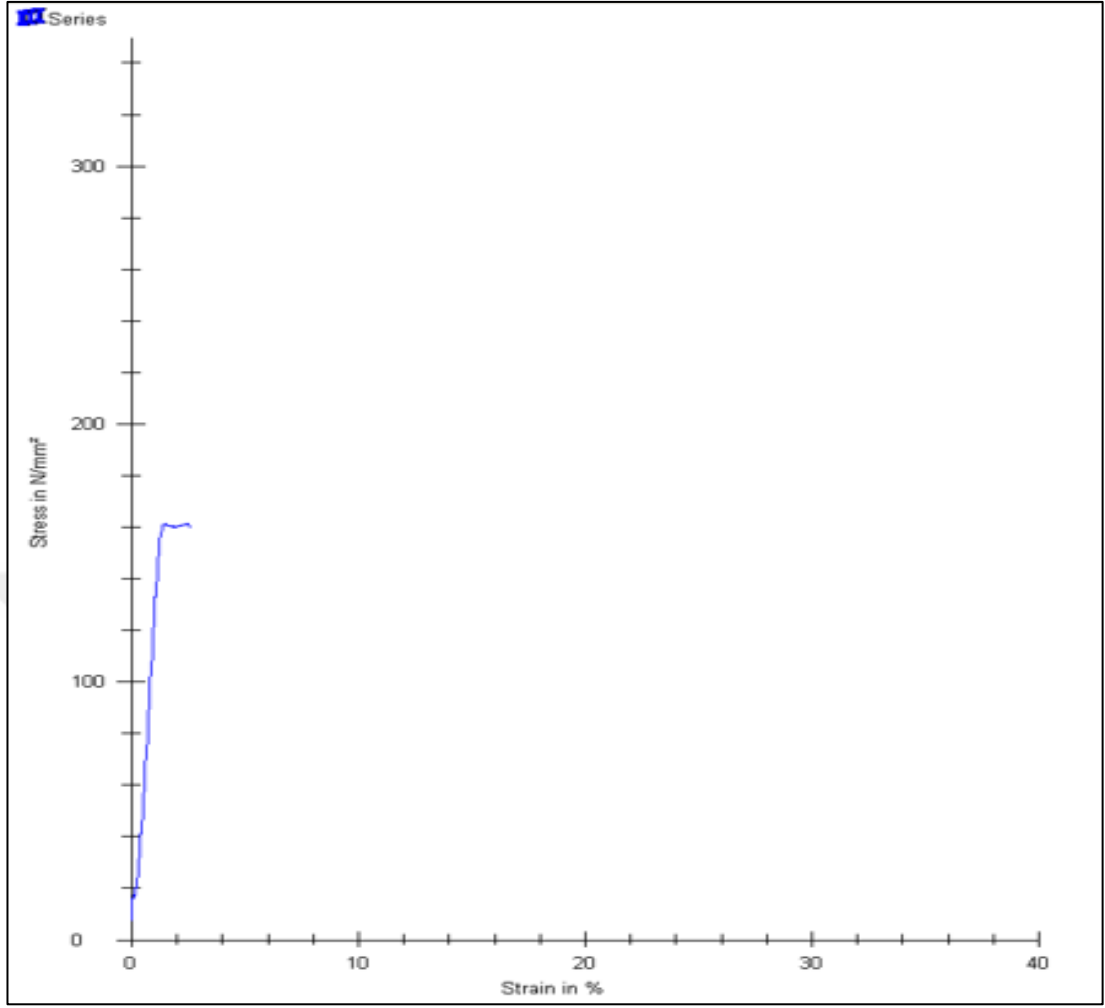
Şekil 4.6. 10 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.7’de JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC270C 0,6 mm kalınlıklı 10,5 kA akım, 9 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 7 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 1,8 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı aynı malzeme cinslerinin daha kalın olanlarına göre 200 MPa değerinin altında kalarak daha düşük olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. 10,5 kA 9 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

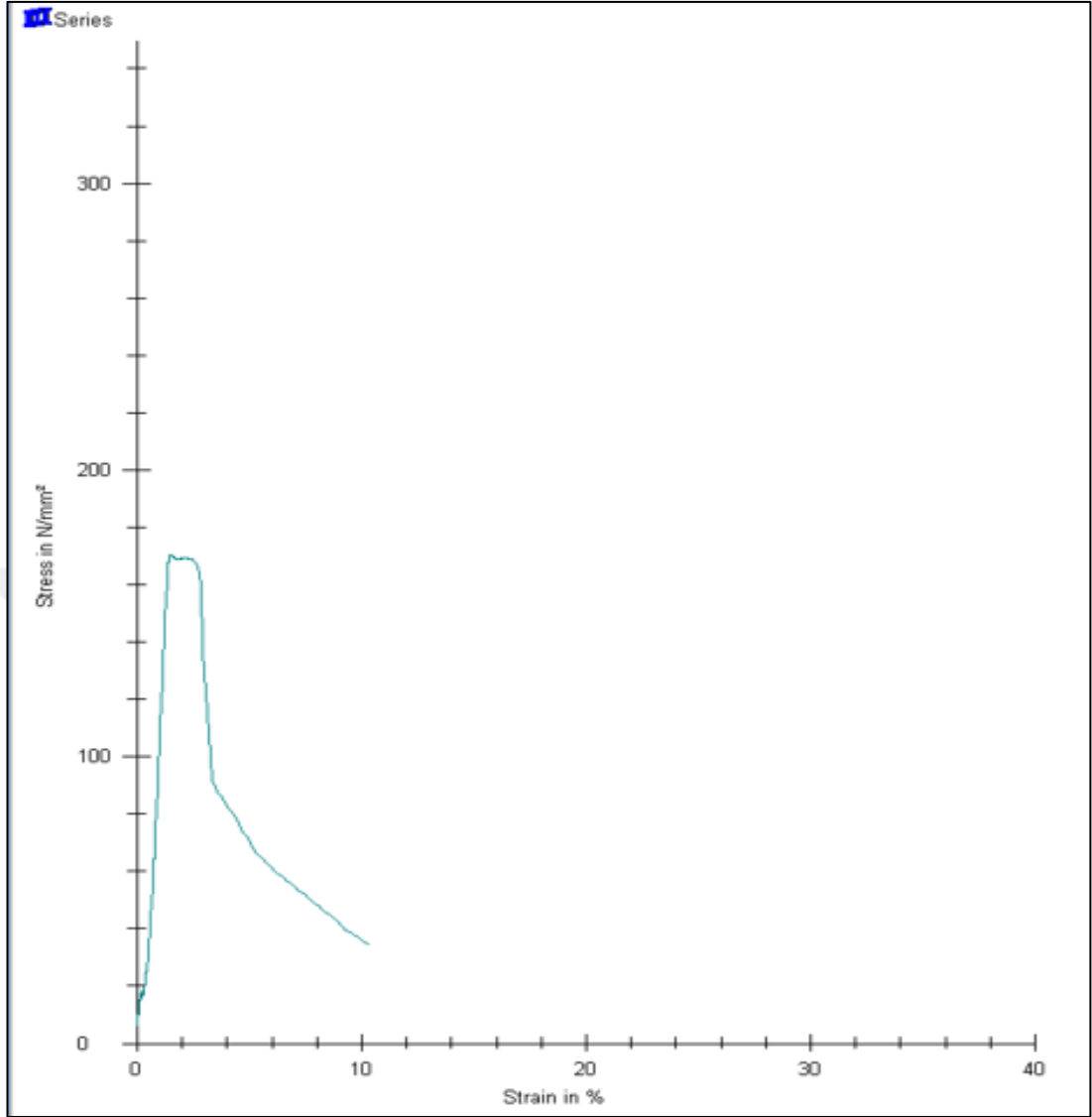
Şekil 4.8’de JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC270C 0,6 mm kalınlıklı 10 kA akım, 9 cyc kaynak süresi ve 250 kgf basıncında kaynatılmış 8 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 1,8 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı aynı malzeme cinslerinin daha kalın olanlarına göre 200 MPa değerinin altında kalarak daha düşük olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. 10 kA 9 cyc 250 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki aynı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

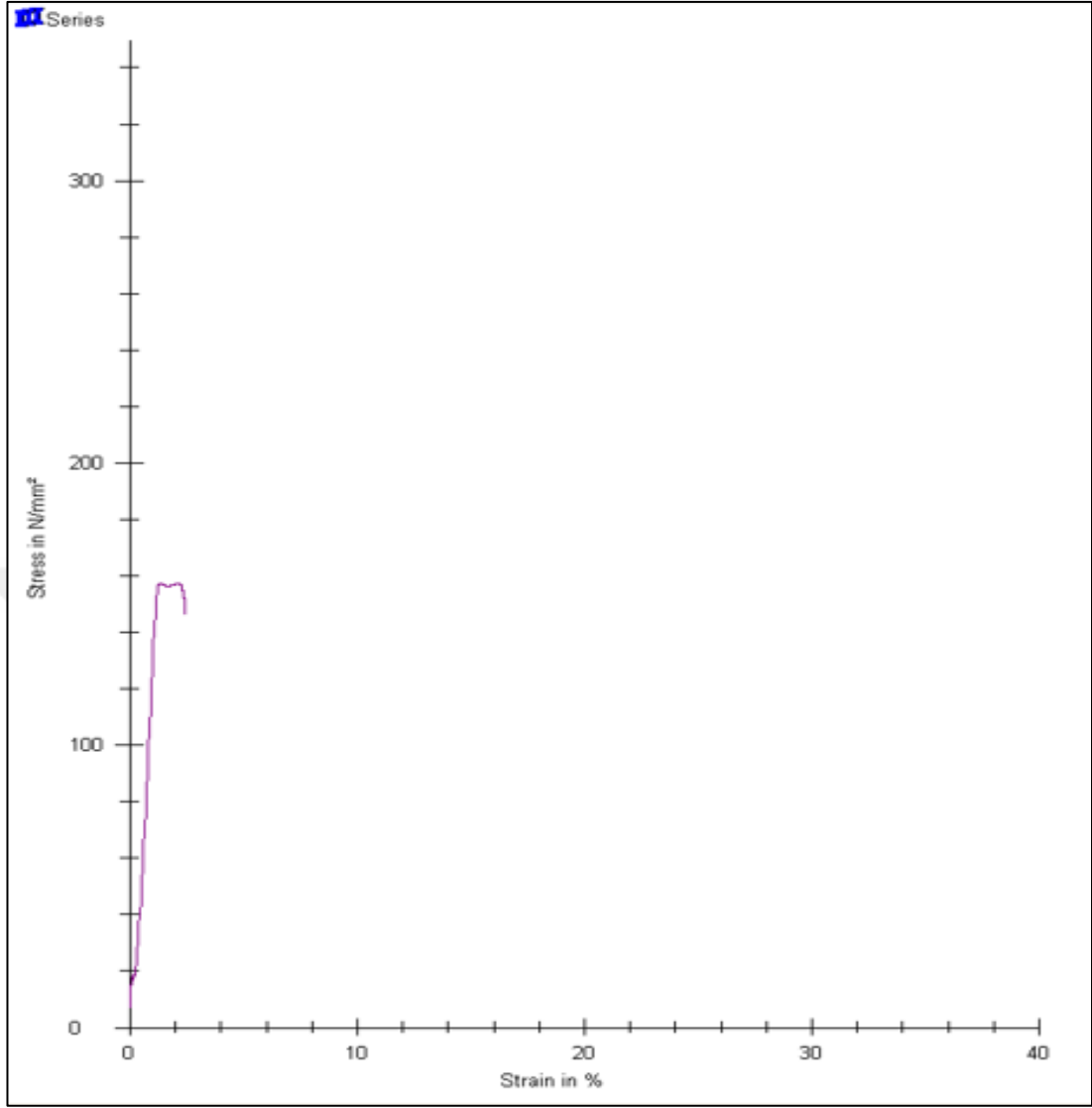
Şekil 4.9’da JAC270C 0,6 mm kalınlıklı ve JAC590R 1,2 mm kalınlıklı 10 kA akım, 9 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 9 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 1,8 mm olan bu numunenin gerilme dayanımının aynı kalınlıktaki iki adet JAC270C malzemesinin testinde olduğu gibi 200 MPa’nın altında kaldığı görülmüştür.





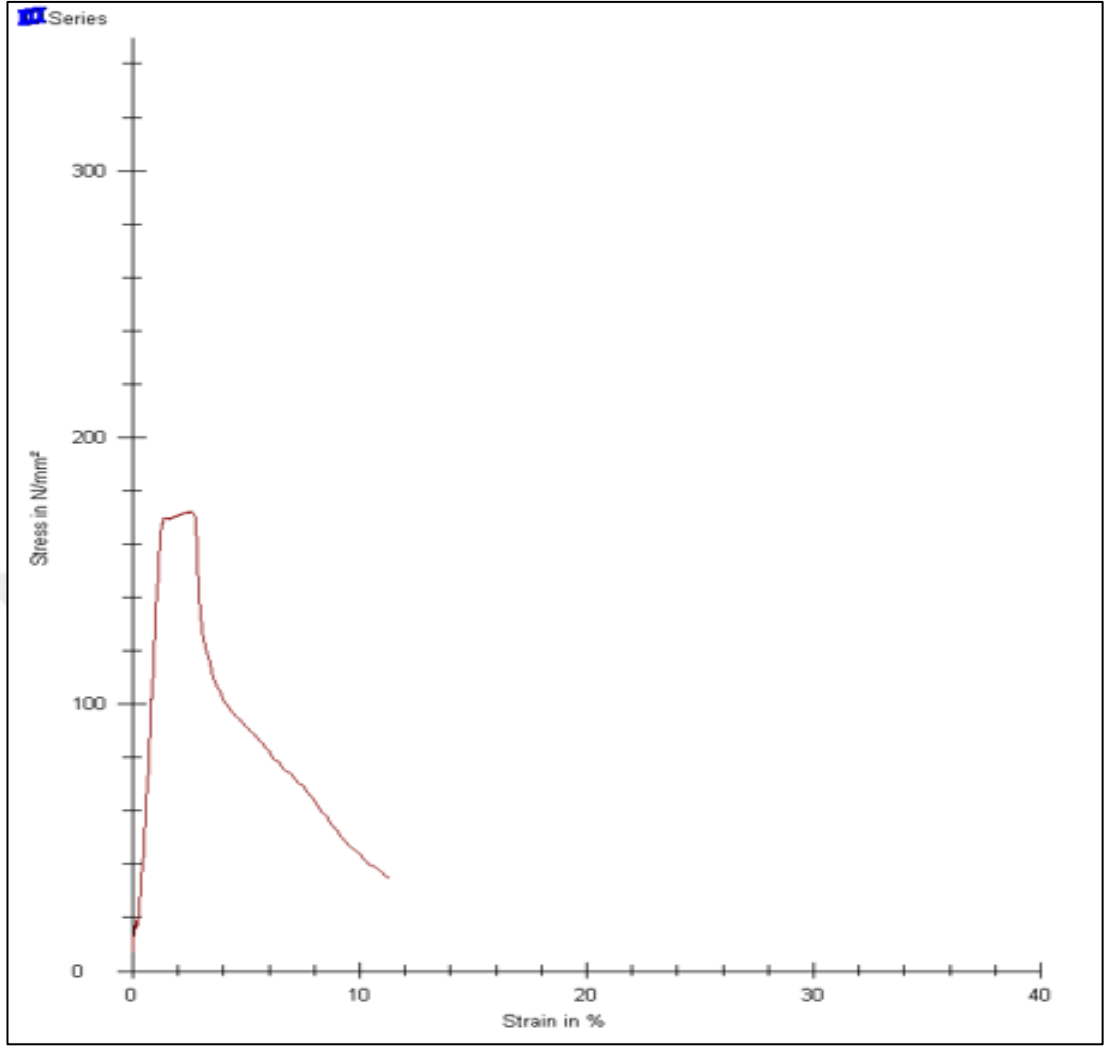
Şekil 4.9. 10 kA 9 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.10'da JAC270C 0,6 mm kalınlıklı ve JAC590R 1,2 mm kalınlıklı 10,5 kA akım, 9 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 10 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 1,8 mm olan bu numunenin gerilme dayanımının aynı kalınlıktaki iki adet JAC270C malzemesinin testinde olduğu gibi 200 MPa'nın altında kaldığı görülmüştür.



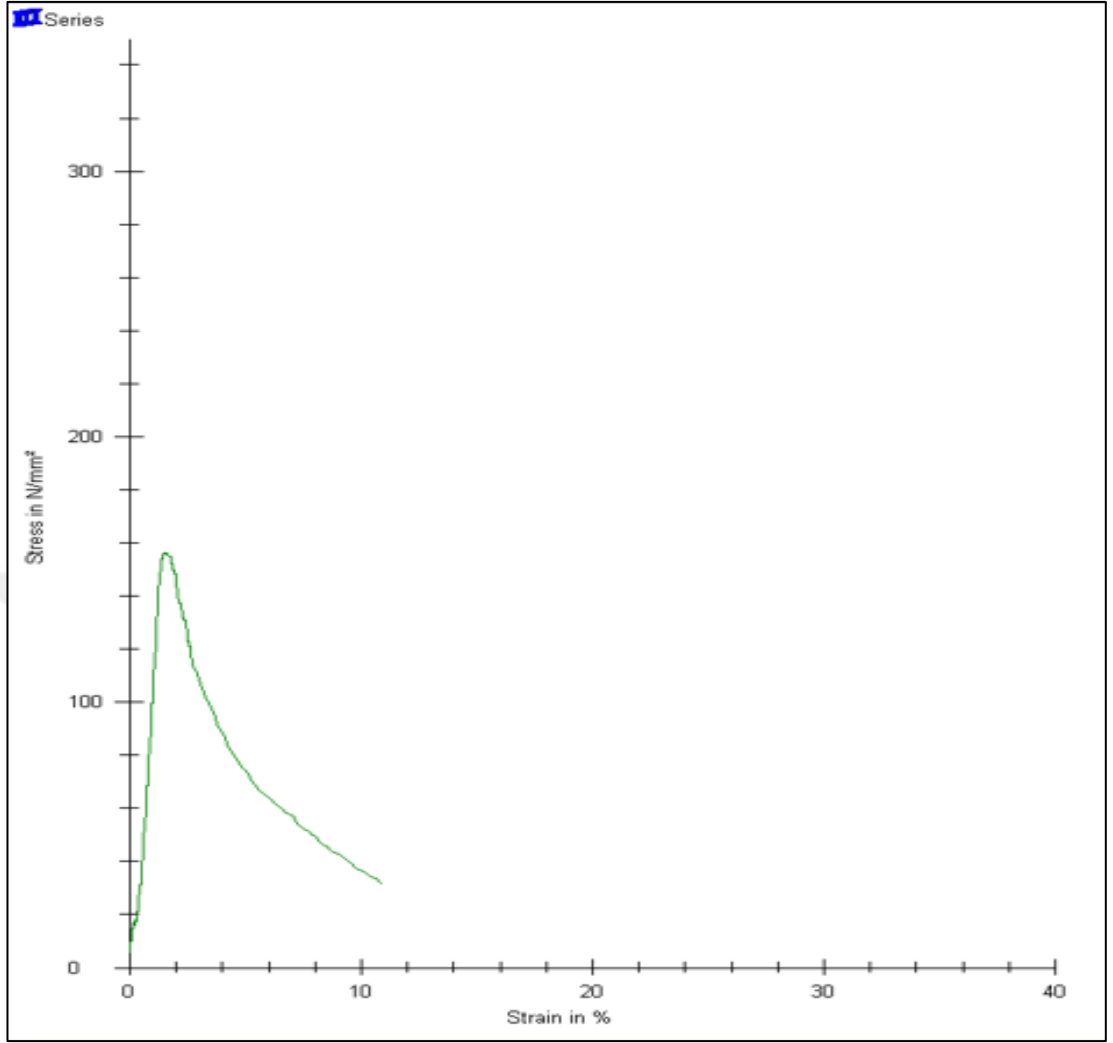
Şekil 4.10. 10,5 kA 9 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.11’de JAC270C 0,6 mm kalınlıklı ve JAC590R 1,2 mm kalınlıklı 10 kA akım, 9 cyc kaynak süresi ve 250 kgf basıncında kaynatılmış 11 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 1,8 mm olan bu numunenin gerilme dayanımının aynı kalınlıktaki iki adet JAC270C malzemesinin testinde olduğu gibi 200 MPa’nın altında kaldığı görülmüştür.



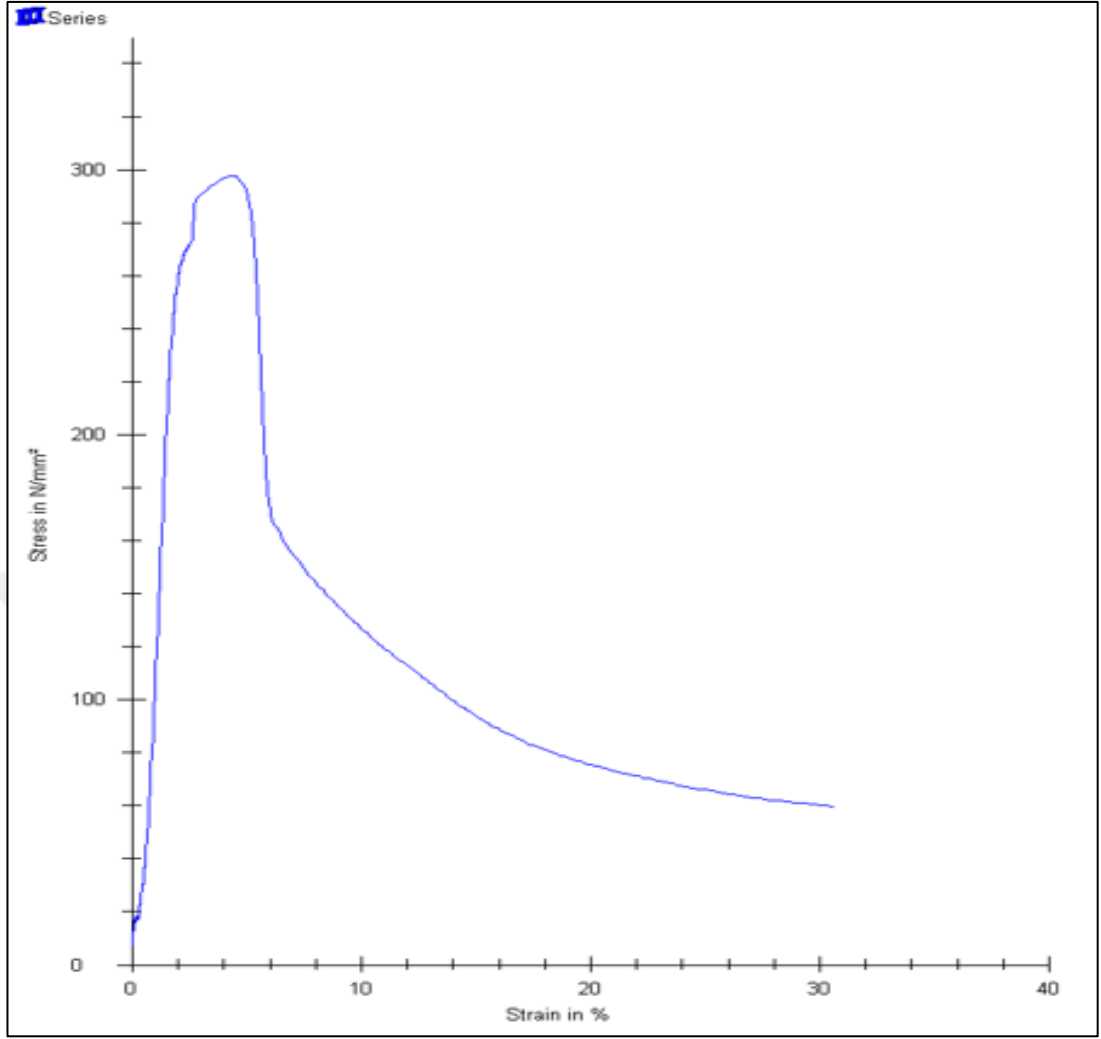
Şekil 4.11. 10 kA 9 cyc 250 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.12’de JAC270C 0,6 mm kalınlıklı ve JAC590R 1,2 mm kalınlıklı 10 kA akım, 12 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 12 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 1,8 mm olan bu numunenin gerilme dayanımının aynı kalınlıktaki iki adet JAC270C malzemesinin testinde olduğu gibi 200 MPa’nın altında kaldığı görülmüştür.



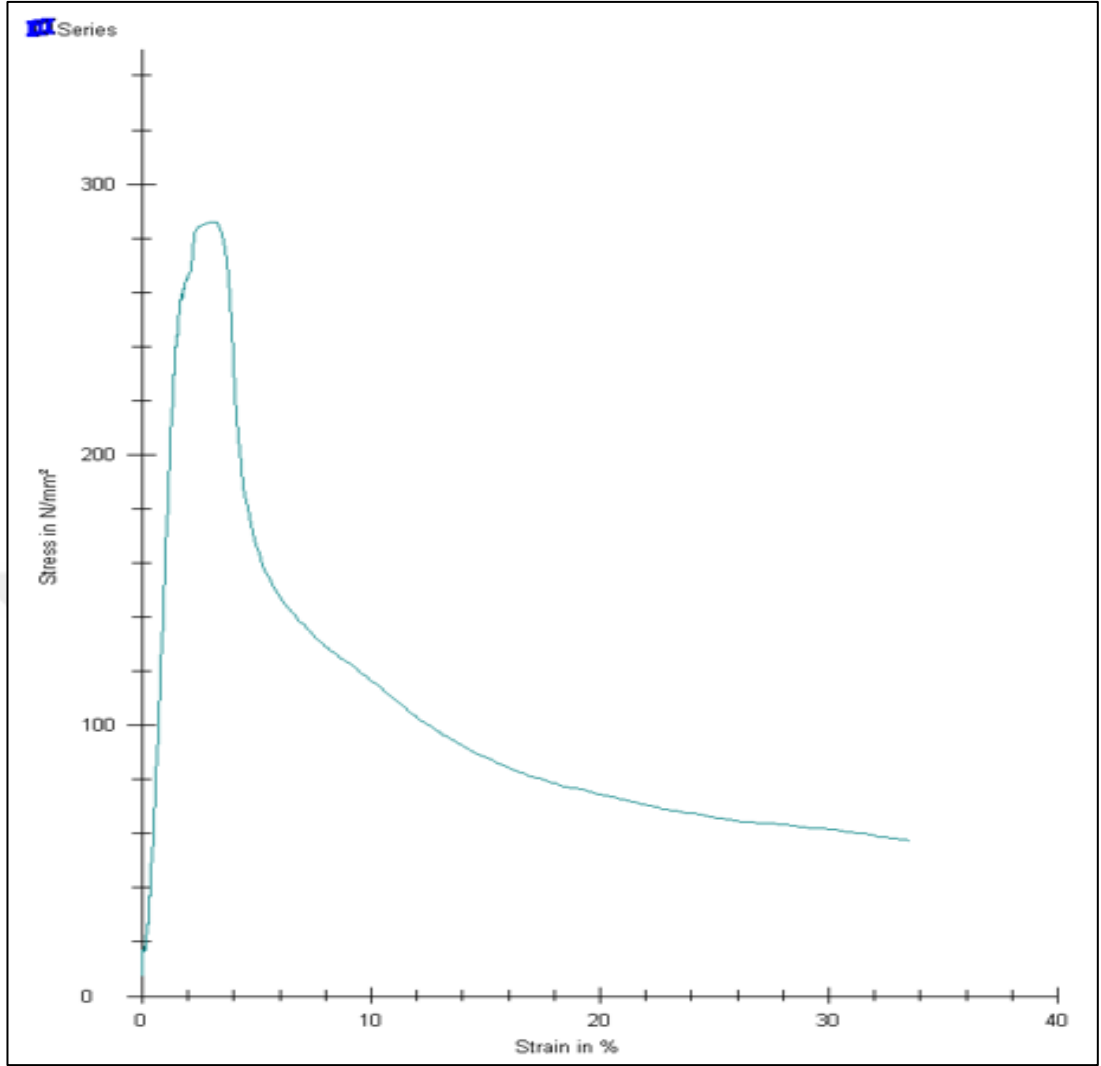
Şekil 4.12. 10 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.13'te JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC590R 1,2 mm kalınlıklı 9,8 kA akım, 12 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 13 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 2,4 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı 200 MPa'nın çok üzerinde tespit edilmiştir. Aynı kalınlıktaki JAC270C malzemelerinin değerine göre yüksek bulunan değer JAC590R metalinden kaynaklanmaktadır.



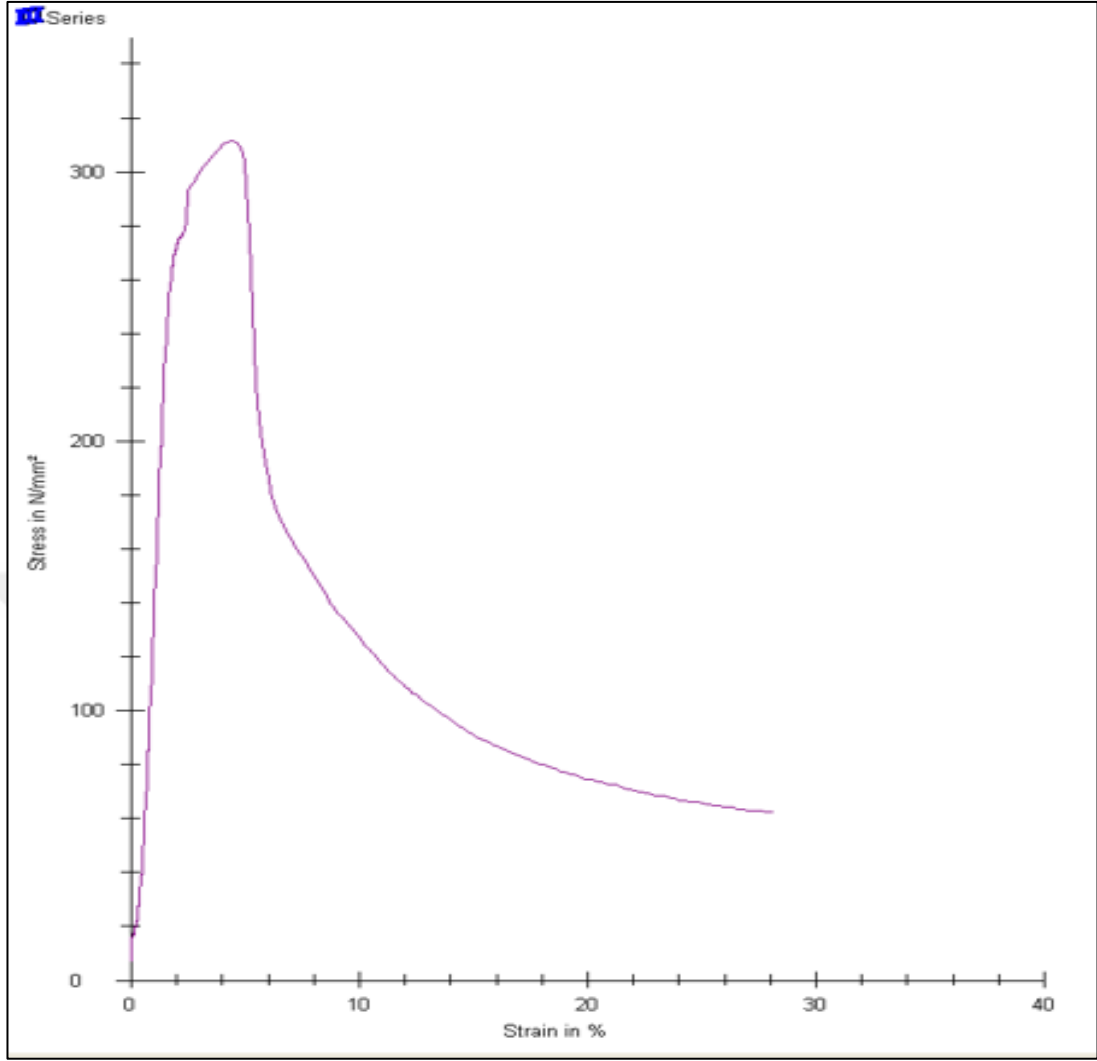
Şekil 4.13. 9,8 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.14'te JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC590R 1,2 mm kalınlıklı 9,3 kA akım, 12 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 14 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 2,4 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı 200 MPa'nın çok üzerinde tespit edilmiştir. Aynı kalınlıktaki JAC270C malzemelerinin değerine göre yüksek bulunan değer JAC590R metalinden kaynaklanmaktadır.



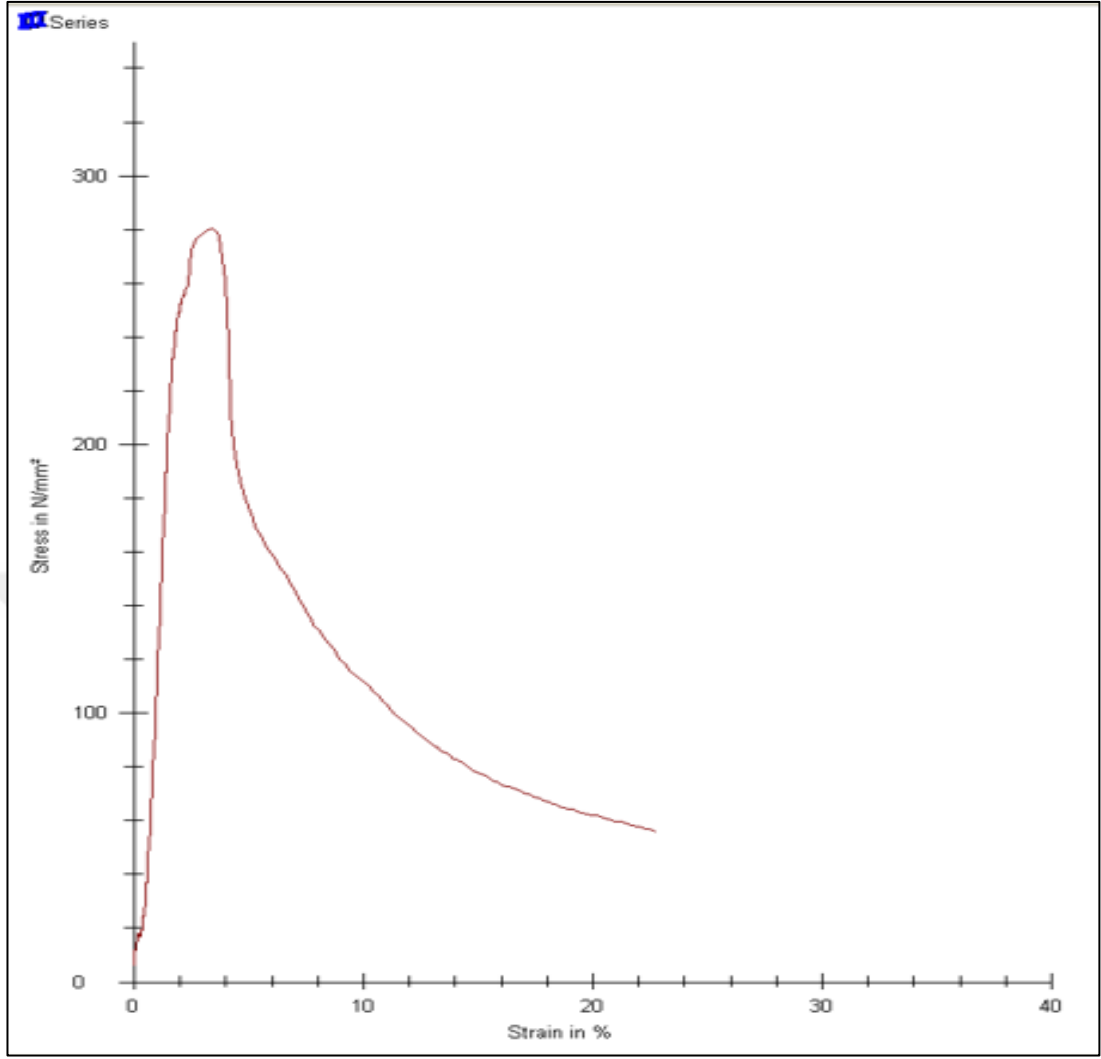
Şekil 4.14. 9,3 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Şekil 4.15'te JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC590R 1,2 mm kalınlıklı 9,3 kA akım, 16 cyc kaynak süresi ve 300 kgf basıncında kaynatılmış 15 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 2,4 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı 300 MPa'nın üzerinde tespit edilmiştir. Aynı kalınlıktaki JAC270C malzemelerinin değerine göre yüksek bulunan değer JAC590R metalinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.15. 9,3 kA 16 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

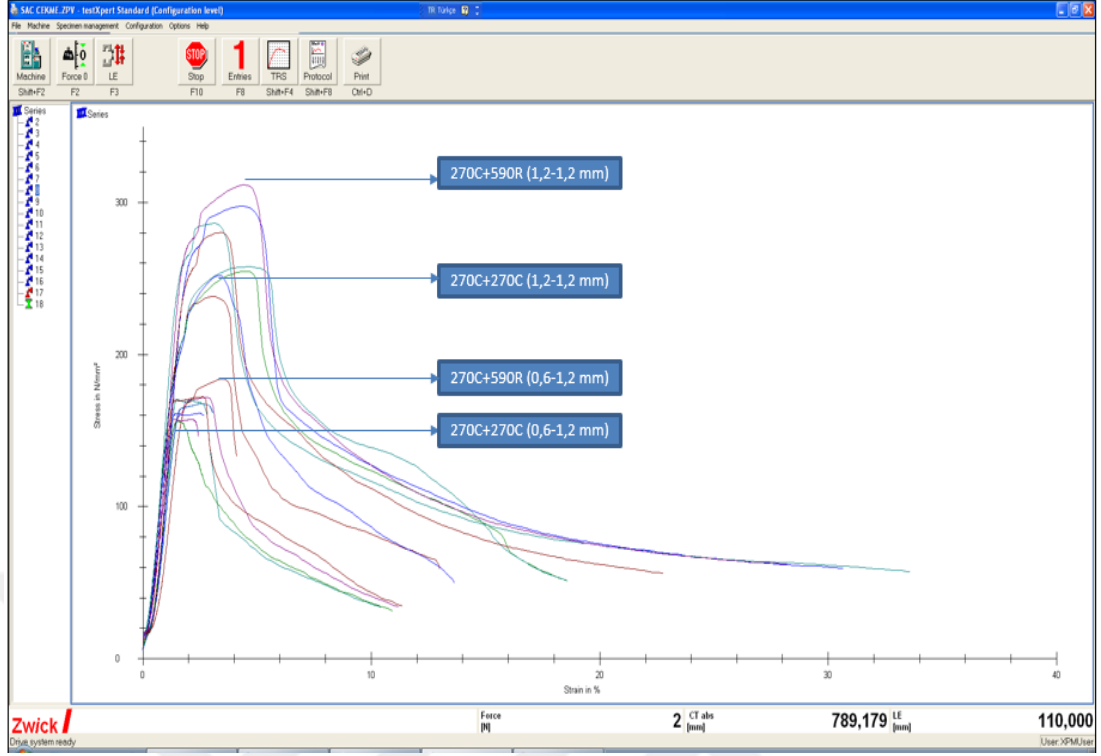
Şekil 4.16’da JAC270C 1,2 mm kalınlıklı ve JAC590R 1,2 mm kalınlıklı 9,3 kA akım, 12 cyc kaynak süresi ve 250 kgf basıncında kaynatılmış 16 numaralı numunenin gerilme uzama grafiği gösterilmiştir. Kaynatılan malzemelerin toplam kalınlığı 2,4 mm olan bu numunenin gerilme dayanımı 200 MPa’nın çok üzerinde tespit edilmiştir. Aynı kalınlıktaki JAC270C malzemelerinin değerine göre yüksek bulunan değer JAC590R metalinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.16. 9,3 kA 12 cyc 250 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki farklı malzemelerin gerilme yüzde grafiği

Tüm malzelerin grafiklerinin birleştirilmiş haldeki görünümü şekil 4.17' de gösterilmiştir.





Şekil 4.17. Birleştirilmiş malzemelerin gerilme yüzde grafikleri

Çekme testi sonucunda alınan grafiklere göre;

Birleştirilen malzemelerin kalınlıklarına bakıldığında daha kalın malzemeler kullanılarak yapılan kaynakların çekme dayanımları daha yüksek çıkmıştır.

1,2 mm kalınlığında birleştirilen JAC270C ile JAC590R malzemelerinin kaynak çekme dayanımının 1,2 mm kalınlığında birleştirilen iki adet JAC270C malzemelerinin kaynak çekme dayanımından yüksek olma sebebi JAC590R malzemesinin akma dayanımının JAC270C metalinden yüksek olmasıdır.

Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen malzemeler çekme testinde ısıdan etkilenen bölgeden kırılmıştır. Benzer durum Brauser ve diğ. (2010), tarafından gerçekleştirilen TRIP çeliklerinin nokta direnç kaynaklı testlerinde görülmektedir. Çalışmalarında belirledikleri kaynak parametre değerlerinin bizim çalışmamızdaki parametrelere yakın olmasının benzer sonuçlar almamızı sağladığını düşündürmektedir. Tablo 4.3’de numunelerin maksimum çekme kuvveti değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Kaynaklı malzemelerin çekme kuvveti dağılım tablosu

NUMUNE NUMARASI	BİRLEŞTİRİLEN MALZEMELER	AKIM (kA)	BASINÇ (kgf)	SÜRE (cyc)	ÇEKİRDEK ÇAPI (mm)	MAKSİMUM ÇEKME KUVVETİ (N)
1	JAC270C(1,2mm)-JAC270C(1,2mm)	10	300	12	5,4	5956
2	JAC270C(1,2mm)-JAC270C(1,2mm)	10	300	10	5,3	6371
3	JAC270C(1,2mm)-JAC270C(1,2mm)	8	300	12	5,1	6295
4	JAC270C(1,2mm)-JAC270C(1,2mm)	10	250	12	5,3	6442
5	JAC270C(1,2mm)-JAC270C(0,6mm)	10	300	9	5,1	4293
6	JAC270C(1,2mm)-JAC270C(0,6mm)	10	300	12	5,2	4600
7	JAC270C(1,2mm)-JAC270C(0,6mm)	10,5	300	9	5,3	4187
8	JAC270C(1,2mm)-JAC270C(0,6mm)	10	250	9	5,2	4031
9	JAC270C(1,2mm)-JAC590R(1,2mm)	9,3	300	12	5,6	7155
10	JAC270C(1,2mm)-JAC590R(1,2mm)	9,8	300	12	5,7	7439
11	JAC270C(1,2mm)-JAC590R(1,2mm)	9,3	300	16	5,6	7785
12	JAC270C(1,2mm)-JAC590R(1,2mm)	9,3	250	12	5,5	7004
13	JAC270C(0,6mm)-JAC590R(1,2mm)	10	300	9	5,3	4259
14	JAC270C(0,6mm)-JAC590R(1,2mm)	10,5	300	9	5,5	3933
15	JAC270C(0,6mm)-JAC590R(1,2mm)	10	250	9	5,2	4302
16	JAC270C(0,6mm)-JAC590R(1,2mm)	10	300	12	5,3	3905

Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin maksimum çekme kuvvetleri birleştirilen her numune için farklıdır. Çekme testi sonuçlarına göre kuvveti etkileyen değişkenlerin kaynak parametreleri, malzemelerin türü ve kalınlığı olduğu gözlemlenmiştir.

Kaynak çapı büyük olan birleşen malzemelerde çekme kuvvetinin değeri daha yüksek beklenmesine rağmen kaynak çekirdek çapı ile çekme kuvveti arasında doğrusal bir değişimin olmadığı görülmüştür. TRIP800 çeliğinin nokta direnç kaynaklarının Çetin (2014) tarafından yapılan çekme testinde alınan sonuçlar bizim testlerimizde gözlemlediğimiz durumla benzeşmektedir.

### 4.3. Metalografik İnceleme Sonucunda Elde Edilen Bulgular

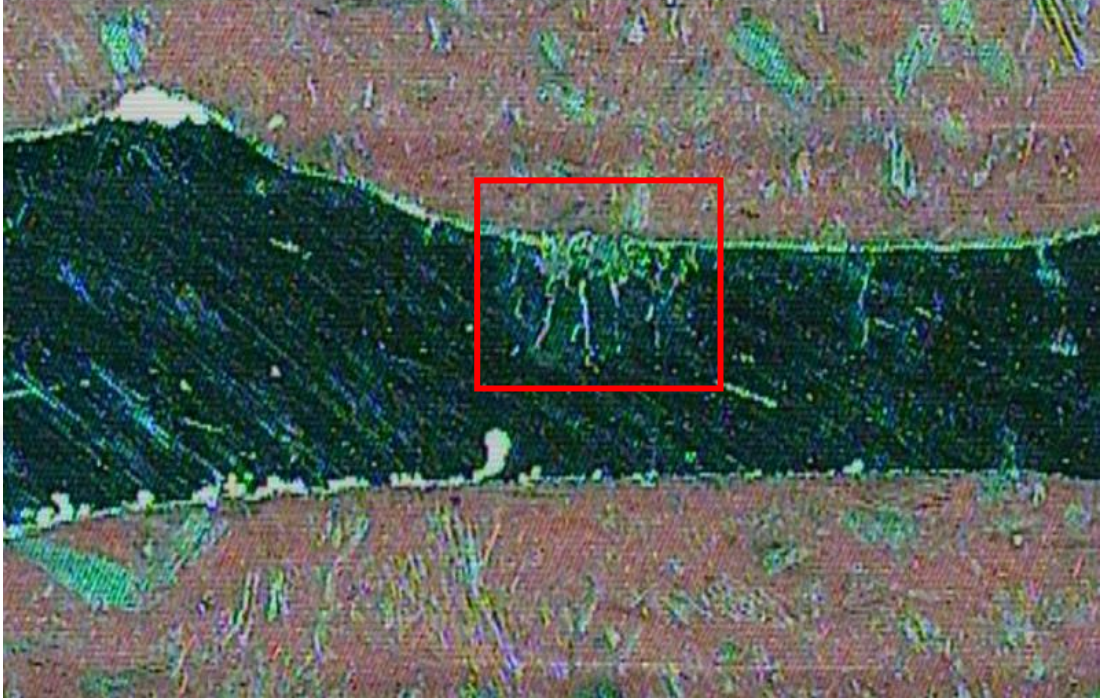
Bakalit presi ile bakalite alınan Şekil 4.18'deki numuneler optik mikroskop ile incelenmiştir.



Şekil 4.18. Bakalite alınmış numuneler

Optik mikroskop ile alınan görüntülere göre bazı numunelerde kaynak bölgesinde çatlaklar tespit edilmiştir. Şekil 4.19'daki 1 numaralı 10 kA akım, 12 cyc süre ve 300 kgf basınç uygulanarak kaynatılmış malzemelerde kaynakta çatlak meydana gelmiştir. Kaynakta çatlak meydana gelen bu numunede maksimum çekme kuvvetide aynı

malzemenin farklı parametrelerde birleştirilmiş olanlarına göre en düşük değer olan 5956 N olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. Kaynağında çatlak görülen 10 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış eşit kalınlıktaki aynı malzemeler

Şekil 4.20'deki 12 numaralı 9,3 kA akım, 12 cyc süre ve 250 kgf basınç uygulanarak kaynatılmış malzemelerde kaynakta çatlak meydana gelmiştir. Kaynakta çatlak meydana gelen bu numunede maksimum çekme kuvvetide aynı malzemelerin farklı parametrelerde birleştirilmiş olanlarına göre en düşük değer olan 7004 N olarak tespit edilmiştir.



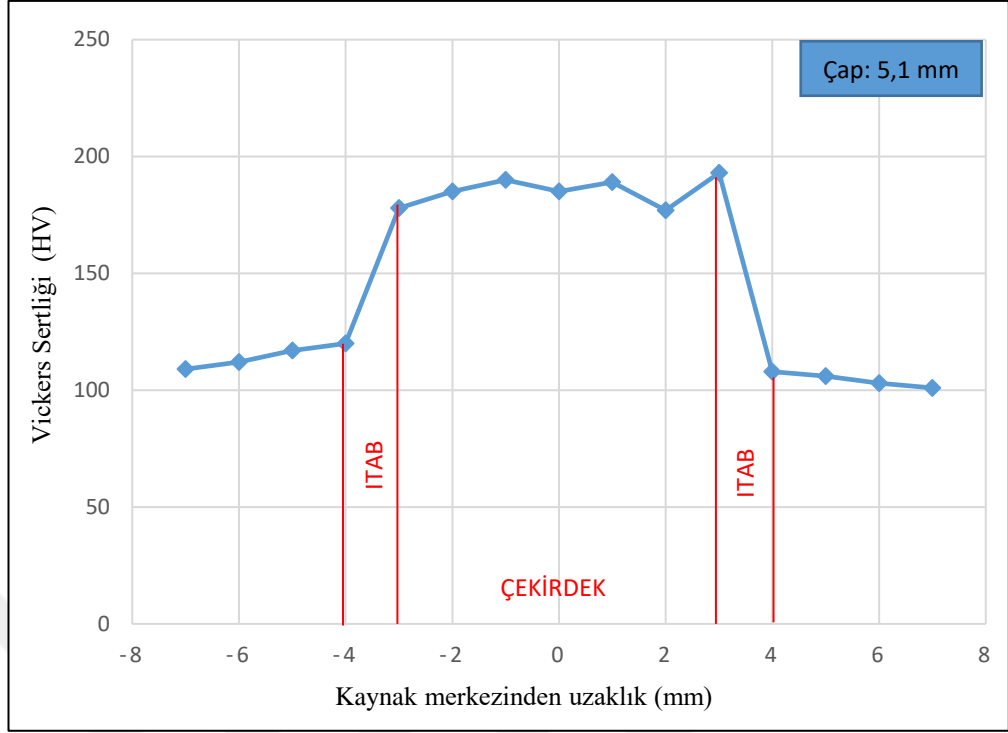


Şekil 4.19. Kaynağında çatlak görülen 10 kA 12 cyc 300 kgf parametrelerinde kaynatılmış farklı kalınlıktaki farklı malzemeler

Yaptığı çalışmada Çetin (2014) tarafından yorulma hasarına uğramış numunelerde de mikroçatlak tespit etmiştir. Çalışmamızda olduğu gibi çatlaklar kaynak bölgesi ve ısı tesiri altındaki bölgede oluşmuştur.

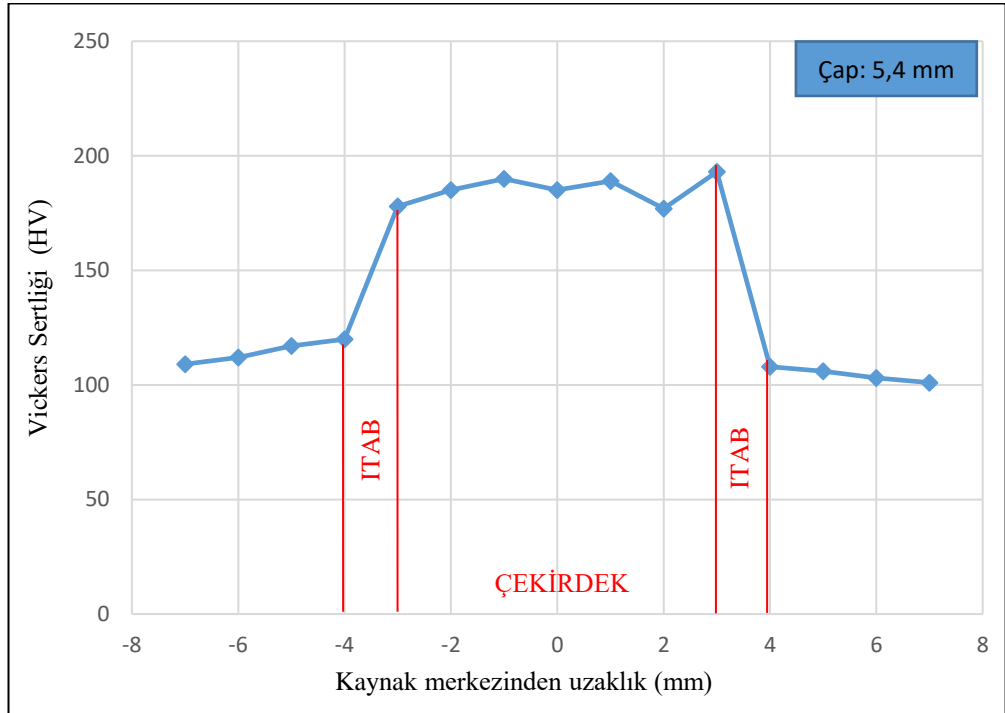
#### **4.4. Mikrosertlik Ölçümü Sonucunda Elde Edilen Bulgular**

Yapılan sertlik ölçümleri sonrasında 8 kA akım ile kaynatılan iki adet JAC270C malzemesinin sertlik ölçüm verisi Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



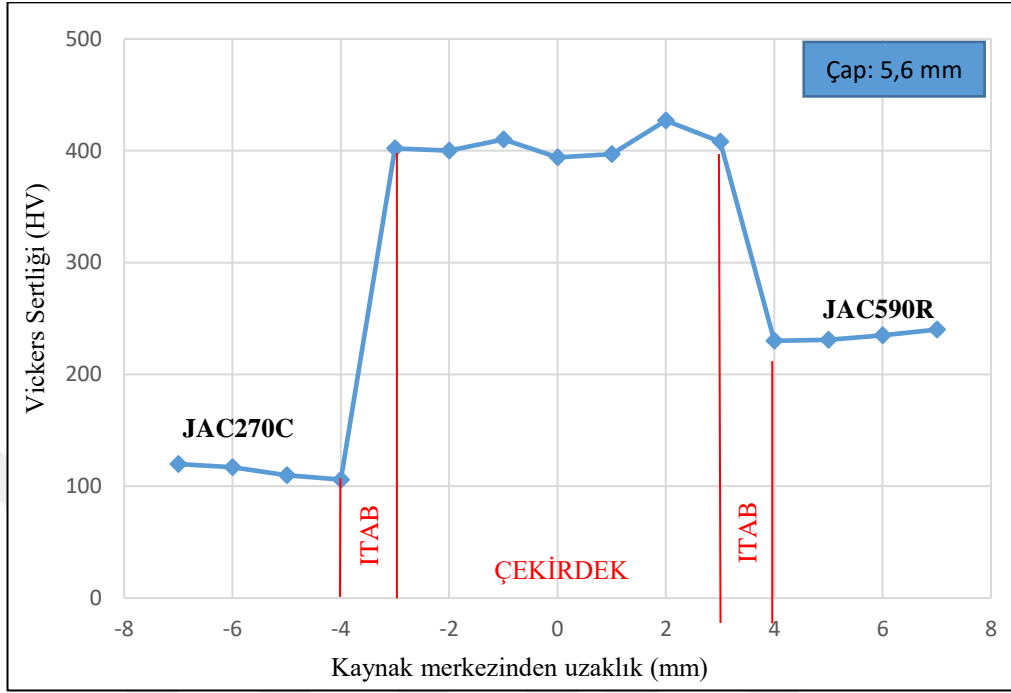
Şekil 4.21. 8 kA akım ile kaynatılmış JAC270C malzemeleri

Yapılan sertlik ölçümleri sonrasında 10 kA akım ile kaynatılan iki adet JAC270C malzemesinin sertlik ölçüm verisi Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



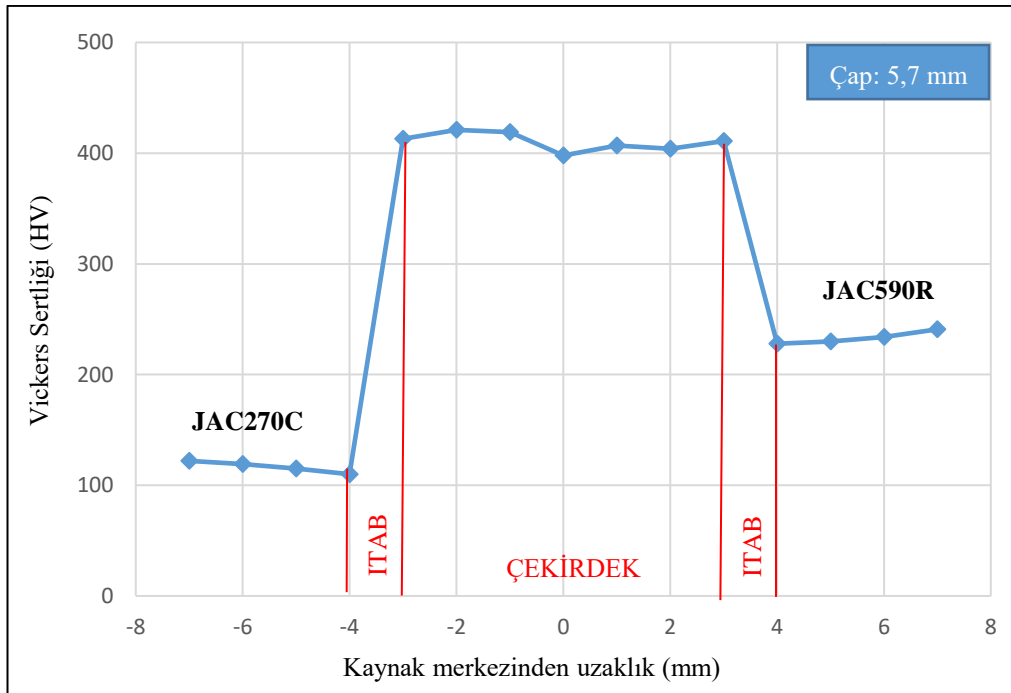
Şekil 4.22. 10 kA akım ile kaynatılmış JAC270C malzemeleri

Yapılan sertlik ölçümleri sonrasında 9,3 kA akım ile kaynatılan JAC270C ve JAC590R malzemesinin sertlik ölçüm verisi Şekil 4.23’de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. 9,3 kA akım ile kaynatılmış JAC270C ve JAC590R malzemeleri

Yapılan sertlik ölçümleri sonrasında 9,8 kA akım ile kaynatılan JAC270C ve JAC590R malzemesinin sertlik ölçüm verisi Şekil 4.24’de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. 9,8 kA akım ile kaynatılmış JAC270C ve JAC590R malzemeleri

Mikrosertlik ölçümünde elde edilen sonuçlara göre kaynak akımının sertliğe kayda değer bir etkisi bulunmamaktadır. Kaynak çekirdek bölgesindeki sertlik değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Isı tesiri altındaki bölgede ani sertlik düşüşleri gözlenmiştir. JAC270C ile JAC590R malzemelerinin kaynağındaki sertlik değerinin JAC270C ile JAC270C malzemelerinin kaynak bölgesindeki sertlik değerine göre yüksek olması JAC590R çeliğinin yapısal özelliklerinin JAC270C çeliğinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Ertan ve diğ. (2019), yaptıkları çalışmada DP800 malzemesinin nokta direnç kaynağının ITAB bölgesinde sertlikte belirgin düşüşler gözlemlemişlerdir. Çalışmamızda ısı tesiri altındaki bölgede görülen sertlik düşüşleri bu durum ile örtüşmektedir.

Antika ve diğ. (2018), TRIP800 ve DP1000 malzemeleri ile yaptıkları nokta direnç kaynağının mikrosertlik ölçümlerinde, çalışmamızda tespit ettiğimiz çekirdek bölgesi sertlik değerinin ITAB bölgesinden belirgin bir şekilde yüksek olması durumunu belirtmişlerdir.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada aynı ve farklı kalınlıklarda olmak üzere JAC270C ve JAC590R çelikleri nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiştir. Nokta direnç kaynağı uygulanırken akım, süre ve basınç parametreleri değiştirilerek testler gerçekleştirilmiştir.

Çekirdek çapı ölçümü, çekme testi, metalografik incelemeler yapılarak mukavemet değerlerinin sonuçları elde edilmiştir.

Çekirdek çapı ölçümünden anlaşıldığı üzere uygulanan kaynak akımının artması kaynak çekirdek çapını artırmaktadır. Kaynak çekirdek çapı ile akım arasında doğru orantı bulunmaktadır.

Çekme testi sonuçlarına göre;

İki adet JAC270C malzemesinin eşit kalınlıkta numunelerinin kaynatılmasında 10 kA kaynak akımı 12 cyc kaynak süresi ve 250 kgf elektrot basıncı altında en yüksek değer olan 6442 N mukavemet değerine ulaşılmıştır.

İki adet JAC270C malzemesinin farklı kalınlıkta numunelerinin kaynatılmasında 10 kA kaynak akımı, 12 cyc kaynak süresi, 300 kgf elektrot basıncı altında en yüksek değer olan 4600 N mukavemet değerine ulaşılmıştır.

Birer adet JAC270C ve JAC590R malzemesinin aynı kalınlıkta numunelerinin kaynatılmasında 9,3 kA kaynak akımı, 16 cyc kaynak süresi, 300 kgf elektrot basıncı altında en yüksek değer olan 7785 N mukavemet değerine ulaşılmıştır.

Birer adet JAC270C ve JAC590R malzemesinin farklı kalınlıkta numunelerinin kaynatılmasında 10 kA kaynak akımı, 9 cyc kaynak süresi, 250 kgf elektrot basıncı altında en yüksek değer olan 4302 N mukavemet değerine ulaşılmıştır.

Çekme testinin sonuçlarına göre en yüksek çekme kuvvetinin değeri kalınlık değerleri 1,2 mm olan JAC270C ve JAC590R malzemelerinin kaynatılması sonucu olarak 7785 N olarak bulunmuştur. Değerin aynı malzemelerin 1,2 mm ve 0,6 mm olmak üzere

farklı kalınlıkta olan numunelere göre yüksek çıkması malzeme kalınlık değerleri toplamının daha yüksek olması iken kalınlık değerleri toplamı aynı olduğu halde iki adet JAC270C malzemesinin mukavemet değeri olan 6442 N değerinden yüksek olma sebebi JAC590R malzemesinin JAC270C malzemesine göre çekme ve akma mukavemetinin daha yüksek olması nedeniyle kaynağa dayanıklılık kazandırmasıdır.

Metalografik inceleme sonucunda numunelerin çekme testi sonucuna göre en düşük mukavemete sahip olanlarında çatlaklar tespit edilmiştir. Kaynak sırasında oluşan çatlakların mukavemeti olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.

Mikrosertlik ölçüm sonuçlarına göre;

Kaynak akımının sertlik değerini kayda değer bir şekilde etkilemediği tespit edilmiştir.

JAC270C malzemelerinin sertlik değerleri çekirdek bölgesinde 180HV – 200HV aralığında, ısı tesiri altındaki bölgede ise 100HV – 120HV olarak tespit edilmiştir.

JAC270C ve JAC590R malzemelerinin sertlik değerleri çekirdek bölgesinde 390HV – 420HV, ısı tesiri altındaki bölgenin JAC270C malzemesinin tarafında 100HV – 120HV, JAC590R malzemesinin tarafında 180HV – 200HV aralığında tespit edilmiştir.

Çekirdek bölgesindeki sertlik değerleri ısı tesiri altındaki bölgeden ve esas malzemelerin sertliğinden belirgin bir şekilde yüksek çıktığı belirlenmiştir.

İki adet JAC270C malzemesinin eşit ve farklı kalınlıkta en mukavim kaynağı için 10 kA kaynak akımı, 300 kgf elektrot basıncı ve 12 cyc kaynak süresi önerilir.

JAC270C ile JAC590R malzemelerinin eşit kalınlıkta en mukavim kaynağı için 9,3 kA kaynak akımı, 300 kgf elektrot basıncı ve 16 cyc kaynak süresi önerilir.

JAC270C ile JAC590R malzemelerinin farklı kalınlıkta en mukavim kaynağı için 10 kA kaynak akımı, 250 kgf elektrot basıncı ve 9 cyc kaynak süresi önerilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Hasegawa K., Kaneko S., and Seto K., Cold-Rolled and Galvannealed (GA) High Strength Steel Sheets for Automotive Cabin Structure, *JFE Technical Report*, **18**, 80-88, 2013.
- [2] Yıldırım M. S., Kaya Y., Çakıroğlu R., Gülenç B., Kahraman N., Durgutlu N., Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen titanyum levhaların çekme-makaslama dayanımlarının taguchi metoduyla optimizasyonu, *POLİTEKNİK DERGİSİ*, 2019, **22**(3), 567-573.
- [3] Demirkesen A., Kaya H., Ergün R. E., Uçar M., JAC270C ve JAC590R malzemelerinin nokta direnç kaynağının mukavemet analizleri, *IMASCON, Uluslararası Marmara, Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 26 Nisan 2019.
- [4] Özer M., Kaya, H., Uçar M., Çift Fazlı Çelikler ve Nokta Direnç Kaynağı Uygulamaları, *Metal Dünyası*, 2015, 4-9.
- [5] Doruk E., Pakdil M., Çam G., Durgun İ., Kumru U. C., Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Uygulamaları, *Mühendis ve Makina*, 2016, **57**(673), 48-53.
- [6] Vural M., Akkuş A., On the resistance spot weldability of galvanized interstitial free steel sheets with austenitic stainless steel sheets, *Material Processing Technology*, 2004, **153-154**, 1-6.
- [7] Hasanbaşoğlu A., Kaçar R., Resistance spot weldability of dissimilar materials, *Materials and Design*, 2007, **28**, 1794-1800.
- [8] Kishore K., Kumar P., Mukhopadhyay G., Resistance spot weldability of galvanized and bare DP600 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 2019, **271**, 237-248.
- [9] Anijdan S. M., Sabzi M., Ghobeiti-Hasab M., Roshan-Ghiyas A., Optimization of spot welding process parameters in dissimilar joint of dual phase steel DP600 and AISI 304 stainless steel to achieve the highest level of shear-tensile strength, *Materials Science and Engineering A*, 2018, **726**, 120-125.
- [10] Florea R., Bammann D., Yeldell A., Solanki K., Hammi Y., Welding parameters influence on fatigue life and microstructure in resistance spot welding of 6061-T6 aluminum alloy, *Materials and Design*, 2013, **45**, 456-465.
- [11] Kahraman N., The influence of welding parameters on the joint strength of resistance spot-welded titanium sheets, *Materials and Design*, 2007, **28**(2), 420-427.

- [12] Özgül H. G., Arslan S., Farklı elektrik direnç kaynağı parametrelerinin mukavemet üzerine etkilerinin incelenmesi, *SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ*, 2018, **22**(2), 673-679.
- [13] Antika Y. E., Tatlı Z., Çalışkan F., Tehçi T., TRIP VE DP ÇELİKLERİNDE DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ, *Engineering Sciences*, 2018, **13**(3), 229-246.
- [14] Ertan R., Aras S., Özgül H. G., Direnç Nokta Kaynağı ile Birleştirilen Yeni Nesil Çeliklerde Kaynak Akımının Mekanik Özelliklere Etkisi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2019, **19**(2), 461-469.
- [15] Bayramoğlu M., Eşme U., Nokta Kaynaklı Birleştirmelerde Kaynak Parametrelerin Bağlantı Dayanımına Etkileri, *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 2002, **4**(4) , 212-219.
- [16] Ertek Emre H., Taguchi Yöntemi ile Nokta Direnç Kaynaklı TWIP Çeliklerin Dayanım Optimizasyonu, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2019, **7**(1), 778-787.
- [17] Rajarajan C., Sivaraj, P., Seeman M., Balasubramanian V., Influence of electrode force on metallurgical studies and mechanical properties of resistance spot welded dual phase (DP800) steel joints, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.009>.
- [18] Colombo T. C. A., Rego R. R., Otubo J., Faria A. R., Mechanical reliability of TWIP steel spot weldings, 2019, *Journal of Materials Processing Technology*, **266**, 662-674.
- [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*, 2006, **176**(1-3), 127-132.
- [20] Eryürek B., Elektrik Direnç Kaynağı, *Mühendis ve Makina*, 1982, **24**(279), 22-32.
- [21] Deng X., Chen W., Shi G., Three-dimensional finite element analysis of the mechanical behavior of spot welds, *Finite Elements in Analysis and Design*, 2000, **35**(1), 17-39.
- [22] Çetin İ., Nokta Direnç Kaynağı Yapılmış TRIP800 Çeliğinin Yorulma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2014, 374415.
- [23] <https://www.tekniktrend.com/nokta-direnc-kaynagi/> (Ziyaret tarihi: 21 Ekim 2019)

- [24] Cavdar K., Yaşar H., Şahin U. O., AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİN NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI YÖNTEMİ İLE İZSİZ KAYNAK PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI, *X.Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi*, Ankara, Türkiye, 17-18 Kasım 2017.
- [25] <https://www.csvc.com.vn/products.html#catalogue> (Ziyaret tarihi: 2 Mayıs 2019)
- [26] Demir B., İncekar E., Dinçel Ö., Elitaş M., İleri dayanımlı çeliklerde nokta direnç kaynağı etkilerinin incelenmesi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2017, **4**(1), 92-100.
- [27] Wang Y. H., Jiang J.H., Wanintrudal C., Du C., Zhou D., Smith L. M., Yang L. X., Whole field sheet-metal tensile test usinf digital image correlation, *Experimental Techniques*, 2010, **34**(2), 54-59.
- [28] Mindivan H., Metalografi deney föyü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
- [29] Pouranvari M., Asgari H. R., Mosavizadch S. M., Marashi P. H., Goodarzi M., Effect of weld nugget size on overload failure mode of resistance spot welds, *Science and Technology of Welding and Joining*, 2007, **12**(3), 217-225.
- [30] Pal T. K., Chattopadhyay K., Resistance spot weldability and high cycle fatigue behaviour of martensitic (M190) steel sheet, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 2010, **34**(1), 46-52.
- [31] Akkuş A., Vural, M., Nokta kaynaklı farklı çelik sacların yorulma dayanımlarının deneysel analizi, *İTÜ Dergisi/d*, 2007, **6**(1), 37-46.
- [32] Celentano D. J., Cabezas E. E., García C. M., Monsalve A. E., Characterization of the mechanical behaviour of materials in the tensile test: experiments and simulation, *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 2004, **12**(4), 425-444.

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

**Demirkesen A.**, Kaya H., Ergün R. E., Uçar M., JAC270C ve JAC590R malzemelerinin nokta direnç kaynağının mukavemet analizleri, *IMASCON, Uluslararası Marmara, Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 26 Nisan 2019.



## ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Demirkese 1993 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Lise öğrenimini Burak Bora Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında mezun oldu. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitiminde otomotiv çeliklerinde nokta direnç kaynaklarının mukavemet analizleri konusunda çalışmaları bulunmaktadır. Çalışma hayatına 2017 yılında Fluidmaster firmasında İmalat Mühendisi olarak başladı. 2018 yılında Honda Türkiye A.Ş otomobil fabrikasında Üretim Mühendisi olarak başladığı görevine devam etmektedir.