**T.C.**
**SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ**
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

# DP VE STRENX ÇELİKLERİNİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fatih Enes ALEMDAR**

| | | |
|---|---|---|
| **Enstitü Anabilim Dalı** | **:** | **MAKİNA MÜHENDİSİLİĞİ** |
| **Tez Danışmanı** | **:** | **Doç. Dr. Nuri AKKAŞ** |
| **Ortak Danışman** | **:** | **Doç. Dr. Erol İLERİ** |

**Mayıs 2021**

**T.C.**
**SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ**
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

# DP VE STRENX ÇELİKLERİNİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fatih Enes ALEMDAR**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSİLİĞİ**

**Bu tez 27/05/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.**

| JÜRİ | BAŞARI DURUMU |
|---|---|
| Jüri Başkanı: Prof. Dr. Salim ASLANLAR | BAŞARILI |
| Üye: Doç. Dr. Nuri AKKAŞ | BAŞARILI |
| Üye: Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY | BAŞARILI |

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fatih Enes ALEMDAR

27/05/2021

# TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Nuri AKKAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım beni akademik anlamda yönlendiren ve her anlamda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ikinci danışmanım olarak tezime yardımcı olan Doç. Dr. Erol İLERİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazımımda bana yardımlarını esirgemeyen, deneylerimin yapılmasının her aşamasında yardımcı olan bilgi ve tecrübelerinden sıklıkla yararlandığım çok değerli bir akademisyen olan Prof. Dr. Salim ASLANLAR' ve Dr. Melih KEKİK'e teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

**TEŞEKKÜR** ..... **i**
**İÇİNDEKİLER** ..... **ii**
**KISALTMALAR LİSTESİ** ..... **iv**
**SİMGELER LİSTESİ** ..... **v**
**TABLOLAR LİSTESİ** ..... **vi**
**ŞEKİLLER LİSTESİ** ..... **vii**
**ÖZET** ..... **viii**
**SUMMARY** ..... **ix**

**BÖLÜM 1.**
**GİRİŞ** ..... **1**

**BÖLÜM 2.**
**LİTERATÜR ARAŞTIRMASI** ..... **5**

**BÖLÜM 3.**
**OTOMOTİV SANAYİSİNDE ÇELİK** ..... **10**
3.1. Otomotiv Sanayisinde Kullanılan Çelik Türleri ..... 10
3.1.1. Kompleks Fazlı Çelikler (CP) ..... 11
3.1.2. TWIP Çelikleri ..... 11
3.1.3. TRIP Çelikleri ..... 12
3.1.4. Çift Fazlı Çelikler (DP) ..... 12
3.1.5. Martenzitik Çelikler ..... 12
3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzeme ..... 13
3.2.1. DP800 Çelikleri ..... 13
3.2.2. Strenx 700 CR Çelikleri ..... 15

**BÖLÜM 4.**
**ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI** ..... **16**
4.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağındaki Parametreler ..... 18
4.1.1. Elektrot cinsi ve malzemeleri ..... 18

4.1.2. Elektrot baskı kuvveti....19
4.1.3. Kaynak akımı....19
4.1.4. Kaynak zamanı....20

**BÖLÜM 5.**
**DENEYSEL ÇALIŞMALAR....21**
5.1. Genel....21
5.2. Deneysel Çalışma Için Kullanılan Malzemeler....21
5.3. Kullanılan Çeliklerin Deney Hazırlık Süreci....22
5.4. Birleştirme İçin Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi....23
5.5. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Elektrotları....24
5.6. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi....24
5.7. Elde Edilmiş Olan Paremetrelerle Deneylerin Yapılması....25
5.8. Çekme – Makaslama ve Çekme – Sıyırma Deneyleri....27

**BÖLÜM 6.**
**DENEYSEL SONUÇLAR....29**
6.1. Genel....29
6.2. Strenx 700 CR ve DP800 Çelik Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametlerinin Çekme-Sıyırma ile Çekme–Makaslama Dayanımına Etkisi 29
6.2.1. Kaynak akım şiddetinin çekme makaslama dayanımına etkisi....30
6.2.2. Kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi....40
6.2.3. Kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi....42
6.2.4. Kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi....44

**BÖLÜM 7.**
**SONUÇLAR VE TARTIŞMA....46**
7.1. Sonuçların değerlendirilmesi....46
7.2. Öneriler....47

**KAYNAKLAR....48**

# KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|---|---|
| AHSS | : Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler |
| DP | : Dual faz |
| EDNK | : Elektrik Direnç Nokta Kaynağı |
| ITAB | : Isı Tesiri Altındaki Bölge |
| kA | : Kiloamper |
| kN | : Kilonewton |
| mm | : Milimetre |
| N | : Newton |
| sn | : Saniye |
| TRIP | : Dönüşüm yoluyla Plastite Kazanan Çelik |
| TWIP | : İkizlenme yoluyla Plastite Kazanan Çelik |

## SİMGELER LİSTESİ

| | |
|---|---|
| $\alpha$ | : Ferrit |
| $^{0}C$ | : Santigrat Derece |
| $\gamma$ | : Östenit |

# TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1: Farklı markaların araçlarda kullandıkları nokta direnç kaynak sayıları ..... 2
Tablo 5.1: DP800 sacının kimyasal bileşimi % ..... 21
Tablo 5.2: Strenx 700 CR sacının kimyasal bileşimi % ..... 21
Tablo 5.3: DP800 sacının mekanik özellikleri ..... 22
Tablo 5.4: Strenx 700 CR sacının mekanik özelikleri ..... 22
Tablo 5.5: Kullanılan elektrotun kimyasal bileşimi ve özellikleri ..... 24
Tablo 5.6. Yapılan deneyler sonucunda oluşan hasar çeşitleri ..... 28
Tablo 6.1: Kaynaklı bağlantılar için hazırlanan numune sayıları ..... 30
Tablo 6.2: Strenx 700 CR – DP800 Kaynaklı Birleştirmelerinde Çekme-Makaslama Numulerinde Gözlemlenen durumlar ..... 32

# ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: EDNK Robotik Uygulaması ..... 3
Şekil 3.1: Kullanılan Malzemeye Göre Kazadan Korunma Oranı ..... 10
Şekil 3.2: Dual – Phase Isıl işlemleri İçin Sıcaklık Aralıkları ..... 14
Şekil 3.3: Çeşitli dual –faz mikroyapıları (1) Ara su verme (2) Direkt su verme (3) kademeli su verme ..... 14
Şekil 3.4: Strenx 700 CR Çeliğinin Kullanım Alanları ..... 15
Şekil 4.1: EDNK Şematik Gösterimi ..... 17
Şekil 4.2: EDNK Prosesi ..... 17
Şekil 4.3: EDNK Kaynak Çevrimi ..... 18
Şekil 4.4: Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Isı Dağılımı ..... 20
Şekil 5.1: Çekme Makaslama Deney Numunesi ..... 22
Şekil 5.2: Çekme-Sıyırma Deney Numunesi ..... 22
Şekil 5.3: Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinası ..... 23
Şekil 5.4: Akım Ölçme Cihazı ..... 23
Şekil 5.5: Elektrotların Şematik Gösterimi ..... 24
Şekil 5.6: Kaynak Parametrelerini Belirlemek İçin Elde Edilen Numunelere Ait Resim ..... 25
Şekil 5.7: Elektrot Baskı Kuvveti Ölçüm Cihazı ..... 25
Şekil 5.8: Elektrik Direnç Nokta Kaynak Parametleri ..... 26
Şekil 5.9: Çekme-Makaslama Deney Numuneleri ..... 26
Şekil 5.10: Çekme-Sıyırma Testi Numuneleri ..... 27
Şekil 5.11: Deneylerde kullanılan Çekme Cihazı ..... 28
Şekil 6.1: DP800–Strenx 700 CR Çeliklerinin Kaynaklı Bağlantılarının Kaynak Akım Şiddetinin Çekme Makaslama Kuvvetine Etkisi ..... 31
Şekil 6.2: DP800 – Strenx 700 CR Kaynaklı Birleştirmesinin Kaynak Zamanın Çekme Makaslama Kuvvetine Etkisi ..... 42
Şekil 6.3: DP800 – Strenx 700 CR kaynaklı Bağlantıların Kaynak akım Şiddetinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi ..... 43
Şekil 6.4: DP800 – Strenx 700 CR kaynaklı birleştirmesinin Kaynak Zamının çekme- sıyırma kuvvetine etkisi ..... 45

# DP VE STRENX ÇELİKLERİNİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

DP ve STRENX çelikleri otomotiv sanayisinde sıkça kullanılmakta olan yeni nesil çeliklerdendir. Yapılan bu çalışmanın amacı, otomotiv sektöründe kullanılmakta olan yeni nesil çelikler olarak adlandırılan bu çeliklerin, elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesiyle elde edilen en ideal mekanik özellikleri veren kaynak parametrelerinin belirlenmesidir.

Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantıları oluşturmak için 120 kVA gücünde akım sağlayabilen ve pnömatik sisteme sahip elektrik akım kontrollü olan kaynak makinesi kullanılarak birleştirmeler yapılmıştır. Kaynak süresi 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot (1 periyot = 0,02 sn) olacak şekilde belirlenmiştir. Kaynak akım şiddetleri ise 6700 A' den 16800 A' kadar yaklaşık 1000' er A arttırılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışma esnasında elektrot baskı kuvveti 4 kN olacak şekilde sabit tutulmuştur.

Kaynaklı birleştirme ile üretilen deney numuneleri, mekanik özellikleri belirlenmesi için çekme-sıyırma deneyi ve çekme–makaslama deneylerine tabi tutulmuştur.

Yapılan bu çalışmanın sonucunda kaynak süresi, kaynak akım şiddeti ve oluşan kaynak çekirdeği geometrisinin çekme-makaslama ile çekme–sıyırma kuvvetlerine etkisi belirlenmiş olup en iyi değerleri belirleyen kaynak süresi ile kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak değerlerine ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Strenx, DP, Elektrik Direnç Nokta Kaynağı

# INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF DP AND STRENX STEELS IN ELEKTRICAL RESISTANCE POINT WELDING


## SUMMARY

DP and STRENX steels are among the new generation steels that are frequently used in the automotive industry. The aim of this study is to determine the welding parameters that provide optimum mechanical properties obtained by combining these steels, which are called new generation steels used in the automotive industry, with electrical resistance spot welding.

In order to produce electrical resistance point welded joints, joints were made using a welding machine that can provide 120 kVA current and has an electric current controlled pneumatic system. Welding time is determined as 10, 15, 20, 25 and 30 peiodes (1 period = 0.02 sec). Welding current intensity was increased from 6700 A to 16800 A by approximately 1000 A. During the experimental study, the electrode pressure force was kept constant at 4 kN.

The test samples produced by welded joints were subjected to tensile-peel and tensile-shear tests to determine their spatial properties.

At the end of the study, the effects of welding current intensity, welding time and welding core geometry on tensile-shear and pull-stripping forces were determined, and the welding values were obtained depending on the welding current intensity and welding time determining the best values.



**Keywords:** Strenx, DP, Electric Resistance Spot Welding

# BÖLÜM 1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze artan çevre bilinci ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte insanların gelişen teknolojiden beklentiside sürekli artmaktadır. Geçmişte otomotiv sektöründe aranan en önemli özellik, yolcu güvenliği ve konfor iken günümüzde araçların üretim maliyeti ve araçların yakıt tasarrufu da bu özelliklere ilave edilmiştir. Üretici firmaların yolcuların güvenliği bakımından çok iyi bir korumaya sahip, düşük maliyetli üretim ve $CO_2$ emisyonunu azaltmak ve yakıt tüketiminin minumum düzeyde olması için yaptıkları araştırmalar ve çalışmalar sonucunda yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler ( HSLA: High Strength Low Alloyed Steels ) ortaya çıkmış ve bu mikro alaşımlı çelikler, üretilen araçlarda kullanılmaya başlanmıştır. Otomotiv sektöründe ihtiyaç duyulan gereklilikleri gidermek amacıyla yüksek mukavemetli yeni nesil çelikler ( AHSS ), TRIP çelikleri (Transformed Indused Plasticity), Çift fazlı çelikler (DP), Martenzitik (MS) çelikler ve Komleks fazlı çelikler (CP) araçlar üzerinde kullanılmakta ve bu çelikler üzerinde araştırma geliştirme çalışmaları yapılmaktadır [1–3].

Araçlarda büyük bir öneme sahip güvenliğin geliştirilmesi isteği yüksek dayanıma sahip çelik gibi malzemelerin yoğun kullanılmasına sebep vermektedir. Genel olarak araç gövdesi metal sac parçalardan oluşmakta ve toplam araç ağırlığının yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. Kullanılan bu parçaların son dönemlerde yeni nesil olarak adlandırılan çelikler ile üretilmesi çok büyük bir önem arz etmektedir. Bu yeni nesil çelik gurubu birim ağırlığa oranla daha yüksek mukavemet değerleri sağlamakta ve endüstrideki kullanımı çok hızlı bir artış göstermektedir [4].

Son zamanlarda otomotiv sanayisinde araçların ağırlıkların azaltılması için geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı artmaktadır [5]. Araçların ağırlıkların azalımı, kullanılan parçaların dayanımını koruyarak ve daha da yükselterek daha ince kesite sahip yüksek mukavemet değerlerine sahip olan çeliklerin kullanılmasıyla gerçekleşmiştir. Dual Phase (DP) çeliklerinin hafif olmaları, yüksek mukavemetli ve iyi şekil alma

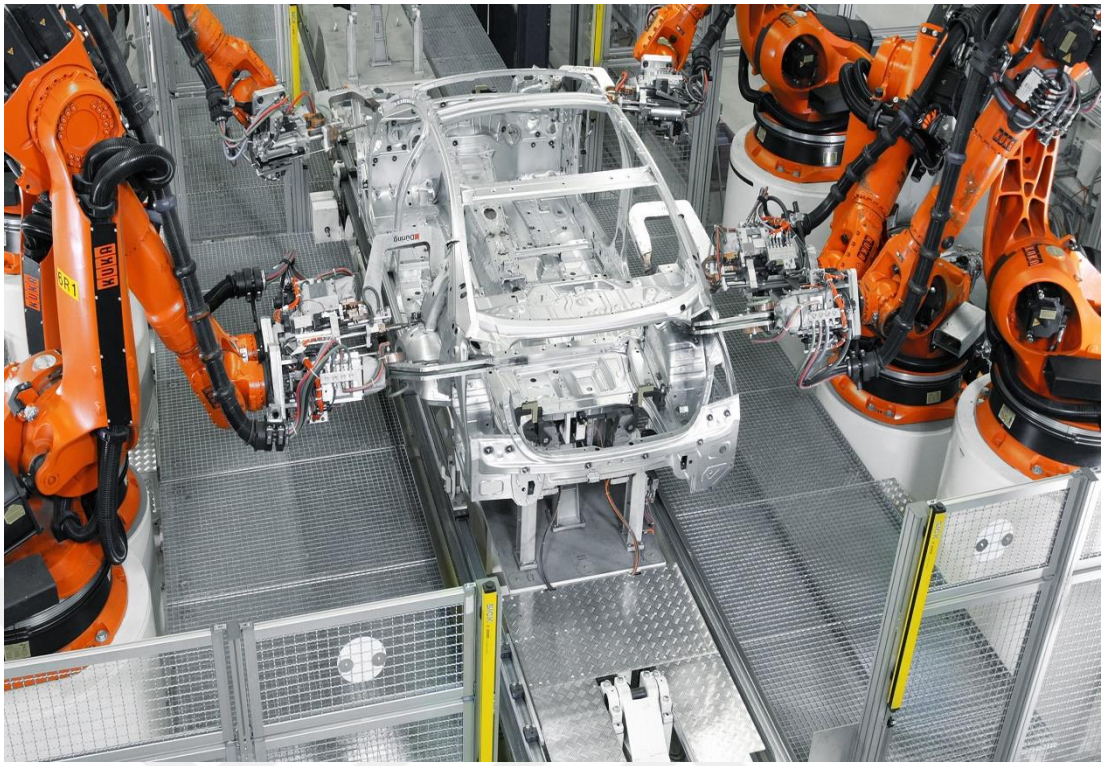
kabiliyeti olmalarından ötürü araç üretiminde kullanımları giderek artış göstermektedir [6]. DP çeliklerinin taşıtlarda kullanımı % 45'lere kadar artacağı öngörülmektedir. Bu artışın araçlarda özellikle maliyet açısından yakıt tüketimi ile emisyon standartları açısından sağladığı katkı çok büyük olacaktır.

Otomotiv sanayisinde aynı veya farklı özelliklere sahip olan çelik sacların birbirleriyle olan bağlantılarında sıklıkla kullanılan imalat yöntemi olarak kaynak işlemi kullanılmaktadır. Bu çelikler için yapılan kaynaklı birleştirme işleminde genel olarak en yaygın kullanılmakta olan kaynak yöntemi ise; seri üretime uygun, ilave dolgu malzemesine ihtiyaç duyulmaması ve kolaylıkla kaynak yapılabilir bir yöntem olması nedenlerinden ötürü elektrik direnç nokta kaynağı yöntemidir. Günümüzde bir otomobil üretiminde 3000 ile 6000 arasında nokta direnç kaynağı bulunmaktadır [7]. Tablo 1.1. 'de araçlarda kullanılan elektrik direnç nokta kaynağına ait farklı markalarda kullanılan nokta kaynak sayısı gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Farklı markaların araçlarda kullandıkları nokta direnç kaynak sayıları

| Araç Modeli | Nokta Kaynak Adedi |
|---|---|
| Volvo S60 | 3966 |
| Opel Meriva | 4533 |
| Renault Latitude | 5208 |
| VW sharan | 5600 |
| BMW 5 Series | 5800 |
| Fiat Linea | 5031 |
| Alfa Romeo Giulietta | 3676 |
| Citroen C4 | 3938 |

Günümüzde otomotiv sanayisinde yapılan araç üretimlerinde kullanılan nokta direnç kaynağı ağırlıklı olarak robotik uygulamalarla yapılmaktadır. Yapılan kaynaklı birleştirmelerin, üretim bantlarının bazı bölümlerinde manuel uygulamaları da mevcuttur. Şekil 1.1. 'de elektrik direnç nokta kaynağına ait robotik kaynak uygulaması görülmektedir [7] .




Şekil 1.1: EDNK Robotik Uygulaması [8].

Elektrik direnç nokta kaynağı uygulamasında elektrik akımına karşı malzemenin gösterdiği direncin sonucunda oluşan sıcaklık ve elektrotlar tarafından yapılan basıncın etkisiyle kaynaklama işlemi gerçekleşmiş olur. Kaynaklama sırasında eriyen metalin katılaşması sonrasında bizlere ihtiyacımız doğrultusunda dayanıklı, dirençli ve güçlü bir birleştirme elde etmemizi sağlar. Fakat metalin hızlı erimesi ve katılaşması sonrasında malzemenin mikroyapısında farklı olumsuz etkilere yol açmaktadır. Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) ikincil faz yapılarının oluşmasına, tanelerin kabalaşmasına ve daynanımında düşüş gibi olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu nedenle yapılan elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda malzeme çiftlerinin özenle incelenmesi ve araştırılması gerekmektedir. Bilim dünyasında bu konu günümüzde çok büyük öneme sahip olup konuyla ilgili önemli çalışmalar yapılmaktadır.

Nokta direnç kaynağı geometrik olarak bağlantıda harici bi çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca elektrot kuvvetleri kaynaklanan malzemenin temas yüzeyinde elektrot izi oluşumana ve böylece gerilim konsantrasyonuna sebep olur. Bu nedenlerden dolayı kaynaklanan malzemede mikro yapısal ve geometrik değişikler, kullanılan malzemeye oranla bağlantının taşıma kapasiteni azaltır. Araçların çarpışma esnasında dayanıklılığı

kaynaklı yapıların bütünlüğüne bağlıdır. Bu sebeplerden ötürü elektrik direnç nokta kaynağında farklı yükleme koşullarında mekanik özelliklerini incelemek önem arz etmektedir. Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testleri yapılan kaynaklı birleşirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile kullanılan önemli deneysel çalışma yöntemlerindendir [9].

Yapılan bu deneysel çalışmada, otomotiv sanayisinde sıklıkla kullanılan yeni nesil çeliklerden olan minumum 700 Mpa akma dayanımı gösteren ve 1000 Mpa-1200Mpa değerleri arasında yüksek çekme mukavemeti gösteren Strenx700Cr çelikleri ile DP800 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinin araştırılması şeklindedir.

# BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan araştırmalar kapsamında literatür taramasında otomotiv sanayisinde yapılan gelişmeler için çok sayıda araştırmalar yapıldığı gözlemlenmiştir. Yapılan literatür çalışmasına göre aşağıda belirtilen bazı çalışmalar şunlardır;

Onar ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada elektrik direnç nokta kaynağı ile sabit elektrot kuvveti altında kaynaklı birleştirme işlemi yaptıkları TWIP1000 ve Martensitik çeliklerde kaynak akımının ve kaynak zamanın çekme–sıyırma kuvveti üzerinde etkisini araştırmışlardır. Farklı kalınlıklara sahip olan bu yeni nesil çelikleri 30 x 100 mm boyutlarında hazırladıktan sonra yüzey temizleme işleminin ardından 120 kVA kapasiteli elektrik direnç nokta kaynak makinasında birleştirme işlemini yapmışlardır. Kaynak zamanını 5-30 periyot arasında 5 periyot artırarak, kaynak akımını 4 – 16,5 kA akım aralığında 1,5 kA artırarak yapmıştır. Çekme-sıyırma testi için 50 kN çekme kapasitesine sahip olan çekme cihazı kullanılarak çekme hızını 20 mm/dk. olacak şekilde yapmışlardır. Yaptıkları deneyi 3 kez tekrarlayıp ortalamasını alarak belirlemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda ulaştıkları sonuçlar kaynak akımını artırdıkça uygulanabilir kaynak süresi aralıklarının azaldığını ve kaynak akımının artması sonucunda maksimum çekme–sıyrılma yüklerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Maksimum çekme-sıyrılma yükünün ise 20 periyot kaynak süresinde 7,5 kA kaynak akım şiddetinde 1975 kN olarak elde etmişlerdir [10].

Dong ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ince nikel ile kaplanmış çelik sacların mikro elektrik direnç kaynağında elektrotun malzemeye yapışmasından kaynaklanan olumsuzluğu ortadan kaldırmak için elektrot basınç kuvveti, elektrot tipi, elektrot mesafesi, kaynak zamanı, kaynak akımı gibi parametreleri incelemişlerdir. Ulaşılan sonuçlarda nikel ile kaplanmış çelik saclar ile elektrot arasında kurulan bağın yapışmayı meydana getirdiği gözlemlemişlerdir. Kaynak süresi ve kaynak akımının düşürülmesi ile elektrot basınç kuvveti ile artan elektrot boşluğu ile yapışmayı azaltmışlardır. Normal

elektrotların (CuCrZr) TiC ile kaplanması ile yapılan kaynaklı birleştirmede elektrot yapışmasının ortadan kalktığı gözlenmiştir [11].

Aslanlar ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirme işlemi uygulanan çift fazlı DP600 ve DP800 çeliklerinin kaynak akımının ve kaynak zamanının çekme-makaslama yükü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneyde kullanılan çelikler 120 kVA akım kapasiteli kaynak makinası kullanılarak yapılmıştır. Kaynak zamanının 5-30 periyot arasında, kaynak akımının 8,2 kA ile 16,8 kA arasında elektrot kuvvetinin 6 kN sabit olacak şekilde kaynak işlemini gerçekleştirmişlerdir. Deney numunelerine mekanik özelliklerini tespit etmek amacı ile çekme deneyi uygulamışlardır. Yapmış oldukları bu deneyler sonucunda ulaşmış oldukları sonuçlara göre, kaynak çekirdek çapının artan kaynak akımı ile arttığı ve ardından kaynak bölgesinde meydana gelen deformosyanlar nedeniyle düştüğünü gözlemlemişlerdir. En yüksek çekme - makaslama kuvvetine 20 periyot kaynak zaman aralığında 12 kA kaynak akımında 15000 N olarak elde etmişlerdir [12].

Sun ve arkadaşları yaptıkları çalışmada gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerin elektrik direnç kaynağında kaynaklı birleştirmeye kesme makaslama yükü altında enerji emilimi ve statik mukavemetinin, füzyon bölgesi boyutunun kaynak hatalarına etkisini incelemişlerdir. DP800 ve TRIP800 çelikleri nokta kaynağı yapılacak çelikler olarak seçmişlerdir. Nokta kaynaklarında en belirgin hasar tipleri kaynak çekirdeğinin büzülmesi ve arayüzeydeki kırılmalardır. Kısmi bir arayüzey kırılması da gözlenmiştir. Sonuç olarak nokta kaynağında DP800 ve TRIP800 çeliklerinde çekirdek büzülmesi hasarına rastlanmıştır. Ayrıca, TRIP800 kullanılan küçük kaynaklarda ve tüm DP800 malzemelerin kaynağında enerji emme ve maksimum yük üzerinde hata türünün güçlü bir etkisi vardır. Çekirdek büzülmesi arayüzeydeki kırılma hatalarından daha yüksek enerji emme istatiksel olarak daha yüksek mukavemete sahiptir. TRIP800 kaynaklarında kritik ergime bölgesinde taşınabilecek maksimum yük ve enerji emilimi azalmaktadır. DP800 ve TRIP800 çeliklerinin her ikisinin de nokta kaynağında ergime alanının büyüklüğü maksimum yük ve enerji emilimi açısından kaynak kalitesini belirleyen en kritik faktör olduğu sonucuna ulaşmışlardı [13].

Akkaş N. Yapmış olduğu doktara çalışmasında Raylı sistem araçlarında kullanılan atmosferik korozyana dayanıklı olan çelik sacların gaz metal ark kaynağı prosesinin

yerine elektrik direnç nokta kaynağı prosesinde birleştirilmesinin konstriksiyon dayanımını, ağırlığı ve maliyeti açısından bir iyiliştime yapmayı hedeflemiştir ve bu konuyla ilgili çalışma yapmıştır. Yapmış olduğu deneysel çalışma sonucunda 2,3 mm kalınlığa sahip SPA-C çeliğinde maksimum çekme-makaslama dayanımını 8500 A akım değerinde 30 periyot kaynak zamanında ulaşmıştır. Maksimum çekme-sıyırma mukavemetine 30 periyot kaynak süresi 7500 A kaynak akım şiddetinde ulaşmıştır ve çekme-sıyırma dayanımının çekme makaslama deneyinde gösterdeği dayanımının yaklaşık dörtte biri olduğunu gözlemlemiştir. 2 mm kalınlığa sahip bir diğer atmosferik korozyana dayanıklı olan çelik S235JR(Cu) üzerinde yapmış olduğu kaynaklı birleştirmelerde maksimum çekme makaslama dayanımına 30 periyot kaynak süresinde 8000 A kaynak akım şiddetinde elde etmiştir ve maksimum çekme sıyırma kuvveti etkisini yaklaşık dörtte biri olacak şekilde 20 periyot 9000 A kaynak akım şiddetinde ulaşmıştır. Her iki çelikte de yükselen kaynak akım şiddeti ile kaynak süresinin etkisi ile çekirdek geometrisinde yani boyutunda azalmaların meydana gelmesi ile birlikte çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvvetlerinin hızla düşüş olduğunu gözlemlemiştir [9].

Ferik E. yapmış olduğu doktara çalışmasında TWIP- DP yeni nesil çeliklerinin nokta direnç kaynağında oluşan hasar tipinin belirlenmesi şeklindedir. Yapmış olduğu kaynaklı birleştirmede kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanın değişken tutarak diğer parametreleri sabit tutmuştur. Yapmış olduğu deneysel çalışmaların sonucunda maksimum çekme- makaslama dayanımının 20 periyot kaynak zamanında ve 9660 A kaynak akım şiddetinde elde etmiştir. Maksimum çekme sıyırma kuvveti etkisine 20 periyot kaynak zamanında 8,17 kA kaynak akım şiddetinde ulaştığını gözlemlemiştir. Çekme sıyırma dayamının çekme makaslama dayanımın %15 ‘i kadar olduğu sonucuna ulaşmıştır [14].

Kekik M. yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında DP800HF ile 1200M çelik saclarının elektrik direnç nokta kayanğında birleştirilmesinde hasar modunun tespitini arştırmıştır. Yapmış olduğu çalışmada elektron baskı kuvvetini sabit tutmuştur kaynak akım şiddeti ile kaynak süresini değişken olarak kabul etmiştir. Yapmış olduğu çalışmada çekme makaslama ve çekme sıyırma kuvvetinin etkilerini incelemiş kaynaklı birleştirmede oluşan çekirdek geometrisinin etkileriniincelimiştir. En yüksek çekme makslama kuvvetine 25 periyot kaynak süresinde 8,44 kA kaynak akım şiddetinde 18000 N olarak elde etmiştir. Maksimum çekme sıyırma kuvvetininin etkisi ise çekme makaslama

kuvvetine göre çok düşük olup 10 periyot kaynak zamanında 11800 A kaynak akım şiddeti değerinde 1600 N olarak elde edilmiştir. Ayrıca yükselen kaynak akım şiddeti ve kaynak zamnının etkisi ile çekirdek geometrisinde yani boyutunda azalmaların meydana gelmesi ile birlikte çekme-makaslama ile çekme-sıyırma kuvvetlerinde düşüş olduğunu gözlemlemiştir [15].

Bülent ve arkadaşları yaptıkları çalışmada DP1000 çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında ve uzaktan lazer kaynaklı birleştirmelerinin çekme ve yorulma özellliklerinin incelemesini araştırmıştırlardır. Otomotiv gövde sacı olarak olarak kullanılan DP1000 malzemesinden hazırladıkları numuneleri direnç nokta kaynağı ve uzaktan lazer kaynağı ile birleştirme işleminini gerçekleştirmişlerdir. Çekme dayanımını ve sertlik değerlerindeki değişimleri incelediklerinde yapılan kaynaklı birleştirmede ana malzemeye göre % 30' a varan bir mukavemet düşüşü olduğu sonucuna varmışlardır. Yapılan yorulma deneyinde ise direnç nokta kaynağı ve uzaktan lazer kaynaklı birleştirmelerde kaynaklı bağlantıların yorulma davranışlarının benzer davranış gösterdiği tespit edilmiştir [16].

Karagoulis yaptığı çalışmada, otomotiv sanayisinde kullanılan SAE 1080 ve SAE 1005 düşük karbon oranına sahip soğuk şekillendirilme ile oluşan çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak parametrelerini incelemiştir. Elektrot kuvvetininin kaynak parametleri arasında önemli bir değişken olduğuna, kaynak sürelerinin kaynak akım şiddetine oranla daha az etkili bir parametre olduğunu belirtmiştir. Yapmış olduğu çalışmada kullanılan saclara ait kaynak eğrisi diyagramı oluşturulmuş ve otomotiv sektöründe yapılacak olan çalışmalar için en iyi kaynak akım şiddeti ile kaynak zamanı ve elektrot baskı kuvveti değerlerinin gösteren bir tablo hazırlanmıştır [17].

Mutlusu ve Ertan yapmış oldukları çalışmada alüminyum ve titanyum alaşımı saclaın IF çelik saclarla kaynak kabiliyetinin araştırılması şeklindedir. Yapmış oldukları çalışmada 1 mm kalınlığında yüksek dayanıma sahip ve derin çekilebilir IF 180 çeliği ile aynı kalınlığa sahip ticari saf titanyum ve 5754 alüminyum alaşımı ile noktasal kaynak edilebilirliği araştırmışlardır. Yapılan kaynak işleminde Elektrik direnç noktağı yöntemi kullanılarak farklı kaynak akım şiddetleri (10 kA, 12,5 kA, 15 kA) ve farklı kaynak zamanı (10,15 ve 20 çevrim) ve farklı elektrod kuvvetlerinde (5 kN, 10 kN ve 15 kN) gerçekleştirilmiştir. Kaynak yapılan numunelerin kaynak bölgesinde oluşan çekirdek

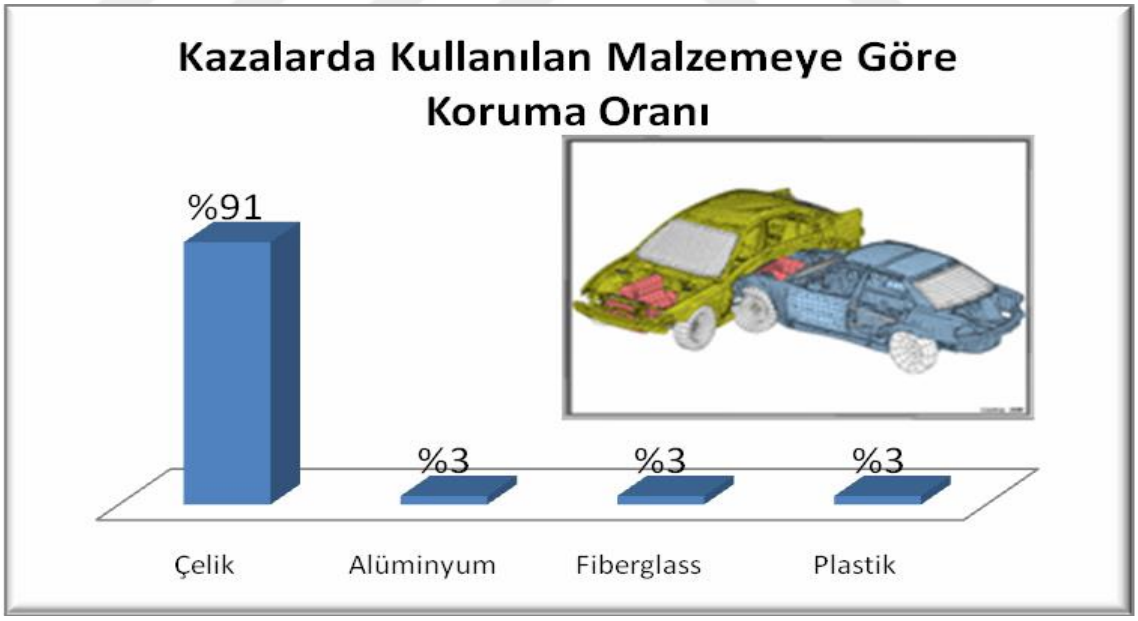
çapı, elektrodların oluşturduğu dalma derinliği, sertlik ve çekme-makaslama testi sonuçlarına bakılarak mekanik özellikleri irdelenmiştir. Sonuç olarak, kaynak paraemetrelerinin IF 180-5754 Al alaışımı kaynak malzemelerinin mekanik özellikleri üzerinde göstermiş olduğu etki IF 180 – Ti-Gr2 alaşım çiftine göre daha büyük etkiye sahip olduğu görülmüştür. Elektrot kuvveti ve kaynak akım şiddetinin kullanılan iki farklı kaynak çiftinde elektrot dalma derinliği, çekirdek çapı ve en yüksek çekme kuvvetini önemli miktarda etkilediği belirlenmiştir [18].

Özen F. yapmış olduğu doktara çalışmasında martenzitik yapılı çelikler ile TWIP yapılı çeliklerde elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilebilirliğinin incelenmesini çalışmıştır. Yapmış olduğu bu çalışmada otomotiv sanayisinde kullanılmakta olan farklı kalınlıklara sahip bu yeni nesil çelikleri 4 kN sabit basınç kuvveti altında değişken kaynak akım şiddetleri ve kaynak zamanında birleştirme işlemini gerçekleştirmiştir. Hazırlamış olduğu deney numunelerini mekanik özellikleri belirlemek için çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerine tabi tutmuştur. En yüksek çekme sıyırma kuvveti 1970 N olarak 20 periyot kaynak süresinde 7500 A kaynak akım şiddetinde tespit etmiştir. Çekme makaslama deneyi sınucunda ulaşmış olduğu en yüksek dayanım ise 10 kA kaynak akım şiddetinde 20 periyot kaynak zamanında 15490 N olarak elde etmiştir. Birleştrime sırasında açığa çıkan ısı TWIP çelik tarafında oluşan ITAB bölgesinde tanelerin kabalaşmasına ve sertliğinin artışına sebep oluştur [19].

Aslanlar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kromotlı galvanizli mikroalaşımlı çelik çiftinin (1,2 mm) elektrik direnç nokta kaynağı ile yaptıkları birleştirmede kaynak zamanının çekme-sıyırma, çekme-makaslama dayanımlarına olan etkisini incelemişler ve en iedeal kaynak zamanını elde etmişlerdir. Artmakta olan kaynak süresi ile ısı girdisinin artmasıyla birlikte kaynak işleminde oluşan kaynak çekirdeği boyutunun arttığı ve buna bağlı olarakta çekme – makaslama dayanımının arttığını gözlemlemişlerdir. Maksimum çekme–makaslama kuvvetinin 10 kA kaynak akım şiddetinde 12 ile 15 periyot kaynak sürelerinde ve en yüksek çekme-sıyırma mukavemetine 10 periyot kaynak süresinde ve 11000 A kaynak akımında elde etmişlerdir [20].

# BÖLÜM 3. OTOMOTİV SANAYİSİNDE ÇELİK

Araçlarda önemli bir etkene sahip olan güvenliğin dahada geliştirilmesi isteğinin artması, yüksek mukavemetli olan çelik gibi malzemelerin daha çok kullanılmasına yol açmaktadır. Otomotiv üreticileri bu doğrultuda çelik kullanımını daha da artırmıştır. Şekil 3.1.'de otomotiv sektöründe kullanılan malzeme türüne göre meydana gelen kazalardan korunma oranları verilmiştir. Verilen şekilde yapılan incelemede, araçlarda meydana gelmiş kazalarda çelik yapılar ile tasarlanmış olan araçların kazadan korunma oranının % 91 olduğu görülmektedir. Diğer kullanılan malzemelerde bu oranın çok düşük yüzdeye sahip olup % 3'tür. Çelik malzemelerin sağladığı bu avantaj çeliğin kullanımını daha cazip hale getirmiştir [4].




Şekil 3.1: Kullanılan Malzemeye Göre Kazadan Korunma Oranı

## 3.1. Otomotiv Sanayisinde Kullanılan Çelik Türleri

Otomotiv sanayisinde kullanılan çeliklerde sınıflandırma mukavemetlerine yapılmaktadır. Yapılan bu sınıflandırma işlemine göre Yumuşak çelikler (IF); kolay şekil

alabilen ve yüksek yüzde uzama kabiliyetine sahip ve otomotiv sanayisinde çoğunlukla kullanılmakta olan darbe emme özellikleri iyi düşük karbon oranına sahip çeliklerdir, Yüksek Dayanımlı çelikler (HSS); çekme dayanımları 270-700 Mpa değerleri arasında değişmekte olan çelik gurubudur. Bu çelik gurubuna alaşımsız olan çeliklerden bazıları, ray çelikleri (JF) ile takım çelikleri (HS) bu çelik gurubunun içerisinde yer alır. Ultra yüksek dayanımlı çelikler (UHSS); 700 MPa ve bunun üzerinde olan bu çeliklerin çekme dayanımları çok yüksek olan çeliklerdir.

Bütün bunların dışında günümüzde kullanımı giderek artış gösteren yeni nesil çelikler olarak kullanıma giren Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli (AHSS) çelikler vardır. Kendi içerisindede bu çelikler farklı isimlerde adlandırılarak sınıflandırılmıştır. Bu yeni nesil çeliklerden bazıları aşağıda verilmiştir;

### 3.1.1. Kompleks Fazlı Çelikler (CP)

Karmaşık fazlı olan bu çelikler yüksek çekme mukavemetine sahip olan çeliklerdir, Çekme mukavemetleri yaklaşık olarak 750 Mpa değerinde ve bunun üzerindedir. Martensitin ve ferritin yanı sıra bazı durumlarda kalıntı olarak östenit ve beynit bulunmaktadır. Komleks fazlı çelikler kavramı, TRIP çeliklerininkine benzerdir. Yapılarında bulunan taneciklerin boyutunu küçültmek amacı ile alaşım elenmenlerinden Ti (Titanyum) ve/veya Nb (Niyobyum) alaşımları içerebilirler. Bu çelik özellikle gövde yapısı, şasi bileşenleri, süspansiyon ve bunun benzeri birçok otomotiv uygulamasına sahiptir [21].

### 3.1.2. TWIP Çelikleri

Yüksek kopma dayanımına sahip olan bu çeliklerde süneklilikde oldukça yüksektir. Bunun sebebi olarak yapısında östenitin bulunmasıdır. Oda sıcaklığında ostenit fazının kararlı bir faz olmaması nedeni ile çeliklerde östenit gözükmesi çok az miktarda olur yada hiç gözükmez. Östenitin kararlı olabilmesi için alaşım elementleri ile özellikle yüksek oranda Mn ile alaşımlandırılarak östenit kararlı hale getirilmiş olur. Yüksek miktarda mangan kullanımı bu çeliği alaşım haline getirir.

### 3.1.3. TRIP Çelikleri

Otomotiv sanayisinde kullanılan yüksek mukavametli çeliklerin başında TRIP çeliği gelir. Mikro yapılarında beynit ile kalıntı östenit içerdiği yumuşak ferrit yapısı içerisinde görülmektedir. Yüksek bir dayanım, mükemmel süneklik ve çarpışma dayanıklılığı iyi olan bir çelik türü olan bu çelik otomotiv sanayisinde kullanılması uygun bir çeliktir [22].

### 3.1.4. Çift Fazlı Çelikler (DP)

Yüksek dayanıma sahip olmaları, HSS'lere göre yüksek şekil verilebirliğe sahip olmaları, kaynak yapılabilirliğinin iyi olması, maliyetlerinin sağladığı avantajlar nedeni ve piyasadan temin edilebilme kolaylığı sayasinde AHSS sınıfı çelik gurubunda en çok tercih edilen çelik gurubudur. Bu çeliklerin başka bir diğer önemli sağladığı fayda ise mikro yapılarında bulunan martensit yapının hacimsel oranı ve yayılımı değiştirelirek farklı mukavemet ve şekil verilebilirlik değerlerinde rahatlıkla elde edilebilmeleridir. Kopma mukavametleri bu çeliklerin 590-1400 Mpa aralığındadır. Otomotiv sektöründe DP600 DP800 DP1000 çelikleri yoğun olarak kullanılmaktadır [23].

### 3.1.5. Martenzitik Çelikler

Bu çeliklerin mikroyapısı, tavlama yada sıcak haddeleme yapılırken mikroyapının tamamen östenite dönüştüğü sırada hızlı bir soğutma işlemi uygulanarak mikroyapıda bulunan östenit yapının tamamı martenzite dönüşmesiyle elde edilir. Şekil verme işlemi esnasında da martenzitik yapı elde edilebilir. Çok yüksek çekme dayanımlarına sahip olan bu çeliklerin çekme mukavemetleri hemen hemen 1700 Mpa değerlerine kadar ulaşır. Fakat martenzitik çeliklerin süneklikleri çok düşük olduğundan üretim aşamasından sonra uygulama öncesi temperleme işlemi yapılabilmektedir. Martenzitik yapının sertliğinden daha yüksek değerde bir sertlik isteniyorsa alaşım elementlerinden C (karbon) miktarı artırılabilir veya başka elementler ilave edilebilir.

## 3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzeme

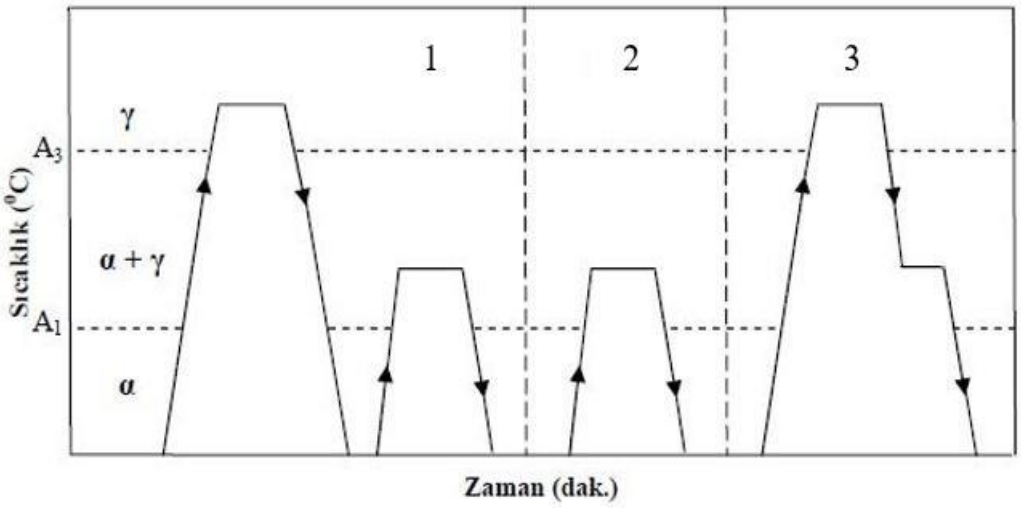
### 3.2.1. DP800 Çelikleri

Çift fazlı olan bu çeliklerin yüksek mukavamet ve iyi şekillendirilebilme özelliklerinden dolayı otomotiv sanayisi ve birçok sektörde sıkça kullanılmaktadır. Çift fazlı yapıya sahip olan bu çeliklerin kimyasal yapısına bakıldığında sade karbonlu çeliklerle neredeyse aynı olduğu gözlenmektedir. Fakat mikroyapısında bulunan çift fazın elde edilmesi işlemi bu çeliklere ısıl işlem uygulaması ile gerçekleşir. Dual Phase (DP) olarakda adlandırdığımız bu çeliklerin akma mukavemeti düşük, çekme mukavemeti ise yüksektir. % uzamasının iyi, plastik deformasyon uygulama sonrası pekleşmesi, sürekli olarak akma göstermesi ve kolay şekillendrilebilme özelliklerinden ötürü bu çelik gurubunun kullanılmasındaki en temel sebeplerdendir [15].

DP çift fazlı yapıya sahip çelikler sünek bir ferrit (α) yapısı içerisinde odacıklar biçiminde dağılmış %10-30 civarında martenzit (m) fazı içeren çeliklerdir. Bu çelik gurubu yapısında bulundurduğu martenzitin yüksek mukavemeti ve ferrit yapısının iyi bir sünekliliğe sahip olmasından ötürü üstün özelliklerini kazanmaktadır.

Çift fazlı bu çeliklerin üretimi bu çeliklere uygulanan ısıl işlemler ile elde edilir. Demir karbon (Fe-C) denge diyagramında A1- A3 kritik sıcaklıklar arasında tavlama bölgesine kadar ısıtılan çelik, ferrit (α) ve ostenit ( $\gamma$ ) fazlarını birlikte içermektedirler. Bu sıcaklık bölgesinde belirli bir süre bekletildikten sonra belirli bir hızda soğutulan çelik, östenit yapının martenzite dönüşmesi sonucunda ferrit–martenzit fazlarını içeren bir yapıya dönüşmektedir [24].

Belirli sıcaklıklar arasında oluşan ostenitin, beynit veya perlite dönüşmeden soğutma işlemi yapılarak martenzitik yapının ortaya çıkmasına olanak sağlanır. Burada martenzitik dönüşüm sağlanırken östenit fazin bir kısmıda kalıntı östenit olarak mikroyapıda dönüşmeden kalır. Mikroyapının içerisinde ferrit, martenzit ve östenit bulunur. Dual phase yapıyı elde edebilmek için yapılan ısıl işlemler; ara su verme, kritik sıcaklıklar arası bölgede tavlama işlemi, kadameli su verme işlemleri ile üç gurup halinde incelenir. Şekil 4.1. ’de çift fazlı yapıyı elde etmek için uygulanan ısıl işlemler gösterilmiştir.

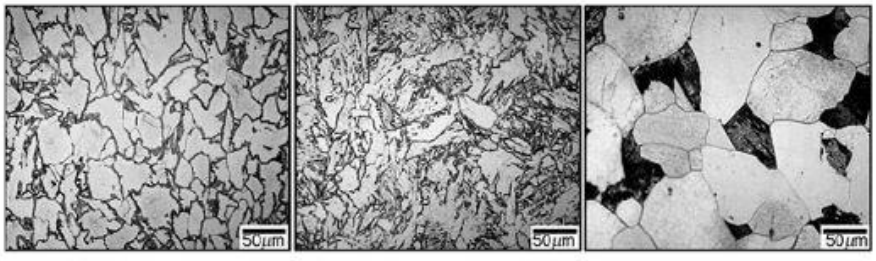



Şekil 3.2: Dual – Phase Isıl işlemleri İçin Sıcaklık Aralıkları

Şekil 4.1 (1) 'de görülen bölgede ara su verme işleminde östenit bölgesinde su verilmiş malzemenin tekrar iki fazlı bölgeye ısıtılması, primer martenzit dilim sınırları boyunca östenitin çekirdeklenmesine neden olur. Bu yapılan işlemin sonucunda oluşan yapı ince fiberli (lifli) martenzit, ferrit matriks içerisinde dağılır.

Şekil 4.1 (2) 'de görülen bölgede yapı ferrit ve perlitten ibarettir. Bu yapıya ($\alpha+\gamma$) bölgesinde tavlama işlemi yapılır. Ferrit sementit ara yüzeyinde oluşan ostenit çelikleri zamanla büyür. Direkt su verme işleminden sonra oluşan mikroyapıda, ferrit sınırları boyunca ince martenzit taneleri oluşur.

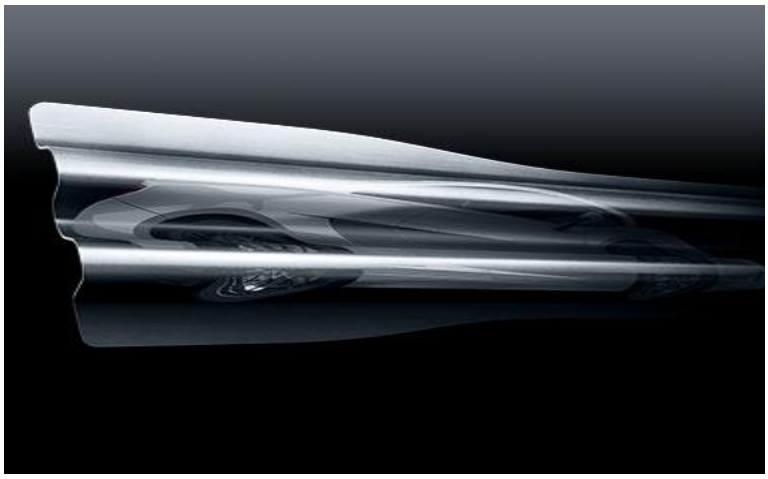
Şekil 4.1 (3) 'de görülen bölgede kademeli su verme işlemi yapılmaktadır. İlk olarak ostenitleme yapılır, sonrasında ($\alpha + \gamma$) bölgesine soğutulur. Ostenit tane sınırlarında ferrit çekirdekleri oluşur. Ferrit – Ostenitten oluşan yapı hızla soğutularak ferrit yapı içerisinde kalan kaba martenzit tanecikleri meydana gelir.




Şekil 3.3: Çeşitli dual –faz mikroyapıları (1) Ara su verme (2) Direkt su verme (3)kademeli su verme [25]

### 3.2.2. Strenx 700 CR Çelikleri

Strenx çelikleri kalınlığına bağlı olarak minumum 650-700 Mpa akma dayanımına sahip olan dünyada sadece SSAB firması tarafından üretilen otomotiv sanayisinde sıklıkla kullanılan bir çelikdir. Kimyasal analizinde karbon elementini düşük seviyelerde içeren bu yeni nesil çelik gurubu, niyobyum, titanyum veya vanadyum gibi hassas biçimde eklenen tane küçültücü elementleri içerir. Yeni nesil çeliklerden olarak adlandırılan bu çeliğin yapısı sürekli bir tavlama hattında özel bir ısıl işlemden geçirilerek yapısında ferit ve martenzit bulunuan çift fazlı bir yapı elde edilir. Yapısında bulunan ferrit çok iyi bir şekil alma özelliği katarken, martenzit yapı ise bu çeliklere mükemmel bir dayanım katmaktadır. Yüksek düzeyde temiz yapı özelliği de eklendiğinde bu çelikler soğuk şekillendirilen ve iyi derecede kaynaklanan ürünlerde piyasadaki en rekabetçi alternatifi sunmaktadır. Strenx 700 CR ürün kaliteleri otomotiv sanayisi uygulamalarında ve bilhassa daha düşük ağırlık için yüksek kriterleri olan yük taşıyıcı yapılarda kullanılır. Esnemeye karşı dünyada bilinen en yüksek dayanma özelliğine sahiptir. İnce özelliğinden dolayı daha hafif olan bu çelik hafifliğinden ötürü yakıt ekonomisi sağlar, yakıt tasarrufu sağladığı içinde daha az emisyonun doğaya salınmasını sağlar. Strenx çeliğinin kolay şekillendirilebilme özelliği ve kolay kaynaklanabilme özelliği bu çeliğin kullanımını artırmaktadır [26-28].

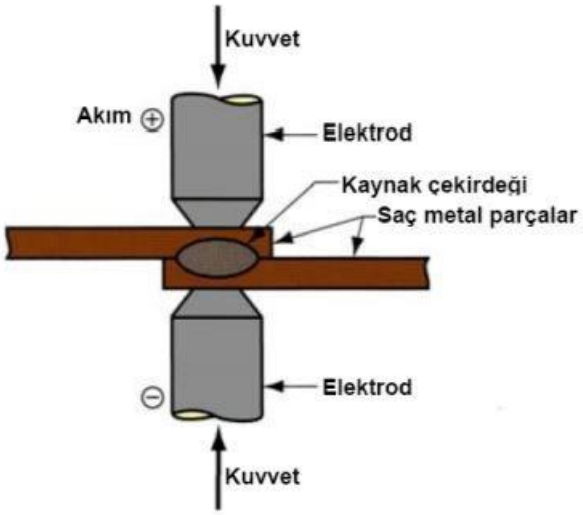


Şekil 3.4: Strenx 700 CR Çeliğinin Kullanım Alanları

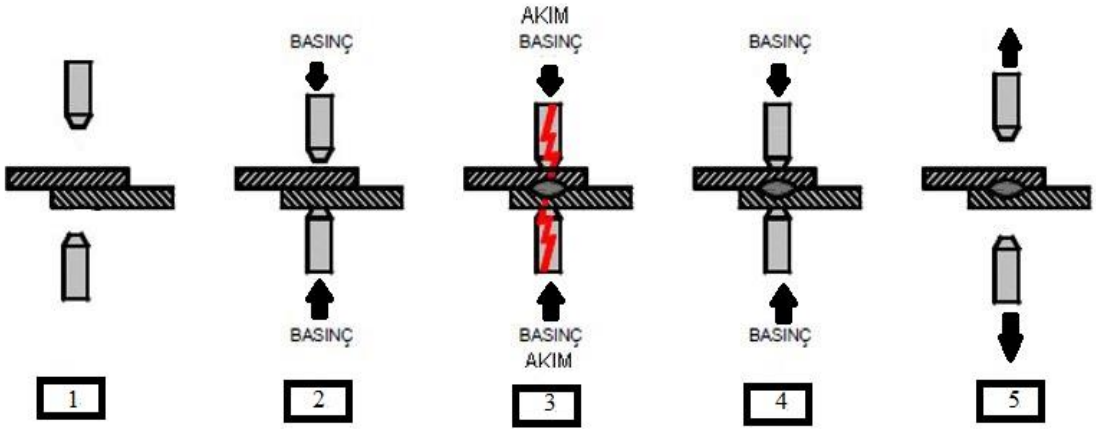
# BÖLÜM 4. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

Elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi diğer kaynak yöntemlerinin aksine ilave bir metale ihtiyaç duyulmaması, seri üretime uygun ve basit bir yöntem olması nedenlerinden dolayı otomotiv sanayisinde sıklıkla kullanılan en yaygın birleştirme yöntemi olmuştur. Bir otomotiv montajında 3000' den daha fazla olmak üzere elektrik direnç nokta kaynağı kullanılır.

EDNK yöntemi, kaynak yapılacak olan iki sac levhanın elektrotlar arasında sıkıştırılarak bu levhalar arasından düşük voltajlı yüksek akımın geçmesiyle oluşur. Burada levhalar arasında ısı oluşur. Levhaların yüzeylerinin birbirine temas ettikleri ara yüzeylerinde meydana gelen direnç buradaki en önemli noktadır. Burada oluşan ısı metal malzemede ergime oluşmasına neden olur ve yüksek basıncın etkisiyle malzemeler arasında ergime oluşur. Elektrot ve kaynak yapılacak olan levhalar arasından geçen akım kesilir, soğutucu akışkanın elektrotları soğutması ile ergimiş bölge hızla katılaşarak kaynak çekirdeği oluşmuş olur. Kaynak işlemi bu süreclerle tamamlanmış olur. Bu işlem genellikle çok kısa sürer. EDNK yönteminde kaynak akımı şiddeti, kaynak süresi, elektrot tipi ve elektrot baskı kuvveti gibi parametreler bu kaynak yönteminin en önemli parametlerindendir. Kaynak işlemi yapılacak olan metalin yapısal niteliklerine bağlı olarak bu parametreler değişkenlik göstermektedir [29].




Şekil 4.1: EDNK Şematik Gösterimi




Şekil 4.2: EDNK Prosesi [30]

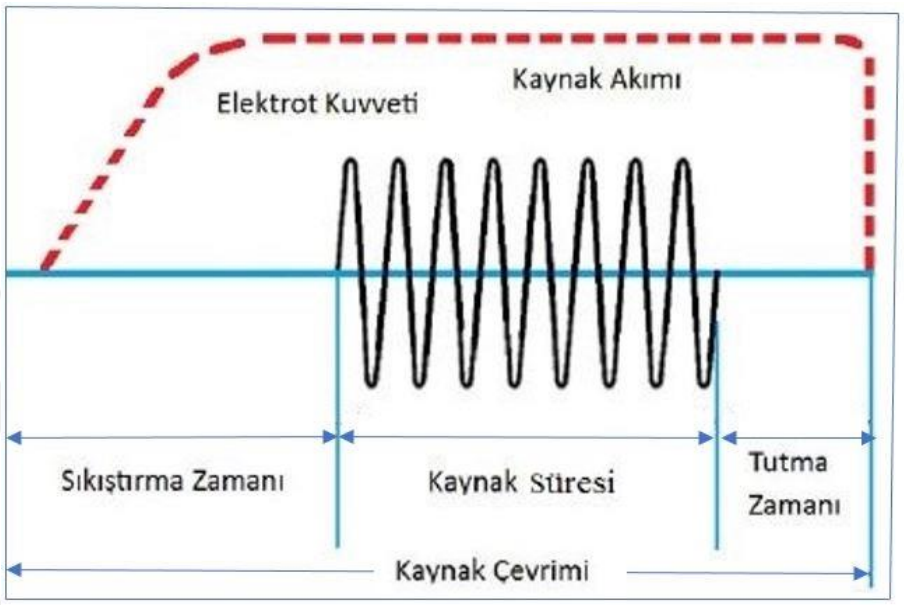
Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak işlemininde çekirdek oluşumu dört farklı safhada gerçekleşir. Bu safhalar;

- (1-2) Yaklaşma ve sıkıştırma zamanı
- (3) Kaynak zamanı
- (4) Tutma zamanı
- (5) Ayrılma zamanı

Elektrotların yaklaşma ve sıkıştırma aşamalarında sabit alt çene üzerinde bulunan elektrot ile haraketli olan üst çeneye bağlı elektrot yaklaşarak kaynak yapılacak olan malzemeyi sıkıştırır. Sıkışan bu malzeme üzerinden düşük bir gerilimde yüksek akım geçirilir. Tutma zamanında kaynak akımı kesilerek elektrotların içerisindeki bulunan soğutma sıvısı ile oluşan kaynak bölgesinin soğutma işlemi sağlanır ve sıkıştırma devam eder. Ayrılma

zamanında hareketli olan üst çeneye bağlı olan elektrot alt çeneden uzaklaşarak iş parçasını bırakır. Yapılan kaynak işleminde bütün bu zaman dilimlerinin süreleri periyot diye ifade edilir. Frekansı 50 Hz olan bir sistemde 1 periyot 1/50 saniyeye denk gelir.

Şekil 6.3'te elektrik direnç nokta kaynağına ait kaynak çevrimi gösterilmektedir.




Şekil 4.3: EDNK Kaynak Çevrimi

### 4.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağındaki Parametreler

Elekktrik Direnç nokta kaynağında yapılan kaynaklı birleştirmelerin kaynak kalitesini etkileyen önemli parametreleri aşağıdaki gibi sıralandırabiliriz;

#### 4.1.1. Elektrot cinsi ve malzemeleri

Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrotların iyi bir elektrik iletkenliğinin yanı sıra iyi bir dayanımada sahip olması gerekmekteidr. Elektrik Dirinç nokta kaynağında kullanılan elektrotlara ait bazı özellikler şu şekilde olmalıdır;

- Elektrik iletkenliği ve ısıl iletkenliğinin iyi olması
- Kullanılan elektrot malzemesinin dayanımın yüksek olması
- Yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilmeli ve iş parçasıyla alaşımlama yapmamalıdır.

Yapılan kaynaklı birleştrimelerde birleştirme yapılacak olan malzemeye göre elektrotlar seçilmelidir. Kaynaklı birleştrime yapılan malzeme yumuşak bir yapıya sahip ise elektrottan yüksek iletkenlik beklenirken kullanılan malzemenin dayanmı yüksekse elektrotlardan yüksek dayanım beklenir.

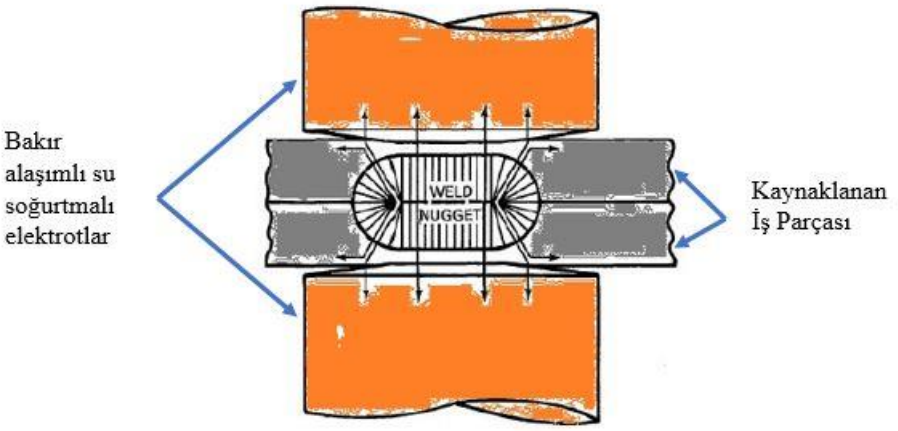
### 4.1.2. Elektrot baskı kuvveti

Elektrotların yapılan kaynak çevrimi boyunca kaynaklanan malzemeye uyguladıkları kuvvete elektrot baskı kuvveti denir. Baskı kuvveti elektrotla iş parçası arasındaki akımın iletilmesinde ve temas direncinde önemli bir parametredir. Uygulanan elektrot baskı kuvveti arttıkça dalma derinliği artarken azalan baskı kuvvetlerinde dalma derinliği düşüş göstermektedir.

Elektrot baskı kuvveti kaynaklanan levhalar arasında oluşan temas direncinin azalmasını sağlar ve kaynağın hangi noktada oluşacağını belirler. Kaynaklanan parçaların temas yüzeylerinde oluşan ısı sonucu ergiyen metalin fışkırmasını önleyerek kaynak akımının kesildiği tutma zamanında ise soğutma ile katılaşan kaynak çekirdeğinde oluşan büzülmelerden kaynaklanan çatlakların ve boşluklaın yani oluşan kaynak hatalarının önlemesini sağlamaktadır.

### 4.1.3. Kaynak akımı

Yapılan kaynaklı birleştrimelerde dirence bağlı olarak ısı oluşmaktadır. Oluşan ısı ise bir kısmı kaynaklanlan malzemlerden ve kullanılan elektrotlardan radyasyon ve konveksiyon yoluyla kaybolmaktadır. Elektortların iletkenlikleri kaynaklanan iş parçasına göre çok yüksek ve daha düşük dirençleri olan malzemelerdir ve su ile bu elektrotlar soğutulmaktadır bunun sonucu olarak ısı birikmesi kaynak yapılan malzemelerde ve özlellikle kaynakalanan malzemelerin birbirlerine temas ettikleri ara yüzeylerinde oluşmaktadır.




Şekil 4.4: Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Isı Dağılımı

### 4.1.4. Kaynak zamanı

Kaynak zamanı yapılan birleştirmelerde dayanımı etkileyen parametrelerdendir. Oluşan kaynak çevriminde üretilen ısı girdisi kaynak zamanın armasıyla doğru orontılıdır. Kaynak zamanı artıkça kaynak çekirdeğini boyutu büyür ve bununla birlikte oluşan bağlantının dayanımıda artarken kaynak zamanındaki azalmanın etkisi ile kaynak çekirdeği boyutunda küçülmeler meydana gelir ve yetersiz dalma derinliğini etkisi ile kaynak bağlantısında dayanım düşer ve bazı durumlarda kaynaklanan malzemelerde birleşme sağlanmayabilir. Kaynak süresi ve kaynak akımı ayarlanarak iyi bir kaynak çekirdek boyutu elde edilebilir.

# BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

## 5.1. Genel

Yapılan bu çalışmada, otomotiv sanayisinde kullanılan yeni nesil çeliklerden olan aynı kalınlıklara sahip iki farklı çelik sacın birbirleri ile birleştirme işlemini otomotiv üretiminde de sıklıkla kullanılan ilave metale ihtiyaç duyulmayan elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi ile yapılmıştır. Yapılan bu kaynaklı birleştirme işleminde sabit elektrot baskı kuvveti, sıkıştırma zamanı ve tutma zamanı sabit tutularak, değişken olarak kaynak süresi ile değişken kaynak akım şiddetleri kullanılmıştır. Kullanılan her parametre için mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile çekme–sıyırma ve çekme-makaslama testleri uygulanmıştır.

## 5.2. Deneysel Çalışma Için Kullanılan Malzemeler

Otomotiv sanayisinde mukavemet ihtiyacı duyulan yerlerdeki gereklilikleri karşılamak amacı ile kullanılan çift fazlı DP800 çeliği ile yüksek dayanıma sahip ve şekillendirilebilme özelliği yüksek olan kaynak yapılabilir özelliği iyi olan Strenx700Cr çelik sacları kullanılmıştır. Kullanılmış olan çelik saclara ait kimyasal bileşimi gösteren tablolar Tablo 7.1. , Tablo 7.2. ’de ve mekanik özelliklerini gösteren tablolar Tablo 7.3. ve Tablo 7.4. ’de aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.1: DP800 sacının kimyasal bileşimi %

| %C | %Si | %Mn | %Al | %Cr | %Ti | %W | %V | %Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.147 | 0.450 | 1.93 | 0.310 | 0.256 | 0.016 | 0.135 | 0.039 | 96.717 |

Tablo 5.2: Strenx 700 CR sacının kimyasal bileşimi %

| %C | %Si | %Mn | %Al | %Ni | %S | %Cr | %Nb | %Cu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.136 | 0.20 | 1.49 | 0.045 | 0.04 | 0.003 | 0.04 | 0.016 | 0.01 |

Tablo 5.3: DP800 sacının mekanik özellikleri

| Malzeme Kalınlığı (mm) | Akma Dayanımı(Mpa) | Kopma Dayanımı(Mpa) | % Uzama |
|---|---|---|---|
| 1.2 | 448 | 785 | 16 |

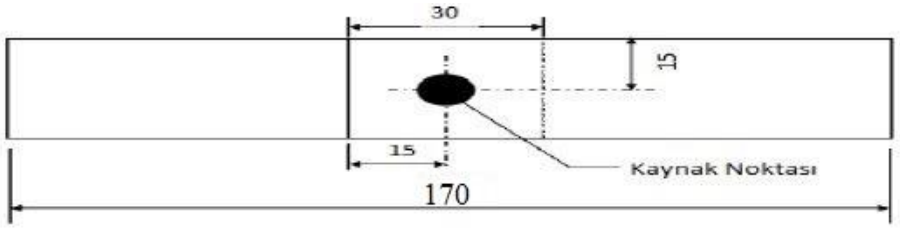
Tablo 5.4: Strenx 700 CR sacının mekanik özelikleri

| Malzeme Kalınlığı (mm) | Akma Dayanımı(Mpa) | Kopma Dayanımı(Mpa) | % Uzama |
|---|---|---|---|
| 1.2 | 774 | 1086 | 10.5 |

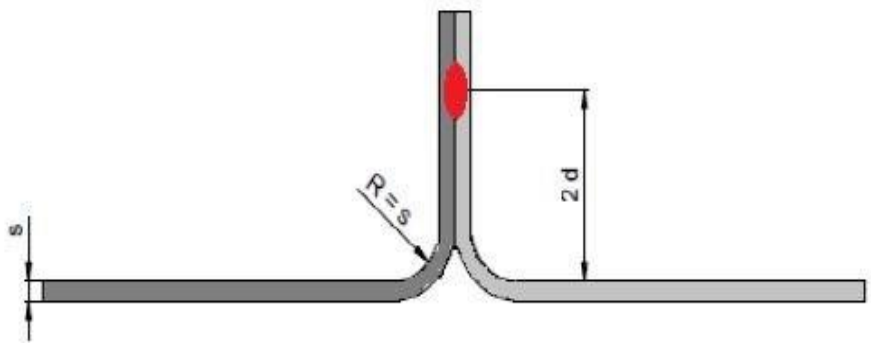
## 5.3. Kullanılan Çeliklerin Deney Hazırlık Süreci

Elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmeler için seçilmiş olan deney sacları giyotin makas ile (100x30) mm boyutlarında kesilerek hazırlandıktan sonra yabancı maddelerden temizlemek için % 99.6 saflıkta olan aseton banyosunda yıkanarak temiz bir bez ile yüzeyleri silinerek malzeme üzerinde bulunan yağ, toz, pas gibi istenmeyen yabancı maddelerden arındırılma işlemi yapılmıştır.

Çekme–makaslama deneyinde kullanılacak olan deney numuneleri EN ISO 14270 standartlarında hazırlanarak Şekil 7.1. ’de boyutları verilmiştir. Çekme-sıyırma deneyinde kullanılacak olan deney numuneleri EN ISO 14273 standartına göre Şekil 7.2.’de verilen boyutlarda deney numuneleri hazırlanmıştır.




Şekil 5.1: Çekme Makaslama Deney Numunesi




Şekil 5.2: Çekme-Sıyırma Deney Numunesi

## 5.4. Birleştirme İçin Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi

Yapılan kaynaklı birleştirmelerin tamamında 120 kVA akım sağlayabilen ve kaynak süresi kontrol edilebilen, pnömatik sisteme sahip olan elektrik direnç nokta kaynak makinası kullanılmıştır. Kullanılan bu makine üzerinde parametre ayarları ayarlanabilmektedir.

Deneyler için kullanılmış olan elektrik direnç nokta kaynak makinası Şekil 7.3. ’de gösterilmektedir.



Şekil 5.3: Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinası

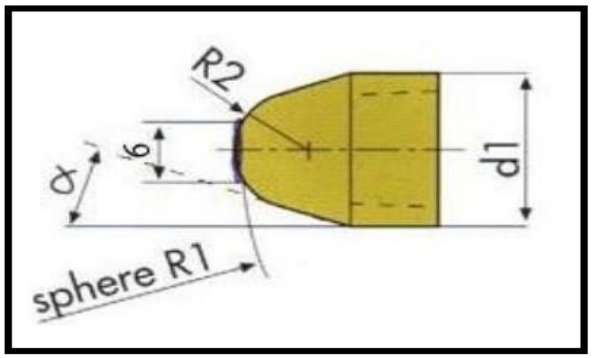
Seri birleştirmeler için kullanılan akım değerleri makinanın alt ile üst çenelerine bağlanan akım değerini ölçme cihazı kullanılarak ölçüm işlemi yapılmıştır. Akım değerlerini ölçmek için kullanılan akım ölçme cihazı Şekil 7.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Akım Ölçme Cihazı

## 5.5. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Elektrotları

Deneylerin tamamında konik uçlu küresel sıkı geçmeli direnç nokta kaynak elektrotları kullanılmıştır. Su soğutmalı olan bu sistemde sıkı geçme olan elektrotlar devamlı olarak soğutulmuştur. Kullanılan elektrotların temas yüzeylerin çapı 6 mm olacak şekilde deney boyunca aynı tip elektrot kullanılmıştır. Kullanılan elektrotlar Cu-Cr-Zr alaşımı olup Şekil 7.5. 'de kullanılan elektrotların şematik gösterimi verilmiştir ve bu elektrota ait kimyasal bileşim ise Tablo 4.5. 'de verilmiştir.



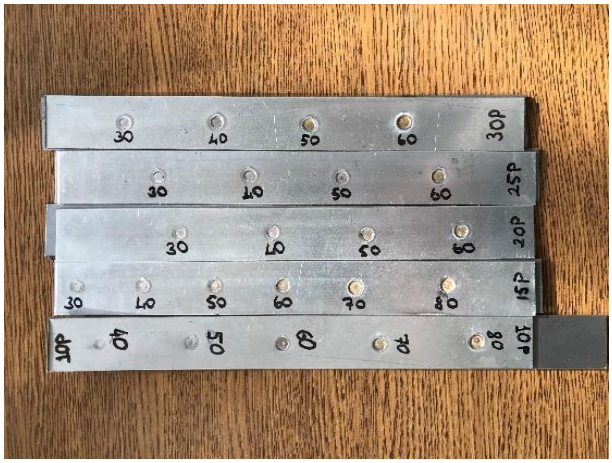

Şekil 5.5: Elektrotların Şematik Gösterimi

Tablo 5.5: Kullanılan elektrotun kimyasal bileşimi ve özellikleri

| Alaşım | Kimyasal Bileşim (%) | Isıl İletkenlik (J/Cms 0K) | Çekme Mukavemeti MPa | Elektrik İletkenliği (m/ Ω mm2) |
|---|---|---|---|---|
| CuCrZr (RWMA/DIN 44759 Sınıf2 | Cr>4<br>Zr>0.03<br>Cu 95.97 | 320 | 590 | 48 |

## 5.6. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Hazırlanmış olan sac çiftlerini uygun bir şekilde tasarlanmış olan bir aparat yardımı ile sacları birbiri üzerine bindirme işlemi yapılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.6. 'da yapılacak olan deneylere ait parametreleri belirlemek amacı ile hazırlanmış olan örnek numuneler gösterilmektedir.



Şekil 5.6: Kaynak Parametrelerini Belirlemek İçin Elde Edilen Numunelere Ait Resim

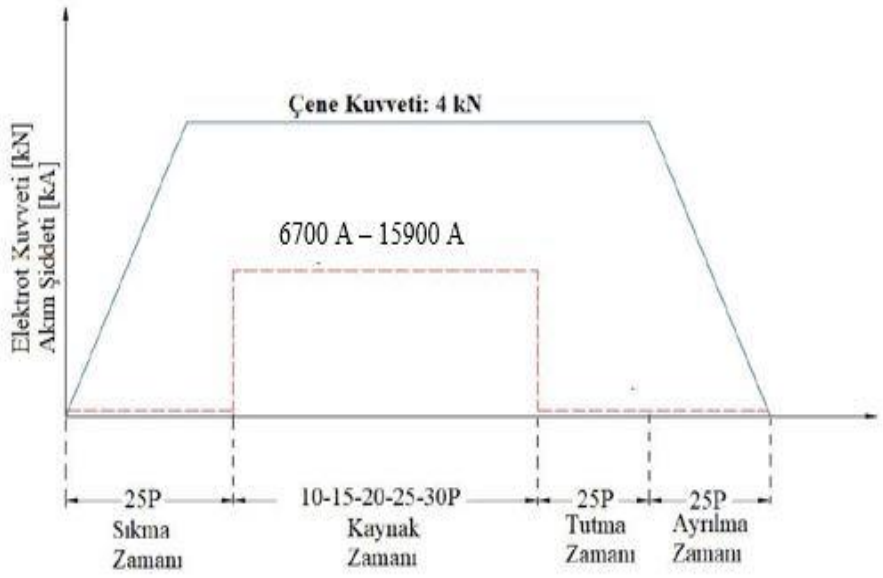
## 5.7. Elde Edilmiş Olan Paremetrelerle Deneylerin Yapılması

Deney numuneleri Şekil 7.1. ile Şekil 7.2'de gösterilen boyutlarda hazırlanan numuneler yüzey temizleme işlemi yapılarak elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirmeleri yapılmıştır. Deney numunelerinin tamamında elektrot çene baskı kuvveti 4 kN olarak belirlenen değerde sabit tutulmuştur ve yapılan kaynaklı birleştirmeler esnasında bu değeri Şekil 7.7. 'de gösterilen elektrot baskı kuvveti ölçüm cihazıyla kontrol işlemi yapılmıştır. Kaynak süreleri yapılan ön deneyler neticesinde 10, 15, 20, 25, ve 30 periyot (1 periyot kaynak süresi = 0,02 sn) olacak şekilde belirlenmiştir ve seçilen kaynak akımı için 6700A-16800A arasında değiştirilerek kaynak yapma işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 5.7: Elektrot Baskı Kuvveti Ölçüm Cihazı

Sıkıştırma zamanı ve tutma zamanı kaynak işlemi yapılırken 25 periyot olacak şekilde sabit tutulmuştur. Kullanılan kaynak parametreleri ise şekil 7.8. ’de Şematik olarak gösterilmiştir. Yapılan kaynaklı birleştirmelerdeki bütün deney numuneleri EN ISO 14373 standartına uygun olarak hazırlanmıştır.




Şekil 5.8: Elektrik Direnç Nokta Kaynak Parametleri

Belirlenen kaynak parametrelerine uygun elde edilen elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmelere ait bazı resimler Şekil 7.9. ve Şekil 7.10. ’da gösterilmiştir.




Şekil 5.9: Çekme-Makaslama Deney Numuneleri




Şekil 5.10: Çekme-Sıyırma Testi Numuneleri

Yapılacak olan deney parametresi için elektrik direnç nokta kaynağıyla bağlantısı yapılan numuneler hazırlanmıştır. Elektrik direnç nokta kaynak yöntemiyle elde edilen deney numulerinden üç tanesi çekme–sıyırma, üç tanesi çekme–makaslama testlerine tabi tutulmuştur.

### 5.8. Çekme – Makaslama ve Çekme – Sıyırma Deneyleri

Yapılacak olan deneyler için Şekil 7.9. ve Şekil 7.10. ’a göre elde edilen numuler ASAS ALUMINYUM Laboratuvarında bulunan Şekil 7.11. ’de gösterilen 25 ton çekme kapasiteli çekme deney cihazında çekme testi yapılmıştır. Yapılan çekme testleri sırasında çekme hızı 10 mm/dk olacak şekilde ayarlanmıştır.

Yapılan çekme-sıyırma ve çekme- makaslama deneyleri neticesinde iki tip hasar çeşidi gözlemlenmiştir. Bunlar;

- Yırtılma
- Düğmelenme

Şeklinde gerçekleşmiştir. Deneyler sonucunda oluşan hasar çeşitleri tablo 7.6. ’da gösterilerek ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.




Şekil 5.11: Deneylerde kullanılan Çekme Cihazı

Tablo 5.6. Yapılan deneyler sonucunda oluşan hasar çeşitleri

| | |
|---|---|
| Çekme–sıyırma testi neticesinde gözlemlenen hasar modları | |
| A- Yırtılma |   |
| B- Düğmelenme |   |
| Çekme–makaslama testi neticesinde gözlemlenen hasar modları | |
| A- Yırtılma |   |
| B- Düğmelenme |   |

# BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

## 6.1. Genel

Yapmış olduğumuz bu çalışmada otomotiv sanayisinde pek çok kullanım alanına sahip 1.2 mm kalınlığındaki Strenx 700 CR çeliği ile 1.2 mm kalınlığa sahip DP800 çelik sacları birbirleri arasında eşleştrilerek elektirik direnç nokta kaynağı ile kaynaklanmıştır. Değişken parametreler olarak kaynak zamanını ve kaynak akım şiddeti seçilerek bunlara bağlı olarak değişen parametrelerde oluşan çekirdek geometrisinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Yapılan tüm deneyler laboratuvar koşulunda gerçekleştirilmiştir.

## 6.2. Strenx 700 CR ve DP800 Çelik Saclarının Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Parametlerinin Çekme-Sıyırma ile Çekme–Makaslama Dayanımına Etkisi

Farklı parametler olarak seçilmiş olan kaynak akım şiddeti ile kaynak zamanını, yapmış olduğumuz yüksek lisans çalışmasında kaynaklı birleştirmeler üzerindeki çekme dayanımının etkisini incelemek amacı ile hazırlanan deney numuneleri EN ISO 14270 standartına uygun olacak şekilde çekme–makaslama ve EN ISO 14273 standartına uygun şekilde çekme-sıyırma testleri yapılmıştır. Her kaynak parametresi için üç adet kaynaklı bağlantı hazırlanmış ve yapılan üç testin ortalaması alınarak kaynaklı bağlantının çekme–sıyırma ve çekme-makaslama deneylerinde çekebileceği en yüksek kuvvet değerleri elde edilmiştir.

Kaynaklı birleştirmelerin tamamında çekme–sıyırma ve çekme–makaslama kuvvetlerini belirlemek için 10,15,20,25 ve 30 periyot kaynak zamanında 6700 A, 7600 A, 8600 A, 10300 A, 13000 A, 14700 A ve 15900 A kaynak akım şiddetlerinde elde edilen kaynaklı birleştirmeler ve bu kaynaklı bağlantılar için parametreler ile adetleri tablo 8.1 de verilmiştir.

Tablo 6.1: Kaynaklı bağlantılar için hazırlanan numune sayıları

| Çekme Maksalama ve Çekme Sıyırma Deney Numuneleri için Hazırlanan Toplam Numune Sayıları | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Akım Şiddeti | Kaynak Süresi (Cycles) | | | | |
| | 10 periyot | 15 periyot | 20 periyot | 25 periyot | 30 periyot |
| 6700 | X | X | X | 3 Adet | 3 Adet |
| 7600 | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet |
| 8600 | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet |
| 10300 | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet |
| 13000 | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet |
| 14700 | 3 Adet | 3 Adet | 3 Adet | X | X |
| 15900 | 3 Adet | 3 Adet | X | X | X |
| Toplam Numune | 18 Adet | 18 Adet | 15 Adet | 15 Adet | 15 Adet |

### 6.2.1. Kaynak akım şiddetinin çekme makaslama dayanımına etkisi

Şekil 8.1. ’de DP 800 – Strenx 700 CR saclarından yapılan kaynaklı birleştirmelerin kaynak akım şiddetinin etkisiyle meydana gelen kuvvet değerleri verilmiştir. En Yüksek çekme makaslama dayanımı 13000 A kaynak akım şiddetinde 15 Periyot kaynak zamanında ve 16500 N olarak çekme-makaslama kuvveti değeri elde edilmiştir.

6,7 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 30 periyot kaynak zamanında 14500 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

7,6 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 25 periyot kaynak zamanında 15600 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

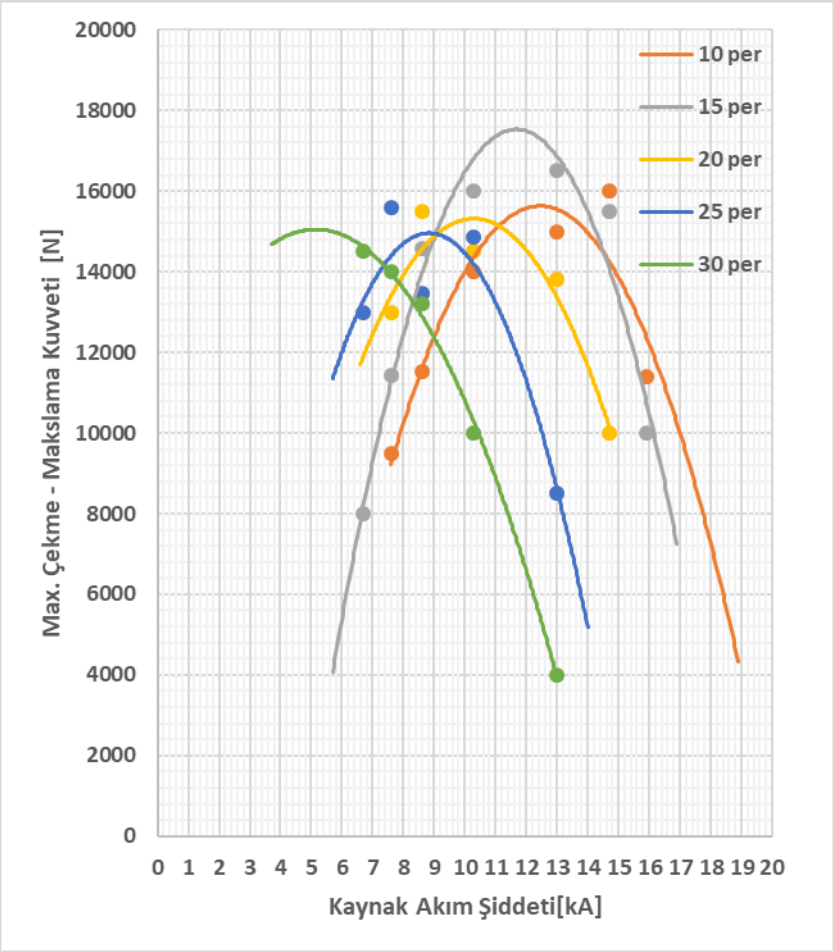
8,6 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 20 periyot kaynak zamanında 15500 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

10,3 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 15 periyot kaynak zamanında 16000 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

13 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 15 periyot kaynak zamanında 16500 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

14,7 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 10 periyot kaynak zamanında 16000 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

15,9 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 10 periyot kaynak zamanında 11400 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

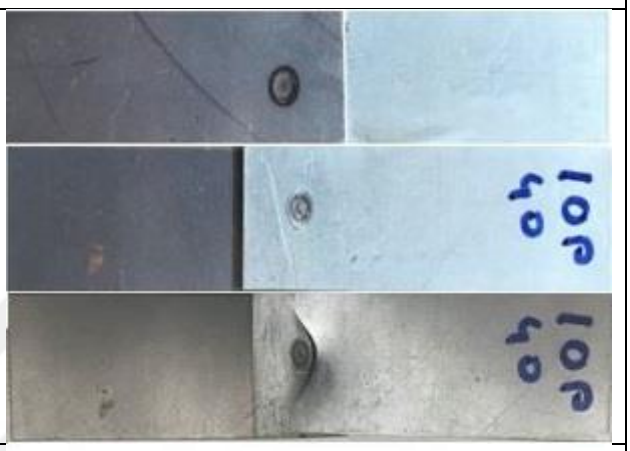



Şekil 6.1: DP800–Strenx 700 CR Çeliklerinin Kaynaklı Bağlantılarının Kaynak Akım Şiddetinin Çekme Makaslama Kuvvetine Etkisi

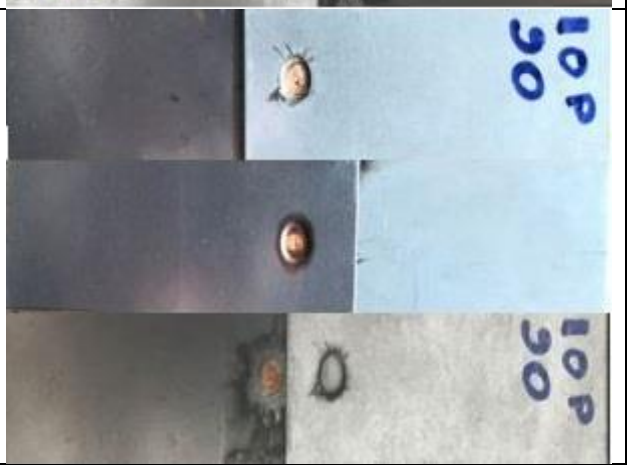
Bu değerler elde edildikten sonra deney numuneleri üzerinde yapılan inceleme sonucunda ısı girdisinin yükselmesinin uzun kaynak periyotlarında dalma derinliğinin Strenx 700 CR çeliğine kadar ulaşmış olduğu görülmüş ve bu sebepten dolayı da sac yüzeyinde fışkırmaların çoğaldığı gözlemlenmiştir ve bunun sonucunda çekme-makaslama kuvvetinde düşüş meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte artan ergime miktarının etkisiyle kesitte daralmalar gözlenmiş olup, elektrotun malzeme ile temas

yüzeyinde kalması ve buna ilave olarak delmesiyle yüzeyde değişik renklerinde oluşmasına neden olmuş ve bu bağlantıların resmi Tablo 8.2.'de gösterilmiştir.

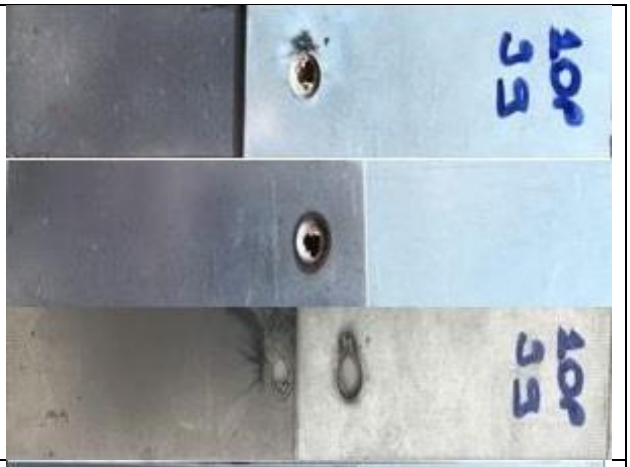
Tablo 6.2: Strenx 700 CR – DP800 Kaynaklı Birleştirmelerinde Çekme-Makaslama Numulerinde Gözlemlenen durumlar

| Kaynak Zamanı | Kaynak Akımı (A) | Gözlemlenen Durum | Kaynaklı numune |
|---|---|---|---|
| 10 P | 7600 | -Yüzeyde bozunma görülmemiştir. |  |
| 10 P | 8600 | -Yüzeyde bozunmaya rastlanmamıştır. |  |
| 10 P | 10300 | -Renk farklılaşması<br>-Fışkırma başlangıcı |  |

Tablo 6.2: (Devamı)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 10 P | 13000 | -Renk farklılaşması<br>-Fışkırma artışı |  |
| 10 P | 14700 | -Yapışma başlangıcı<br>-Fışkırma artışı yüksek<br>-Renk değişimi yüksek |  |
| 10 P | 15900 | -Yapışma çok fazla<br>-Renk farklılaşması çok yüksek<br>-Elektrotların dalma derinliğinde artış |  |

Tablo 6.2: (Devamı)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 10 P | 16800 | -Elektrot dalma derinliği çok fazla<br>-Yüzeyde delinme |  |
| 15 P | 7600 | -Yüzeyde bozunmalar mevcut<br>-Fışkırma başlangıcı |  |
| 15 P | 8600 | -Fışkırma artışı |  |

Tablo 6.2: (Devamı)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 15 P | 10300 | -Fışkırma artışı<br>-Renk değişimi |  |
| 15 P | 13000 | -Fışkırma çok fazla<br>-Elektrotların yüzeye dalma derinliğinde artış<br>-Renk farklılaşması |  |
| 15 P | 14700 | -Renk farklılaşması fazla<br>-Elektrot dalma derinliği artışı<br>-Fışkırma artışı fazla |  |

Tablo 6.2: (Devamı)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 15 P | 15900 | -Elektrot dalma derinliği fazla ve -Elektrot yapışması mevcut<br>-Fışkırma yüksek<br>-Renk farklılaşması yüksek |  |
| 20 P | 7600 | -Fışkırma Başlangıcı |  |
| 20 P | 8600 | -Fışkırma yüksek<br>-Renk değişimi |  |

Tablo 6.2: (Devamı)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 20 P | 10300 | -Renk değişimi<br>-Fışkırma artışı<br>-Elektrot dalma derinliği |  |
| 20 P | 13000 | -Fışkırma çok fazla<br>-Renk farklılaşması<br>-Elektrotların yüzey dalma derinliğinde artış<br>-Yapışma başlangıcı |  |
| 20 P | 14700 | -Fışkırma çok yüksek<br>-Renk değişimi artışı<br>-Çok derin elektrot izi<br>-Elektrot yapışması var ve elektrot kalıntısı |  |

Tablo 6.2: (Devamı)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 25 P | 6700 | -Fışkırma başlangıcı |  |
| 25P | 7600 | -Fışkırma başlangıcı<br>-Renk değişimi |  |
| 25P | 8600 | -Fışkırma artışı<br>-Renk değişimi fazla |  |

Tablo 6.2: (Devamı)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 25P | 10300 | -Fışkırma Yüksek<br>-Renk değişiminde artış yüksek<br>-Elektrotların yüzeye dalma derinliğinde artış<br>-Elektrot yapışması |  |
| 25P | 13000 | -Fışkırma çok fazla<br>-Elektrot dalma derinliğinde artış çok fazla<br>-Elektrot yapışması ve temas yüzeyinde elektrot kalıntısı |  |
| 30P | 6700 | -Fışkırma Başlangıcı |  |

Tablo 6.2: (Devamı)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 30P | 7600 | -Fışkırma başlangıcı<br>-Renk değişimi |  |
| 30P | 8600 | -Fışkırmalar yüksek<br>-Renk farklılaşması çok yüksek<br>-Elektrotun dalma derinliğinde artış |  |
| 30 P | 10300 | - Fışkırma çok fazla<br>- Elektrot dalma izi çok derin<br>- Renk değişimi artışı çok yüksek<br>- Temas yüzeyinde elektrot kalıntısı |  |

### 6.2.2. Kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi

Strenx 700 CR ve DP800 kaynaklı birleştirmesinde Şekil 8.2.'de gözükmekte olduğu gibi kaynak sürelerinin artışıyla bağlantıların çekme-makaslama kuvvetinde yükselme görülmektedir. Fakat buna ek olarak ısı girdisinin artması ile birlikte uzun süren kaynak sürelerinde bir noktaya kadar çekme kuvvetinin dalma derinliğinin artması ile birlikte

azalmaya geçtiği görülmektedir. Bununla birlikte artan kaynak süreleriyle kabul edilebilir kaynak aralığının azaldığı görülmektedir. Yapılan kaynaklı birleştirmelerde en yüksek kuvvet değerleri ile kabul edilebilir aralıklar sırasıyla şöyledir;

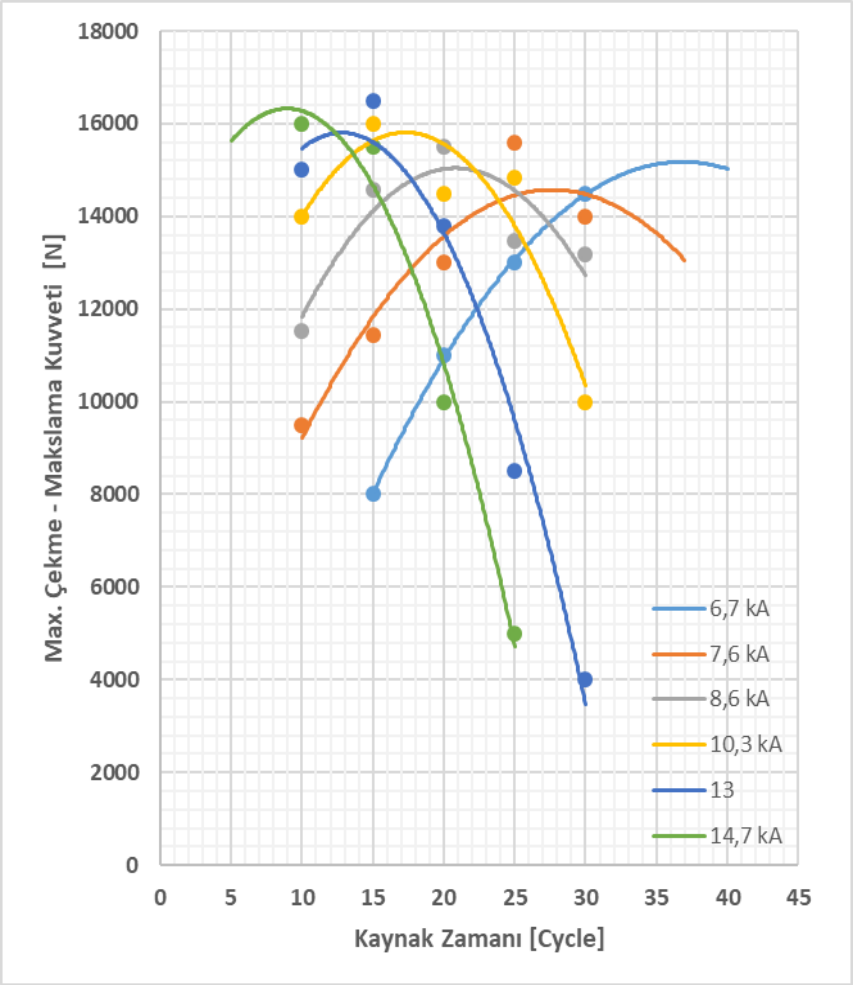
10 periyot kaynak zamanında yapılmış olan deneyde maksimum çekme–makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 14700 A kaynak akım şiddetinde 16000 N olmuştur ayrıca kaynaklı bağlantıların dayanım olarak kabul edilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 8600-14700 A dir.

15 periyot kaynak zamanında yapılmış olan deneyde maksimum çekme – makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 13000 A kaynak akım şiddetinde 16500 N olmuştur ayrıca kaynaklı bağlantıların dayanım olarak kullanılabilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 8600- 14700 A dir.

20 periyot kaynak zamanında yapılmış olan deneyde maksimum çekme – makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 8600 A kaynak akım şiddetinde 15500 N olmuştur ayrıca kaynaklı bağlantıların dayanım olarak kullanılabilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 7600- 13000 A dir.

25 periyot kaynak zamanında yapılmış olan deneyde maksimum çekme – makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 7600 A kaynak akım şiddetinde 15500 N olmuştur ayrıca kaynaklı bağlantıların dayanım olarak kullanılabilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 6700- 10300 A dir.

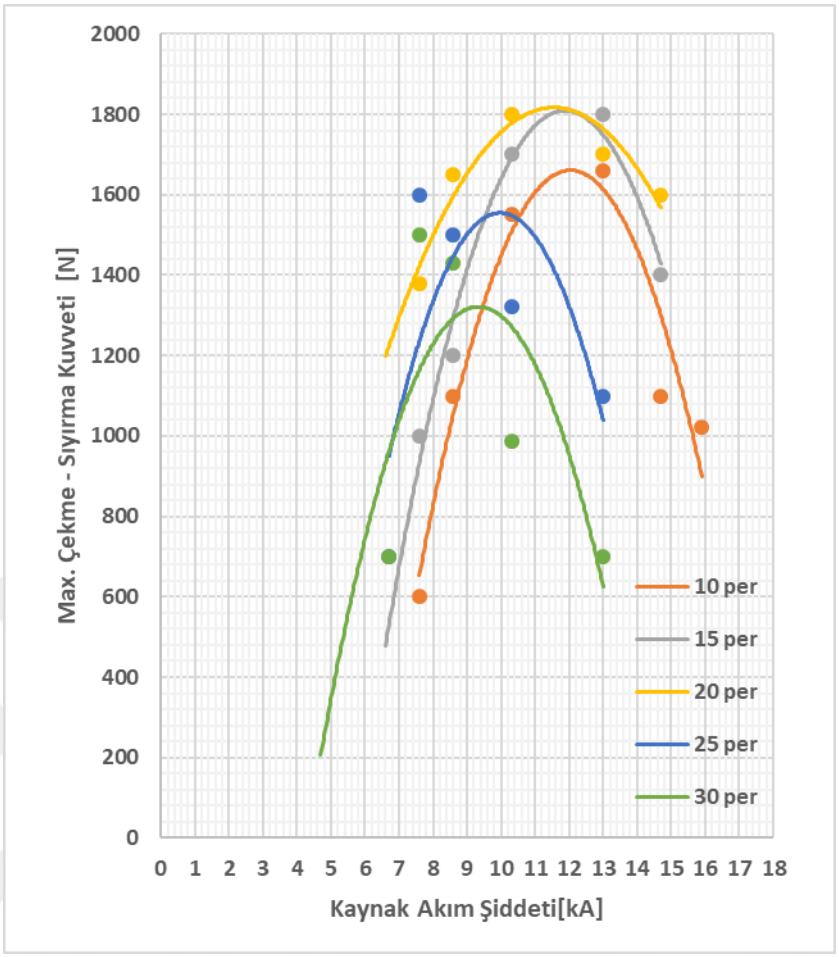
30 periyot kaynak zamanında yapılmış olan deneyde maksimum çekme – makaslama kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 6700 A kaynak akım şiddetinde 14500 N olmuştur ayrıca kaynaklı bağlantıların dayanım olarak kullanılabilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 6700- 10300 A dir.




Şekil 6.2: DP800 – Strenx 700 CR Kaynaklı Birleştirmesinin Kaynak Zamanın Çekme Makaslama Kuvvetine Etkisi

### 6.2.3. Kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Kaynak akım şiddetinin artmasıyla çekme-sıyırma kuvvetindeki artış Şekil 8.3.'de gözlemlenmektedir. Ancak yükselen akım şiddeti ve artan ısı girdisi ile birlikte, yüksek miktarda oluşan fışkırmalar ve elektrotların yüzeye dalma derinliği artan numuneler ile aynı şekilde düşük akım şiddetinde birleştirme işlemi gerçekleşen numuneler gibi düşük çekme-sıyırma kuvveti göstermektedir. Yapılan kaynaklı birleştirmelerde en yüksek kuvvet değerleri ile kabul edilebilir aralıklar sırasıyla şöyledir;




Şekil 6.3: DP800 – Strenx 700 CR kaynaklı Bağlantıların Kaynak akım Şiddetinin çekme-sıyırma kuvvetine etkisi

6,7 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-sıyırma deneyinde ulaşılan maksimumum çekme sıyırma kuvveti değerinin 25,30 periyot kaynak zamanında 700 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

7,6 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 25 periyot kaynak zamanında 1600 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

8,6 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 20 periyot kaynak zamanında 1650 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

10,3 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 20 periyot kaynak zamanında 1800 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

13 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 15 periyot kaynak zamanında 1800 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

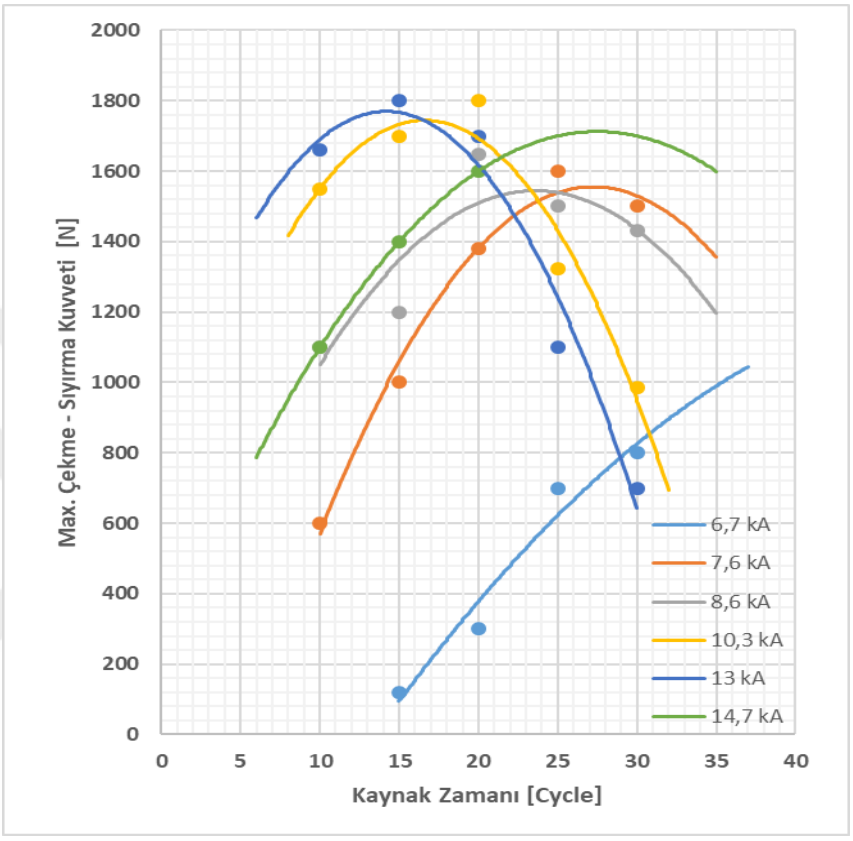
14,7 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 20 periyot kaynak zamanında 1600 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

15,9 kA kaynak akım şiddetinde yapılan kaynaklı bağlantılar için uygulanan çekme-makaslama deneyinde ulaşılan maksimumum çekme makaslama kuvveti değerinin 10 periyot kaynak zamanında 1020 N olarak elde edildiği gözlenmiştir.

### 6.2.4. Kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Kaynak zamanındaki yükselme ile çekme - sıyırma kuvvetinin etkisi Şekil 8.4.'de görülmektedir. Verilen grafikte en yüksek çekme-sıyırma kuvveti etkisi 15 periyot kaynak zamanında 13 kA akım şiddetinde ve 20 periyot kaynak zamanında 10,3 kA akım şiddetinde 1800 N olmuştur. Artan kaynak sürelerinde yükselen ısı girdisininde etkisiyle ve elektrot dalma derinliğinindeki artış ile birlikte fışkırmalarında artmasıyla iyi bir kaynaklı birleştirme ortaya çıkarmamıştır. Kaynak zamanındaki bu ısı girdisinin artışının çekme-sıyırma dayanımında da düşüş meydana getirmiştir. Yapılan kaynaklı birleştirmelerde en yüksek kuvvet değerleri ile kabul edilebilir aralıklar sırasıyla şöyledir; 10 periyot kaynak zamanında yapılmış olan deneyde maksimum çekme–sıyırma kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 13000 A kaynak akım şiddetinde 1650 N olmuştur ayrıca kaynaklı bağlantıların dayanım olarak kabul edilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 8600-14700 A dir. 15 periyot kaynak zamanında yapılmış olan deneyde maksimum çekme – sıyırma kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 13000 A kaynak akım şiddetinde 1800 N olmuştur ayrıca kaynaklı bağlantıların dayanım olarak kullanılabilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 8600-14700 A dir. 20 periyot kaynak zamanında yapılmış olan deneyde maksimum çekme – sıyırma kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 10300 A kaynak akım şiddetinde 1800 N olmuştur ayrıca kaynaklı bağlantıların dayanım olarak kullanılabilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 7600-13000 A dir. 25 periyot kaynak zamanında yapılmış olan deneyde maksimum çekme – sıyırma kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 7600 A kaynak akım şiddetinde 1600 N olmuştur ayrıca kaynaklı bağlantıların dayanım olarak

kullanılabilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 6700- 10300 A dir. 30 periyot kaynak zamanında yapılmış olan deneyde maksimum çekme – sıyırma kuvvetine sahip kaynaklı birleşim 7600 A kaynak akım şiddetinde 1500 N olmuştur ayrıca kaynaklı bağlantıların dayanım olarak kullanılabilir kaynak akım şiddeti aralığı ise 6700- 10300 A dir.




Şekil 6.4: DP800 – Strenx 700 CR kaynaklı birleştirmesinin Kaynak Zamının çekme- sıyırma kuvvetine etkisi

# BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

## 7.1. Sonuçların değerlendirilmesi

Bu çalışmamada, otomotiv sanayisinde kullanılmakta olan DP800 ve Strenx 700 CR çeliklerini elektrik direnç nokta kaynağı yöntemiyle bağlantısı yapılmış ve bu bağlantılarda elektrot baskı kuvveti, tutma zamanı ile sıkıştırma süreleri sabit bırakılıp kaynak akım şiddeti ve kaynak süresi değiştirilmiştir. Yapılan ön deneylerde çelik saclarda kaynak çekirdeğini oluşturan değerden çelik sacları delen kaynak akım ve kaynak zamanı değerlerine kadar tüm değerler denenmiş ve uygun parametlerde kaynak etkisinin incelemeleri yapılmıştır. Ön testlerin sonucunda 10-15-20-25-30 periyot için 6700 A, 7600 A, 8600 A, 10300 A, 13000 A, 14700 A ve 15900 A için sıralı kaynak yapılmıştır. Yapılan bu kaynaklı birleştrimeler çekme makaslama ve çekme sıyırma testlerine tabi tutularak etkisi incelenmiştir.

Bu testler neticesinde elde edilen veriler sırasıyla aşağıda maddeler olarak verilmiştir.

- DP800 – Strenx 700 CR bağlantılarında maksimum çekme-makaslama kuvveti 15 Periyot kaynak zamanı ve 13000 A kaynak akım şiddeti değerinde 16500 N olarak elde edilmiştir.
- DP800 – Strenx 700 CR birleştirmelerinde en yüksek çekme-sıyırma kuvveti ise 15 ve 20 Periyot kaynak sürelerinde 10300 A, 13000 A kaynak akım şiddetlerinde 1800 N olarak elde edilmiştir. Elde edilen 1800 N sonucunun en yüksek çekme makaslama kuvveti olan 16500 N'un çok aşağısında bir değer olduğu gölemlenmektedir. Bu tür bağlantılar yapılırken dayanım hesabında kaçırılmaması gereken önemli bir faktör olduğunu göstermek gerekmektedir.
- DP800 – Strenx 700 CR çelik saclarının düşük kaynak süresi ve akım şiddetlerinde yapılan kaynaklı bağlantılarında kaynak bölgesinde çekirdeğe iletilen ısı miktarı düşük olduğundan ötürü kaynak çekirdek geometrisinde yani boyutunda düşüş ortaya çıkmıştır. Bu birleştirmelerden elde edilen deneyler

neticesinde çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvvetlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. yapılan bu düşük akım ve kaynak zamanındaki birleştirmelerde çekme makaslama ve çekme sıyırma testlerinde ayrılma tipi kopmalar meydana gelmiştir.

- Kaynak akım şiddetini ve kaynak zamanın artması sonucunda çekirdek boyutlarındaki artışın ekisi gözlemlenmiştir. kaynaklı birleştirmedeki bu çekirdek boyutunundaki artışın etkisi çekme makaslama ile çekme sıyırma kuvvetine etkisini de artırdığı gözlemlenmiştir. Yüksek kuvvet kaynak noktasında daha yüksek ergimenin neticesi olarak çekme-makaslama ile çekme-sıyırma deneylerinde ayrılma şeklinin de düğmelenme ve sonrasında yırtılma tipi kopma oluşturulmuştur.
- Kaynak akım şiddetinin dahada yükselmesi ısı girdisini yükseltmiş ve kaynak noktasında ergime miktarının arttırdığı gözlemlenmiştir. ergiyen metalin elektrotların baskı kuvvetinin etkisi ile deney numunelerinin iki yüzeyinde elektrot dalma derinliğindeki artışa sebep olmuştur. Bu artışın neticesinde renk farklılaşmaları, elektrotun deney malzemesi yüzeyine yapışması, fışkırmalar ve daha sonrasında malzemenin yüzeyinde delinmeler ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte kaynak çekirdeğinin kesitindeki daralma neticesinde çekme-makaslama ile çekme-sıyırma kuvvetinde hızla düşüşe neden olmuştur.

## 7.2. Öneriler

- Ana metaller farklı kalınlıkta kullanılarak elektrot baskı kuvveti kullanılan malzemenin kalınlığına göre değiştirilebilir.
- Yapılan kaynaklı birleştirmelerde burulma mukavemetinin etkisi incelenebilir.
- Kaynaklı birleştirmelerde çentik darbe testi ile çentiğin etkisi incelenebilir.
- Kaynaklı birleştirmelerde yorulma testi çalışalabilir.

# KAYNAKLAR


[1] A. Sedat, R. Ertan, ve H. G. Özgül, "Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilen yüksek mukavemetli çeliklerin mekanik özelliklerinin incelenmesi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 24, no. 1, pp. 63–68.

[2] S. Kılıç, F. Öztürk, ve S. Toros, "DP 800 çeliğinin Mekanik Özelliklerinin ve Geri Esneme Davranışının İncelenmesi," *Makina Tasarım ve İmalat Derg.*, vol. 11, no. 1, pp. 40–45, 2009.

[3] R. Ertan, A. Sedat, ve H. G. Özgül, "Direnç Nokta Kaynağı ile Birleştirilen Yeni Nesil Çeliklerde Kaynak Akımının Mekanik Özelliklere Etkisi," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 19, no. 2, pp. 461–469, 2019.

[4] F. Öztürk, S. Toros, E. Esener, ve E. Uysal, "Otomotiv Endüstrisinde Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımının İncelenmesi," *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, vol. 11, pp. 8–9, 2009.

[5] F. Hayat, "Trip çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımının incelenmesi," *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt25*, no. 4, pp. 701–712, 2010.

[6] S. Kılıç ve F. Öztürk, "Ticari TWIP900 ve DP600 yüksek mukavemetli çeliklerin otomotiv endüstrisindeki performanslarının karşılaştırılması," *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, vol. 31, no. 3, pp. 567–578, 2016.

[7] E. Doruk, M. Pakdil, G. Çam, İ. Durgun, ve U. C. Kumru, "Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Tofaş Uygulamaları," *Kaynak Kongresi Ix. Ulus. Kongre Ve Sergisi Bildir. Kitabı*, 2015.

[8] "Url -1" https://www.kuka.com/tr-tr/ürünler-hizmetler/süreç-teknolojileri/punta-kaynak (accessed May 08, 2021).

[9] N. Akkaş, "Raylı Sistem Araçlarında Kullanılan Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çelik Saçların Birleştirilme Kabiliyetinin İncelenmesi," Ph. D. Thesis, 2014.

[10] V. Onar, Ö. Fatih, K. Melih, A.Yusuf, Ö. Yüksel, A. Hacı ve A. Salim , "Effect of current and welding time on tensile-peel strength of resistance spot welded TWIP 1000 and martensitic steels," *İndian journel Chem. Technol.*, vol. 26, pp. 248–251, 2019.

[11] S. J. Dong, G. P. Kelkar, and Y. Zhou, "Electrode sticking during micro-resistance welding of thin metal sheets," *IEEE Trans. Electron. Packag. Manuf.*, vol. 25, no. 4, pp. 355–361, 2002.

[12] Y. Aslanlar, U. Özsaraç, M. Kekik, Z. Barlas, H. Aslan, ve S. Aslanlar, "The Effect of Welding Parameters on Tensile-Shear Force of Resistance Spot Welded Dissimilar Dual-Phase Steels," 2018.

[13] X. Sun, E. V Stephens, and M. A. Khaleel, "Effects of fusion zone size and failure mode on peak load and energy absorption of advanced high strength steel spot welds under lap shear loading conditions," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 15, no. 4, pp. 356–367, 2008.

[14] E. Ferik, "Twıp-Dp Yeni Nesil Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Hasar Modunun Belirlenmesi," Ph. D. Thesis, 2019.

[15] M. Kekik, "1200M-DP800HF saclarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde hasar modunun tespiti," Ms.C. Thesis, 2018, 2018.

[16] B. Aydemir, E. Aydemir, ve E. Kaluç, "DP1000 Çelik Sacların Uzaktan Lazer (RLW) ve Direnç Nokta Kaynaklı (RSW) Birleştirmelerinin Çekme ve Yorulma Özeliklerinin İncelenmesi," *Mühendis ve Makina*, vol. 58, no. 687, pp. 17–28, 2017.

[17] M. J. Karagoulis, "Control of materials processing variables in production resistance spot welding." Michigan State University, 1991.

[18] R. Ertan ve Ö. Mutlusu, "Nokta direnç kaynak yöntemi ile alüminyum ve titanyum alaşımı sacların IF çelik saclarla kaynak kabiliyetinin araştırılması," *Politek. Derg.*, vol. 23, no. 4, pp. 1003–1013, 2020.

[19] F. Özen, "Martenzitik Yapılı Çelikler İle Twıp Yapılı Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağı İle Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi," Ph. D. Thesis, 2020.

[20] S. Anık, A. Oğur, and S. Aslanlar, "Galvaniz Kaplanmış Kromatlı Mikro Alaşımlı Çelik Saçların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Akım Şiddetinin Çekme-Makaslama Dayanımına Etkisi," *Kaynak Teknol. II. Ulus. Kongresi*, pp. 117–124, 1999.

[21] V. Onar, "Trip çelikler ile mikroalaşımlı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında birleştirilebilirliğinin incelenmesi," Ph. D. Thesis, 2017.

[22] C. T. Sezgin, "Otomotiv Endüstrisinde Yeni Nesil Çelik Kullanımının Önemi," *Akad. Mühendislik ve Fen Bilim. Derg.*, vol. 1, no. 3, pp. 205–210, 2017.

[23] E. Billur, B. Cetin, and M. Gurleyik, "New generation advanced high strength steels: developments, trends and constraints," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 50–62, 2016.

[24] Y. BİLİR, "Çift Fazlı Çeliklerde Mikroyapının Mekanik Özelliklere Etkisi," pp. 942–947, 2016.

[25] O. Keleştemur, “Betonarme Yapılarda Dual-Faz Çeliğinin Kullanılabilirliğinin ve Korozyon Direncinin Araştırılması.” Ph. D. Thesis, 2008.

[26] “Url -2.” https://www.asinmazcelik.com/strenx.html (accessed Apr. 08, 2021).

[27] “Url -3.” https://www.ssab.com.tr/products/brands/docol/products/docol-1000dp (accessed Apr. 08, 2021).

[28] “Url-4.” https://www.ssab.com.tr/products/brands/strenx/products/strenx-700?dcFilter=&dcSearch= (accessed Apr. 08, 2021).

[29] M. Hamedi and H. Pashazadeh, “Numerical study of nugget formation in resistance spot welding,” *Int. J. Mech.*, vol. 2, no. 1, pp. 11–15, 2008.

[30] A. Lui, “Development of an Ultrasonic Linear Phased Array System for Real-time Quality Monitoring of Resistance Spot Welds,” 2012.