

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

**SOĞUK SAC ŞEKİLLENDİRME KALIBINDA PROJEKSİYON
KAYNAK SİSTEMİ TASARIMI VE KAYNAK
PARAMETRELERİNİN DENEYSEL VE TEORİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bircan ALBAK

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sinan Serdar ÖZKAN

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SOĞUK SAC ŞEKİLLENDİRME KALIBINDA PROJEKSİYON
KAYNAK SİSTEMİ TASARIMI VE KAYNAK
PARAMETRELERİNİN DENEYSEL VE TEORİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bircan ALBAK

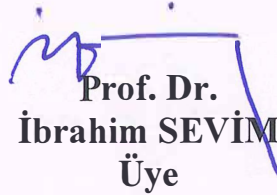
Enstitü Anabilim Dalı

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

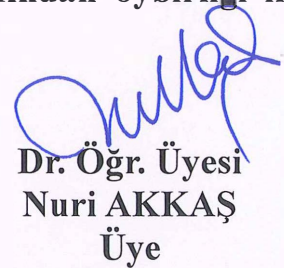
Bu tez 10/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Sinan Serdar ÖZKAN
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
İbrahim SEVİM
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Nuri AKKAŞ
Üye

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.

Bircan ALBAK
10/05/2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli hocalarımdan danışman hocam Prof. Dr. Sinan Serdar ÖZKAN ve Dr. Öğr. Üyesi Nuri AKKAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca imkanlarını kullandığım Toksan Otomotiv'e ve çalışmamın birçok safhasında bana destek olan değerli çalışma arkadaşım Engin Başer'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışma Toksan A.Ő tarafından yürütölen 'Prograsif Kalıpta Esnek ve Kararlı Bir Kaynak Sisteminin Geliştirilmesi' isimli 3170674 kodlu TÜBİTAK-TEYDEB projesinin bir bölümünü oluşturmaktadır. Çalışmaya destek veren TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER	4
2.1. Soğuk Sac Şekillendirme Kalıpları	4
2.2. Somun Besleme Üniteleri	6
2.3. Soğuk Sac Şekillendirme Presleri	7
2.4. Projeksiyon (Kabartılı Nokta) Kaynağı	9
2.4.1. Projeksiyon kaynağının esasları	10
2.4.2. Projeksiyon kaynağında ısı oluşumu	11
2.4.3. Projeksiyon kaynağı parametreleri	14
2.4.3.1. Kaynak akım şiddeti	15
2.4.3.2. Kaynak zamanı	18
2.4.3.3. Tutma zamanı	20
2.4.3.4. Elektrot kuvveti, malzemesi ve boyutu	21
2.4.3.5. Kabartı, Kabartı geometrisi ve sayısı	24

2.4.4. Projeksiyon kaynağında bağlantı kalitesini belirleyen özellikler	27
2.4.4.1. Çekirdek boyutları	27
2.4.4.2. İç süreksizlikler	30
2.4.4.3. Fıskırma	30
2.4.4.4. Yüzey durumu.....	32
2.4.4.5. Kaynak dayanımı	34

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	37
3.1. Materyal	37
3.2. Yöntem	38
3.2.1. Kullanılan araç-gereçler	38
3.3. Tasarım ve Deneysel Çalışmalar	38
3.3.1. Kalıp tasarımı	38
3.3.1.1. Bant genişliği	39
3.3.1.2. Bant yüksekliği	40
3.3.1.3. Bant hatvesi	41
3.3.1.4. Pres tonajı	41
3.3.2. Projeksiyon kaynağı elektrotlarının tasarımı	43
3.3.3. Ön deneylerin gerçekleştirilmesi	44
3.3.4. Kaynak dayanımının koparma testleri ile tayini	45
3.3.5. Kaynak parametrelerinin belirlenmesi ve kaynak prosesi	47
3.3.6. Analiz çalışmaları	48

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	51
4.1. Kalıp Ölçülerinin Belirlenmesi	51
4.2. Somun Aktarma Ekipmanı Tasarımı	52
4.3. Kaynak Parametrelerinin Bağlantıların Dayanımına Etkisi.....	56
4.3.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantıların dayanımına etkisi	61
4.3.2. Kaynak süresinin bağlantıların dayanımına etkisi	65
4.3.3. Tutma süresinin bağlantıların dayanımına etkisi	68

4.4. Kaynak Koparma Testi Sonuçları	71
4.5. Kaynak Bölgesi Mikroyapı Görselleri	74
4.6. Analiz Bulguları	85
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR	93
EKLER	96
ÖZGEÇMİŞ	114



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Kenar mesafesi (mm)
B	: Bindirme miktarı (mm)
B ₁	: Ürünün genişliği (mm)
B	: Bant genişliği (mm)
C ₁	: Malzeme özgül ısısı (J/g K)
C ₂	: Malzemenin özgül ergime ısısı ve parça içine dağılan ısı (cal/g)
D	: Delik trim ölçüsü ölçüsü (mm)
d ₁	: Çekirdek genişliği (mm)
D	: Kabartı kalıbı iç boşluk çapı (mm)
D ₁	: İstampa uç çapı (mm)
e ₁	: Kabartı aralığı (mm)
e ₂	: Sıra aralığı (mm)
F	: Elektrot kuvveti (N)
G	: Kaynak çekirdeğinin kütlesi (g)
H	: Kabartı yüksekliği (mm)
HV	: Vickers sertlik birimi
I _k	: Kaynak akımı (kA)
ITAB	: Isı tesiri altında kalan bölge
J	: Pres tonajı (ton)
K	: Kenar payı (mm)
KB	: Kaynak bölgesi
L _t	: Deney parçasının toplam uzunluğu (mm)
r	: Somun aktarma ekipmanının kat ettiği mesafe yayının yarı çapı (mm)
R	: Direnç (ohm)
s	: Sac (levha) kalınlığı (mm)

t_k	: Kaynak süresi/ Kaynak periyodu (per)
T	: Malzeme ergime sıcaklığı (K)
Y	: Ürün boyu (mm)
Z	: Atık parça ölçüsü (mm)
X	: Bant hatvesi (mm)
Q	: Isı üretimi (cal)
τ	: Kesme kuvvet katsayısı



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tandem kalıp görseli.....	4
Şekil 2.2. Prograsif kalıp görseli	5
Şekil 2.3. Somun besleme haznesi	6
Şekil 2.4. Somun aktarma ekipman görseli.....	7
Şekil 2.5. Sırasıyla 60-150-400 Ton kapasiteli eksantrik presler.....	8
Şekil 2.6. Eksantrik pres çalışma prensibi	8
Şekil 2.7. Direnç kaynağında kaynak çevrimi	10
Şekil 2.8. a) Kaynak somunu, b) Projeksiyon kaynağı prensibi	11
Şekil 2.9. Projeksiyon kaynağında oluşan dirençler	12
Şekil 2.10. Kaynak bölgesinde oluşan yetersiz füzyondan dolayı kırılan ürün	14
Şekil 2.11. Kaynak akımı-kaynak süresi ilişki diyagramı.....	16
Şekil 2.12. Artan kaynak akımı ile çekirdek çapının değişimi	17
Şekil 2.13. Fıskırma sonucu kaynak civatası üzerinde oluşan çapaklanma.....	17
Şekil 2.14. Sabit elektrot kuvvetinde kaynak süresinin dayanımlar üzerine etkisi	19
Şekil 2.15. Artan kaynak akımı ve kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi	19
Şekil 2.16. Artan kaynak süresi karşılığında azalan akımın kaynak dayanımına etkisi	20
Şekil 2.17. 0-5-10-20 kaynak sonrası a) kaplamasız ticari elektrot b) TiC-Co kaplanmış elektrotların makro görüntüleri.....	24
Şekil 2.18. Halka biçimli kabartı kaynağı.....	26
Şekil 2.19. Hac biçimli kaynak ile imal edilmiş bijon anahtarı görseli	26
Şekil 2.20. İş parçaları üzerinde kabartı sayısının belirlenmesi.....	27
Şekil 2.21. Kabartı kaynağında başlangıç durumu ve 2. periyot görselleri	27
Şekil 2.22. Kabartı kaynağında 6. periyot görseli	28
Şekil 2.23. Kabartı kaynağında 10,12 ve14. periyot görselleri.....	28
Şekil 2.24. Kabartı kaynağında 16 ve 20. periyot görselleri.....	28

Şekil 2.25. Farklı kalitede gerçekleşen kaynak çekirdek çeşitlerinin makro görselleri.....	29
Şekil 2.26. Sac-somun ara yüzeyinde gözlenen iç süreksizlikler	30
Şekil 2.27. Somun-sac projeksiyon kaynak işleminde fışkırma/taşma	31
Şekil 2.28. Çalışma kapsamında belirlenen gruplara ait çapaklanma görselleri.....	32
Şekil 2.29. Kaynak koparma testi uygulama prensibi.....	34
Şekil 3.1. Çalışma kapsamında kullanılan ana metal ve kaynak somununun 3D görseli.....	37
Şekil 3.2. Kalıp proses dizayn görseli	38
Şekil 3.3. Alt ve üst kalıp görseli	39
Şekil 3.4. Bant genişliği	40
Şekil 3.5. Bant yüksekliği	40
Şekil 3.6. Bant hatvesi.....	41
Şekil 3.7. Ürün teknik resim görseli	42
Şekil 3.8. Çalışma kapsamında referans alınan ürün görseli	43
Şekil 3.9. Alt ve üst elektrot grubu tasarımı	44
Şekil 3.10. Koparma testi sonucunda numunelerde oluşan kuvvet-deformasyon eğrisi.....	45
Şekil 3.11. Kopma testi sonrası temsili numuneye ait hasar görüntüsü.....	45
Şekil 3.12. Kaynak koparma testi uygulama prensibi.....	46
Şekil 3.13. Kaynak koparma testi elemanları.....	46
Şekil 3.14. Kaynak koparma testi uygulama görseli.....	47
Şekil 3.15. Kaynak işlemine hazır etiketlenmiş numuneler.....	48
Şekil 3.16. Kaynak makinesi üzerinde kaynak işlemine hazır numuneler.....	48
Şekil 3.17. Mevcut durumda somunun ağırlığı.....	49
Şekil 3.18. Analiz çalışmasına dahil edilen ürünün kabartı ölçüleri.....	49
Şekil 3.19. Analiz çalışmasına dahil edilen ürün ve ağırlık görseli	49
Şekil 3.20. Analiz çalışmasına dahil edilen sac-somun görseli	50
Şekil 4.1. Ölçülendirilmiş progresif kalıp görseli	51
Şekil 4.2. Alternatif olarak tasarlanan somun aktarma ekipmanı	52
Şekil 4.3. Somun aktarma ekipmanı aksamaları.....	53
Şekil 4.4. Somun aktarma ekipmanının kalıp üzerine montajlanmış halinin tasarım	

görseli.....	53
Şekil 4.5. Somun aktarma ekipmanının kat ettiği mesafenin tayini.....	54
Şekil 4.6. Somun aktarma ekipmanına adapte edilen stoperlerin 3D görseli.....	55
Şekil 4.7. Somun aktarma ekipmanının kalıp üzerine montaj işleminin görseli.....	55
Şekil 4.8. Somun aktarma ekipmanının kalıp üzerine montaj işleminin görseli.....	56
Şekil 4.9. Kaynak parametreleri akımı 12 kA, kaynak süresi 10 per, tutma süresi 25 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli	57
Şekil 4.10. Kaynak parametreleri akım 14 kA, kaynak süresi 25 per, tutma süresi 10 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli.....	58
Şekil 4.11. Kaynak parametreleri akım 16 kA, kaynak süresi 15 per, tutma süresi 15 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli.....	58
Şekil 4.12. Kaynak parametreleri akım 18 kA, kaynak süresi 20 per, tutma süresi 25 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli.....	59
Şekil 4.13. Kaynak parametreleri akım 20 kA, kaynak süresi 25 per, tutma süresi 25 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli.....	59
Şekil 4.14. Kaynak parametreleri akım 20 kA, kaynak süresi 20 per, tutma süresi 25 per olan numunenin kaynak işlemi sırasında oluşan fişkirme görseli.	60
Şekil 4.15. Kaynak parametreleri akım 22 kA, kaynak süresi 10 per, tutma süresi 10 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli.....	60
Şekil 4.16. Kaynak parametreleri akım 22 kA, kaynak süresi 20 per, tutma süresi 5 per olan numunenin kaynağı esnasında alt elektrotun iş parçası ile alaşımlaşması.....	61
Şekil 4.17. Sac-somun arasında belirlenen boşluk miktarı	61
Şekil 4.18. Kaynak akımının kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 5 per).....	62
Şekil 4.19. Kaynak akımının kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 10 per).....	62
Şekil 4.20. Kaynak akımının kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 15 per).....	63
Şekil 4.21. Kaynak akımının kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 20 per).....	63
Şekil 4.22. Kaynak akımının kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 25 per).....	64
Şekil 4.23. Kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 5 per).....	65
Şekil 4.24. Kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 10 per).....	66
Şekil 4.25. Kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 15 per).....	66
Şekil 4.26. Kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 20 per).....	67

Şekil 4.27. Kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 25 per).....	68
Şekil 4.28. Tutma süresinin kaynak dayanımına etkisi (kaynak süresi 5 per)	69
Şekil 4.29. Tutma süresinin kaynak dayanımına etkisi (kaynak süresi 10 per)	69
Şekil 4.30. Tutma süresinin kaynak dayanımına etkisi (kaynak süresi 15 per)	70
Şekil 4.31. Tutma süresinin kaynak dayanımına etkisi (kaynak süresi 20 per)	70
Şekil 4.32. Tutma süresinin kaynak dayanımına etkisi (kaynak süresi 25 per)	71
Şekil 4.33. En yüksek dayanıma sahip 70 numaralı numunenin kuvvet eğrisi.....	74
Şekil 4.34. Bakalite alınmış ve metalografik muayene işlemlerine hazır numuneler	75
Şekil 4.35. Numune 10.2'ye ait kaynak bölgesinin stereo görseli (2.5x)	75
Şekil 4.36. Numune 10.2'ye ait kaynak bölgesinin mikro grafik görseli (50x).....	76
Şekil 4.37. Numune 10.2'ye ait kaynak bölgesinde oluşan faz ayırım çizgisi (200x). 76	
Şekil 4.38. Numune 10.2'ye ait kaynak ve ITAB bölgelerinin görseli.....	77
Şekil 4.39. Numune 10.2'ye ait kaynak ve ITAB bölgelerinin görseli.....	77
Şekil 4.40. 10.2 numaralı numuneye ait somun dış tarafının görseli (50x)	78
Şekil 4.41. Numune 70.2'ye ait kaynak bölgesinin stereo görseli (2,5x)	78
Şekil 4.42. Numune 70.2'ye ait kaynak ve ITAB bölgelerinin görseli (50x)	79
Şekil 4.43. Numune 70.2'ye ait kaynak bölgesinin görseli (50x).....	79
Şekil 4.44. Numune 70.2'ye ait kaynak bölgesinin görseli (100x).....	80
Şekil 4.45. Numune 70.2'ye ait somun-ITAB ve kaynak bölgesinin görseli (100x). 80	
Şekil 4.46. 136.2 numaralı numunede erime bölgesinin sac metalin yüzeyine etkisi 81	
Şekil 4.47. Numune 136.2'ye ait kaynak bölgesinin stereo görseli (5x)	81
Şekil 4.48. Numune 136.2'ye ait kaynak ve ITAB bölgeleri (50x).....	82
Şekil 4.49. Numune 136.2'ye ait kaynak bölgesi (50x).....	82
Şekil 4.50. 136.2 numaralı numunede fişkırama sonucu oluşan çatlak ve çapaklanma-1 (50x).....	82
Şekil 4.51. 136.2 numaralı numunede fişkırama sonucu oluşan çatlak ve çapaklanma-2 (50x).....	83
Şekil 4.52. 136.2 numaralı numunede fişkırama sonucu oluşan çatlak ve çapaklanma-3 (50x).....	83
Şekil 4.53. Sertlik ölçüm noktalarının şematik görseli	84
Şekil 4.54. Analiz programına aktarılan ürün ve dayama parçasının program üzerindeki görseli	85

Şekil 4.55. Kabartı noktalarının analiz programı üzerinde rijitlenmiş görseli.....	85
Şekil 4.56. 18000 N kuvvet esnasında kaynak noktalarında oluşan gerilme görseli ve miktarı	85
Şekil 4.57. Kopmanın gerçekleştiği esnada ürün üzerinde oluşan gerilme görseli....	86
Şekil 4.58. Statik analizi yapılan ile koparma testi yapılan ürünün karşılaştırmalı dayanım eğrileri	87
Şekil 4.59. Kuvvet altında ürün üzerinde oluşan deplasman görseli	87
Şekil 4.60. Isıl analizi 2D aksenal olarak tamamlanan ürünün sıcaklık dağılımı ve derecelerinin görseli	88
Şekil 4.61. Simüle edilen ürünün kaynak başlangıcı görseli	88
Şekil 4.62. Simüle edilen ürünün kaynak işlemi görseli.....	88
Şekil 4.63. Simüle edilen üründe ergitme ısısının ürüne geçiş bölgeleri.....	89

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Elektrot malzeme ve özellikleri	22
Tablo 2.2. Sac kalınlığına bağlı olarak kalıp ve kabartı boyutları	25
Tablo 2.3. Farklı iş parçası kalınlıkları için kaynak çekirdek çapları	29
Tablo 3.1. İş parçalarının kimyasal bileşim değerleri ve mekanik özellikleri	37
Tablo 3.2. Kaynak ön deney test parametreleri.....	44
Tablo 4.1. Stoper katalog değerleri	55
Tablo 4.2. İyi kaynak sınıfına dahil numunelerin kaynak parametreleri ve dayanım değerleri.....	73
Tablo 4.3. Metalografik görüntüleri alınan numunelerin kaynak parametreleri ve dayanımları.....	75
Tablo 4.4. Kayıp kaynak ve iyi kaynak sınıfına dahil numunelerin sertlik değerleri	84

SOĞUK SAC ŞEKİLLENDİRME KALIBINDA PROJEKSİYON KAYNAK SİSTEMİ TASARIMI VE KAYNAK PARAMETRELERİNİN DENEYSEL VE TEORİK ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada üzerinde projeksiyon (kabartılı nokta) kaynaklı somun bulunan bir otomobil torpido travers parçasının kaynak işleminin şekillendirme kalıbı içerisinde yapılmasını sağlayacak bir sistem tasarımı yapılması ve kaynak parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ürüne özgü kalıp tasarımı yapılarak tasarlanan elektrotların adaptasyonu sağlanmıştır. Somunun kalıp içerisine transfer edilebilmesi için mevcut sistemler araştırılmış ve alternatif bir aktarma ekipman tasarımı yapılmıştır. Pres, ürüne özel progresif kalıp, elektrot takımı, transformatör grubu ve besleme ünitesinin senkronize bir şekilde çalışabilmesi için ilk etapta sistemler birbirinden bağımsız olarak tasarlanmış ve son aşamada tasarımlar birleştirilmiştir. Kalıp içerisinde uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi için farklı kaynak parametrelerine sahip numunelerin kaynak işlemleri yapılmıştır. Kaynatılmış numunelerin kaynak koparma testleri ve metalografik muayeneleri yapılarak, parametrelerin dayanım üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

Çalışma sonucunda, üzerinde somun, cıvata, pul veya vida bulunan sac parçaların ikincil istasyonlara gerek kalmadan kalıp içerisinde kaynak işleminin tek proseste tamamlanabilmesini sağlayacak sistem tasarımı yapılmıştır. Bu sistem tasarımına göre, imalat ve kaynak işlemleri 13 saniyede yapılan somun kaynatılmış bir sac parçada bu sürenin 8 saniye 'ye ve daha azına düşürülebileceği öngörülmüştür. Bununla birlikte, ikincil operasyonlardan kaynaklı zaman kayıpları, proses verimsizliği, ikincil makine yatırım maliyetleri ve operasyon için harcanan güç, enerji ve alan kayıplarından oluşan ek maliyetler minimuma indirilebilecektir. Ayrıca, elde edilen projeksiyon kaynaklı bağlantıların dayanım değerlerinin kaynak akım şiddeti, kaynak ve tutma zamanları ile değişimini gösteren diyagramlar oluşturularak söz konusu kaynak parametrelerinin optimum değerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Projeksiyon kaynağı, kalıp, soğuk sac şekillendirme

DESIGN OF PROJECTION WELDING SYSTEM IN COLD SHEET FORMING DIE AND EXPERIMENTAL AND THEORETICAL ANALYSIS OF WELDING PARAMETERS

SUMMARY

In this study, it is aimed to design a system that provides the welding process of an automobile torpedo traverse part with projection (projected spot) welded nut in the forming die and to determine the optimum values of the welding parameters. Adaptation of the designed electrodes has been provided by designing die special to product. In order to transfer the nut into the die, the existing systems have been investigated and an alternative transfer equipment design has been made. In the first stage, the systems were designed independently seeing that synchronous operation of press, die, electrode groups, transformer group and feeding unit and the designs has been commonized in the final stage. In order to determine the appropriate welding parameters within the die, welding processes of samples with different welding parameters were made. The welding strength tests and metallographic examinations of the welded samples were made and the effect of the parameters on the strength was examined in detail.

As a result of the study, the system has been designed to ensure that the sheet metal parts with nuts, bolts, washers or screws can be completed in one process without the need for secondary stations. It is foreseen that this process can be reduced to 8 seconds and less in a sheet metal part that has projection welded nut which is completed in 13 seconds in accordance with this system design. In addition, costs due to time losses from secondary operations, process inefficiency, secondary machinery investment costs, and the power, energy and space losses spent on operations can be minimized. Moreover, it was tried to determine the optimum values of welding parameters by creating diagrams showing the welding current intensity, welding and holding times and the change of the strength values of the projection welded products.

Keywords: Projection welding, die, cold sheet forming

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Birçok sektörde aktif olarak kullanılan tasarım uygulamaları karmaşık yapıları sebebiyle üst seviyede hayal gücü gerektiren bir alandır. Geniş anlamda, insan ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için gerçekleştirilen çalışmaların bütününe tasarım adı verilebilir (Çetinkaya ve Başak, 1999). Günümüzde küçük atölyelerden büyük imalat firmalarına kadar üretimin her alanında bilgisayar destekli tasarım programları tasarımın yanı sıra imalat işlemlerinde oluşabilecek verimsizliklerin önüne geçebilmek adına 2 boyut (2D) ve 3 boyut (3D) imalat resimleri için uygun modülleri ihtiva etmesi bunun yanı sıra tasarımı yapılan ürünün statik ve yorulma test analizinin yapılmasına da olanak sağlamaktadır.

Kara, deniz, hava, endüstriyel araç-gereçler ve yapılar ile makine imalat sektörü gibi çok geniş bir yelpazede sıkça karşılaştığımız sac metal ürünler, günümüzde toplumların her geçen gün artış gösteren ihtiyaçlarını karşılayabilme konusunda çok önemli bir yere sahiptir. Yaygın kullanımın en önemli sebeplerinden birkaçı, diğer alternatif malzemelere kıyasla daha mukavemetli, ucuz ve şekillendirilmelerinin kolaylığı şeklinde belirtilebilir. Günümüzde sac metal malzemelerin kullanımı ve soğuk şekillendirme işlemleri, otomotiv ve havacılık olmak üzere birçok sektörde kullanımı söz konusudur (İriç, İriç ve Kozan, 2012).

Otomotiv sektöründe soğuk sac şekillendirme teknolojilerinin bir üyesi olan kalıplar, seri üretime uygunluğu, ekonomik olması ve otomasyona entegre edilebilmeleri gibi özelliklerinden dolayı üretim proseslerinde yaygın olarak kullanılan bir araçtır (Ameresh ve Shankar, 2013; Esener, Sönmez ve Fırat, 2017). Pres içerisinde yüksek üretim kapasiteli çalışmalara uygun olan bu ekipmanlar, prese aktarılan sac malzemeyi nihai veya yarı mamul ürün olarak şekillendirilebilmektedir.

Araç üzerinde yaygın olarak kullanılan somun kaynatılmış sac parçalar kalıpta şekillendirildikten sonra kaynak hatlarında direnç kaynak yönteminin bir modifikasyonu olan projeksiyon (kabartılı nokta) kaynağı ile birleştirilerek de üretilmektedir (Albak ve Kurt, 2018, Kasım).

Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi projeksiyon kaynağında da kaynak parametrelerinin dayanım üzerine etkisi büyüktür. Kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot kuvveti en önemli üç parametredir. Bununla birlikte numunelerin ve elektrotların yüzey durumu, geometrisi, kabartı ölçüleri ve kabartı tipinin kaynak işlemine uygunluğu yine dayanım üzerinde önem arz etmektedir (Özgül ve Arslan, 2017).

Kaynak işleminin ardından koparma testine tabi tutulan numuneler kopma tipine göre sınıflandırılmakta ve dayanımın yetersiz olduğu durumlarda kaynak parametrelerinde iyileştirmelere gidilmektedir. Kaynak koparma testlerinin ardından ürünlere metalografik muayeneler de yapılmaktadır. Kaynak çekirdeği ve çevresinde mikro çatlak, mikro boşluk, çapaklanma ve iç süreksizlik gibi faktörlerin kaynak bölgesine ve dayanıma olan etkisi incelenmektedir. Bu sayede projeksiyon kaynatılmış bir numunenin kaynak parametrelerinin uygunluğu teyit edilebilmektedir (Erhuy, Ateş, İnce, Bıyık ve Davut, 2015).

Bu çalışmada kullanılan ürünün sac kısmı progresif bir kalıpta şekillendirildikten sonra somun projeksiyon kaynağı için kaynak hattına gönderilmektedir. Burada kaynak işlemi yapılan ürün nihai hale gelerek sevkiyat birimine gönderilmektedir. Ürünün sac kısmı soğuk sac şekillendirme preslerinde 8 s.'de şekillendirilmektedir. Kaynak işlemi ise manuel olarak yapıldığından dolayı 5 s.'de tamamlanmaktadır. Fazladan zamana ihtiyaç duyulmasının yanı sıra, proses verimsizliğinin fazla olması, ikincil makine yatırım maliyetleri ve operasyon için harcanan güç, enerji ve alan kayıplarından oluşan ek maliyetler ortaya çıkmaktadır. Ayrıca kaynak işlemi manuel olarak yapıldığından dolayı ürünlerde kalite problemi yaşanabilmektedir. Şekillendirme ve kaynak proseslerinin tek bir operasyonda gerçekleştirilmesinin mümkün kılınacağı bu çalışma ile;

- Soğuk şekillendirme sonrasında ikincil operasyonların elimine edilmesi,
- Kaynak için gerekli zaman, pres sonrası parçaların kaynak bölgesine taşınması, kaynak işleminin manuel yapılması gibi operasyonların ayrıca gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmaması,
- Kaynak prosesi için alan ihtiyacı olmayacağından ekstra enerji giderlerinin oluşmaması,
- Kaynak parametrelerinin standartlaştırılması ile kalite seviyesinin artırılması,
- Kalıp içerisine somunun otomatik olarak transfer edilmesi ve somunun kaynak işleminin pres içerisinde yapılarak Türkiye'nin bu konuda dışarıya bağımlılığının minimuma indirilmesi,

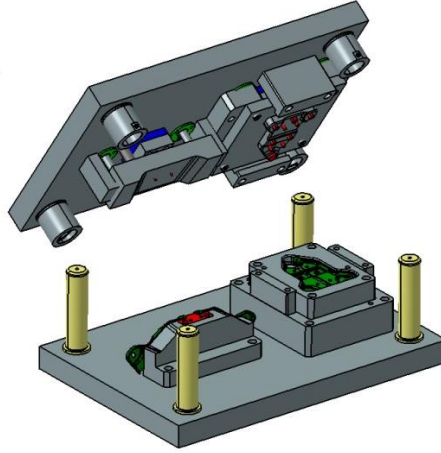
amaçlanmaktadır.

Çalışma kapsamında ikinci bölümde soğuk sac şekillendirme presleri ve kalıpları, somun besleme üniteleri ve projeksiyon kaynağı hakkında genel bilgiler verilerek literatürde bulunan çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde tasarım çalışmaları, kaynak parametrelerinin tayin edilmesine yönelik deneyler, koparma testleri ve analiz çalışmaları bulunmaktadır. Dördüncü bölüm olan sonuç ve öneriler kısmında nihai hale gelen tasarımların ardından, kaynak parametrelerinin bağlantıların dayanımına olan etkileri parametre bazında grafikler üzerinden açıklanmıştır. Bunlarla beraber, farklı kaynak kalitesine sahip numunelerin metalografik muayeneleri ve sertlik ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiş olup analiz bulgularına yer verilmiştir.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Soğuk Sac Şekillendirme Kalıpları

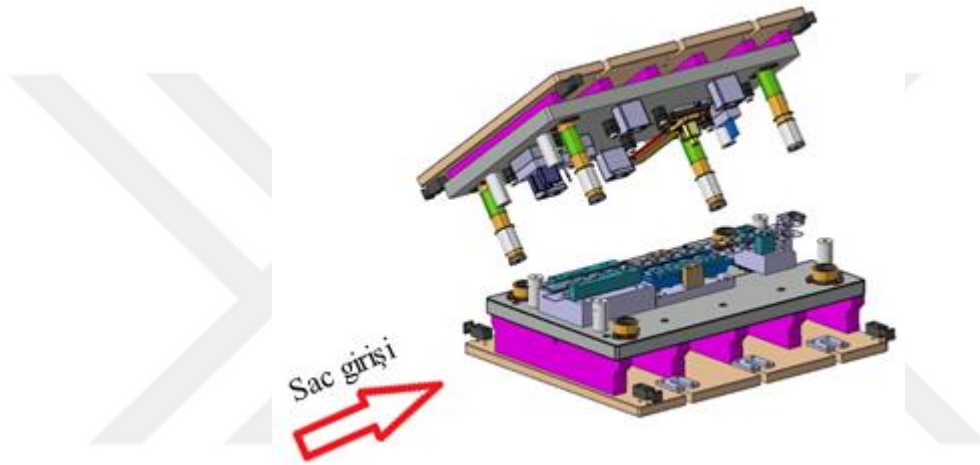
Literatürde yaygınca kullanılan soğuk sac şekillendirme teknolojilerinin vazgeçilmez bir elemanı olan kalıplar gündelik hayata girmesiyle daha kusursuz özellikli parçalar üretmemize epey bir katkısı olmuştur. Özellikle otomotiv sektöründe çok sık kullanılan soğuk sac şekillendirme kalıpları, progresif ve tandem kalıplar olarak karşımıza çıkabilmektedir. Tandem kalıplar Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi parça üzerinde tek bir etki yaratarak parçayı işlemiden çıkarır (örn; delme, kesme, etek kesme vb.).



Şekil 2.1. Tandem kalıp görseli

Tandem kalıplar, şekillendirme işlemi için birden fazla operasyona ihtiyaç duyulmayan veya bunun zor olduğu ürünler için yapılabilmektedir. Bu kalıplar içerisine sac, manuel olarak operatör aracılığıyla sürüldüğünden dolayı proses maliyetleri yüksek olabilmektedir. Presin her çevriminde sac malzemeye tek operasyon yapılır ve nihai ürün elde edilir.

Fakat progresif kalıplar parçayı şablondan itibaren gerekli bütün işlemleri yaparak parçayı istenilen hale getirir (delme, kesme, bükme bir arada). Bu yönüyle progresif kalıplar tandem kalıplara göre çok daha hızlıdır. Pres ile koordineli olarak çalışan sac besleme sürücüsü aracılığıyla sac kalıp içerisine sürülür. Presin her çevriminde sac malzemeye birden fazla istasyonda bir operasyon yapılır. Her çevrim sonunda otomatik sürücü bant hatvesi kadar ilerleyerek sac malzemeyi bir sonraki istasyona getirir ve son istasyonda bulunan parça ürün olarak kalıp dışına itilir. Şekil 2.2.'de progresif bir kalıba ait görsel sunulmaktadır.



Şekil 2.2. Progresif kalıp görseli

Soğuk sac şekillendirme kalıplarında üründe karşılaşılan yırtılma, kırılma ve geri esneme gibi kusurlar seri olarak çalışan sistemde ek sürelerin oluşmasına sebep olabilmektedir. Literatürde bulunan bir çalışmada bu durumun önlenmesi için sac üzerine gergi kuvveti oluşturularak sacın akışını düzenleyen kontrol mekanizmasına süzdürme çubukları adapte edilmiş ve ortaya çıkan kuvvetler ölçülmüştür. Saptanan veriler kullanılarak süzdürme çubuğunun dalma ölçüsüne bağlı olarak gergi kuvvetini belirleyebilen bir model geliştirilmiştir (İriç ve diğerleri, 2012).

Literatürde bulunan bir doktora tezinde ise, bir otomotiv parçasının şekillendirilebilirliğini etkileyen parametreler belirlenmiş ve şekillendirme hızı ile sacın geri esneme parametrelerinin sac şekillendirmede etkisinin fazlaca olduğu bildirilmiştir (Mete, 2007, 18 Mayıs).

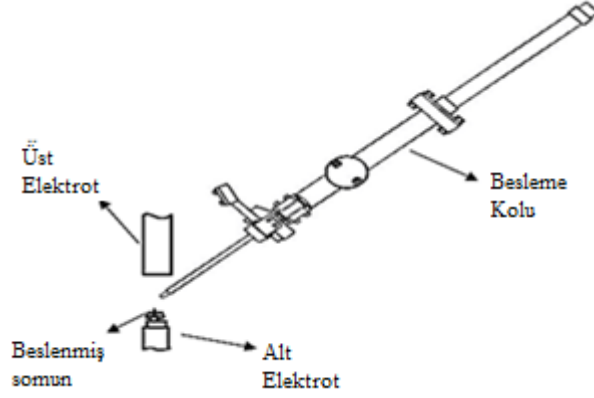
2.2. Somun Besleme Üniteleri

Geleneksel olarak projeksiyon kaynak makinelerinde seri bir imalat için kullanılan somun besleme sistemleri yüksek hızlarda çalışabilmelerinden dolayı sıkça tercih edilmektedir. Şekil 2.3.'de görüldüğü üzere somunlar bir hazne içerisine doldurularak hazne çalıştırılır. Hazneler istenilen kapasitede üretilebilmektedir. Kapasite arttıkça havuz çapı artan haznelere ek havuz da yapılabilmektedir. Bu havuzlar geniş bir haznenin problem olacağı yani; alan sıkıntısı oluşturacak yerlerde otomasyona entegre edilerek kullanılabilir. Hazne içerisinde ürün seviyesini algılayabilen sensör, ek haznenin vibrasyon bobinini uyararak titreşim sonucu akan somunlarla ana hazneyi doldurur. Genelde daire şeklinde olan bu haznede somunlar yine hazne altında bulunan vibrasyon bobininin oluşturduğu titreşim ile birbirini hortum yolluğuna doğru iter.



Şekil 2.3. Somun besleme haznesi

Bu işlemler ardından somunlar hava aracılığıyla piston üzerinde bulunan ve hortuma bağlantısı bulunan şarjör üzerinde sıralanarak beslemeye hazır hale gelir. Şarjör kapağı her açıldığında bir somun manyetikleştirilmiş piston mili aracılığıyla referanslama piminin bulunduğu alt elektrot üzerine bırakılarak kaynak işlemine hazır hale getirilir. Şekil 2.4.'de somun aktarma ekipman görseli sunulmaktadır.



Şekil 2.4. Somun aktarma ekipman görseli

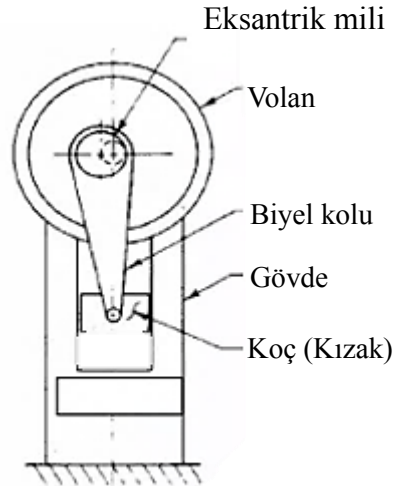
2.3. Soğuk Sac Şekillendirme Presleri

Günümüz sac şekillendirme teknolojisinin en önemli üyelerinden olan presler çalışma prensibi ve tip bakımından gruplara ayrılmaktadırlar. Alt ve üst tablalarına bağlanan ürüne özel olarak tasarımı ve imalatı yapılan kalıplar aracılığıyla kuvvet uygulayarak metalleri kesmeye, bükmeye, dövmeye ya da çökertmeye yarayan tonajlı makinelerdir. Başlıca "eksantrik pres" ve "hidrolik pres" olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Pres üzerinde biri altta sabit, öteki üstte hareketli olmak üzere iki adet tabla bulunur. Kalıplar, iki bölümden (erkek ve dişi) yapılırlar ve pres tablalarına bağlanırlar. Pres üzerinden reglaj işlemi tamamlandıktan sonra şekillendirilmek istenen parça alt kalıpta bulunan referanslama yüzeyine yerleştirilir. Üst kalıp, bağlı olduğu tabla aracılığıyla aşağı doğru hareket ederek kalıplar arasında bulunan iş parçasının gerekli biçimi almasını sağlar. Preslerin gücü ton cinsinden belirtilir. Sanayide 1 ton ile 5.000 ton kapasiteye kadar çeşitli presler kullanılır ("Makinatek", 2019). Şekil 2.5.'de çeşitli tonajlara sahip pres görselleri sunulmaktadır.



Şekil 2.5. Sırasıyla 60-150-400 ton kapasiteli eksantrik presler (“HIM”, 2019)

Eksantrik presler ana motordan dolayı oluşan dairesel hareketi lineer harekete çevirebilmek için eksantrik olarak yapılan sistem ile kuvveti sağlarlar. Eksantrik preslerde bulunan volan ana motor tarafından tahrik edilmektedir ve tahrik sonucunda oluşan kinetik enerjiyi kullanmaktadır. Depolanan kinetik enerji kavrama vasıtasıyla torklandırılıp dişlilere aktarılır ve dişlilerde bulunan kademeler aracılığıyla arttırılan tork ile biyel kolu aracılığıyla lineer olarak kuvvetin meydana gelmesi sağlanır. Eksantrik presler dişli grupları, kavrama, volan gibi mekanik ekipmanlardan oluşmaktadır. İmalat hızının yüksek olmasının ve proses maliyetlerinin düşük olmasının istendiği yerlerde sıkça edilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan eksantrik presin çalışma prensibi şekil 2.6.’da görülmektedir (“Makinatek”, 2019).



Şekil 2.6. Eksantrik pres çalışma prensibi (“Makinatek”, 2019)

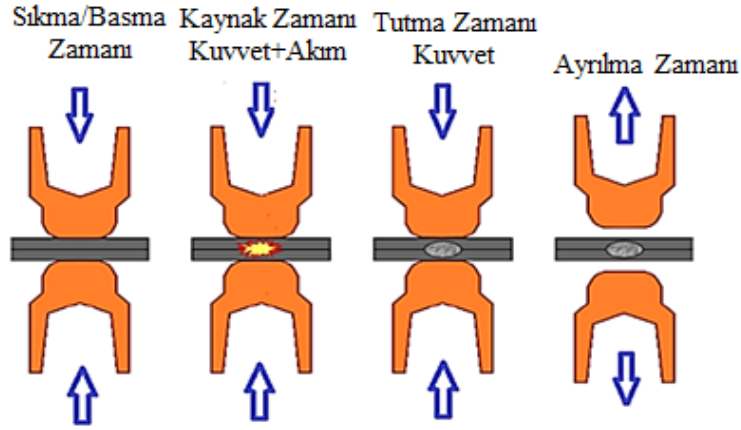
2.4. Projeksiyon (Kabartılı Nokta) Kaynağı

Direnç nokta kaynağı, elektrotlar arasında belirli bir kuvvet altında tutulan iş parçaları üzerinden geçen akım şiddetine karşı, metallerin gösterdiği direnç sebebiyle oluşan ısı ile gerçekleştirilir. Kaynak işlemi yapılacak parçaların temas alanları, kısa bir süre uygulanan yüksek akım ve düşük gerilim vasıtasıyla ısıtılarak erimiş durumdaki kaynak çekirdeğine dönüştürülür. Akım şiddeti kesilince, erimiş olan metal çabucak soğur ve katılaşmaya başlar (Aslanlar, 2017, s. 2). Bu esnada elektrotlar, kaynak işlemi tamalanan iş parçalarına basınç uygulamaya devam ederek son etapta iş parçalarını serbest bırakırlar. Kaynak işlemi çoğu zaman 1 s.'den daha az bir sürede gerçekleştirilir. Oluşan kaynak çekirdeğinin ölçüleri ilk etapta elektrot ucunun boyutu ve çevresi ile saptanır. Kaynak çekirdeği iş parçalarının birbirlerine temas eden yüzeylerinde oluşur (Aslanlar, 2017, s. 2; Emre, Bozkurt, Kaçar ve Bozkurt, 2018; Gauthier, Carron, Rogeon, Pilvin, Pouvreau, Lety, Primaux, 2014; Oğur ve Muzoğlu, 2003).

Literatürde direnç nokta kaynağı üzerine yapılan çalışmaların sayısı oldukça fazladır. Benzer malzemelerin yanı sıra farklı malzemelerin birleştirilmesi üzerine çalışmalar da mevcuttur. Otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum 5000 serisi alaşımlardan olan Al 5754-H111 malzemelerin farklı kaynak akımı, kaynak süresi ve elektrot kuvveti kullanılarak elde edilen nokta kaynaklı bağlantıları üzerinde çekme-makaslama testleri uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre elde edilen çekme mukavemeti ve çekme uzaması değerlerindeki değişkenlikler, kaynak parametrelerindeki farklılığın, kaynağın mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. (Özgül ve Arslan, 2017).

Şekil 2.7.'de görüldüğü üzere direnç kaynağında ve modifikasyonlarında kaynak çevrimi dört aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar yaklaşma ve sıkma/basma süresi, kaynak zamanı, tutma zamanı, ayrılma zamanıdır (Aslanlar, 2017, s. 5; Emre ve diğerleri, 2018; Oğur ve Muzoğlu, 2003). Sıkma/Basma zamanı; Elektrot kuvvetinin yüzeylere temas ettiği ilk an ile kaynak akımının başladığı an arasında geçen süredir. Kaynak zamanı; kaynak akımının devreden geçtiği süredir. Tutma zamanı ise kaynak akımı kesildikten sonra elektrotun ergimiş kaynak bölgesinde katılaşmayı sağlayana

kadar geçirilen süredir. Ayrılma zamanı; Tutma zamanından sonra bir sonraki sıkma zamanına kadar olan süredir (Aslanlar, 2017, s. 5; Emre ve diğerleri, 2018; Erik, 2010, 27 Mayıs; Oğur ve Muzoğlu, 2003).



Şekil 2.7. Direnç kaynağında kaynak çevrimi (Gauthier ve diğerleri, 2014)

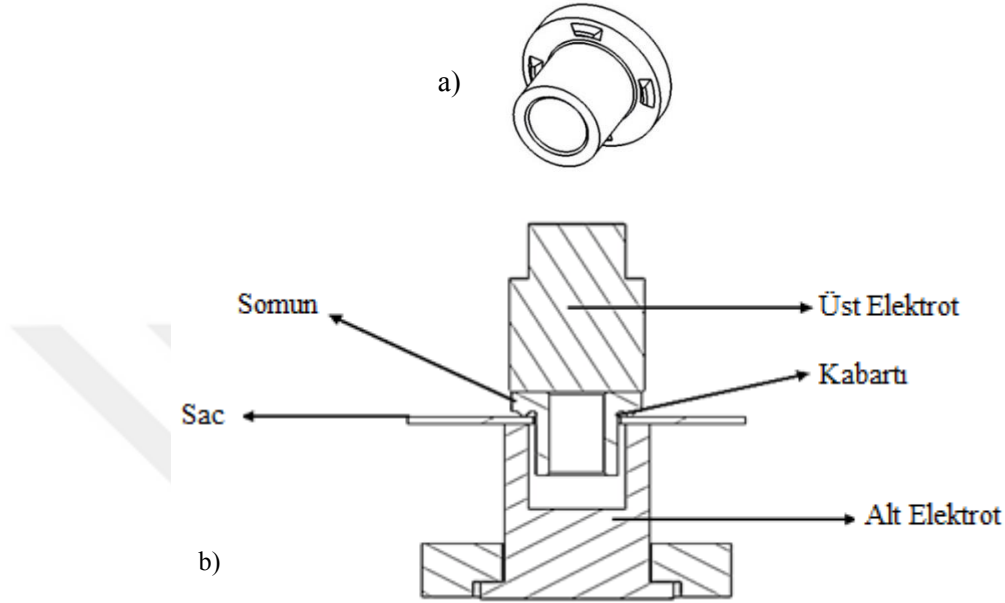
Direnç nokta kaynağının bir modifikasyonu olan projeksiyon kaynağında da yöntem benzerdir. Farklı olarak iş parçalarının birinde bulunan kabartılar, iş parçalarının elektrot kuvveti ile çarpılması sırasında kaynak bölgelerinde oluşacak fişkırmann önüne geçebilmek için birbirlerinden uygun mertebede uzakta olmalıdır. Ayrıca, kabartılar arası mesafenin yeteri kadar büyük olması, paralel akım devrelerinin oluşmasının önüne geçilmesini veya uygun bir seviyede tutlabilmesini sağlar (Aslanlar, 2017, s. 2).

Projeksiyon kaynağında, nokta kaynağına benzer olarak kaynak için istenen akım şiddeti, düşük akım ve yüksek gerilime sahip şebeke elektrik akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak transformatörlerinden sağlanır. Kaynak işlemi için gerekli olan elektrot kuvveti, hidrolik, pnömatik veya mekanik donanımlar aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir (Arslan, 2017, s. 5).

2.4.1. Projeksiyon kaynağının esasları

Projeksiyon kaynağında birleşme şekil 2.8.'de görüleceği üzere, nokta kaynağından farklı olarak birbiri üzerine bindirilen iş parçalarının boyutsal özelliklerinden dolayı ya da belli geometrilerde özel olarak imalatı yapılmış kabartılarda noktasal veya

çizgisel temas boyunca oluşmaktadır (Erhuy ve diğerleri, 2015). Kabartı şekli, birleştirme bölgesinde akım yoğunlaşma etkisi yaratır ve kabartı kaynak sırasında elektrot kuvveti ve akım sayesinde ısınarak büyük ölçüde yeniden düzleşir. Böylece kaynak bölgesinde çözülmeyen bir bağlantı oluşturur (Anık ve Vural, 2007).



Şekil 2.8. a) Kaynak somunu, b) Projeksiyon kaynağı prensibi

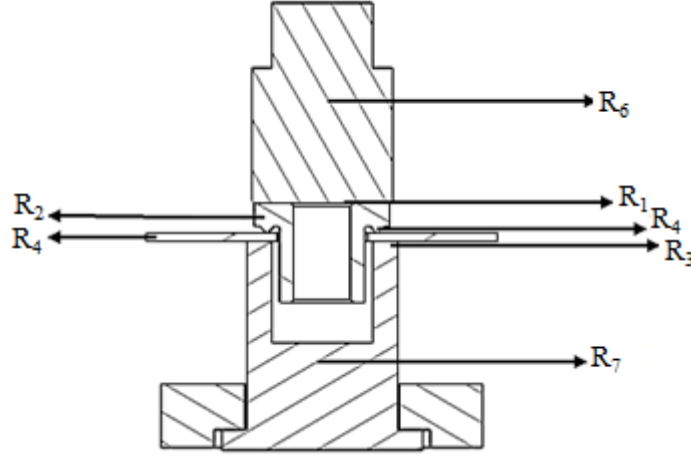
2.4.2. Projeksiyon kaynağında ısı oluşumu

Projeksiyon kaynağında kaynak çekirdeğinin oluşumu ısı etkisine bağlıdır. Isı etkisi dirençlerin toplamı ve akımın karesi ile orantılıdır.

Kaynak çekirdeğinin oluşumunda sadece R_2 , R_3 ve R_4 dirençleri gerekli ısı miktarını üretir. Kaynak yapılacak parçalar arasındaki R_3 temas direnci, kabartı tipinden, elektrot kuvvetinden ve iş parçalarının yüzey durumundan etkilenir. Kaynak başlangıcında R_2 ve R_4 malzeme dirençleri küçük olduğundan temas bölgesinde aşırı ısınmanın yol açtığı fişkırmadan kaçınmak için, R_3 direncinin uygun sac temas yüzeyi ve uygun elektrot kuvveti ile belirli bir sınırdaki tutulması gerekir (Anık, 1983, s. 123-133; Erhuy ve diğerleri, 2015; Erik, 2010, 27 Mayıs).

Isının gösterimi, $Q=I_k^2 R_{tk}$ belirtilmektedir. Burada, akım I_k 'nin karesi, kısmi dirençlerin toplamı R ve kaynak süresi t_k ile doğru orantılıdır. Burada kısmi dirençler iki başlık altında toplanabilir. Malzeme dirençleri ve temas dirençleridir. Malzeme

dirençleri elektrotların direnci ve iş parçalarının dirençleri olmak üzere dört adettir. Temas dirençleri ise elektrot-kabartılı iş parçası, sac-elektrot ve kabartılı iş parçası - sac olmak üzere toplamda üç adettir (Anık, Anık ve Vural, 1993, s. 186-195; Aslanlar, 2017, s.8; Gould, 1987). Şekil 2.9.'da dirençlerin gösterimi sunulmuştur.



Şekil 2.9. Projeksiyon kaynağında oluşan dirençler

Kaynak bölgesinde kaynak işlemi için gerekli olan ısı miktarı, I_k , R ve t_k ' nin ısı etkisinin yanı sıra malzemenin kaynağa uygunluk şartına da bağlıdır. İş parçalarının yüzeyinin yağlı, tozlu veya kirli olması temas direncini düşürdüğünden joule etkisini olumsuz etkiler. Uygun kaynak akım şiddeti ve bu akım şiddetinin tatbik edilme süresinde oluşan ısı miktarı iki temel şarta bağlıdır. İş parçalarının ve elektrotların ısı aktarma performansları ve elektrot ve malzemelerin yüzey şartlarıdır (Aslanlar, 2017, s. 9). Örneğin; iş parçası yüzeylerinin yağlı, tozlu veya kirli olması ısı oluşumunu olumsuz etkiler. Fazla sayıda kaynak işleminde rol oynamış elektrotların uçları bir süre sonra mantarlaşma gösterir. Bu durum da ısı oluşumunu olumsuz etkilemektedir.

Projeksiyon kaynağında ısı üretim denklemi,

Q_1 : Kaynak sırasında oluşan ısı,

Q_2 : Elektrotlarda oluşup noktaya iletilen ısı,

Q_3 : Kaynak noktasının oluşumunda kullanılan ısı,

Q_4 : Isı iletimi ile parça içine ve çevreye dağılan ısı, olmak üzere;

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \quad (2.1)$$

şeklinde yazılabilir.

Kaynak bölgesinde ve elektrotlarda oluşan ısının toplamı denklem 2.2’de ki gibidir.

$$Q_1 + Q_2 = 0,24 \cdot I_k^2 \cdot R_{top} \cdot t_k \text{ (cal)} \quad (2.2)$$

Burada;

I_k : Kaynak akımı,

R_{top} : Toplam direnç,

t_k : Kaynak süresi,

şeklindedir.

Kaynak noktasının oluşumunda kullanılan ısı miktarı denklem 2.3’de ki gibidir.

$$Q_3 = 0,24 \cdot C_1 \cdot G \cdot T + C_2 \cdot G \text{ (cal)} \quad (2.3)$$

Burada:

G (g): Kaynak çekirdeğinin kütlesi,

T (K): Malzeme ergime sıcaklığı,

C_1 (J/g K): Malzeme özgül ısısı,

C_2 (cal /g): Malzemenin özgül ergime ısısı ve parça içine dağılan ısıdır.

Isı iletimi ile parça içine ve çevreye dağılan ısı ise denklem 2.4’de ki gibidir.

$$Q_4 = 0,24 \cdot T \cdot L_t \cdot t_k \text{ (cal)} \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada:

L_t (m): Deneysel parçasının toplam uzunluğu,

t_k (periyot): Kaynak süresi,

T (K): Malzemenin ergime sıcaklığıdır.

Uygun kaynak çekirdeğinin meydana gelmesindeki temel şart, oluşan ısının, birim zamanda aktarılan ısıdan büyük olmasıdır. Yüksek soğuma hızları iş parçalarında martenzit oluşumunu arttıracığından dolayı sertleşmeye sebebiyet vermektedir. Soğuma hızına bağlı olarak belirli bir sertliğe ulaşan metallerde mikro çatlak oluşumu söz konusudur. Elektrotların su ile soğutulması iş parçaları ile arasındaki temas sıcaklığının düşük kalmasını sağlar. Bu durumda yüksek ısı girdisiyle oluşan alaşımlaşma problem en düşük seviyede tutulur (Anık ve Vural, 2007; Aslanlar, 2017, s. 8; Erik, 2010, 27 Mayıs; Erhuy ve diğerleri, 2015).

Çalışma kapsamında kullanılan projeksiyon kaynaklı travers braketine benzer bir ürünü konu edinen bir çalışmada ısı oluşumunda kaynak akımı ve kaynak süresinin etkisinin büyük olduğuna değinilmiştir. Kaynak akımı ve kaynak süresinin gerekenden düşük seçildiği durumlarda metallere yeteri kadar ısı girdisi sağlanamayacağından dolayı yetersiz füzyon oluşacağı ve dayanım değerinin düşük olacağı belirtilmiştir. Ayrıca, gereğinden yüksek seçilen durumlarda yüksek ısı girdisi oluşacağından dolayı kaynak işleminin fişkırmaya ve bunun nihayetinde çapaklanma oluşacağı bildirilmiştir. Şekil 2.10.'da çalışmaya konu edilen ve yetersiz füzyondan dolayı kırılan ürünün görseli sunulmaktadır (Davut, Erhuy, Ecer ve Mete, 2015).



Şekil 2.10. Kaynak bölgesinde oluşan yetersiz füzyondan dolayı kırılan ürün (Davut ve diğerleri, 2015)

2.4.3. Projeksiyon kaynağı parametreleri

Projeksiyon kaynağında nokta kaynağındaki kaynak parametrelerine ek olarak kabartının fiziksel özelliklerinden de bahsetmek gerekir. Projeksiyon kaynağında en az üç parametre ayarlanmalıdır. Bunlar; elektrot kuvveti, kaynak akımı ve akım

süresidir. Ek olarak, parça kalınlıkları ve kabartının fiziksel özellikleri ilave ayar gerektirebilir (Anık ve Vural, 2007).

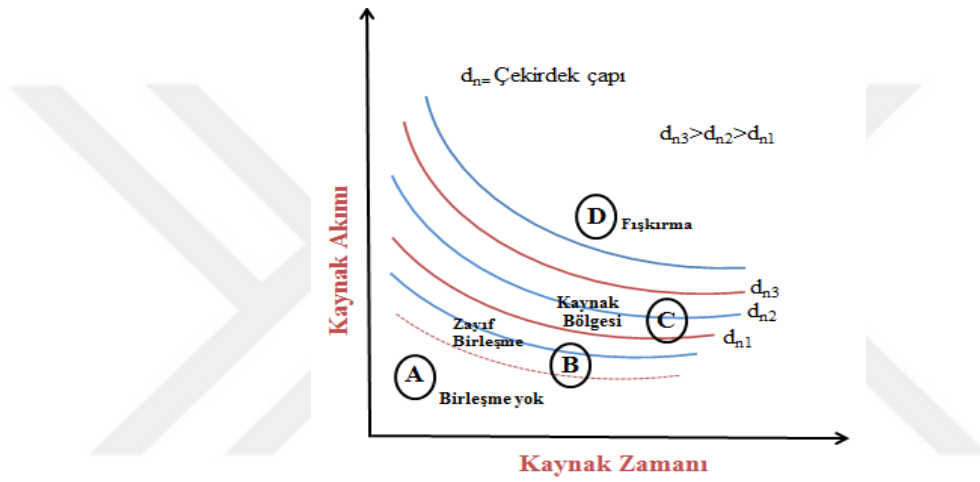
2.4.3.1. Kaynak akım şiddeti

Kaynak akımı, nokta kaynağında olduğu gibi projeksiyon kaynağında da en önemli parametredir. Isı etkisi, daha öncede belirtildiği gibi kaynak akımının karesiyle doğru orantılı olarak artar. Akım şiddeti olarak elektrik akımının efektif değeri geçerlidir. Kaynak akımının belirlenmesinde, kabartının tipi, iş parçalarının kalınlığı, yüzeylerinin durumu ve iş parçasının üzerindeki kabartı sayısı göz önünde bulundurulur. Kaynak koparma testlerinde ürün için istenen minimum dayanım değerini elde etmek için akım, elektrot baskı kuvvetine ve kaynak süresine bağlı olarak ayarlanır (Anık ve Vural, 2007; Erhuy ve diğerleri, 2015; Erik, 2010, 27 Mayıs).

Kaynak akımı az olursa yüksek süreli kaynak tipi meydana gelir ve kaynak alanı genişler, yeterli ısıya erişilemez. Kaynak akımı gerekenden yüksek olursa elektrot gruplarından iş parçalarına akım geçişlerinde oluşan zorluklardan ötürü kıvılcım oluşumu gerçekleşebilir ve bu da o bölgenin yanması anlamına gelir. Optimum projeksiyon kaynağı ayarını bulabilmek için başlama noktası olarak akım değerleri kullanılabilir. İstenilen kaynak kalitesi, bu değerler etrafında deneysel çalışmalar yapılarak bulunabilir. Çok özel numunelerde ise, geniş bir araştırma ile akım, süre ve elektrot kuvveti arasında yapılacak kombinasyonlar incelenip istenilen şartların nasıl sağlanacağı tespit edilir (Anık ve Vural, 2007; Aslanlar, 2017, s. 24; Erik, 2010, 27 Mayıs; Erhuy ve diğerleri, 2015).

Belirli bir iş parçasının kaynak kabiliyet grafiği (akım-süre grafiği) oluşturmak mümkündür. Şekil 2.11.'de sunulan diyagram dört kısma bölünmektedir. İlk (A) bölgede ergime ve dolayısıyla birleşme yoktur. İkinci (B) bölgesinde elektrot kuvvetinin oluşturduğu basınç etkisi ile oluşan ve ergime olmadan yetersiz bir birleşme oluşur. Üçüncü (C) bölgesi ergime veya kaynak çekirdeğinin olduğu bölgedir. Üçüncü ve İkinci bölgenin sınır çizgisinden sonra ergime meydana gelir ve kaynak çekirdeğinin genişliği bu alan içerisine yöneldikçe artış gösterir. Sonuç

olarak kaynak çekirdeğinin çapı ile elektrot çapı hemen hemen birbirine eşit olur. Üçüncü bölge olan C bölgesi iş parçasının türüne bağlıdır. Bazı malzemelerde bu bölgenin genişliğinin dar olmasından dolayı kaynak akım ve kaynak süresinin hassas bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Kaynak işlemi öncesi parametre ayarında, kaynak akım ve kaynak süre değerleri C alanının üst bölgesine yakın kalacak şekilde belirlenir. Burada dördüncü bölge olan D bölgesi fişkıma bölgesidir. C bölgesinin üst sınırından sonra fişkıma başlar (Anık ve diğerleri, 1993, s. 186-195; Doruk ve diğerleri, 2016).

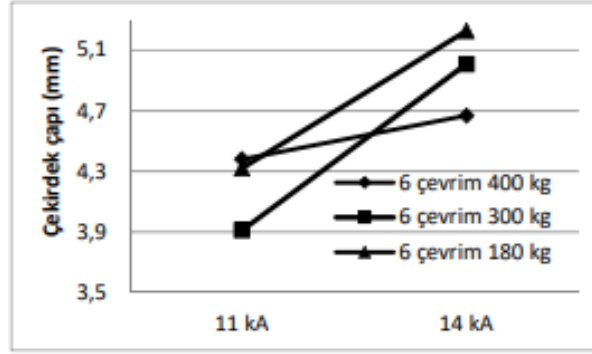


Şekil 2.11. Kaynak akımı-kaynak süresi ilişkisi diyagramı (Erik, 2010, 27 Mayıs)

Kaynak akımının ısı üretiminde en etkili parametrelerden biri olmasından dolayı ayarının dikkatlice yapılması gerekmektedir. Akım dalgalanmalarına, şebeke gerilimindeki dalgalanmalar ve kaynak transformatörünün sekonder devresinde oluşan değişkenlikler sebep olabilmektedir. Ayrıca, kaynak esnasında kaynak alanındaki akım yoğunluğunda da düşme oluşabilir. Bu durum, akımın bir önceki kaynak bölgesinden ve elektrot temasının olmadığı yerlerde kısa devre olması neticesinde gerçekleşebilir. Kısa devre oluşumundan dolayı kaynak çekirdeğinin boyutları istenilen değerler arasına ulaşamaz. Öte yandan, kaynak işleminin yapılması esnasında temas çapı farklı sebeplerden dolayı artmış olan elektrotlar akım yoğunluğunda azalmaya neden olur (Durgut ve Kaçar, 2011; Erik, 2010, 27 Mayıs)

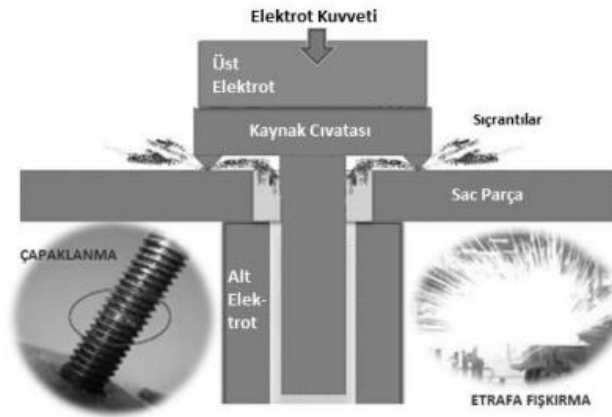
Kaynak akımının kaynak dayanımı ve kaynak bölgesi üzerindeki etkisinin irdelendiği bir çalışmada, artan kaynak akımının bağlantıların dayanımını ve çekirdek çapını

olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir. Çalışmada ilk olarak kaynak süresi 6 periyot seçilmiş ve 11 kA ile 14 kA akıma sahip numunelere sırasıyla 400, 300 ve 180 kg elektrot kuvveti uygulanarak kaynak işlemleri yapılmıştır. Çekme makaslama testleri nihayetinde sabit 6 periyot kaynak süresinde en yüksek dayanım değerinin şekil 2.12.'de görüleceği üzere 14 kA'lık akım ve 400 kg'lık elektrot kuvveti ile kaynak işlemi yapılan numuneye ait olduğu saptanmıştır (Özgül ve Arslan, 2017).



Şekil 2.12. Artan kaynak akımı ile çekirdek çapının değişimi (Özgül ve Arslan, 2017)

Projeksiyon kaynağında kaynak akımının kaynak dayanımının üzerine etkisini irdeleyen çalışmaların birinde efektif akım şiddetinin gerekenden düşük seçilmesi sonucunda yetersiz birleşmeye rastlanmıştır. Farklı numune üzerinde yapılan kaynak işleminde yüksek seçilen akım şiddetinin sonucunda ise şekil 2.13.'de sunulduğu üzere fişkırtma ve çapaklanma problemi oluşmuştur (Erhuy ve diğerleri, 2015).



Şekil 2.13. Fişkırtma sonucu kaynak cıvatası üzerinde oluşan çapaklanma (Erhuy ve diğerleri, 2015)

2.4.3.2. Kaynak zamanı

Kaynak zamanı, kaynak akımının sırasıyla üst elektrot grubundan ilk iş parçasına, diğer iş parçasına/parçalarına ve alt elektrota aktığı süredir. Genel olarak periyot cinsinden ölçülür ve genelde direnç kaynağı makinelerinde de C (Cycle) cinsinden belirtilir. 1 Cycle 1 periyoda eşittir ve bu süre 0,02 saniyedir (Akkaş, Varol, Ferik, Öz Saraç ve Aslanlar, 2013). Kaynak sırasında yalnızca elektrotun kuvvet uyguladığı bölge üzerinde ergime söz konudur. Bu yüzden eriyik bölge etrafında malzemenin iç yapısında kritik değişimler oluşmaktadır. Kaynak işleminde tutma süresi düşük olursa kaynak bölgesinde oluşan ısı dağıtılamadığı için geniş bir halka şeklinde etrafa yayılır ve elektrot temas yüzeyi siyah veya menevişli olabilir (Erik, 2010, 27 Mayıs). Kaynak işleminin ardından elektrot bir süre bekletilirse, iş parçası üzerindeki kaynak izi küçük ve beyaz olur (Cottrell, 1997, s. 17-26)

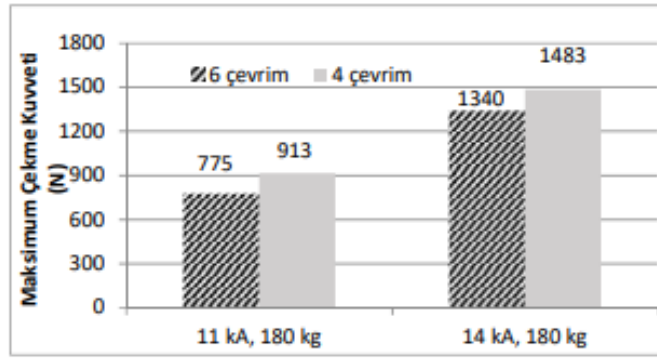
Düşük karbonlu alaşımsız çeliklerin kaynak işleminde, süresi kısa olan kaynak işlemleri için gerekli kaynak süresi denklem 2.5’de verilen bağıntıyla belirlenebilir:

$$t_k = 8 \cdot s \quad (2.5)$$

Yukarıdaki bağıntıda, t_k (periyot) kaynak süresi, s (mm) levha kalınlığıdır.

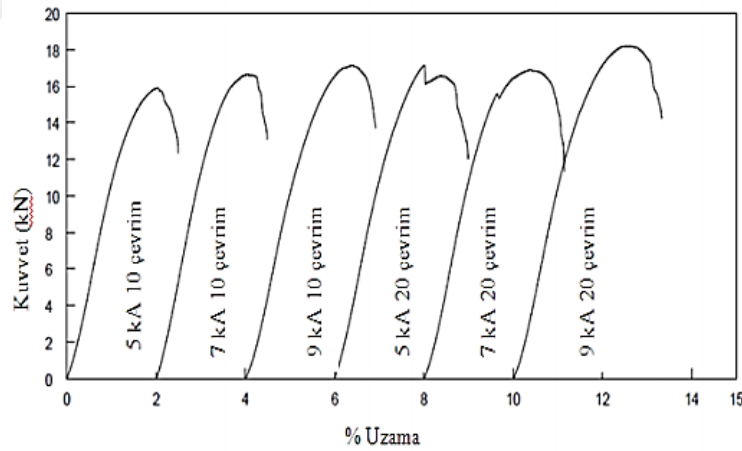
Kaynak zamanı, akımın durdurulmasının ardından kaynak alanının soğuma hızını direkt olarak etkilemektedir. Çevrim zamanı yüksek olan kaynaklarda, kaynak bölgesine yakın olan bölgelerin sıcaklığı arttığından, olması gereken duruma göre daha fazla bir sıcaklık farkı meydana gelir. Bu durumda kaynak işleminin ardından soğuma hızı yükselir. Bu nedenle, karbon oranı % 0,3 olan çeliklerde sertleşmenin önüne geçebilmek için yüksek süreli kaynak kullanılır. Öte yandan, elektrotlar tarafından kuvvet uygulaması güç olan malzemeler için de yüksek süreli kaynak uygun görülebilir (Cottrell, 1997, s.17-26; Erik, 2010, 27 Mayıs).

Kaynak süresinin dayanıma olan etkisinin irdelendiği bir çalışmada 11 kA’lık kaynak akımında 6 periyot ve 4 periyot kaynak süresi ile kaynak işlemi yapılan numunelerin kaynak dayanım değeri yaklaşık olarak %18 artarken, 14 kA’lık kaynak akımında ise %11 arttığı saptanmıştır (Şekil 2.14.), (Özgül ve Arslan, 2017).



Şekil 2.14. Sabit elektrot kuvvetinde kaynak süresinin dayanımlar üzerine etkisi (Özgül ve Arslan, 2017)

Başka bir çalışmada ise artan kaynak süresinin, artan kaynak akımı ile birlikte bağlantı dayanımını arttırdığı belirtilmiştir. Çalışma kapsamında 5 kA, 7 kA ve 9 kA kaynak akımları 10 periyot ve 20 periyot kaynak süresiyle sabit elektrot kuvveti altında kaynak işlemleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda 20 periyot çevrimi olan numunelerin dayanım değeri 10 periyot grubuna göre daha yüksek olduğu Şekil 2.15.'de görülmektedir. (Durgut ve Kaçar, 2011).



Şekil 2.15. Artan kaynak akımı ve kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (Durgut ve Kaçar, 2011)

S235JR(Cu) malzemesinin konu edinildiği bir çalışmada ise, elektrot kuvveti sabit tutularak kaynak süresi ve kaynak akımı üzerinde yapılan değişiklikler ile optimum parametreler saptanmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan ön deneylerde kullanılan parametreler için kaynak süresi 5 per– 30 per, kaynak akımı ise 13 kA- 8,5 kA'dir. Şekil 2.16.'da görüldüğü üzere artan kaynak süresi karşılığında akım değerleri düşürülerek yapılan kaynak işlemleri sonucunda en yüksek dayanıma sahip

numunenin 30 per kaynak süresine sahip olan numuneye ait olduğu gözlemlenmiştir (Akkaş, Ferik, İlhan ve Aslanlar, 2015).

Results of tensile-shear tests.

Welding time [per]	Welding current [kA]	Max. tensile-shear load [N]
5	13	15181
10	11	15909
15	9.5	17740
20	10	18746
25	8.5	18773
30	8.5	19535

Şekil 2.16. Artan kaynak süresi karşılığında azalan akımın kaynak dayanımına etkisi (Akkaş ve diğerleri, 2013)

Kaynak akımının sabit tutulup kaynak süresinin arttırıldığı bir çalışmada, numunelerin kopma dayanımı ve çekirdek çapının arttığı fakat yüzey görüntü kalitesinin olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir (Çavdar, Yaşar ve Şahin, 2017).

Bir ağır vasıta üzerinde bulunan projeksiyon kaynatılmış bir braketin kırılması üzerine kaynak parametrelerinde yapılan değişiklikler ile ürünün dayanımı arttırılmıştır. Çalışmanın kaynak deneyleri kısmında akım değeri sabit tutulmuş ve kaynak süresinin arttırılmasının dayanıma olan etkisi irdelenmiştir. Koparma testleri sonucunda braketin kopma dayanımının arttığı belirtilmiştir (Davut ve diğerleri, 2015). Projeksiyon kaynağı üzerine başka bir çalışmanın bir bölümünde kaynak işlemi sırasında kaynak cıvataları üzerinde oluşan çapaklanmanın azaltılmasına yönelik irdelemeler yapılmıştır. Çalışma sonuçlarında kaynak süresinin yetersiz birleşme ve çapaklanma miktarı üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir (Bıyık, İnce, Ateş ve Yetilmezsoy, 2016).

2.4.3.3. Tutma zamanı

Kaynak çevriminin üçüncü safhası olan tutma zamanı, akım şiddetinin kesilmesinin ardından çekirdeğin katılaşması için malzemeler üzerinde elektrot kuvvetinin uygulandığı süredir (Aslanlar, 2017, s. 5).

Yapılan bir çalışmada ince taneli yapı malzemelerinin tutma sürelerinin hassas ayarlanması gerektiği ve ½-1 sn. aralığında olabileceği belirtilmiştir. Aynı çalışmada

bu malzemelerin soyma deneylerinde ara yüzeyden yırtılma eğilimi gösterdiği de belirtilmiştir (Oğur ve Muzoğlu, 2003).

2.4.3.4. Elektrot kuvveti, malzemesi ve boyutu

Projeksiyon kaynağının ilk safhasında elektrotlar birbirine yaklaşır ve ikinci safhada iş parçaları sıkıştırıldıktan sonra, kuvvetin sabit hale gelmesiyle kaynak işlemi başlatılır.

Kaynak prosesinin üç safhasında elektrotlar uyguladıkları kuvvetten dolayı önemli bir role sahiptir. Sac parçaları arasında bulunan temas direncinin düşük bir değerde tutulması basma safhasında sağlanmaktadır. Kaynak safhasında elektrot kuvvetinin görevi, iş parçaları arasında bulunan ergiyik metalin fişkırmaya çalışmasını önleyip katı haldeki metal çukurun içinde tutmaktır. Kaynak çekirdeğinin soğuması ve katılaşması sırasında, büzülmeden dolayı ortaya çıkması muhtemel olan boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumu ise tutma safhasında önlenmektedir. Elektrot kuvvetinin artması, iş parçaları arasındaki temas direncini düşüreceğinden, kaynak akımının artırılmasını gerektirir. Öte yandan, çok yüksek seçilen elektrot kuvveti kaynak çekirdeğinin hatalı oluşmasına veya distorsiyona sebep olabilir (Aslanlar, 2017, s. 24). Çekirdek tamamen katı metalle çevrili olduğundan, elektrotların aniden kalkacağı düşünülürse, bu durum kaynakta boşluk ve çatlama tehlikesi oluşturabilir. Bundan dolayı ergimiş malzeme üzerinde elektrot kuvveti soğuma sırasında da bir süre (tutma süresi) devam ettirilir veya artırılarak ısının hızlıca dağılmasına ve kaynağın dövülmesine olanak verir (Amık ve Vural, 2007; Aslanlar, 2017, s. 24; Erhuy ve diğerleri, 2015; Erik, 2010, 27 Mayıs).

Kaynak elektrotları herhangi bir malzeme sınıfına ait olmayan özel alaşımlardır. Tablo 2.1. 'de projeksiyon kaynağında kullanılan başlıca elektrot malzemeleri ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Elektrot malzeme ve özellikleri (Erik, 2010, 27 Mayıs)

Malzeme	Bileşim (%)	Elektrik İletkenliği	Brinell sertlik değ. (daN/mm ²)
Elektrolitik Bakır	99,9 Cu	56	85-105
Gümüş Bakır	2-Ag	50-29	80-120
Kadmiyum Bakır	0,9-1,2 Cd	50-45	100-120
Krom Bakır	0,7 Cr	47	150-170
Berilyum Bakır	0,6-1,3 Be	53-30	136-290
	0,3 Ni		
Tungsten Bakır	55-60 W	25-22	225

Elektrot malzemeleri arasında en iyi iletken ticari saf bakırdır. Ancak, düşük dayanım değerine sahip olduğundan çok nadir kullanılmaktadır. Elektrolitik bakır, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olduğundan, hafif metallerin kaynağında tercih edilir. Gümüş-bakır, kadmiyum-bakır ve krom-bakır esaslı elektrotlar elektrik iletkenliklerinin yanında sertlikleri ile bilinirler. Daha sert özelliğe sahip berilyum bakır elektrotlar ise, yüksek elektrik dirençli sert malzemelerin kaynağı için önerilir. Projeksiyon kaynağında en çok kullanılan elektrot alaşımları ise tungsten-bakır ve molibden-bakır esaslı elektrotlardır. Bu elektrotlar ayrıca gümüş, bakır ve farklı metal çiftlerinin birleştirilmesinde, yüksek kaynak değerleri ile çalışma koşullarında, seri işlemlerde kullanılması için de tavsiye edilmektedir (Aslanlar, 2017, s. 24; Erik, 2010, 27 Mayıs).

Projeksiyon kaynağında genellikle kaynak işlemi yapılacak parçaların yüzeyinin düz olmasından dolayı düz uçlu elektrotlar tercih edilmektedir. Elektrotların boyutlandırılması ise aşağıdaki denklemlere göre yapılır.

$$de_a = 5.s \quad s < 3mm \text{ için} \quad (2.6)$$

$$de_{\ddot{u}} = 2s + K \quad s > 3 mm \text{ için} \quad (2.7)$$

$$K = 2 \quad s < 7,5 mm \text{ için} \quad (2.8)$$

Denklemlerde bulunan de_a (mm) alt elektrot çapını, $de_ü$ (mm) üst elektrot çapını ve K malzeme sabitini ifade etmektedir (Aslanlar, 2017, s. 24; Erik, 2010, 27 Mayıs).

Projeksiyon kaynağında malzeme ve sac kalınlığına bağlı olarak elektrot kuvveti seçilirken:

Alaşımsız çelikler için:

$$F = 2. s \quad (2.9)$$

Yüksek alaşımlı çelikler için:

$$F = 3,5. s \quad (2.10)$$

Alüminyum için:

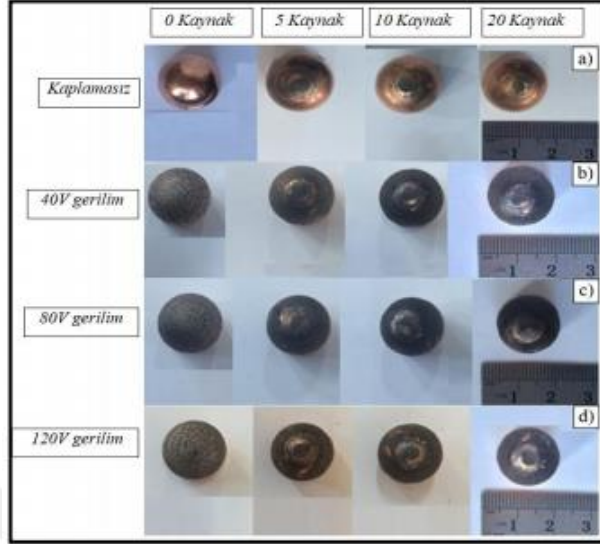
$$F = 2,5. s \quad (2.11)$$

Burada: F: Elektrot Kuvveti (kN), S: Sac kalınlığı (mm)'dir (Erik, 2010, 27 Mayıs; Aslanlar, 2017, s. 24).

Elektrot kuvvetinin önemiyle ilgili yapılan bir çalışmada elektrot kuvvet değerinin uygun değer aralıklarına göre daha yüksek seçilmesi kabartının düzleşmesine, yetersiz füzyon ve kaynak bağlantısının zayıf oluşmasına sebep olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, düşük seçilen elektrot kuvveti ise ergiyik metalin kaynak bölgesinden fişırması problemlerine sebep olacağından dolayı kalitesiz bir kaynağın oluşmasının kaçınılmaz olacağına altı çizilmiştir (Davut ve diğerleri, 2015). Yine fişırmanın konu edinildiği bir çalışmada ise, kaynaklı bağlantının kalitesini olumsuz etkileyen fişırmayı belirlemedeki en önemli parametrenin elektrot kuvveti olduğu belirtilmiştir (Erhuy ve diğerleri, 2015).

Direnç kaynağında kullanılan elektrot ömürlerinin arttırılmasını konu alan bir çalışmada, elektrotların uç yüzeyleri TiC-Co malzeme ile kaplanarak (Şekil 2.17.)

kaynak işlemlerindeki etkisi araştırılmış ve ucu kaplanmış elektrotlarda mantarlaşma süresinin daha kısa olduğu bildirilmiştir (Emre ve diğerleri, 2018).



Şekil 2.17. 0-5-10-20 kaynak sonrası a) kaplamasız ticari elektrot b) TiC-Co kaplanmış elektrotların makro görüntüleri (Emre ve diğerleri, 2018)

2.4.3.5. Kabartı, kabartı geometrisi ve sayısı

Kabartılar iki grupta sınıflandırılır. Bunlar yapay ve doğal kabartılardır. Yapay kabartılar kaynaklanacak parçalar üzerinde mekanik işlemlerle oluşturulur. Kabartılar ince levhalarda sac kalıpları aracılığıyla oluşturulur. Bu işlem genellikle, saca şekil verilen progresif kalıbın bir istasyonunda uygulanır. Kalınlığı fazla olan iş parçalarında ise kabartı damgalama yöntemi ile oluşturmaktadır. Damgalama işlemi parçaların dövme işlemi sırasında gerçekleştirilir. Üç tip kabartı mevcuttur. Bunlar nokta, uzun ve halka biçimli kabartılardır. Nokta kabartılar, ince levhalarda kabartma kalıpları kullanılarak, kalın levhalarda ise damgalama veya dövme işlemiyle elde edilir. Kabartma kalıpları ile oluşturulan kabartıların dış yüzeyleri küreseldir. İç kısımları ise ıstampaya bağlı olarak kavisli veya köşeli olabilir.

Tablo 2.2.'de gösterilen boyutlardaki kabartılar kullanılarak, nokta kaynağındakine benzer şekilde, s (mm) levha kalınlığı olmak üzere, $5\sqrt{s}$ çapında kaynak dikişi elde edilir (Aslanlar, 2017, s. 68).

Tablo 2.2. Sac kalınlığına bağlı olarak kalıp ve kabartı boyutları (Aslanlar, 2017, s. 69)

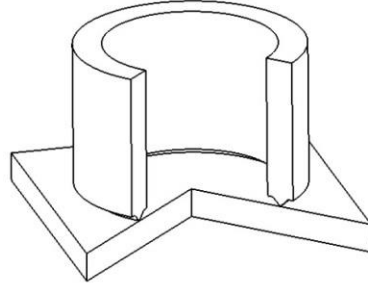
Sac s (mm)	Kalınlığı	D ₁ (mm)	D (mm)	H (mm)
0,5'e kadar		0,5	1,6	0,4
0,5-0,6		0,63	2,0	0,5
0,6-1,0		0,8	2,5	0,63
1,0-1,6		1,0	3,2	0,8
1,6-2,5		1,25	4,0	1,0
2,5-3,0		1,6	5,0	1,25

Burada D; kabartı kalıbı iç boşluk çapı, D₁; ıstampa uç çapı, H ise kabartı yüksekliğidir.

Literatürde bulunan bir çalışmada projeksiyon kaynağı ile birleştirilen kaynak cıvatalarında fışkırma sebebiyle oluşan çapaklanmanın azaltılması için Taguchi ve çok amaçlı optimizasyon yöntemleriyle optimum proses parametreleri geliştirilmiştir. Çalışma kapsamına alınan farklı kabartı ebatlarına sahip kaynak cıvatalarının kaynak işlemleri sırasında oluşan çapaklanmanın azaltılması amaçlanmıştır. Farklı kaynak parametreleri ve farklı kaynak cıvatalarının kullanıldığı çalışma sonucunda kabartı yüksekliğinin çapaklanma üzerindeki etkisinin beklenenden fazla olduğu saptanmıştır. Kabartı geometrileri iyileştirilerek çapaklanma miktarı düşürülmüştür (Bıyık ve diğerleri, 2016).

Uzun kabartı, parçaya göre gerekli olduğu durumlarda veya nokta kabartının yeterli mukavemet sağlamadığı durumlarda kullanılır. Verilen bir levha kalınlığı için, uzun kabartının yüksekliği nokta kabartının yüksekliği, eni ise nokta kabartının taban çapı kadardır. Uzunluğu, uygulamaya uygun düşen miktarda ve genellikle genişliğinin iki veya üç katı kadar yapılmalıdır (Anık ve Vural, 2007; Aslanlar, 2017, s. 69).

Şekil 2.18.'de sunulan halka biçimli kabartı ise, özellikle 0,6 mm'den daha ince sacların projeksiyon kaynağında tercih edilir. Bu tip bir kabartının kaynak akımı öncesi elektrot kuvvetine karşı gösterdiği mekanik direnç, nokta kabartıya nazaran daha yüksektir. Bu tip kabartılar gaz ve su sızdırmaz kaynak dikişi istendiğinde ve boruların levhalara kaynağında kullanılır (Aslanlar, 2017, s. 70; Anık ve Vural, 2007).



Şekil 2.18. Halka biçimli kabartı kaynağı (Aslanlar, 2017, s. 69)

Projeksiyon kaynağında kullanılan kaynak cıvatası ya da somunun kabartı sayısı ürünün ürünün fiziksel özelliklerine göre üç ya da dört adet olabilir.

Doğal kabartı kaynağında bazı parçalar özel geometrik şekilleri nedeniyle belirli bölgelerde kaynak akım yoğunluğunun artmasına neden olur. Böylelikle bu bölgeler doğal kabartı işlevi görürler. Şekil 2.19.'da görseli sunulan bijon anahtarı bu konuya verilebilecek en uygun örneklerden biridir. Hac biçiminde yerleştirilen iki borunun teması ilk etapta noktasaldır. Böylece bu noktada akım yoğunluğunun büyük ölçüde artmasına ve boruların kaynamasına neden olur.

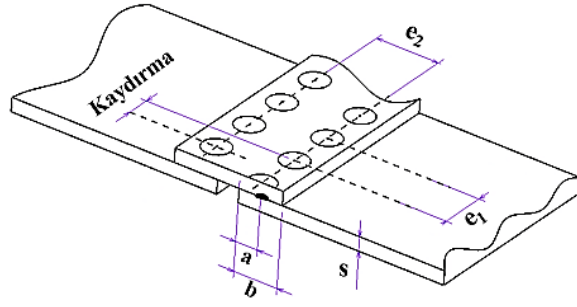


Şekil 2.19. Hac biçimli kaynak ile imal edilmiş bijon anahtarı görseli

Konstrüktif ve imalat tekniği açısından kabartıların düzeni ve sayısı ile ilgili bazı kavramlar standartlaştırılmıştır (Anık ve Vural, 2007).

Şekil 2.20.'de:

sac kalınlığı= s , bindirme= b , kenar mesafesi= a , kabartı aralığı= e_1 , sıra aralığı= e_2 'dir.



Şekil 2.20. İş parçaları üzerinde kabartı sayısının belirlenmesi (Anık ve Vural, 2007)

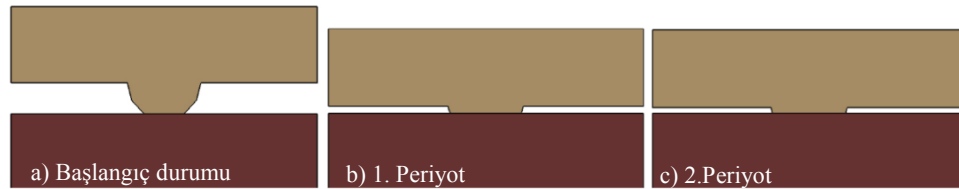
2.4.4. Projeksiyon kaynağında bağlantı kalitesini belirleyen özellikler

2.4.4.1. Çekirdek boyutları

Çeşitli endüstri standartları, belirli bir sac kalınlığı için direnç kaynağının optimum veya minimum boyutunu önermektedir. Örneğin, Amerikan Kaynak Derneği (AWS), Otomotiv Mühendisliği Derneği (SAE) ve Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI) aşağıda formülü verilen kaynak çekirdeği genişliğini önermektedir (Akkaş ve diğerleri, 2015).

$$d_1 = 4 \cdot s^{0,5} \quad (2.12)$$

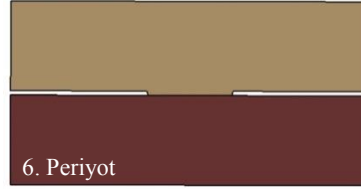
Denklemden d_1 çekirdek genişliğini, s iş parçası kalınlığını (mm) belirtmektedir. Çalışmanın önceki kısımlarında belirtildiği gibi çekirdek genişlik formülü bazı kaynaklarda $5\sqrt{s}$ olarak da verilebilmektedir.



Şekil 2.20. Kabartı kaynağında başlangıç durumu ve 2. periyot görselleri (Anık ve Vural, 2007)

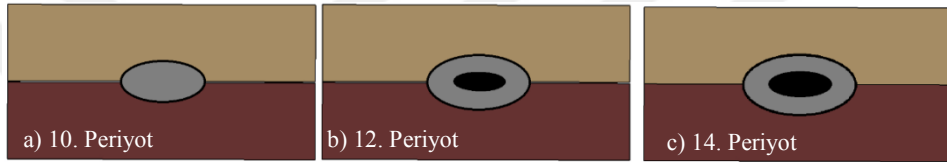
Başlangıç durumunda (Şekil 2.21.a) akım uygulaması ve elektrot kuvveti bulunmaz. Kabartı yüksekliği bu numune için 1,2 mm'den 1mm'ye düşmüştür. 0,2 mm'lik

eksilmenin 0,16'sı saca dalma, 0,04'ü ise ezilmedir. 1. periyot sonunda (Şekil 2.21.b) iş parçaları arasındaki mesafe 0,25 mm'dir.



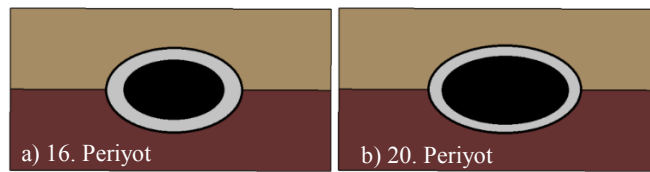
Şekil 2.21. Kabartı kaynağında 6. periyot görseli (Anık ve Vural, 2007)

6.periyot sonunda (Şekil 2.22.) saclar arası mesafe 0,12 mm'dir.



Şekil 2.22. Kabartı kaynağında 10,12 ve 14. periyot görselleri (Anık ve Vural, 2007)

10. periyot (Şekil 2.23.a) kaynak çekirdeğinin olmadığı son aşamadır. 12. periyotta (Şekil 2.23.b) kaynak çekirdeği oluşmaya başlamaktadır ve 14. periyotta (Şekil 2.23.c) iş parçaları birbirlerine tamamen temas etmektedir ve kabartı yüksekliği ısının ve elektrot kuvvetinin etkisiyle ezilerek ve eriyerek kaybolmuştur.



Şekil 2.23. Kabartı kaynağında 16 ve 20. periyot görselleri (Anık ve Vural, 2007)

16. periyotta (Şekil 2.24.a) kaynak çekirdeği uygun mertebede oluşmuştur. 20. periyottan (Şekil 2.24.b) itibaren artan kaynak süresiyle çekirdek boyutlarının da artacağı söylenebilir.

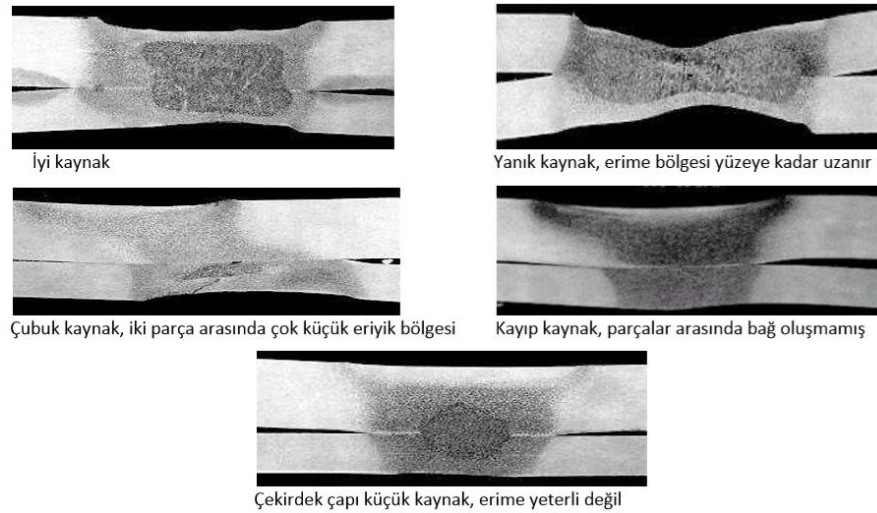
Tablo 2.3.'de değişik sac kalınlıkları için kaynak çekirdeği çapları verilmektedir.

Tablo 2.3. Farklı iş parçası kalınlıkları için kaynak çekirdek çapları (Erik, 2010, 27 Mayıs)

mm	0,5	1,0	1,5	2,0	
Çekirdek Çapı (d _i)	En Büyük	6,0	9,0	10,0	13,0
	En Küçük	3,0	4,0	5,0	6,0

Çekirdek boyutunun oluşmasına kaynak akımının ve kaynak süresinin etkisinin incelendiği bir çalışmada, yetersiz kaynak akımı ve kaynak süresinde malzemeler arasında füzyonun oluşmadığı, aşırı yüksek kaynak akım şiddetinin ve süresinin seçilmesi durumunda fişkıma olduğu belirtilmiştir (Erhuy ve diğerleri, 2015).

Çekirdek boyutlarının tayini ve kaynak kalitesinin izlenmesinin konu edinildiği bir çalışmada, şekil 2.25.'de görüldüğü üzere metalografik muayeneler sonucunda kaynak çekirdeğinin tipine göre kayıp kaynak, çubuk kaynak, iyi kaynak ve yanık kaynak grupları belirlenmiştir. Çekirdeğin oluşmadığı durumlarda kayıp kaynak, çekirdeğin çok az olduğu durumlarda çubuk kaynak, çekirdeğin istenen ebatlarda olduğu durumlarda iyi kaynak ve çekirdek ebatının fazla olduğu durumlarda da yanık kaynağın olduğu belirtilmiştir (Doruk ve diğerleri, 2016).

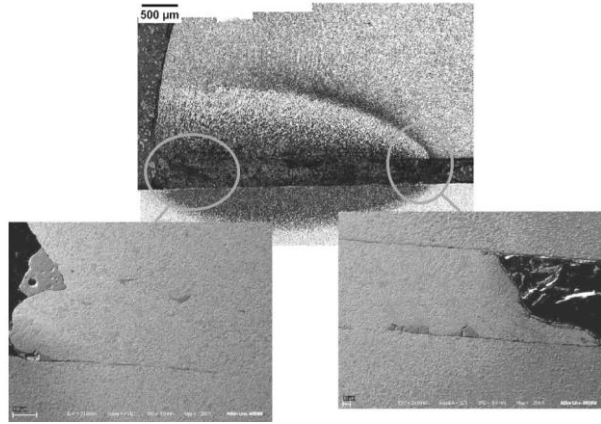


Şekil 2.24. Farklı kalitede gerçekleşen kaynak çekirdek çeşitlerinin makro görselleri (Doruk ve diğerleri, 2016)

2.4.4.2. İç süreksizlikler

Projeksiyon kaynak yöntemiyle birleştirilme işlemi yapılan numunelerin kaynak bölgesinde ve ITAB bölgesinde birleşme yetersizliği veya buna bağlı oluşan çatlaklar kaynağın dayanımını olumsuz etkiler. Bu durumun oluşmasını engellemek için bir takım hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar, kaynak parametreleri, iş parçalarının geometrisi, parçaların yüzey durumu, elektrot geometrisi ve malzemesi olarak belirtilebilir.

Yapılan bir çalışmada, araç üzerine montajı yapılan projeksiyon kaynaklı bir ürünün kırılması ve nedenleri irdelenmiştir. Somun ve sac arasında yetersiz füzyondan kaynaklı oluşan bu problem ile ilgili olarak iç süreksizlik görseli şekil 2.26.'da sunulmuştur (Davut ve Diğerleri, 2015).

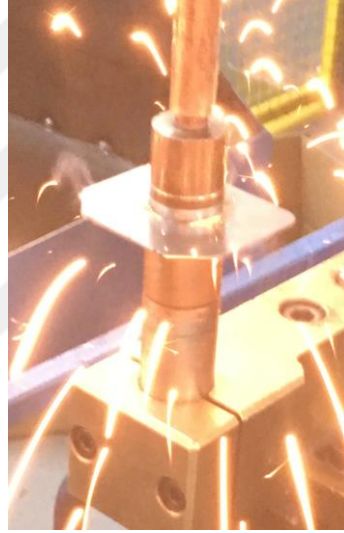


Şekil 2.25. Sac-somun ara yüzeyinde gözlenen iç süreksizlikler (Davut ve diğerleri, 2015)

2.4.4.3. Fıskırma

Fıskırma, farklı bir tanımla çapak genellikle fazla ısınmanın ve uygun olmayan elektrot kuvvetinin neden olduğu bir durumdur. Bu durumda ergimiş metal kaynak bölgesinden taşmaktadır. Fıskırma durumunu elimine etmek için baskı kuvveti ve şekli kaynak bölgesi etrafında bir basınç halkası oluşturacak biçimde olmalı ve birleştirme yüzeyleri temiz olmalıdır. Fıskırma yüzey ezilmesine, çapak oluşumuna, sac ayrılmasına, gaz kabarcıklarına ve kaynak dayanımının azalmasına neden olmanın yanı sıra kaynak kalitesini de etkilemektedir. Çekirdek oluşumuna yakın

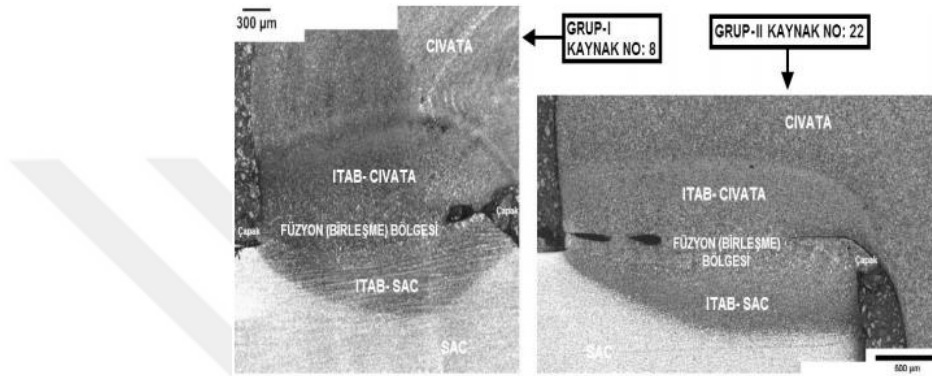
bölgelerde oluşan fişkırmalara bir çok neden olabilir. Pürüzlü, yağlı veya kirlı yüzey şartlan, yetersiz elektrot kuvveti, elektrotun takım geometrisinin uygun olmaması, alt ve üst metale temas eden elektrotların ekseninin kaçık olması, kaynak akımının, kaynak süresinin yüksek olması ve iş parçalarının pozisyonlama hatalarıdır. Ayrıca, kaynak çekirdeğinin simetrik olmaması, kaynak nüfuziyet oranının %20'den az ve %80'den fazla olması, çekirdek üzerinde gaz kabarcıklarının ve gözeneklerin oluşması iç süreksizliği oluşturan faktörlerdir (Aslanlar, 2017, s. 50). Fişkırma sonucu oluşan çapaklar kaynak civatasının fiziksel özelliklerini etkilediğinden kalite problemlerine ve ürünün dayanımının düşmesine sebebiyet vermektedir. Kaynak işleminde oluşan fişkırma görseli şekil 2.27.'de sunulmaktadır.



Şekil 2.26. Somun-sac projeksiyon kaynak işleminde fişkırma/taşma

Projeksiyon kaynak işleminde fişkırma ve bunun sonucunda oluşan çapaklanma durumunun konu edinildiği bir çalışmada, çapaklanmanın kabartıların sıvı hale gelmesi ile metallerin ara yüzeyine taşan metal tarafından oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında numuneler iki gruba bölünmüş ve ilk grubun deneme çalışmalarında 20 adet, ikinci grubun çalışmalarında ise 25 adet kaynak civatasının kaynak işlemi yapılarak sonuçlar kıyaslanmıştır. İlk grubun kaynak işlemi sırasında kaynak akımı ve kaynak süresinde değişikliğe gidilmiş ve kaynak işlemleri sonrasında yapılan incelemelerde fişkırmaya bağlı olarak noktasal ve sarkık tip çapak oluşumu gözlemlenmiştir. İkinci grubun kaynak işlemleri sırasında sadece kaynak akımı değiştirilmiştir ve kaynak işlemleri sonrasında yeterli füzyon oluşmayan

numunelerde daha büyük boyutlu çapak oluşumuna rastlanmıştır (Şekil 2.28.). Fıskırmanın ve çapak oluşumunu engellemek amacıyla kaynak prosesinde elektriksel ve mekanik değerlerin mertebeleri, metallerin boyutları, geometrileri ve elektrotların temas eden yüzeylerinin durumları göz önünde bulundurularak tekrardan ayarlanması gerektiği ancak bu ayarlamaların kaynak dayanımını az da olsa düşüreceği de bildirilmiştir (Erhuy ve diğerleri, 2015).



Şekil 2.27. Çalışma kapsamında belirlenen gruplara ait çapaklanma görselleri (Erhuy ve diğerleri, 2015)

2.4.4.4. Yüzey durumu

Projeksiyon kaynağında yüksek kalitede kaynak çekirdeği elde etmek için, elektrotlara temas eden iş parçası yüzeyindeki direncin minimum olması gerekmektedir. Bu durum iş parçası yüzeylerinin temiz olması ve elektrot kuvvetinin kontrol altında tutulması ile sağlanabilir. Elektrotlar ve elektrotların temas ettiği iş parçalarının yüzeyleri yüksek temas direncine sahipse, bu yüzeylerdeki sıcaklık artışı kaynak çekirdeğinin oluştuğu bölgenin yüzeyindeki kadar hızlıdır.

Metal levhaların yüzeyleri mikro ölçekte pürüzlüdür ve düşük elektrot kuvveti uygulandığında iş parçaları arasındaki temas bölgesi tüm temas bölgesinin sadece küçük bir yüzdesi olabilir. Elektrot kuvveti arttırıldıkça, yüksek noktalar bastırılarak iş parçaları arasındaki temas bölgesi artar ve böylece elektrik direncinde düşme gerçekleşir. Artan elektrot kuvveti iş parçaları arasındaki direnci düşürür. Elektrot malzemesinin iş parçalarının malzemesinden daha yumuşak olduğu durumlarda, belirli bir elektrot kuvveti altında elektrotlar ve iş parçaları arasındaki temas

bölgesinde, iki iş parçasının ara yüzeyindeki temas bölgesine oranla daha iyi bir temas söz konusudur.

Elektrot baskı kuvveti, ısı denkleminde direkt olarak yer almamakla beraber elektrik direnci ve kaynak akımı üzerinde direkt olarak etkilidir. Temas yüzeylerinin direnci elektrot baskı kuvvetiyle ters orantılıdır (Erik, 2010, 27 Mayıs).

Çeliğin projeksiyon kaynağı için önerilen parametre değerleri iş parçasının hadde cürufu, oksit, boya ve yağdan arınmış olması durumunda geçerlidir. Kaynak yapılacak iş parçaları kaynak kalitesini olumsuz etkilememesi için uygunca temizlenmelidir. Kaynakların temiz bir yüzey görünümüne sahip olmaları için alt ve üst elektrotların baskı yüzeylerine temas edebilecek kir, cüruf, pas ve oksit filmi elimine edilmeli ya da olabildiğince azaltılmalıdır. İş parçalarının yüzeylerinde bulunan ve kaynak kalitesini olumsuz etkileyecek maddelerin temizlenmesi elektrot alaşımlaşmasını azaltarak elektrot ömrünü artırır (Erik, 2010, 27 Mayıs).

İş parçalarının yüzeylerinden kir ya da yağ tabakası buharlı yağ gidericiler ve kimyasal banyolar ile temizlenebilmektedir. Fakat bazı durumlarda projeksiyon kaynağı yapılacak yüzeylerin dikkatli bir şekilde elle temizlenmesi de yeterli olabilir. Oksit tabakaları mekanik yöntemlerle temizlenebilir. Bu işlem gerçekleştirilirken çizikli yüzey oluşumuna sebebiyet verilmemesi gerekmektedir.

Kum, kumtaşı veya bilye gibi aşındırıcı etkiye sahip partiküller kullanılarak yapılan temizleme yöntemleri iş parçaları yüzeyinde kum veya cüruf partikülleri bırakabildiğinden dolayı çoğu zaman tatmin edici değildir (Erik, 2010, 27 Mayıs; Aslanlar, 2017, s 29).

Yüzeyde bulunan ince yağ tabakalarının projeksiyon kaynağında çekirdek oluşumuna az da olsa olumsuz etkisi bulunmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için iş parçaları üzerinde bulunan yağ silinmeli veya yağ gidericiler ile temizlenmelidir (Aslanlar, 2017, s. 29).

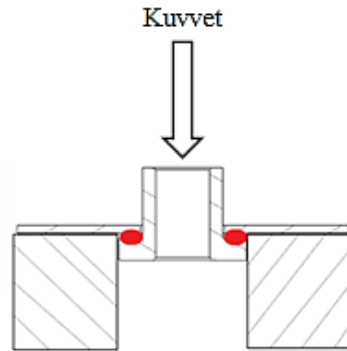
Pas, hadde cürufu veya ısıl yolla meydana gelen oksit tabakalarını bulunduran iş parçalarına projeksiyon kaynağı yapılabilir fakat kaynakların kalite ve sürekliliği bu tabakalardan temizlenmiş iş parçalarına yapıldığında oranla daha düşüktür. Çok kalın ve

düzgün olmayan bir cürufu üzerinde bulunduran iş parçalarına yapılan projeksiyon kaynağında çekirdek oluşumu zayıf olabilir veya hiç oluşmayabilir (Erik, 2010, 27 Mayıs).

Fazla miktarda cüruf veya oksit tabakalarına sahip iş parçaları kaynak edildiğinde kaynak bölgesinde bulunanların çoğu kaynak parametrelerine bakılmaksızın kaynak içerisinde kalabilir. Kaynak metalindeki bu inklüzyonlar, mikroyapı görüntülerinde belirlenmesi zor olan boşluklar veya diğer iç kusurlara neden olabilir (Aslanlar, 2017, s. 29; Erik, 2010, 27 Mayıs; Gould, 1987).

2.4.4.5. Kaynak dayanımı

Projeksiyon kaynaklı bir bağlantının taşıma davranışının ölçümü, kırılmayla sonuçlanan zorlama ile anlaşılabilir. Çekme-makaslama deneyi, titreşim deneyi, koparma deneyi, burulma deneyi, içyapı incelemesi gibi tüm tahribatlı deneyler projeksiyon kaynaklı ürünler üzerinde uygulanabilir. Projeksiyon kaynak yöntemiyle oluşturulmuş bir bağlantının dayanım değerlerinin uygunluğunu belirlerken genellikle çekme makaslama ve şekil 2.29.'da uygulama prensibi bulunan kaynak koparma deneyleri uygulanmaktadır (Anık ve Vural, 2007; Bıyık ve Diğerleri, 2016).



Şekil 2.28. Kaynak koparma testi uygulama prensibi

Projeksiyon kaynağında kaynak dayanımı etkileyen faktörler aşağıdaki gibidir.

- Elektrot kuvveti,
- Alt ve üst elektrot grubunun aksenal olması,
- Elektrot geometrisi,
- Kabartı geometrisi,
- İş parçalarının yüzey geometrisi,
- İş parçalarının yüzey temizliği,
- Pozisyonlama hataları,
- Kaynak akımı ve kaynak süresi değerleri,

olarak sıralanabilir.

Projeksiyon kaynağının dayanımının iyileştirilmesinin konu edinildiği bir çalışmada DD 11 malzeme sac ve AISI1010 malzeme somun kullanılmıştır. Araç üzerinde kaynak dayanımının yetersiz olmasından dolayı kırılan numune üzerinde kırılma analizleri yapıldıktan sonra ürün geometrisi iyileştirilerek kaynak parametrelerinde iyileştirmelere gidilmiştir. Çalışma kapsamında ilk düzeltmede kullanılan parametreler; kaynak akımı 18 kA, kaynak süresi 3 periyot ve elektrot kuvveti 675 kgf'dir. Bu parametrelere göre kaynak işlemi yapılan numune koparma testine tabi tutulmuş ve 1750 kgf'lik kopma değeri göstermiştir. İkinci düzeltmede kaynak akımı sabit tutulmuş, kaynak süresi 4 periyot, elektrot kuvveti ise 790 kgf olarak belirlenmiştir. İkinci düzeltme sonrası ürünün dayanım değeri koparma testi sonrasında 2049 kgf olarak ölçülmüştür. Çalışma sonucunda kaynak süresi ve elektrot kuvvetinin artırılmasıyla kaynak dayanımının iyileştirildiği bildirilerek metalografik muayeneler ve sertlik ölçüm işlemleri aracılığıyla da bu deneyler doğrulanmıştır (Davut ve diğerleri, 2015).

Kaynak cıvataları üzerine yapılan başka bir çalışmada ise, kaynak edilecek cıvata üzerinde bulunan kabartıların dayanım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı kabartı boyutlarına sahip numunelerin kaynak işleminden sonra minimum 2843 N dayanım değerine sahip olması beklenmiştir. Çalışmada kullanılan kaynak cıvataları Zn-Ni kaplamalı M8 çapında 20MnB4 çeliğinden üretilmiştir. Sac ise DC 04 ile DP 600'dir. Deney kısmında kullanılan kaynak parametreleri kaynak akımı 14 kA,

kaynak süresi 2 periyot ve elektrot kuvveti 6648 N olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda numunelerin tümü 2843 N geçmiştir. Fıskırmanın olduğu bazı kaynak işlemlerinde akım, süre, kuvvet ve kabartı yüksekliğinin fıskırma ve çapaklanmayı en aza indirme konusunda etkin faktörler olduğu belirtilmiştir. Kabartı genişliğinin çapaklanma üzerindeki etkisinin az olduğu da çalışmanın sonuçlarından biridir (Bıyık ve diğerleri, 2016).

Benzer özellikli malzemelerin kullanıldığı başka bir çalışmada iki gruba bölünen kaynak cıvataları üzerinde oluşan çapaklanma düzeyinin belirlenmesine yönelik bir sayısal bir gösterge geliştirilmiştir. Bu çalışmada kaynak parametreleri sırasıyla kaynak akımı 18-26 kA, kaynak süresi 3-4 periyot iken elektrot kuvveti sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda yapılan metalografik incelemelerde füzyonun olduğu bazı numunelerde kaynak dayanımını olumsuz etkileyen mikro çatlak ve mikro boşluklar gözlemlenmiştir. Yeterli bağın oluşmadığı bazı ürünlerde ise oluşan çapağın boyutunun füzyonun olduğu numunelerde oluşan çapağın boyutuna kıyasla daha büyük olduğu belirtilmiş olup bu durumun kaynak dayanımını olumsuz etkileyeceği belirtilmiştir (Erhuy ve diğerleri, 2015).

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

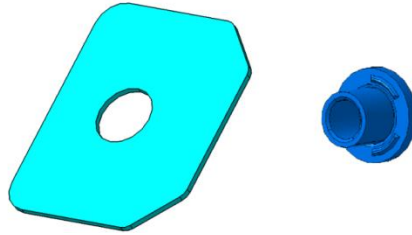
3.1. Materyal

Çalışma kapsamında referans ürün olarak bir otomotiv yedek parça imalat firmasında üretilen ve yıllık 1.000.000 adet üretime sahip binek otomobillerin torpido traversi üzerinde bulunan projeksiyon kaynatılmış somun ve sac parça kullanılmıştır. Ürünün sac kısmının malzemesi DD13, somun kısmı SAE 1010 malzeme muadilidir. Tablo 3.1.'de malzemelere ait kimyasal ve mekanik özellikler sunulmaktadır.

Tablo 3.1. İş parçalarının kimyasal bileşim değerleri ve mekanik özellikleri

	C	Si	Mn	P	S	Al	Akma Gerilmesi (N/mm ²) (min)	Kopma Gerilmesi (N/mm ²)	Uzama Miktarı (% min)
DD13	0,07	0,50	0,35	0,025	0,025	0,015	355	400-550	19
SAE1010	0,07	0,40	0,30	0,045	0,045	-	305	365	20

Çalışma kapsamında kullanılan sac ve somunun 3D görseli şekil 3.1.'de ki gibidir.



Şekil 3.1. Çalışma kapsamında kullanılan ana metal ve kaynak somununun 3D görseli

Ürünlerin teknik resim görseli EK-F.'de bulunmaktadır.

3.2. Yöntem

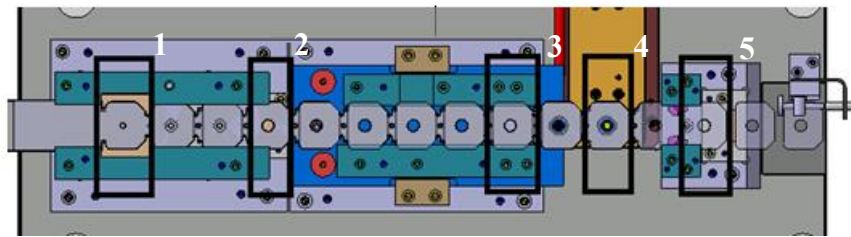
3.2.1. Kullanılan araç-gereçler

Çalışmada kullanılan başlıca araç-gereçler, SPR74 model orta frekans punta projeksiyon kaynak makinesi, Metkon marka metacut 250 numune hazırlama hızarı, Metkon marka forcipol 2V zımpara makinesi, 300 #, 600 #, 800 # ve 1200 # numara SiC zımpara, ZwickRoell Z050 koparma test cihazı, TE1662 kuvvet ölçüm probu, Nikon LV150N mikroskop, bakalite alma cihazı, Qness Q10M sertlik ölçme cihazı, Catia V5 ve Solidworks tasarım programları, Hyperworks ve Simufact analiz programlarıdır.

3.3. Tasarım ve Deneysel Çalışmalar

3.3.1. Kalıp tasarımı

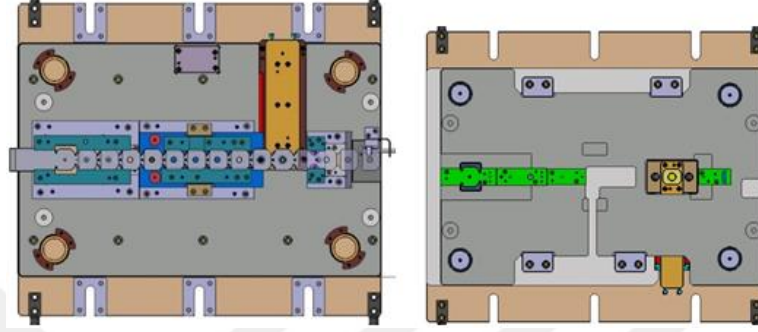
Çalışma kapsamında daha önce bahsedilen özelliklerinden dolayı progresif kalıp kullanımına karar verilmiştir. Elektrot tasarımı tamamlandıktan sonra kalıp tasarımı şekil 3.2.'de sunulan prosesler halinde dizayn edilmiştir. Proses dizaynı 1-şablon kesme, 2-delik delme,3-somun besleme, 4-kaynak işlemi ve 5-kesme/koparma operasyonu olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Kalıp proses dizayn görseli

Elektrot tasarımı sonrasında kalıp kapalı yüksekliği, hatve ve bant yüksekliği gibi kriterler belirlenmiştir. Elektrotların kapalı boyu, soğutma hortumlarının geçebileceği bir şekilde ve bakım / parça değişimi gibi durumlarda elektrotlara kolay erişim gibi kriterler göz önünde bulundurularak kalıp kapalı yüksekliği; elektrot boyları ve parça

ölçüleri dikkate alınarak bant hatvesi; elektrotlar üzerinde kaynağı tamamlanan ürünün alt elektrottan kurtulup bir sonraki istasyona akışının emniyetli bir şekilde sağlanabilmesi için bant yüksekliğine karar verilmiştir. Alt ve üst kalıp tasarımına ait görseller şekil 3.3.'de sunulmaktadır.



Şekil 3.3. Alt ve üst kalıp görseli

3.3.1.1. Bant genişliği

Prograsif kalıpların tasarım aşamasında malzemenen mümkün olacak mertebede kazanç sağlamak en önemli konulardan bir tanesidir. Prograsif kalıpta imalatı yapılacak ürün için kalıbın bant genişliği hesabı ürünün genişliği ve kenar paylarına göre tayin edilmiştir. Bu kalıplarda kenar payları ürünün kalınlığına göre değişmekle beraber genellikle 2-4 mm civarı uygun görülür (Ataşimşek, 1977, s. 571-587; Vishwanath, Ramni ve Sampath, 2013).

Bu ürün için 2,5 mm pay bırakılması öngörülmüştür. Bu durumda ürünün bant genişliği (Denklem 3.1);

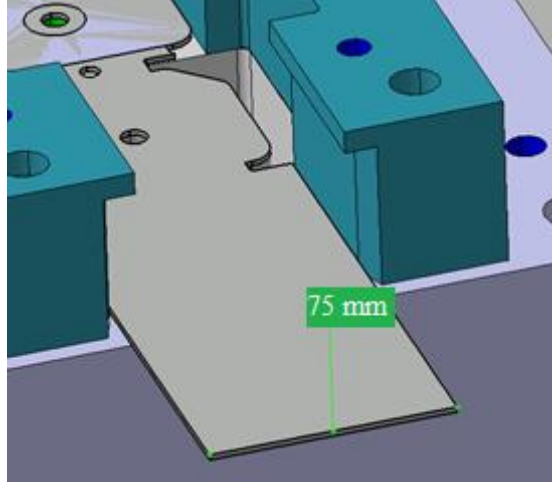
B = Bant genişliği (mm), b_1 = Ürünün genişliği (mm) ve k = Kenar payı (mm) olmak üzere,

$$B = b_1 + 2k \quad (3.1)$$

$$B = 70 \text{ mm} + 2 \cdot 2,5 \text{ mm}$$

$$B = 75 \text{ mm}$$

Olarak bulunur. Şekil 3.4.'de bant genişliğinin görseli sunulmaktadır.

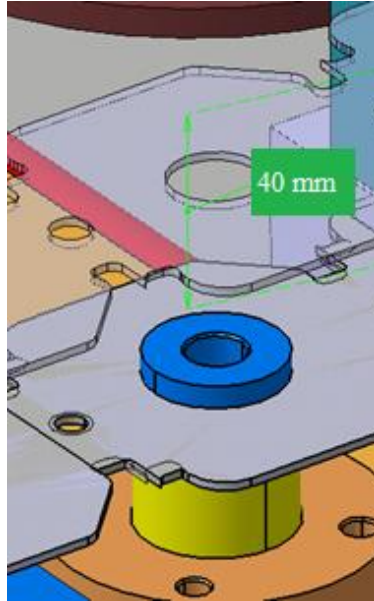


Şekil 3.4. Bant genişliği

3.3.1.2. Bant yüksekliği

Kalıp açık pozisyonda iken sac sürücüsünden kalıp içerisine aktarılan sacın, kalıp zemininden yüksekliğini ifade etmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan somun, kuyruklu somun olduğundan dolayı bant yüksekliği bu değere göre belirlenmiştir.

Ürün boyu 27 mm olduğundan, kaynağı yapılan somunlu sac elektrottan kurtulup bir sonraki istasyona güvenli olarak aktarılması için şekil 3.5.'de görüldüğü üzere bant yüksekliği 40 mm olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.5. Bant yüksekliği

3.3.1.3. Bant hatvesi

Bant hatvesi, presin her çevriminde ürün bandının ilerleme mesafesini belirtir. Yani bu mesafe prosesler arası ölçüyü göstermektedir. Bant hatvesi, ürün boyu ve atık parça ölçüsüne göre belirlenmektedir (Ataşımşek, 1977, s. 571-587).

Ürünün bant hatvesi (Denklem 3.2);

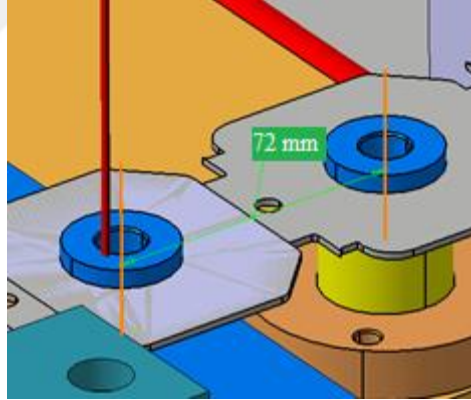
$X = \text{Bant hatvesi (mm)}, y = \text{Ürün boyu (mm)} \text{ ve } z = \text{Atık parça ölçüsü (mm)}$

$$X = y + z \quad (3.2)$$

$$X = 59,6 \text{ mm} + 12 \text{ mm}$$

$$X = 71,6 \text{ mm}$$

Olarak bulunur. Bu değer çalışma kapsamına 72 mm olarak kabul edilmiştir (Şekil 3.6.).

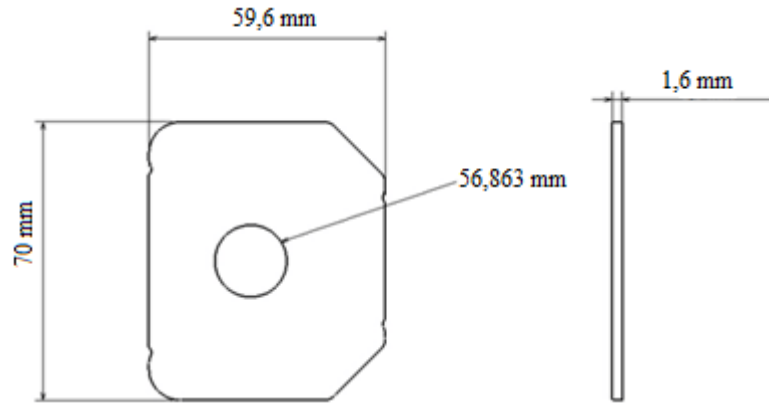


Şekil 3.6. Bant hatvesi

3.3.1.4. Pres tonajı

Soğuk sac şekillendirilmeden önce henüz tasarım aşamasında ürünün kalınlık ve kesim hatlarına bağlı olarak ürünün şekillendirilmesi için gerekli olan minimum pres tonajı belirlenir (Vishwanath ve diğerleri, 2013; Ameresh ve Shankar, 2013).

Ürüne ait ölçüler ve delik trim ölçüsü şekil 3.7.'de sunulmaktadır.



Şekil 3.7.Ürün teknik resim görseli

Yukarıdaki ölçülere bağlı olarak pres tonaj kuvveti (Denklem 3.3),

J: Pres Tonajı, d: delik trim ölçüsü, y: ürün boyu, b₁: Ürünün genişliği, s: Sac kalınlığı ve τ: kesme kuvvet katsayısıdır.

T kesme kuvvet katsayısı 1-4 mm kalınlığa sahip karbon çelikleri için 45 olarak belirlenebilir (Ataşımşek, 1977, s. 571-587)

$$J = (2(b_1 + y) + d) \cdot s \cdot \tau \quad (3.3)$$

$$J = (2(70 + 59,6) + 56,9) \times 1,6 \times 45$$

$$J = 316,1 \times 1,6 \times 45$$

$$J = 22759,2 \text{ kg} = 22,8 \text{ ton}$$

Bu değer emniyet katsayısı olan 1,3 ile çarpıldığı zaman minimum pres tonajı

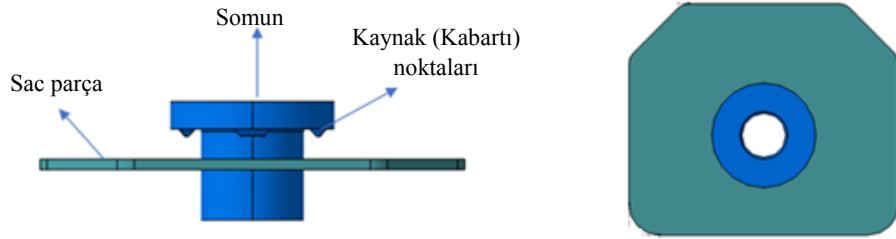
$$J = 22,8 \times 1,3$$

$$J = 30 \text{ ton} \text{ olarak bulunur.}$$

3.3.2. Projeksiyon kaynağı elektrotlarının tasarımı

Projeksiyon kaynağında kullanılan elektrotlar uzun kullanımlar sonucunda değiştirilebilmektedir. Projeksiyon kaynağında kullanılacak olan elektrotların bir takım özelliklere sahip olması beklenmektedir. Bunlar; yüksek sıcaklıklarda sertliğin sürdürülebilmesi, yüksek sıcaklıkta alaşımlaşma eğiliminin düşük olması, ısı ve elektrik iletim kabiliyetlerinin yüksek olması, yüksek sıcaklıkta dayanım ve uçların emniyetli soğutulması gibidir. Elektrik iletkenliği çok iyi olan saf bakır, düşük dayanımı olması sebebiyle çok tercih edilmemektedir. Bu sebepten dolayı bakır krom, gümüş, berilyum, molibden ve diğer metaller ile alaşımlandırılmaktadır. Bu tür alaşımlandırmalar yüksek sıcaklıklarda elektroda büyük dayanımlar sağlar (Aslanlar, 2017, s. 13).

Kalıp içerisinde projeksiyon kaynak işlemi gerçekleştirilmesi hedeflenen ürüne ait görsel şekil 3.8.'de sunulmaktadır. Ürünün sac parça kalınlığı 1,6 mm'dir. Denklem 2.6'e göre elektrot alt çapı $\text{Ø}8,5$ mm olarak hesaplanmıştır. Ürüne kaynaklanacak somunun kuyruk çapı $\text{Ø}16,9$ mm olup $\text{Ø}8,5$ mm elektrot alt çapı üzerine eklenerek alt elektrot çap ölçüsü $\text{Ø}25,4$ mm olarak belirlenmiştir.

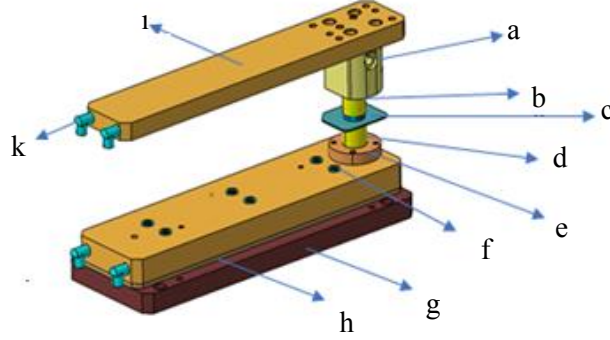


Şekil 3.8. Çalışma kapsamında referans alınan ürün görseli

Üst elektrot çap ölçüsü için denklem 2.7 ve 2.8'e göre $\text{Ø}11$ mm olarak hesaplanmıştır. Somun üzerinde bulunan $\text{Ø}16$ mm ölçüsünde ki boşaltmadan dolayı bu değer elektrot çap ölçüsüne eklenmiş ve buna göre üst elektrot çap ölçüsü $\text{Ø}27$ mm olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan alt ve üst elektrot grubunun tasarımı bileşenleri ile şekil 3.9.'da gösterilmektedir.

Şekil 3.9.'da a: üst elektrot soğutma kanalı su girişi, b: üst elektrot, c: ürün, d: alt elektrot, e: alt elektrot tutucu, f: elektrot tablası sökülebilir bağlantı deliği yalıtım

ürünü(fiber), g: elektrot grubu bağlama parçası (St52), h: yalıtım ürünü (Fiber), l: üst elektrot tablası, k: tabla soğutma kanalı su girişidir.



Şekil 3.9. Alt ve üst elektrot grubu tasarımı

Direnç kaynak işlemlerinde, elektrotların kullanım ömrünün uzatılması ve kaynak kalitesinin artırılması için soğutma işlemi yapılması gerekmektedir (Doruk ve diğerleri, 2016). Elektrot soğutma işlemi de dikkate alınarak elektrot tasarımı tamamlanmıştır.

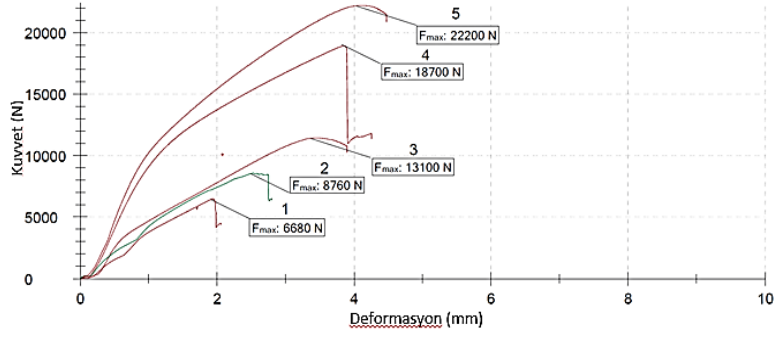
3.3.3. Ön deneylerin gerçekleştirilmesi

Beş adet numune üzerinde farklı parametrelerle kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu numunelere ait kaynak parametreleri tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kaynak ön deney test parametreleri

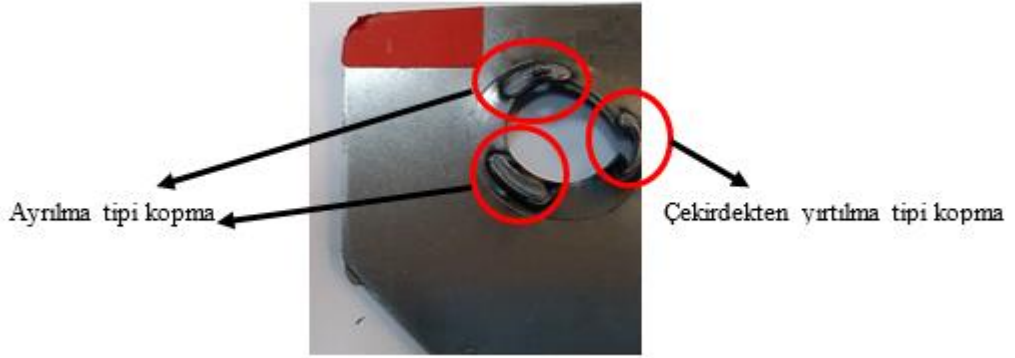
Numune No	Kaynak Akımı (kA)	Kaynak Süresi (per)	Tutma Süresi (per)
1	14	5	5
2	16	5	5
3	18	5	5
4	20	5	10
5	24	5	10

Ön deneyler sonucunda elde edilen kaynak dayanım grafiği şekil 3.10.'da sunulmaktadır.



Şekil 3.10. Koparma testi sonucunda numunelerde oluşan kuvvet-deformasyon eğrisi

Şekil 3.11.'de görseli verilen iki numaralı ürünün kopma sonrası kaynak noktaları incelendiğinde kaynak noktalarının ikisinde ayrılma tipi kopma diğer noktada ise çekirdekten yırtılma tipi kopma olduğu gözlemlenmiştir.

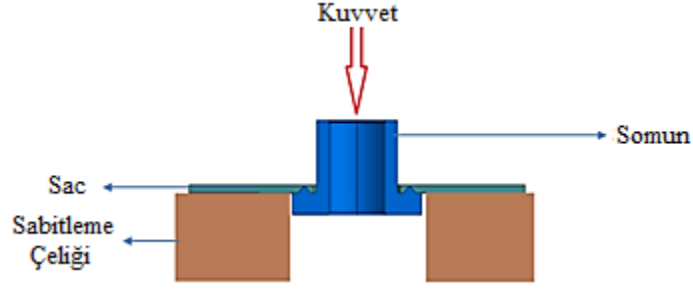


Şekil 3.11. Kopma testi sonrası temsili numuneye ait hasar görüntüsü

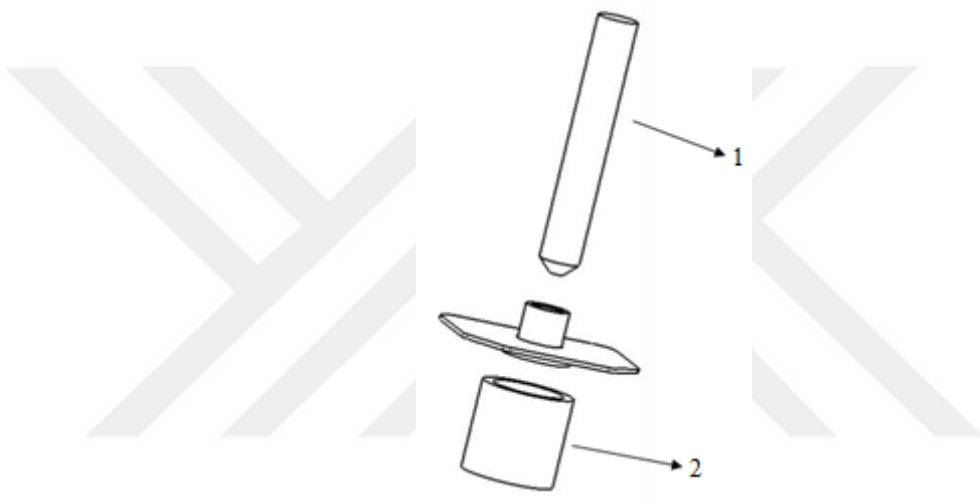
Beş adet numunenin kaynak işlemi sırasında elektrot kuvveti 5 bar olarak sabit tutulmuştur. Dinamometre aracılığıyla ölçümü yapılan elektrot kuvvetinin her numune için sabit 1910 N olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın ilerleyen safhalarında yapılacak olan kaynak işlemlerinde bu değer sabit tutularak kaynak işlemleri gerçekleştirilecektir.

3.3.4. Kaynak dayanımının koparma testleri ile tayini

Prototip olarak imal edilen elektrotlar direnç kaynak makinesine montajı yapıldıktan sonra ZwickRoell Z050 makinesi kullanılarak kaynak kuvvetinin belirlenmesi amacıyla şekil 3.12.'de uygulama prensibi bulunan kaynak koparma testine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.12. Kaynak koparma testi uygulama prensibi



Şekil 3.13. Kaynak koparma testi elemanları

Şekil 3.13.'de bulunan 1 numaralı parça C 2379 malzeme olup ısıtılmıştır. Somunun her noktasına eşit temas eden bu malzeme ile test cihazının üst çenesine montajlanarak test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Test işleminin kararlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için ürünün altına somun çapının %3 fazlası iç boşluğa sahip malzeme kullanılmıştır. Kaynak koparma testi uygulama görseli şekil 3.14.'de sunulmuştur.



Şekil 3.14. Kaynak koparma testi uygulama görseli

3.3.5. Kaynak parametrelerinin belirlenmesi ve kaynak prosesi

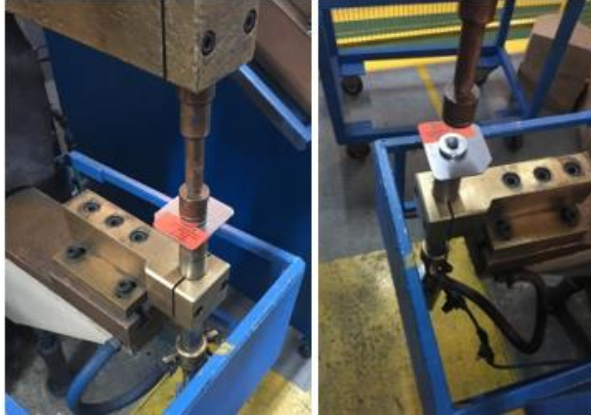
Projeksiyon kaynağında en önemli parametrelerden olan kaynak süresi ve akım şiddetinin bağlantının dayanımı üzerindeki etkisi büyüktür (Durgut ve Kaçar 2011). Çalışma kapsamına alınan ürün için uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi amacıyla 141 adet kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametreleri arasında elektrot kuvveti sabit tutulup, kaynak akımı, kaynak süresi ve tutma süresi arasındaki ilişki saptanmaya çalışılmıştır. Kaynak akımı 12 kA, 14 kA, 16 kA, 18 kA, 20 kA ve 22 kA olarak seçilmiştir. Denklem 2.5'e göre uygun kaynak zamanı teorik olarak 12,8 per olarak bulunmuştur. Bu değer dikkate alınarak çalışma kapsamında yapılacak olan kaynak proseslerinde kaynak ve tutma süreleri 5 per, 10 per, 15 per, 20 per, 25 per olarak belirlenmiştir.

Kaynak parametreleri belirlendikten sonra numune hazırlama işlemine geçilmiştir. Numunelerin üzerinde bulunan yağ tabakaları sabunlu suda yıkanarak temiz bir bezle silinmiştir. Çalışma esnasında karışıklıklara mahal vermemek için numunelerin hepsi numune numarasını ve ilgili parametre değerlerini üzerinde tutacak şekilde etiketlenmiştir. Şekil 3.15.'de kaynak işlemine hazır olan numuneler sunulmuştur.



Şekil 3.15. Kaynak işlemine hazır etiketlenmiş numuneler

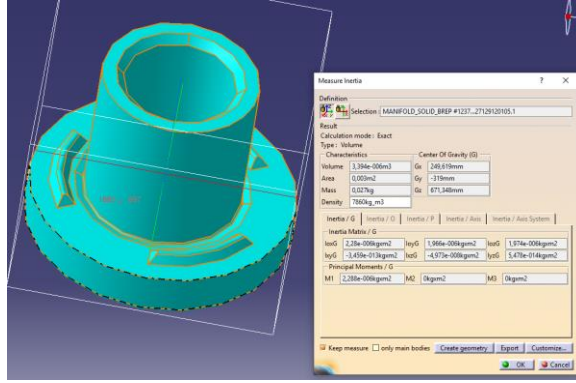
Kaynak işlemi için prototip olarak imalatı yapılan elektrotlar şekil 3.16.'da görüleceği üzere kaynak makinesine montajlanarak eksen ayarlamaları yapılmıştır.



Şekil 3.16. Kaynak makinesi üzerinde kaynak işlemine hazır numuneler

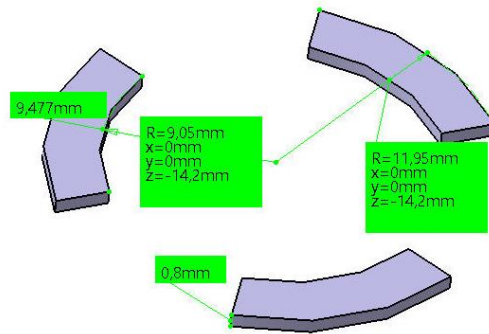
3.3.6. Analiz çalışmaları

Çalışma kapsamında kaynağı yapılacak ürünün kaynak noktalarında oluşabilecek en yüksek kopma değeri hyperworks programı kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan araştırmalarda ilgili kaynak parametresine göre ürünün kaynak dayanımını hesaplayabilen bir programa rastlanamamıştır. Analiz programlarından destek almak amacıyla çalışmada farklı bir yol izlenmiştir. Somun ve sac arasındaki kaynak bölgesi ürünle tek parça gibi düşünülerek analiz programı üzerinde bu noktalar ile ürün arasında bağlantı sağlanmıştır. Ürünün en zayıf yeri bu noktalar olacağı için ilk kopma noktaları da bu üç nokta olması doğaldır. Analiz programı üzerinde kaynak kopma dayanımının tayini yapılırken kaynak işlemi sırasında herhangi bir sebeple oluşan çapak, çatlak, iç süreksizlikler gibi etkenler simüle edilemeyeceğinden dolayı burada bilgisayar ortamında yapılan çalışmalarda ihmal edilmiştir.



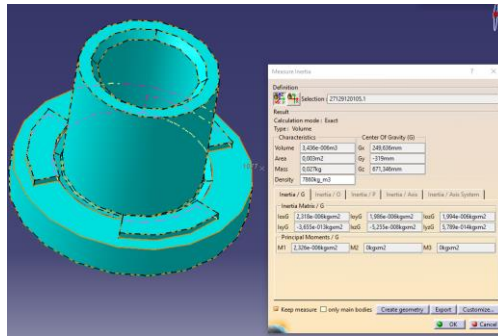
Şekil 3.17. Mevcut durumda somunun ağırlığı

Şekil 3.17.'de görüldüğü üzere somunun ağırlığı 0,027 kg'dır. Erime sonucu oluşan kabartı ölçüleri mevcut kaynak kabartısı ölçülerine göre iç ve dış çapında 0,5 mm'lik artış ve yükseklikte 0,25 mm'lik azalma gerçekleştirilmiştir. 1,05 mm yüksekliğe sahip olan numunenin 0,25 mm kadarı eriyerek genişlediği varsayılmıştır. Böylece kaynak sonrası 0,8 mm penetre olmuş kaynak çekirdeğinin genişlik ölçüleri tasarım üzerinde simüle edilerek analiz işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. Analiz çalışmasına dahil edilen ürünün kabartı ölçüleri

Şekil 3.19.'da görüleceği üzere tasarımsal değişiklikler sonrasında ürünün ağırlığında dikkate değer bir artış oluşmamıştır.



Şekil 3.19. Analiz çalışmasına dahil edilen ürün ve ağırlık görseli

Tasarım programında 3D modelleme işlemleri tamamlanan travers parçası için sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve parçanın analizi gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar modelinin oluşumunda 2x2 boyutlarda dört düğüm noktalı kabuk elemanlar (mesh) kullanılmıştır. Analiz çalışması için DD 13 malzemeye sahip sac ürünün kopma gerilmesi 450 N/mm², SAE 1010 malzemeden imal edilmiş somun için ise 365 N/mm² kabul edilmiştir (Tablo 3.1.). Analiz programında kullanılan somun-sac ikilisinin 3D görseli şekil 3.20.'de sunulmaktadır.



Şekil 3..20 Analiz çalışmasına dahil edilen sac-somun görseli

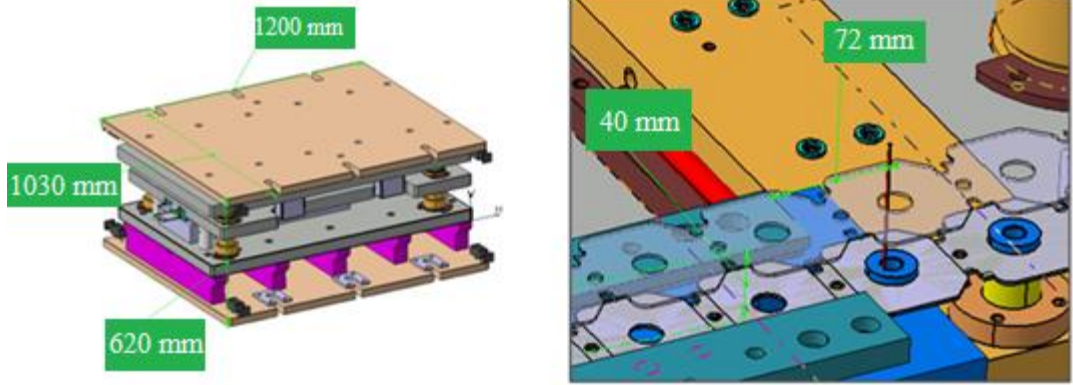
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Kalıp Ölçülerinin Belirlenmesi

Kalıp kapalı yüksekliği, elektrotların kapalı boyu, soğutma hortumlarının geçebileceği bir şekilde ve bakım / parça değişimi gibi durumlarda elektrotlara kolay erişim gibi kriterler göz önünde bulundurularak 620 mm olarak belirlenmiştir.

Atık malzeme oranını en aza indirmek için bant genişliği 76 mm, elektrot çapları ve parça genişliği dikkate alındığında bant hatvesi 72 mm olarak hesaplanmıştır. Elektrotlar üzerinde kaynağı tamamlanan ürünün alt elektrottan kurtulup bir sonraki istasyona akışının emniyetli bir şekilde sağlanabilmesi için bant yüksekliği 40 mm olarak belirlenmiştir.

Prograsif kalıba ait bant hatvesi ve bant genişliğinin yer aldığı kalıp tasarım görseli Şekil 4.1.' de gösterilmektedir.

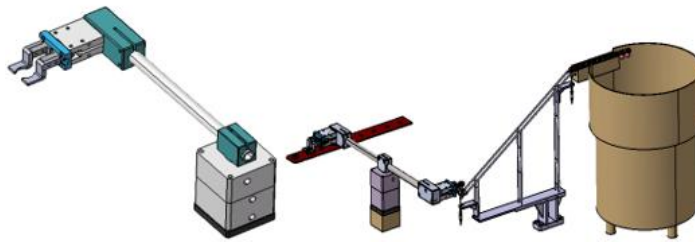


Şekil 4.1. Ölçülendirilmiş prograsif kalıp görseli

4.2. Somun Aktarma Ekipmanı Tasarımı

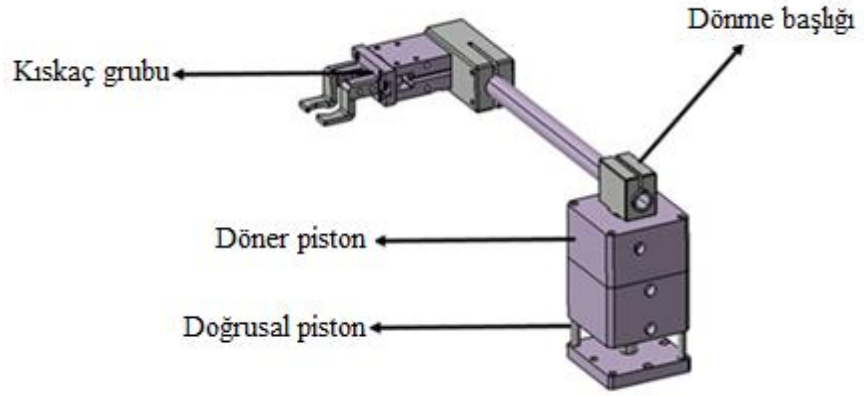
Geleneksel olarak kullanılan somun aktarma ekipmanlarının sahip olduğu birtakım dezavantajlar araştırma çalışmaları sonucunda belirlenmiştir. Bu sistemler titreşimin yüksek olduğu (örneğin; pres alanı) yerlerde kararlılıkla çalışmamaktadırlar. Yapılan deneysel çalışmalar kapsamında bu sistemlerin 45° ve 54° çalışma açıları dışında kararlılık oranının daha fazla düştüğü belirlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı çalışma kapsamında özel somun aktarma ekipman tasarımı yapılmıştır. Mevcut proseslerden farklı olarak ekipmanın boyutları, kalıp içerisinde kararlı ve hızlı bir şekilde çalışmaya uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Ekipmanın çalışması sırasında olası problemler (besleme sırasında kalıbın kapanması, hava kesildiği takdirde ekipman kolunun kalıp içerisinde kalması gibi.) göz önünde bulundurularak kalıp tasarımı revize edilmiştir.

Somunun kalıp içerisine istenilen pozisyonda ve kararlı bir şekilde konumlandırılabilmesi için farklı kullanım alanlarına sahip üç adet pnömatik sistemin ortaklaştırılmasıyla özgün bir ekipman tasarımı tamamlanmıştır. Şekil 4.2.'de görseli bulunan somun aktarma ekipmanı, besleme haznesinde sıraya dizilen somunları kalıp içerisine yani besleme prosesinin bulunduğu yere iletebilecektir. Ekipman mevcut sistemlere göre 0° 'de çalışabilmektedir.

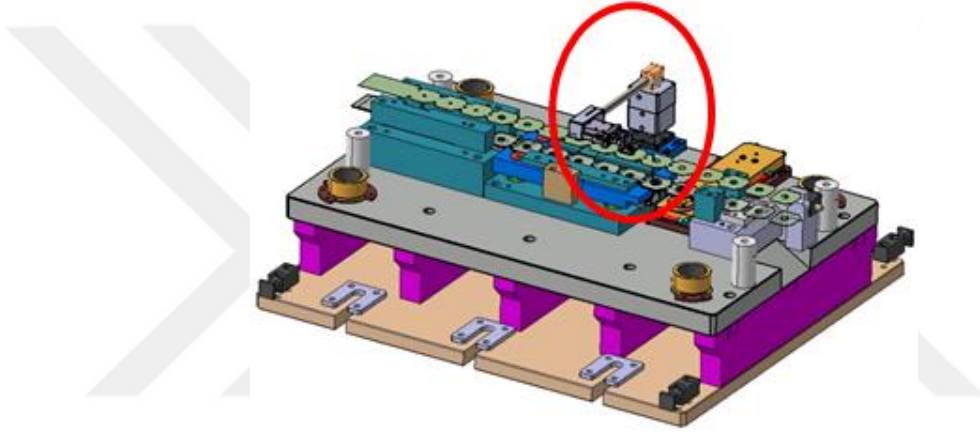


Şekil 4.1. Alternatif olarak tasarlanan somun aktarma ekipmanı

Şekil 4.3.'de sunulan sistem ucundaki kısıkaç somunu tutmak için bulunmaktadır. Gövde kısmına yerleştirilen döner piston aracılığıyla ekipman eksenini etrafında dönebilmektedir. Alt kısımda bulunan doğrusal piston aracılığıyla da ekipmanın 25 mm aşağı yukarı hareketi sağlanabilmektedir.

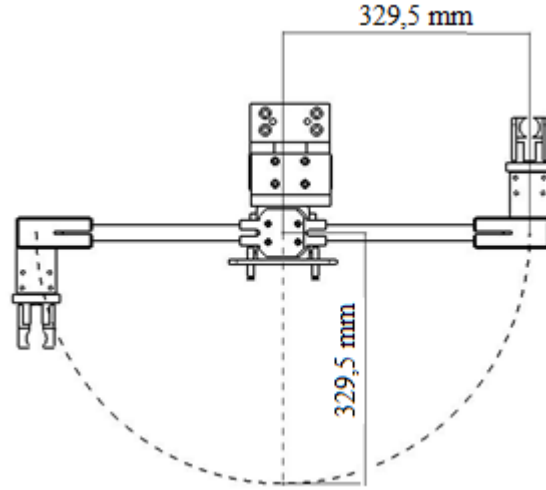


Şekil 4.2. Somun aktarma ekipmanı aksamaları



Şekil 4.3. Somun aktarma ekipmanının kalıp üzerine montajlanmış halinin tasarım görseli

Somun aktarma ekipmanına istenilen açıda çalışabilmesi için iki adet stoper eklenmiştir. Bu stoperler içerisinde bulunan yay aracılığıyla belirli miktardaki kuvveti absorbe ederek şok emici görevi görmektedir.



Şekil 4.4. Somun aktarma ekipmanının kat ettiği mesafenin tayini

Kısaç grubunun çalışma esnasında stoperlere çarpma hızını tayin edebilmek için, şekil 4.5.'de bulunan görselden bir çevrimde kat ettiği mesafe belirlenmiştir. Ürünün yarım çevrim boyunca kat ettiği mesafe kesik çizgili olarak gösterilmiştir.

Bu yayın çevre ölçüsü;

$$\zeta = 2 \cdot \pi \cdot r \frac{180^\circ}{360^\circ} \quad (4.1)$$

$$\zeta = 3,14 \times 329,5$$

$$\zeta = 1035 \text{ mm} = 1,035 \text{ m}$$

Denklem 4.1'de r: Somun aktarma ekipmanının kat ettiği mesafe yayının yarı çapıdır.

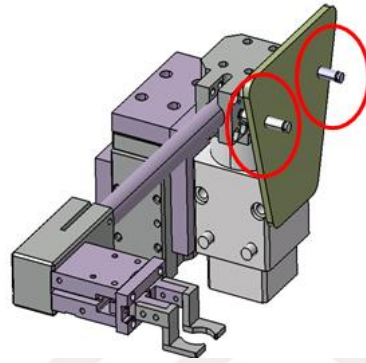
Kaynak işlemi ve sac şekillendirme prosesinin 8 sn.de bitmesi gerektiği göz önünde bulundurulacak olursa ürünün yarım çevrimi yani 180° açığı 1-1,2 saniye arasında tamamlaması uygundur (bu değer hava kontrol valfleri ile ayarlanabilmektedir). Bu durumda ürünün stoperlere olan maksimum çarpma hızı yaklaşık olarak 1,15 m/s olarak hesaplanmıştır.

Standart ürünler kataloğundan seçilen bu ürün için aşağıdaki tablo dikkate alınmıştır.

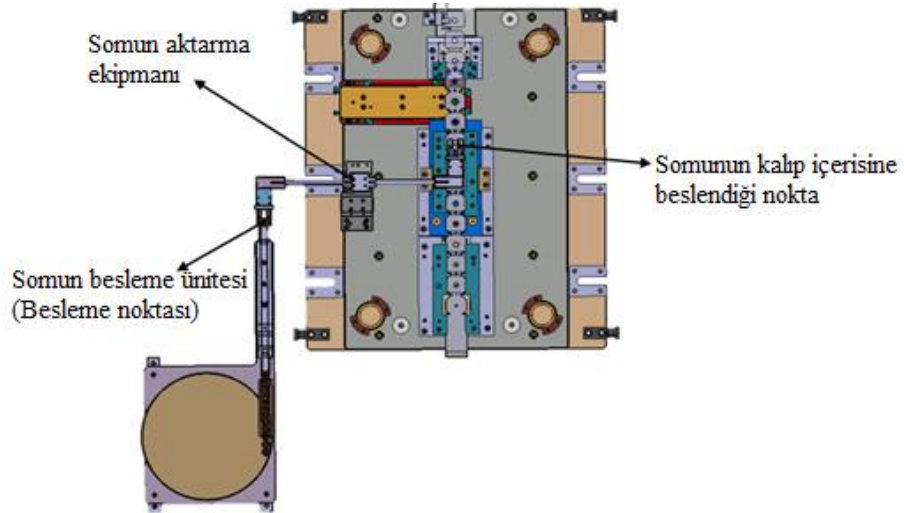
Tablo 4.1. Stoper katalog değerleri ("Hid-tek", 2019)

Model	Diş Ölçüsü	Strok (mm)	Yük Aralığı (kg)	Maksimum Çarpma Hızı (m/s)	Çalışma Sıcaklığı (°C)
0806-2	M8x1,0	6	2,5-10	1,2	-10+70

Tablo 4.1.'de görüldüğü üzere 0806-2 numaralı ürün maksimum 1,2 m/s hıza sahip 10 kg ağırlığa sahip cisimleri durdurabilmektedir. Çalışma kapsamında bulunan hareketli grubun ağırlığı yaklaşık olarak 6,5 kg'dır. Şekil 4.6.'da tasarıma adapte edilen stoperlerin görseli sunulmaktadır.



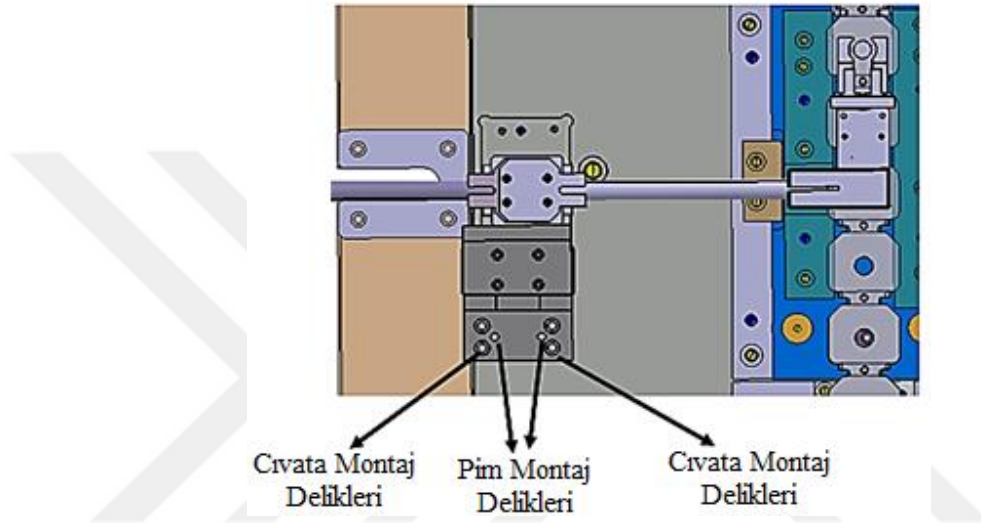
Şekil 4.5. Somun aktarma ekipmanına adapte edilen stoperlerin 3D görseli



Şekil 4.6. Somun aktarma ekipmanının kalıp üzerine montaj işleminin görseli

Şekil 4.7. ve şekil 4.8.'de görüleceği üzere somun aktarma ekipmanının kalıp üzerine bant üzerinde somunun besleneceği noktaya göre cıvata ile montajı yapılmalıdır. Daha sonra somun aktarma ekipmanı ilk konumuna getirilerek besleme ünitesiyle beraber cıvata ile montajı tamamlanmalıdır. Cıvata ile montajda sistemin 0,25 mm

kadar hareketine izin verilmektedir. Somun aktarma ekipmanının montajı esnasında oluşabilecek 0,25 mm'lik kaymalar sistemin kararlı çalışmasını etkileyebilir. Bu yüzden kalıp üzerinde yapılan deneme çalışmaları sonrasında somun aktarma grubu pimlenerek kalıp üzerine sabitlenmelidir. Pimleme işlemi sonrasında maksimum kayma 0,008 mm kadardır. Böylece olası bir bakım durumu için demonte edilen ekipman daha sonra aynı hassasiyetle montajı yapılabilir.



Şekil 4.7. Somun aktarma ekipmanının kalıp üzerine montaj işleminin görseli

4.3. Kaynak Parametrelerinin Bağlantıların Dayanımına Etkisi

Projeksiyon kaynağında üç tip kopma tipi bulunmaktadır. Bunlar ayrılma, çekirdekten yırtılma ve düğme tipi kopmadır. Parametreleri iyi belirlenmiş kaynak makinesi üzerinde kaynak işlemi gerçekleştirilen numunelerde iç/dış etkenler göz önünde bulundurulmaksızın genellikle düğme tipi kopmaya rastlanır. Yetersiz füzyon, yani parçalar arasında bağ oluşmayan kaynak işlemlerinde ise genellikle ayrılma tipi kopma oluşmaktadır. Bu iki tip kopmanın arasında bulunan çekirdekten yırtılma tipi kopma türüne sahip numunelerde ise kaynak bölgesinde az eriyik bölge bulunmaktadır.

Kaynak sınıfları ise beşe ayrılmaktadır. Bunlar; kayıp kaynak, çubuk kaynak, çekirdek çapı küçük kaynak, iyi kaynak ve yanık kaynaktır. Parçalar arasında bağ oluşmadığı durumlarda kayıp kaynak ve koparma testinin ardından ayrılma tipi

kopma beklenir. Parçalar arasında çok az eriyik bölge varsa çubuk kaynak ve koparma testinin ardından ayrılma veya çekirdekten yırtılma tipi kopma beklenir. Parçalar arasında oluşan eriyik bölge yeteri kadar değilse, çekirdek çapı küçük kaynak ve koparma testinin ardından çekirdekten yırtılma tipi kopma beklenir. Çekirdek oluşumu yeteri miktardaysa iyi kaynak oluşur ve koparma testinin ardından düğme tipi kopma beklenir. Çekirdek oluşumunda erimiş bölge diğer iş parçasının yüzeyine kadar uzanıyorsa bu durumda yanık kaynak oluşmaktadır (Doruk ve diğerleri, 2016; Hayat ve diğerleri, 2009)

Kaynak koparma testi 140 adet numunenin tümüne uygulanmıştır. 12 kA kaynak akımına sahip numuneler 3000-4000 N değerleri arasında sıralanmıştır ve kopma tipleri incelendiği zaman tüm numuneler kayıp kaynak sınıfına dahil olup şekil 4.9.'da görüleceği üzere ayrılma tipi kopma özelliği göstermiştir.



Şekil 4.8. Kaynak parametreleri akımı 12 kA, kaynak süresi 10 per, tutma süresi 25 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli

14 kA kaynak akımına sahip numuneler 4000-6000 N değerleri arasında sıralanmıştır ve kopma tipleri incelendiği zaman 5 per, 10 per ve 15 per kaynak süresine sahip numuneler kayıp kaynak sınıfına dahil olup ayrılma tipi kopma özelliği göstermiştir. Bu grupta 20 per ve 25 per kaynak süresine sahip numuneler ise çubuk kaynak sınıfına dahil olup şekil 4.10.'da sunulduğu üzere üç kaynak noktasının ikisinden ayrılarak kopma özelliği göstermiştir.



Şekil 4.9. Kaynak parametreleri akım 14 kA, kaynak süresi 25 per, tutma süresi 10 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli

16 kA kaynak akımına sahip numuneler 8000-10000 N değerleri arasında sıralanmıştır ve kopma tipleri incelendiği zaman 5 per ve 10 per kaynak süresine sahip numuneler çubuk kaynak sınıfına dahil olup iki kaynak noktasında çekirdekten yırtılma ve bir kaynak noktasında ayrılma tipi kopma özelliği göstermiştir (Şekil 4.11.). Bu grupta 15 per, 20 per ve 25 per kaynak süresine sahip numuneler ise çekirdek çapı küçük kaynak sınıfına dahil olup üç kaynak noktasından da çekirdekten yırtılma tipi kopma özelliği göstermiştir.



Şekil 4.10. Kaynak parametreleri akım 16 kA, kaynak süresi 15 per, tutma süresi 15 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli

18 kA kaynak akımına sahip numuneler 14000-23000 N değerleri arasında sıralanmıştır ve kopma tipleri incelendiği zaman 5 per kaynak süresine sahip numuneler çekirdek çapı küçük kaynak sınıfına dahil olup iki kaynak noktasında çekirdekten yırtılma ve bir kaynak noktasında düğme tipi kopma özelliği göstermiştir. Bu grupta 10 per, 15 per, 20 per ve 25 per kaynak süresine sahip

numuneler ise iyi kaynak sınıfına dahil olup şekil 4.12.'de görüleceği üzere üç kaynak noktasından da düğme tipi kopma özelliği göstermiştir.



Şekil 4.11. Kaynak parametreleri akım 18 kA, kaynak süresi 20 per, tutma süresi 25 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli

20 kA kaynak akımına sahip numuneler 18000-22500 N değerleri arasında sıralanmıştır ve kopma tipleri incelendiği zaman 5 per, 10 per ve 15 per kaynak süresine sahip numuneler iyi kaynak sınıfına dahil olup üç kaynak noktasında düğme tipi kopma özelliği göstermiştir. Bu grupta 20 per ve 25 per kaynak süresine sahip numuneler ise yanık kaynak sınıfına dahil olup iki kaynak noktasında düğme tipi kopma ve bir kaynak noktasında çekirdekten yırtılma özelliği göstermiştir (Şekil 4.13.). 20 per ve 25 per kaynak süresine sahip numunelerin kaynak işlemi esnasında şekil 4.14.'de görüleceği üzere fişırma/taşma oluşumu gerçekleşmiştir. Ayrıca 15 per kaynak süresine sahip numunelerden sonra dayanım değerlerinde düşme eğilimi gözlemlenmeye başlanmıştır.



Şekil 4.12. Kaynak parametreleri akım 20 kA, kaynak süresi 25 per, tutma süresi 25 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli



Şekil 4.13. Kaynak parametreleri akım 20 kA, kaynak süresi 20 per, tutma süresi 25 per olan numunenin kaynak işlemi esnasında oluşan fişkırmaya görseli

22 kA kaynak akımına sahip numuneler 17000-15500 N değerleri arasında sıralanmıştır ve kopma tipleri incelendiği zaman 5 per, 10 per ve 15 per kaynak süresine sahip numuneler yanık kaynak sınıfına dahil olup 5 per ve 10 per kaynak süresine sahip numunelerde iki kaynak noktasında çekirdekten yırtılma ve bir noktada düğme tipi kopma özelliği göstermiştir (Şekil 4.15.). Bu grupta 15 per kaynak süresine sahip numuneler ise üç noktadan da çekirdekten yırtılma tipi kopma özelliği göstermiştir.



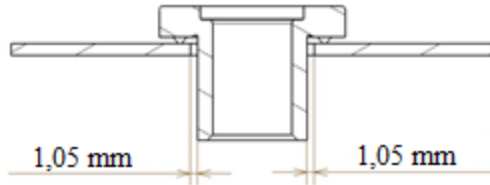
Şekil 4.14. Kaynak parametreleri akım 22 kA, kaynak süresi 10 per, tutma süresi 10 per olan numunenin koparma testi sonucu oluşan hasar görseli

20 per kaynak süresine sahip ilk numunenin kaynağında şekil 4.16.'da görüldüğü üzere malzeme ile elektrot alaşımlaşması gerçekleştiğinden dolayı kaynak çalışmaları burada tamamlanmıştır.



Şekil 4.15. Kaynak parametreleri akım 22 kA, kaynak süresi 20 per, tutma süresi 5 per olan numunenin kaynağı esnasında alt elektrotun iş parçası ile alaşımlaşması

Kaynağı yapılan ürünün tasarım aşamasında somun ile sac arasında belirlenen 1,05 mm toleransın (Şekil 4.17.) eriyen metal tarafından doldurulacağı öngörülmüştür. Bu durumu ürünün çalışma bölgesini kısıtlayacağından dolayı ürünün çalışma fonksiyonunu olumsuz anlamda etkileyecektir.

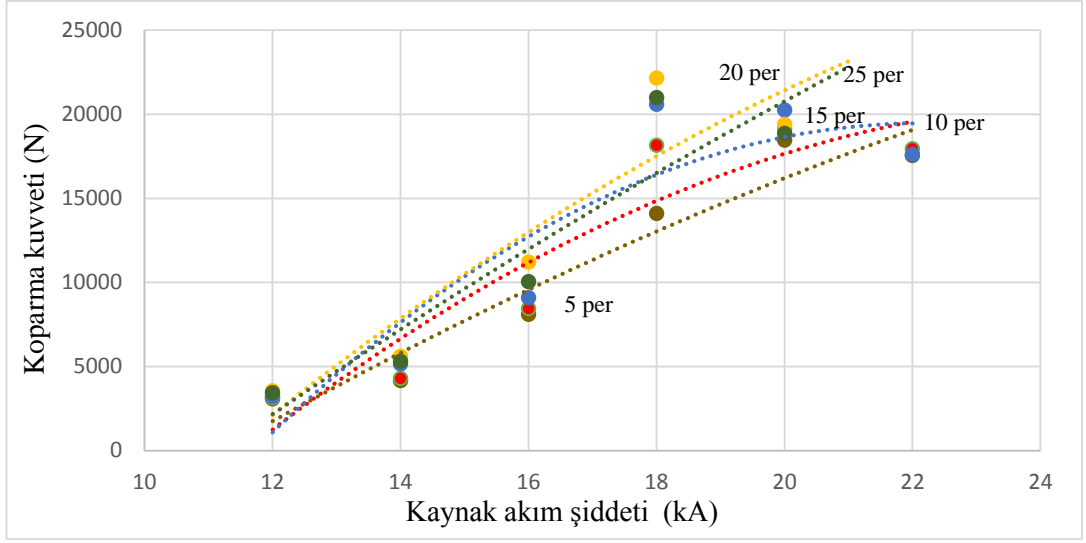


Şekil 4.16. Sac-somun arasında belirlenen boşluk miktarı

4.3.1. Kaynak akım şiddetinin bağlantıların dayanımına etkisi

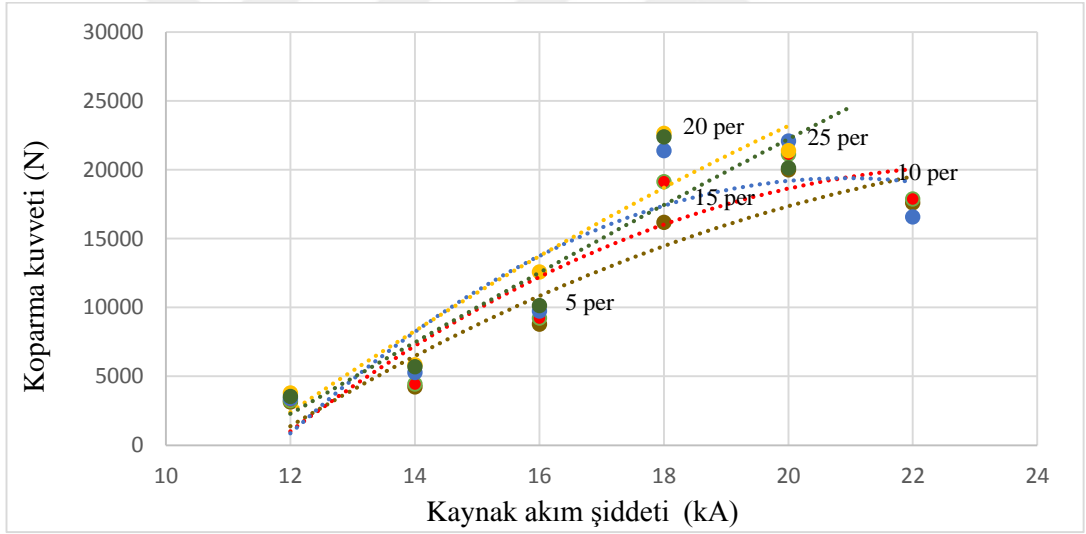
Çalışma kapsamında kaynak akımının artmasıyla birlikte bağlantıların kaynak dayanımlarının da bir noktaya kadar (akımı 20 kA, kaynak süresi 20 per ve tutma süresi 25 per olan numune) arttığı gözlemlenmiştir.

Tutma süresinin 5 per olduğu durumda kaynak akım şiddetinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.18.'de sunulmuştur.



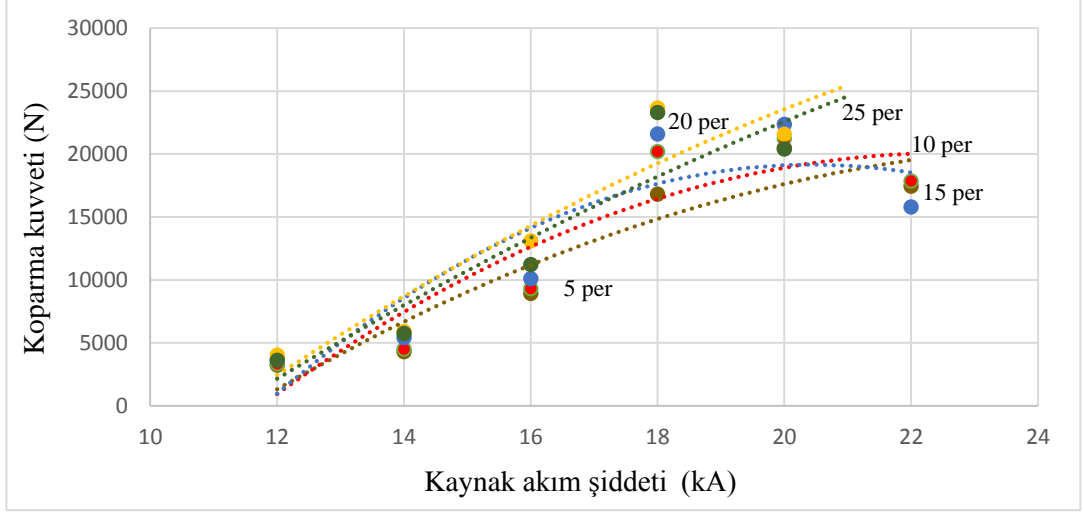
Şekil 4.17. Kaynak akımının kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 5 per)

Tutma süresinin 10 per olduğu durumda kaynak akım şiddetinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.19.'da sunulmuştur.



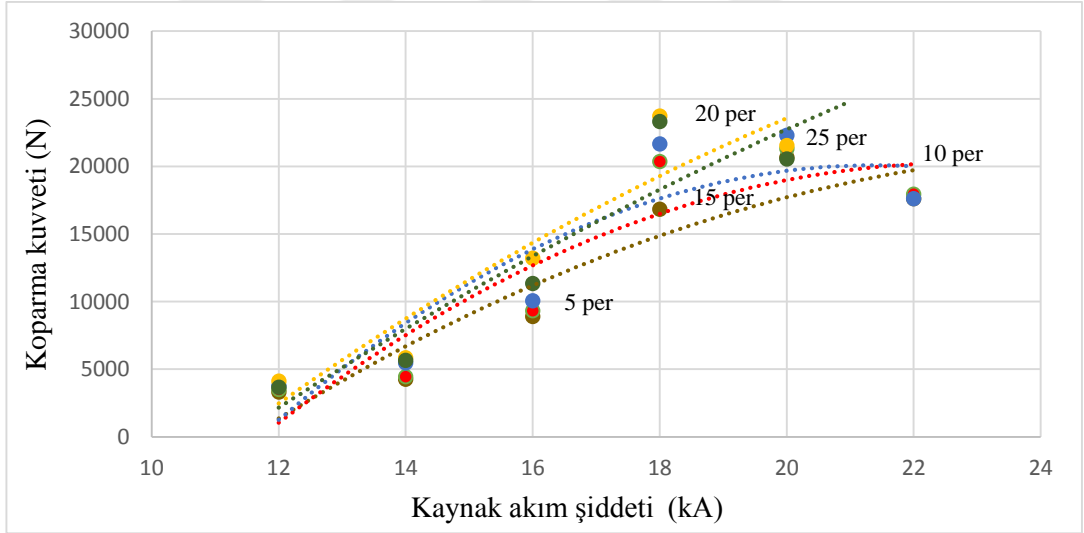
Şekil 4.18. Kaynak akımının kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 10 per)

Tutma süresinin 15 per olduğu durumda kaynak akım şiddetinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.20.'de sunulmuştur.



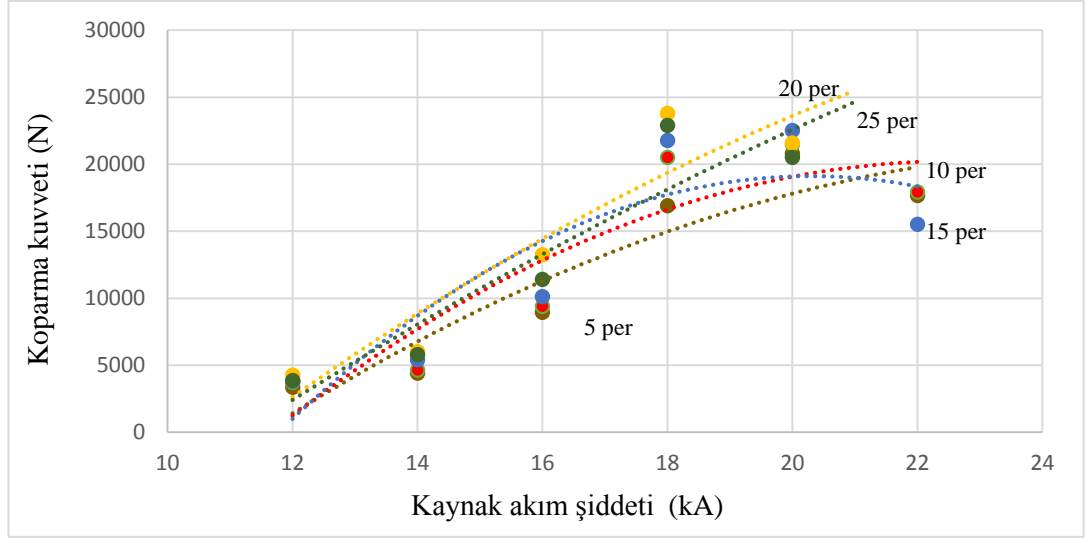
Şekil 4.19. Kaynak akımının kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 15 per)

Tutma süresinin 20 per olduğu durumda kaynak akım şiddetinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.21.'de sunulmuştur.



Şekil 4.20. Kaynak akımının kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 20 per)

Tutma süresinin 25 per olduğu durumda kaynak akım şiddetinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.22.'de sunulmuştur.



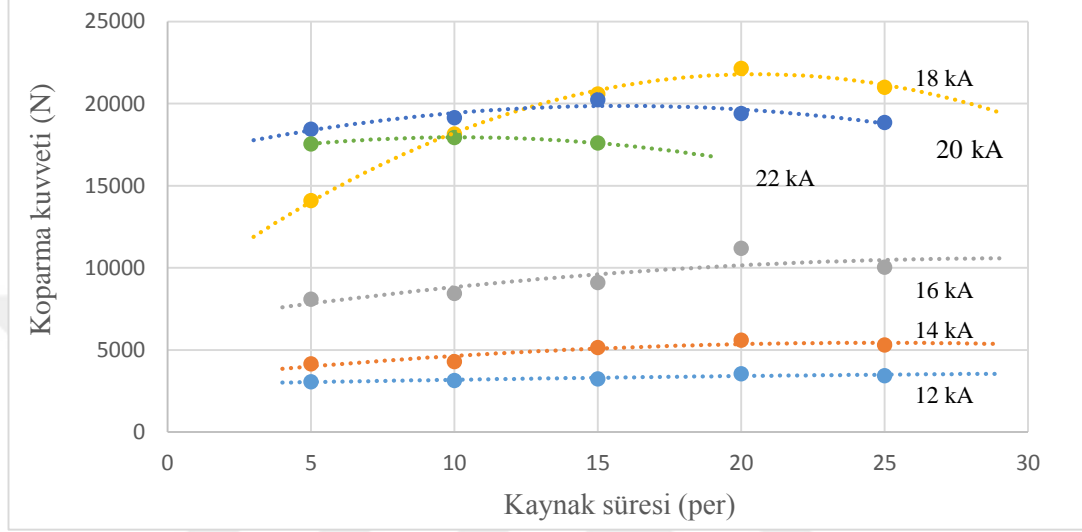
Şekil 4.21. Kaynak akımının kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 25 per)

Tutma süresine bakılmaksızın, 12 kA, 14 kA, 16 kA ve 18 kA kaynak akımına sahip numuneler arasında en yüksek dayanım 20 per kaynak süresine sahip numunelere aittir. 20 kA akım değerine sahip ve kaynak süresi 5 per, 10 per ve 15 per olan ürünlerin dayanım değerlerinin 18450 N – 22500 N arasında değiştiği görülmektedir. Bu gruba ait kaynaklar “iyi kaynak” sınıfına dahildir. Kaynak akımının 18 kA olduğu ve kaynak süresinin 5 per olduğu numunelerde kaynak dayanım değerlerinin 17000 N altında olduğu görülmektedir ve “çekirdek çapı küçük kaynak” sınıfına girmektedir. Bu sınırdan sonra yapılan tüm 18 kA akım değerine sahip ürünler iyi kaynak sınıfına girmektedir. Kaynak akımının 20 kA olduğu durumda ise en yüksek dayanım 15 per kaynak süresine sahip numuneye aittir. Bu noktadan sonra arttırılan kaynak akımı ve kaynak süresi ile yapılan kaynaklar “yanık kaynak” sınıfına girmektedir. Kaynak akımının 22 kA olduğu tüm parametrelerde yapılan kaynaklar yine “yanık kaynak” sınıfına girmektedir.

Kaynak akımı ile kaynak dayanımı arasındaki ilişki yukarıda bulunan grafikler üzerinden incelendiğinde, artan kaynak akımı ile birlikte bağlantıların dayanımının bir noktaya kadar arttığı ve daha sonra fişkırmının oluşması nedeniyle dayanımın düştüğü görülmektedir.

4.3.2. Kaynak süresinin bağlantıların dayanımına etkisi

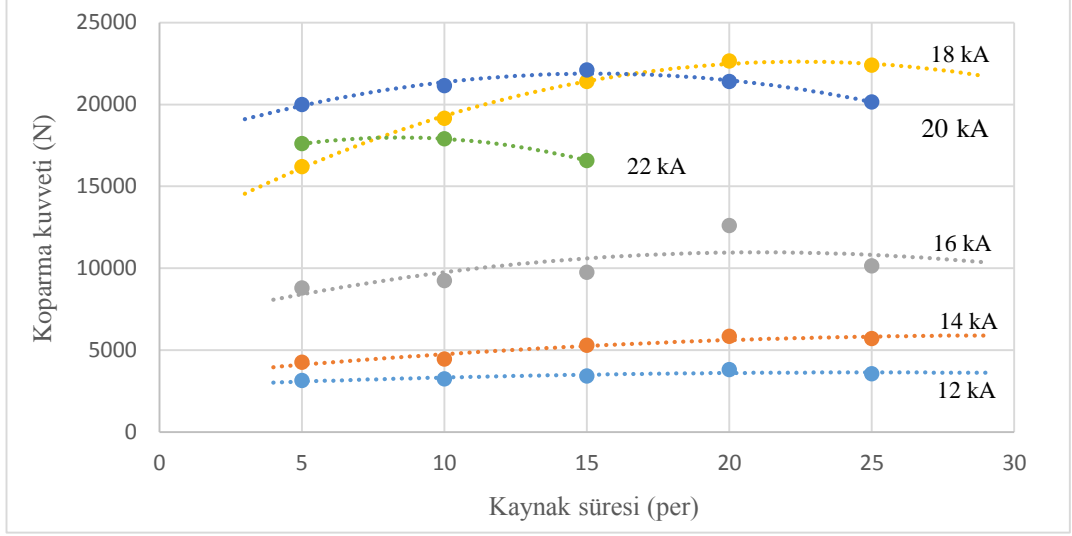
Tutma süresinin 5 per olduğu durumda kaynak süresinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.23.'de sunulmuştur.



Şekil 4.22. Kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 5 per)

Tutma süresinin 5 per olduğu kaynak işlemlerinde, 20 kA kaynak akımına sahip ve kaynak süresi 5 per ve 10 per olan numunelerin dayanımları en yüksektir. 15 per, 20 per ve 25 per kaynak süresinde ise 18 kA kaynak akımına sahip numunelerin dayanımları en yüksektir.

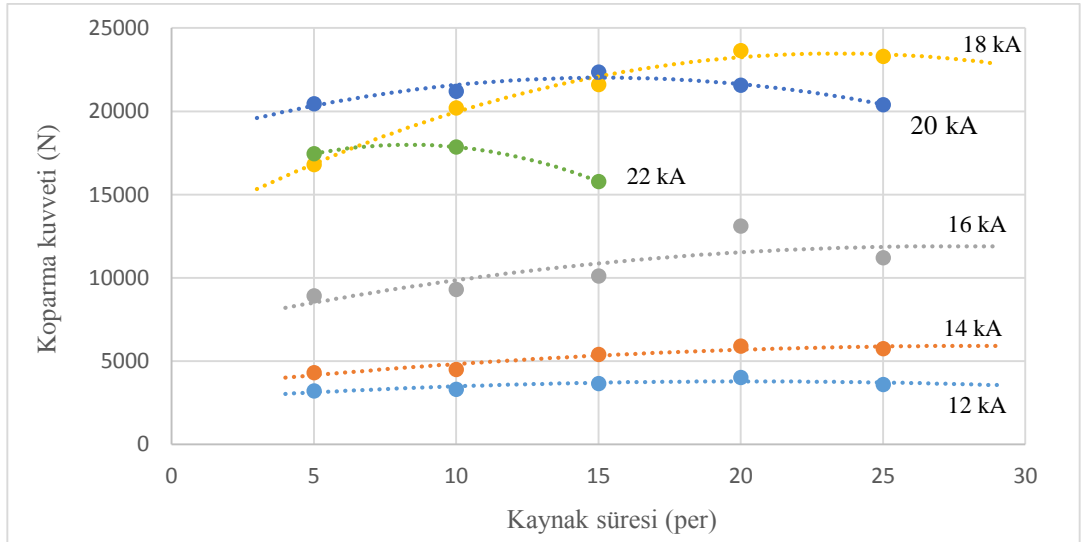
Tutma süresinin 10 per olduğu durumda kaynak süresinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.24.'de sunulmuştur.



Şekil 4.23. Kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 10 per)

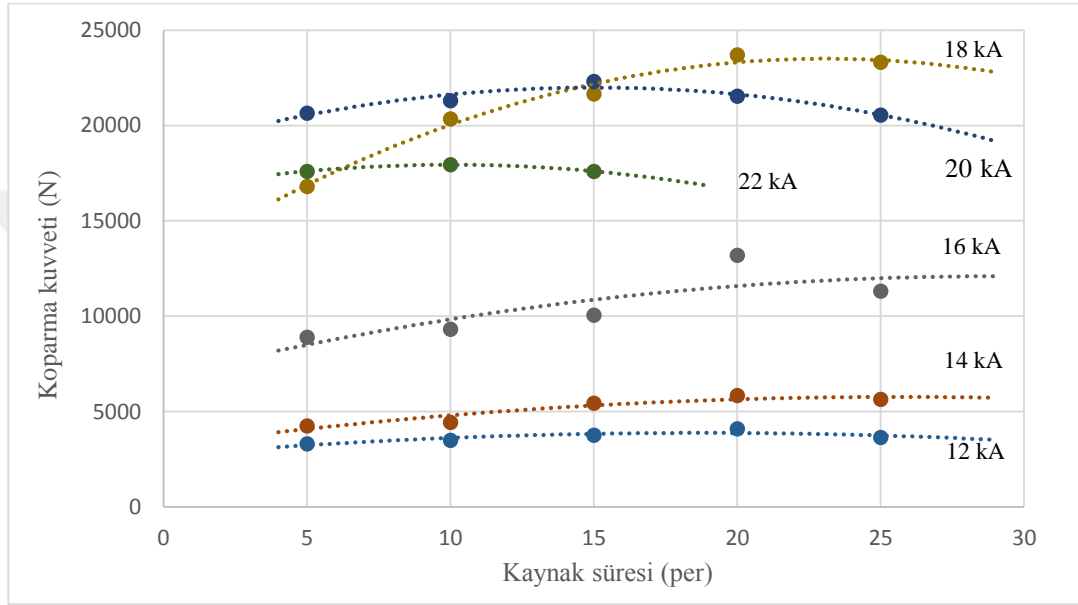
Tutma süresinin 10 per olduğu kaynak işlemlerinde, 20 kA kaynak akımına sahip ve kaynak süresi 5 per, 10 per ve 15 per olan numunelerin dayanımları en yüksektir. 20 per ve 25 per kaynak süresinde ise 18 kA kaynak akımına sahip numunelerin dayanımları en yüksektir.

Tutma süresinin 15 per olduğu durumda kaynak süresinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.25.'de sunulmuştur.



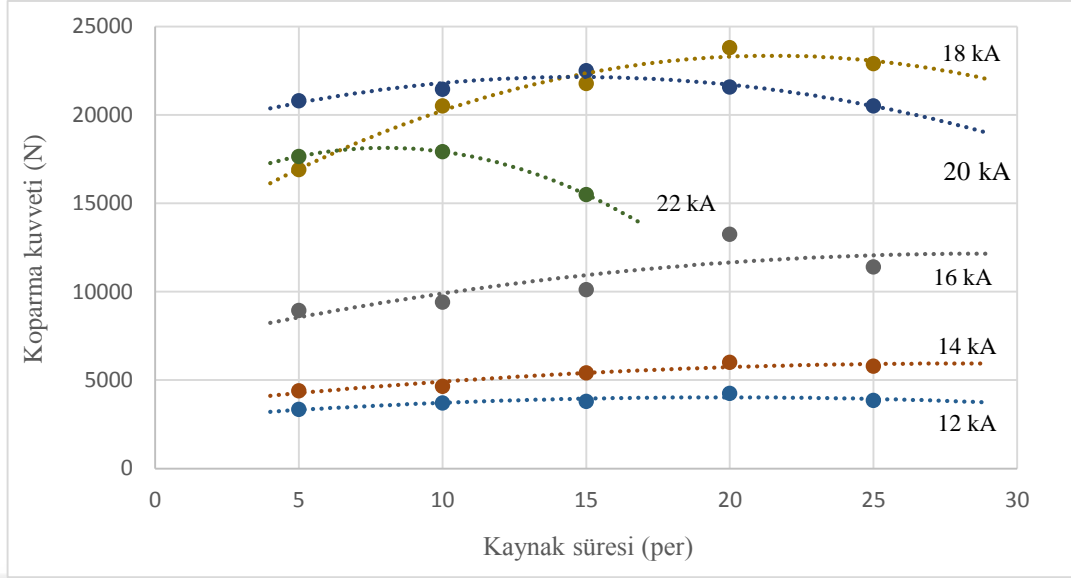
Şekil 4.24. Kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 15 per)

Tutma süresinin 15 per olduğu kaynak işlemlerinde, tutma süresinin 10 per olduğu duruma benzerdir. 20 kA kaynak akımına sahip ve kaynak süresi 5 per, 10 per ve 15 Per olan numunelerin dayanımları en yüksektir. 20 per ve 25 per kaynak süresinde ise 18 kA kaynak akımına sahip numunelerin dayanımları en yüksektir. Tutma süresinin 20 per olduğu durumda kaynak süresinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.26.'da sunulmuştur.



Şekil 4.25. Kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 20 per)

Tutma süresinin 20 per olduğu kaynak işlemlerinde 20 kA kaynak akımına sahip ve kaynak süresi 5 per, 10 per ve 15 per olan numunelerin dayanımları en yüksektir. 20 per ve 25 per kaynak süresinde ise 18 kA kaynak akımına sahip numunelerin dayanımları yüksektir. Tutma süresinin 25 per olduğu durumda kaynak süresinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.27.'de sunulmuştur.



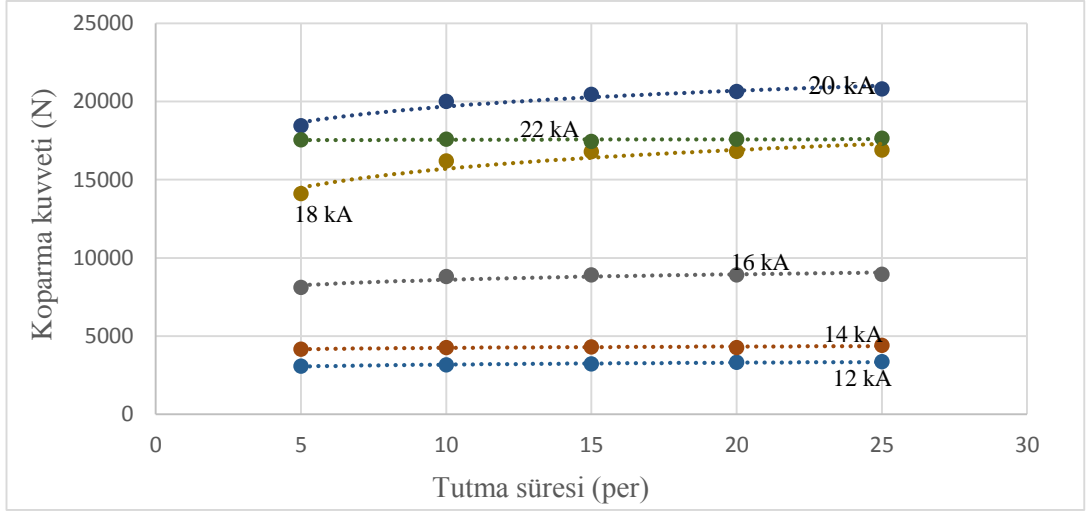
Şekil 4.26. Kaynak süresinin kaynak dayanımına etkisi (tutma süresi 25 per)

Tutma süresinin 25 per olduğu kaynak işlemlerinde 20 kA kaynak akımına sahip ve kaynak süresi 5 per, 10 per ve 15 per olan numunelerin dayanımları en yüksektir. 20 per ve 25 per kaynak süresinde ise 18 kA kaynak akımına sahip numunelerin dayanımları yüksektir.

5 per, 10 per, 15 per, 20 per ve 25 per kaynak süresinin sahip numunelerin dayanım değerleri sıralandığında 20 per kaynak süresine sahip numunelerin dayanımı en yüksektir. İkinci sırada 25 per gelmektedir. Fakat 20 kA kaynak akımına sahip ve kaynak süresi 15 per'nin üzerinde olan numunelere göre aynı akım değerlerine sahip 15 per kaynak süresine sahip numunelerin dayanım değeri daha yüksektir. Bunun sebebi, "iyi kaynak" sınırından sonra artan kaynak akımı ve kaynak süresinin yanık kaynağa sebebiyet vererek numunelerin dayanımlarını düşürmesidir.

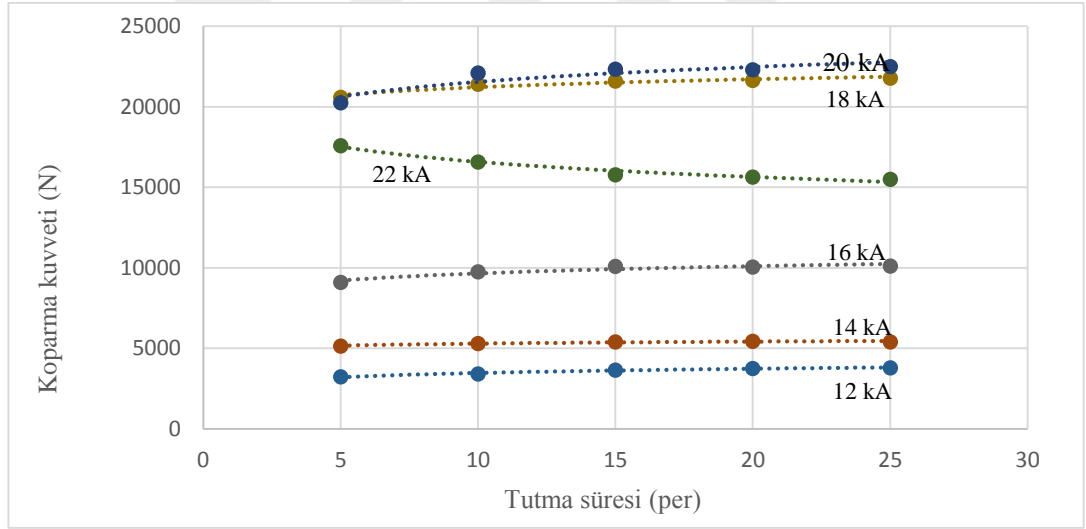
4.3.3. Tutma süresinin bağlantıların dayanımına etkisi

Kaynak süresinin 5 per olduğu durumda tutma süresinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.28.'de sunulmuştur.



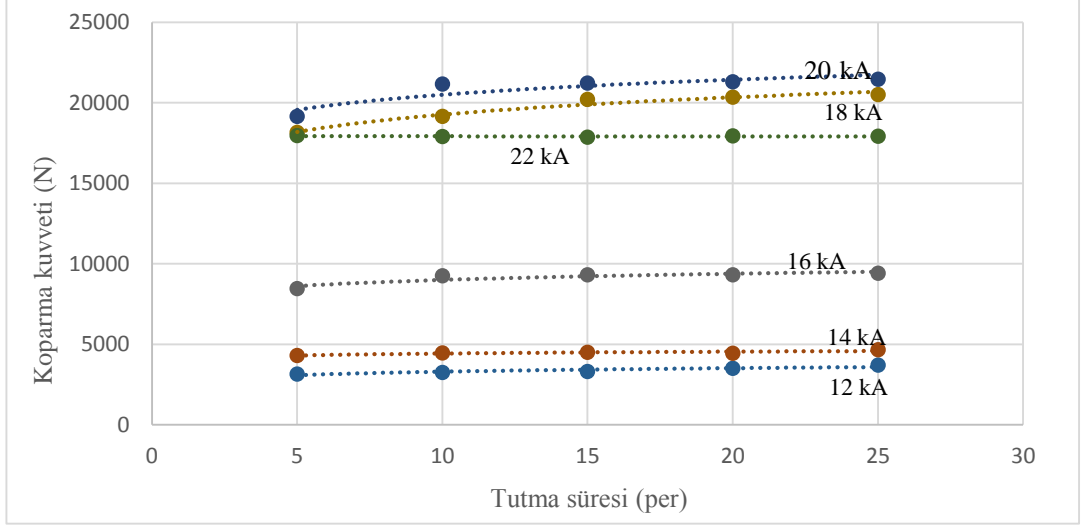
Şekil 4.27. Tutma süresinin kaynak dayanımına etkisi (kaynak süresi 5 per)

Kaynak süresinin 10 per olduğu durumda tutma süresinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.29.'da sunulmuştur.



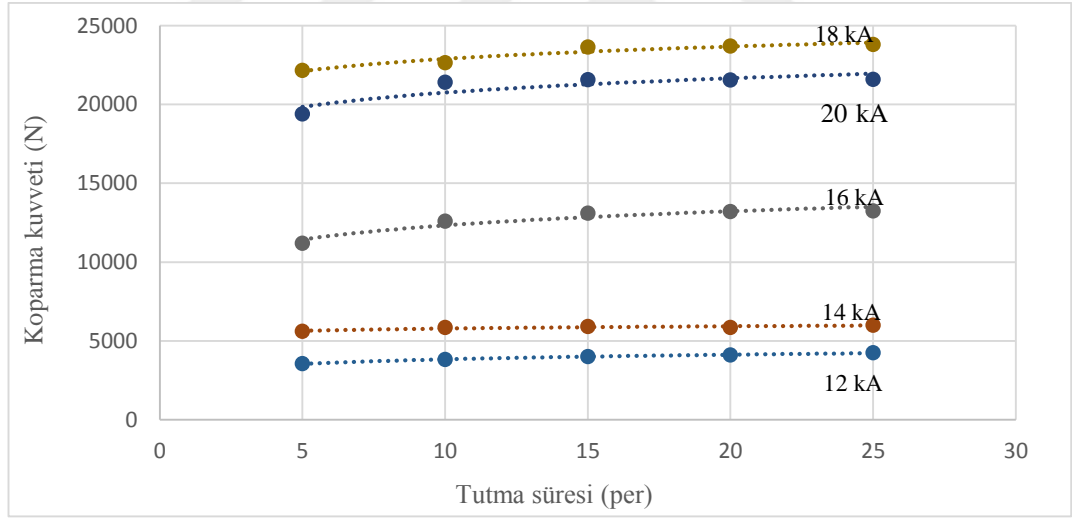
Şekil 4.28. Tutma süresinin kaynak dayanımına etkisi (kaynak süresi 10 per)

Kaynak süresinin 15 per olduğu durumda tutma süresinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.30.'da sunulmuştur.



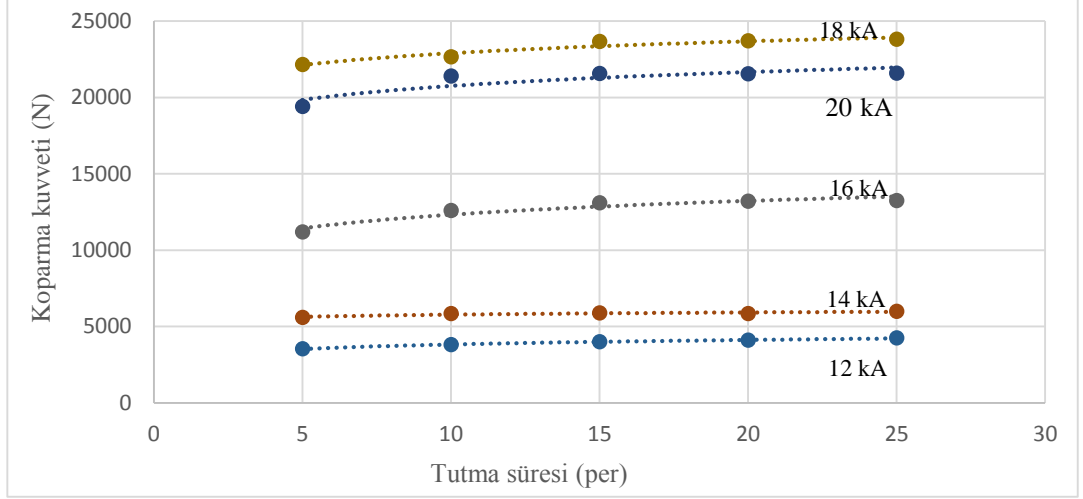
Şekil 4.29. Tutma süresinin kaynak dayanımına etkisi (kaynak süresi 15 per)

Kaynak süresinin 20 per olduğu durumda tutma süresinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.31.'de sunulmuştur.



Şekil 4.30. Tutma süresinin kaynak dayanımına etkisi (kaynak süresi 20 per)

Kaynak süresinin 25 per olduğu durumda tutma süresinin bağlantıların dayanımına etkisini gösteren grafik şekil 4.32.'de sunulmuştur.



Şekil 4.31. Tutma süresinin kaynak dayanımına etkisi (kaynak süresi 25 per)

Çalışmanın bu kısmında tutma sürelerinin 10 per, 15 per, 20 per, 25 per olarak belirlenmesinin kaynak dayanımlarını en fazla % 5,5 arttırdığı saptanmıştır. Tutma süresinin 5 per'in altında tutulmaması bu ve benzer ürünlerin projeksiyon kaynağı için yeterli olacaktır.

4.4. Kaynak Koparma Testi Sonuçları

Kaynak koparma testleri sonucunda 140 adet numunenin parametre ve dayanım değerlerini içeren tablo EK-E'de bulunmaktadır. Koparma testi sonuçları aşağıdaki gibidir.

- Artan kaynak akımı ve artan kaynak süresiyle kaynak dayanımının 20 per'e kadar arttığı ve 25 per 'de düştüğü gözlemlenmiştir.
- En yüksek kaynak dayanımı 23800 N değerle akımı 18 kA, kaynak süresi 20 per ve tutma süresi 25 per olan 70 numaralı numunede elde edilmiştir.
- Tutma süresinin 5 per'den 10 per'e arttırılmasıyla elde edilen kaynak dayanımı artışı, 10 per- 15 per, 15 per- 20 per ve 20 per- 25 per arasındaki artışlara göre en yüksek değere sahiptir.
- Tutma süresinin 20 per'den 25 per'e arttırılmasıyla oluşan dayanım değerlerindeki en fazla artış 109 ve 110 numaralı numuneler arasında %5,5'lik değerle gerçekleşmiştir.

- 18 kA ve kaynak süresi 20 per'e kadar dayanımı artan ürünlerin 18 kA ve 25 Per kaynak süresinden itibaren düştüğü gözlemlenmiştir.
- 20 kA akım ve 15 per kaynak süresinden sonraki kaynak parametrelere sahip numunelerde yanık kaynak sınıfına dahil olduğu gözlemlenmiştir.
- Kaynak dayanımı 18 kA> 20 kA> 22 kA> 16 kA> 14 kA> 12 kA olarak sıralanmıştır.
- Kaynağı yapılan 141 adet ürünün 40 adetinde kayıp kaynak, 20 adetinde çubuk kaynak, 20 adetinde çekirdek çapı küçük kaynak, 35 adetinde iyi kaynak ve 25 adetinde yanık kaynak oluşumu gözlemlenmiştir.
- 12 kA kaynak akımında somun üzerinde bulunan üç kaynak noktasında da bağ oluşumu gözlemlenmemiştir.
- 14 kA kaynak akımında ağırlıklı olarak 5 per- 10 per- 15 per kaynak süresinde bağ oluşumu gözlemlenmemiş olup, 20 per ve 25 per kaynak süresinde çubuk kaynak oluşumu gözlemlenmiştir.
- 16 kA kaynak akımına sahip numunelerde ağırlıklı olarak çekirdek çapı küçük kaynak oluşumu gözlemlenmiştir.
- 18 kA kaynak akımına sahip numunelerde ağırlıklı olarak iyi kaynak oluşumu gözlemlenmiştir.
- 20 kA kaynak akımı 5 per- 10 per- 15 per kaynak süresine sahip numunelerde iyi kaynak, 20 per ve 25 per kaynak süresine sahip numunelerde yanık kaynak oluşumu gözlemlenmiştir.
- 22 kA kaynak akımı 5 per- 10 per- 15 per kaynak süresine sahip numunelerde yanık kaynak oluşumu gözlemlenmiştir.
- 22 kA kaynak akımı 20 per kaynak süresinde malzeme ile elektrot alışmışmıştır.
- Kaynak süreleri sabit tutulup tutma süreleri karşılaştırıldığında 20 kA kaynak akımına sahip numuneler 5 per, 10 per ve 15 per tutma sürelerinde en yüksek dayanımı elde etmişlerdir. 20 per ve 25 per tutma sürelerinde 18 kA akıma sahip numuneler en yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 4.2.'de iyi kaynak sınıfına dahil numunelerin kaynak parametreleri ve dayanım değerleri bulunmaktadır.

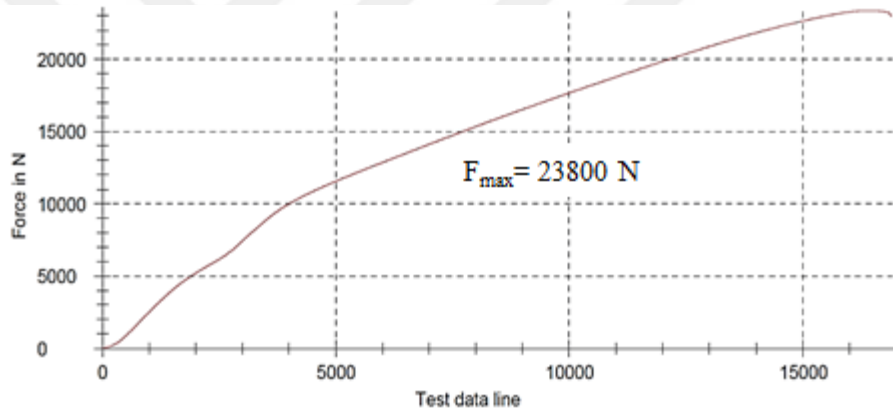
Tablo 4.2. İyi kaynak sınıfına dahil numunelerin kaynak parametreleri ve dayanım değerleri

Numune No	Akım	Kaynak süresi (per)	Tutma Süresi (per)	Dayanım (N)
55	18 kA	5	25	16900
56	18 kA	10	5	18150
57	18 kA	10	10	19150
58	18 kA	10	15	20200
59	18 kA	10	20	20350
60	18 kA	10	25	20500
61	18 kA	15	5	20600
62	18 kA	15	10	21400
63	18 kA	15	15	21600
64	18 kA	15	20	21650
65	18 kA	15	25	21780
66	18 kA	20	5	22150
67	18 kA	20	10	22650
68	18 kA	20	15	23650
69	18 kA	20	20	23700
70	18 kA	20	25	23800
71	18 kA	25	5	21000
72	18 kA	25	10	22400
73	18 kA	25	15	23300
74	18 kA	25	20	23320
75	18 kA	25	25	22900
76	20 kA	5	5	18450
77	20 kA	5	10	20000
78	20 kA	5	15	20460
79	20 kA	5	20	20650
80	20 kA	5	25	20800
81	20 kA	10	5	19150
82	20 kA	10	10	21150
83	20 kA	10	15	21210
84	20 kA	10	20	21300

Tablo 4.2. (Devamı)

Numune No	Akım	Kaynak süresi (per)	Tutma Süresi (per)	Dayanım (N)
85	20 kA	10	25	21450
86	20 kA	15	5	20250
87	20 kA	15	10	22100
88	20 kA	15	15	22350
89	20 kA	15	20	22300
90	20 kA	15	25	22500

Koparma testleri sonucunda en yüksek dayanım değerine sahip olan 70 numaralı numunenin kuvvet eğrisi şekil 4.33.'de ki gibidir.



Şekil 4.32. En yüksek dayanıma sahip 70 numaralı numunenin kuvvet eğrisi

4.5. Kaynak Bölgesi Mikroyapı Görüntüleri

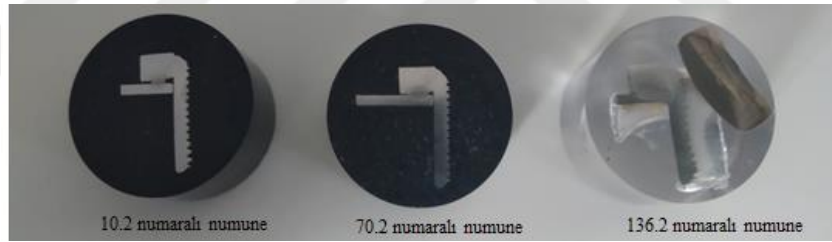
Metalografik muayene için deney numuneleri, kaynak yapılmış noktalardan (kaynak çekirdeği merkezinden), birleştirmenin enine el testeresi ile kesilmiş ve bakalite gömülmüştür. Kaynak bölgelerinin yüzeyleri 300 #, 600 #, 800 # ve 1200 # mesh değerine sahip SiC zımpara ile zımparalanmış, 0,2 µm elmas keçe ve pasta ile de parlatılmıştır. %5 nital ve %95 alkol ile hazırlanan dağlayıcı çözeltide numune yüzeyleri dağlanmış ve mikroyapı fotoğrafları, Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Nikon LV150N Mikroskobu ile çekilmiştir.

Mikroyapı incelemeleri üç kaynak sınıfına dahil olan üç numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kayıp kaynak, iyi kaynak ve yanık kaynak gruplarından alınan ve numaraları sırasıyla 10.2, 70.2 ve 136.2 olan numunelere metalografik incelemelerde bulunulmuştur. Bu numunelere ait kaynak parametreleri ve kopma testleri sonrasında belirlenen kaynak tipleri tablo 4.3.'de sunulmuştur.

Tablo 4.3. Metalografik görüntüleri alınan numunelerin kaynak parametreleri ve dayanımları

Numune No	K. akımı	K. süresi	T. süresi	Dayanım	Kaynak Tipi
10.2	14 kA	10 per	25 per	4650 N	Kayıp
70.2	18 kA	20 per	10 per	23800 N	İyi
136.2	22 kA	15 per	5 per	17600 N	Yanık

Metalografik muayeneye hazır olan bakalite alınmış numunelerin görselleri şekil 4.34.'de sunulmuştur.

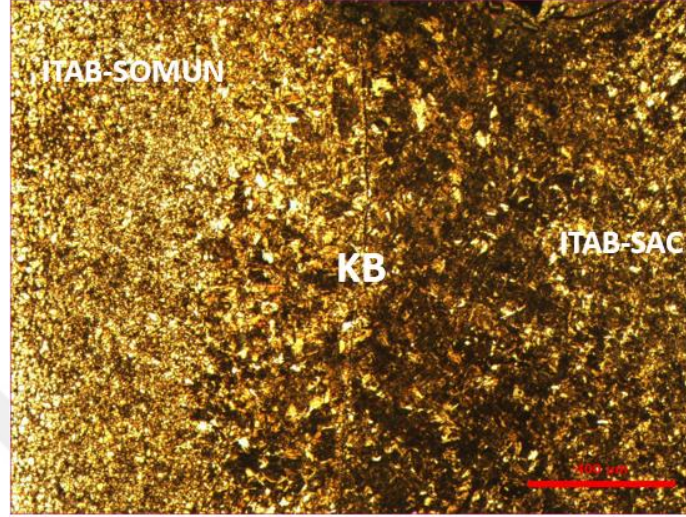


Şekil 4.33. Bakalite alınmış ve metalografik muayene işlemlerine hazır numuneler



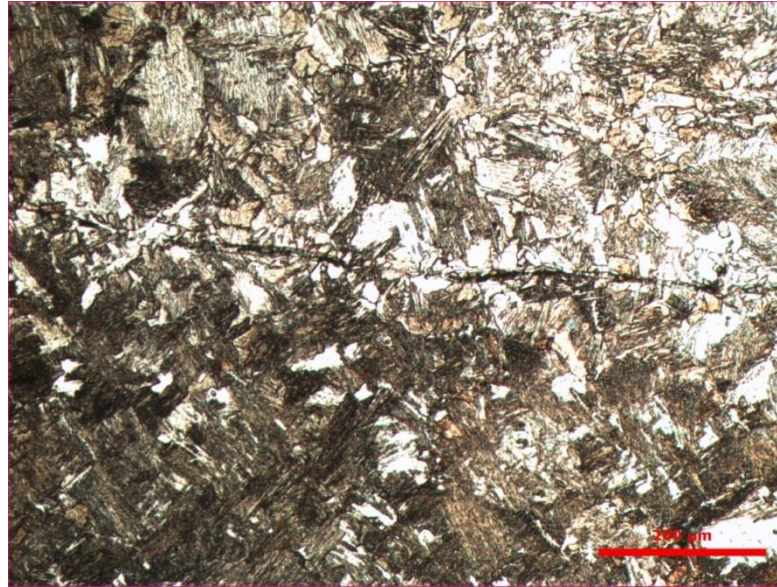
Şekil 4.34. Numune 10.2'ye ait kaynak bölgesinin stereo görseli (2.5x)

Şekil 4.35.'de görüldüğü üzere kaynak bölgesine yeterli ısı girdisinin oluşmamasından dolayı somun üzerinde bulunan kabartının tam olarak erimedığı gözlemlenmektedir.

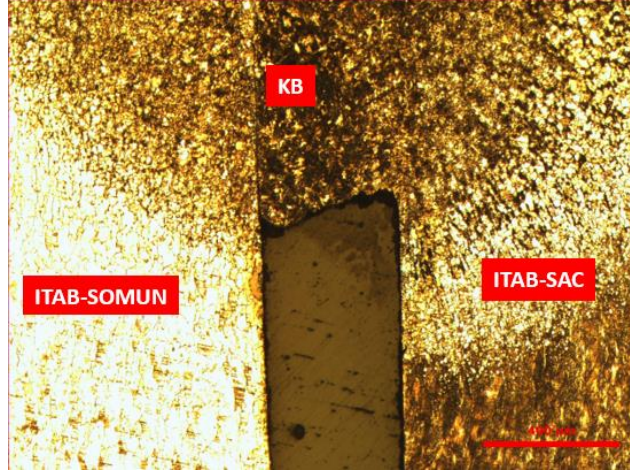


Şekil 4.35. Numune 10.2'ye ait kaynak bölgesinin mikro grafik görseli (50x)

Şekil 4.36:37.' de görüldüğü üzere yetersiz füzyondan dolayı oluşan faz ayrım çizgisi dikkat çekicidir.

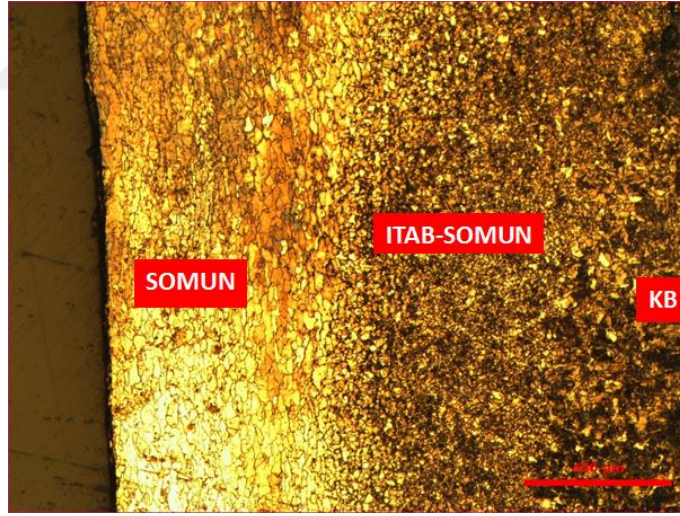


Şekil 4.36. Numune 10.2'ye ait kaynak bölgesinde oluşan faz ayrım çizgisi (200x)



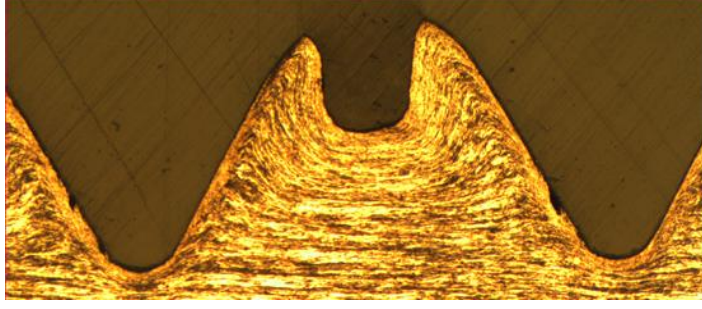
Şekil 4.37. Numune 10.2'ye ait kaynak ve ITAB bölgelerinin görseli

Şekil 4.38. incelendiğinde malzemeler arasında çapak ve çatlak oluşumuna rastlanmamıştır. ITAB bölgeleri kıyaslandığında ITAB-Somun alanı nispeten daha büyüktür. Ayrıca somun üzerindeki kabartı yüksekliğinden dolayı saclar arasında mesafe kaldığı görülmektedir.



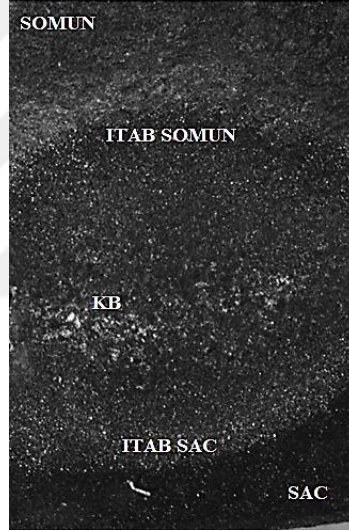
Şekil 4.38. Numune 10.2'ye ait kaynak ve ITAB bölgelerinin görseli

Şekil 4.39.'da görüleceği üzere, kaynak bölgesine doğru yaklaştıkça martenzitik yapının arttığı görülmektedir. ITAB bölgesinde çok ince taneli martenzitik yapı ısıdan etkilenmemiş bölge tarafına gidildikçe yerini ferritik yapıya bırakmaktadır.



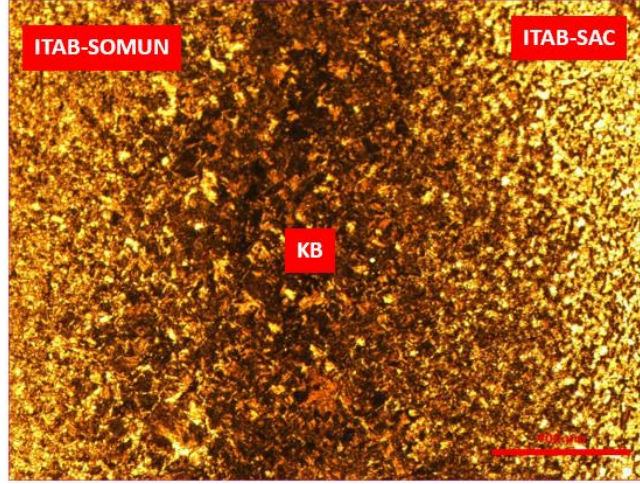
Şekil 4.39. 10.2 numaralı numuneye ait somun dış tarafının görseli (50x)

Şekil 4.40.'da numunenin kaynak işlemi sonrasında dış bölgesinde travers braketinin çalışmasında fonksiyon kaybına sebebiyet verecek herhangi bir çapaklanma oluşmamıştır.



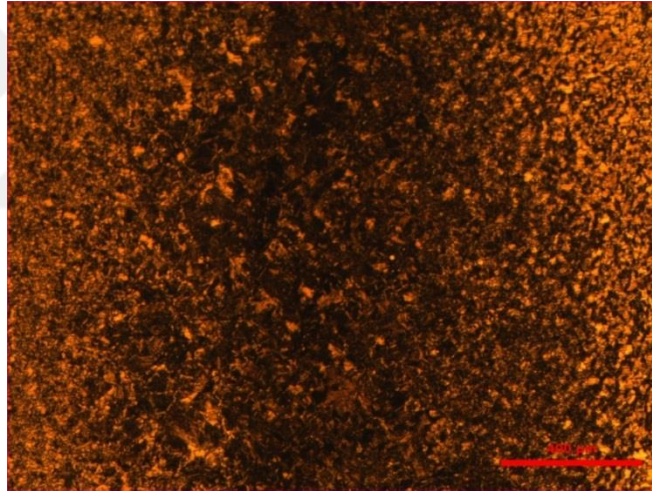
Şekil 4.40. Numune 70.2'ye ait kaynak bölgesinin stereo görseli (2,5x)

Şekil 4.41.'e göre 70.2 numaralı numunede oluşan ITAB bölgelerinin boyutları nispeten eşittir.

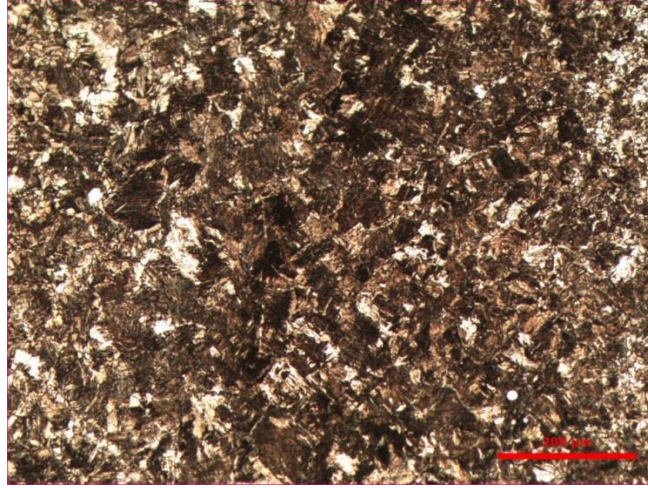


Şekil 4.41. Numune 70.2'ye ait kaynak ve ITAB bölgelerinin görseli (50x)

Şekil 4.42.'de görüldüğü üzere somun kabartması ve sac metal arasında kaynak parametrelerine bağlı olarak yeterli füzyon oluşmuştur.

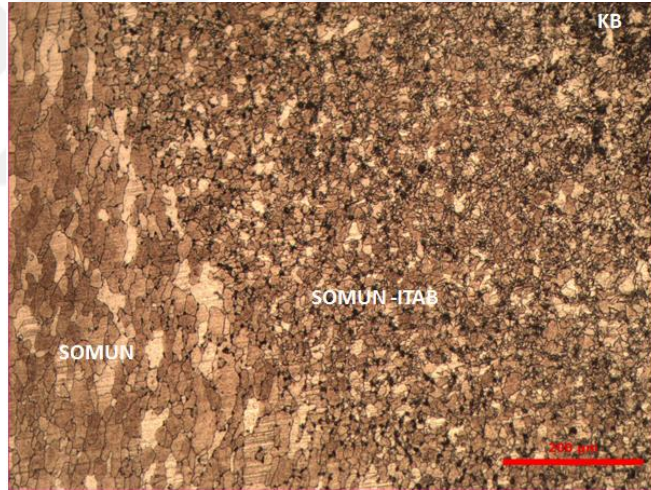


Şekil 4.42. Numune 70.2'ye ait kaynak bölgesinin görseli (50x)



Şekil 4.43. Numune 70.2'ye ait kaynak bölgesinin görseli (100x)

Şekil 4.44.'de numunenin kaynak bölgesinde uygun ince yapılı martenzitik yapının oluştuğu gözlemlenmektedir.



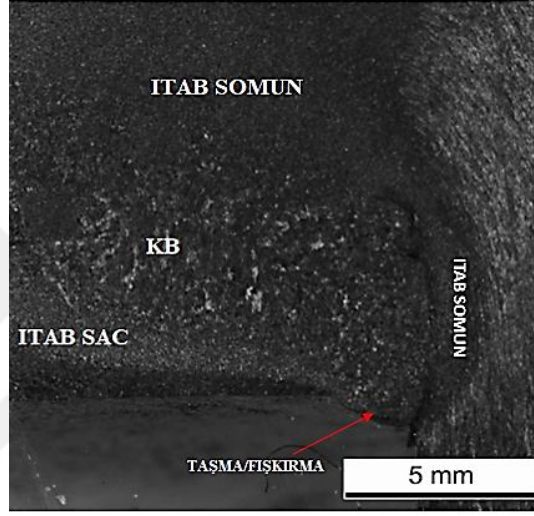
Şekil 4.44. Numune 70.2'ye ait somun-ITAB ve kaynak bölgesinin görseli (100x)

70.2 numaralı numunede beklenen füzyon oluşmuştur ve kaynak bölgesinden ana metale doğru gidildikçe tane irileşmesi görülmektedir. Kaynak bölgesinde ve çevresinde herhangi bir çapaklanma gözlemlenmemiştir. Ayrıca, araç üzerinde titreşime ve ufak darbelerden dolayı kırılmaya sebebiyet verebilecek mikro çatlak ve mikro boşluklara rastlanmamıştır.

136.2 numaralı numunenin kaynak işlemleri sırasında şekil 4.46.'da görüldüğü üzere yanma bölgesi sac metalin yüzeyine kadar uzanmıştır.

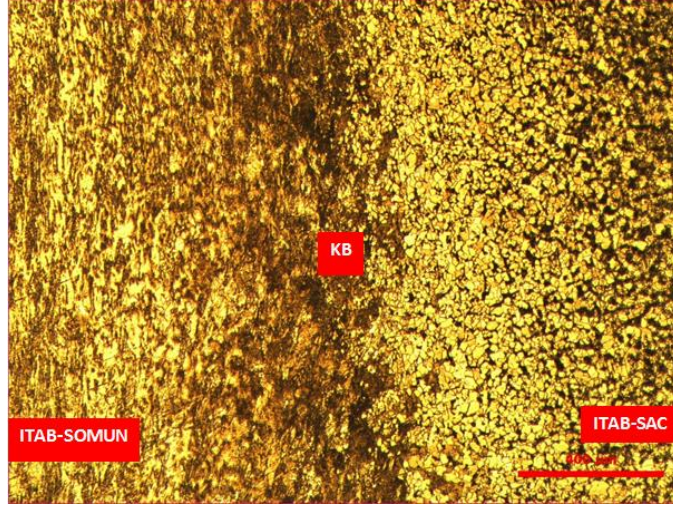


Şekil 4.45. 136.2 numaralı numunedeki erime bölgesinin sac metalin yüzeyine etkisi

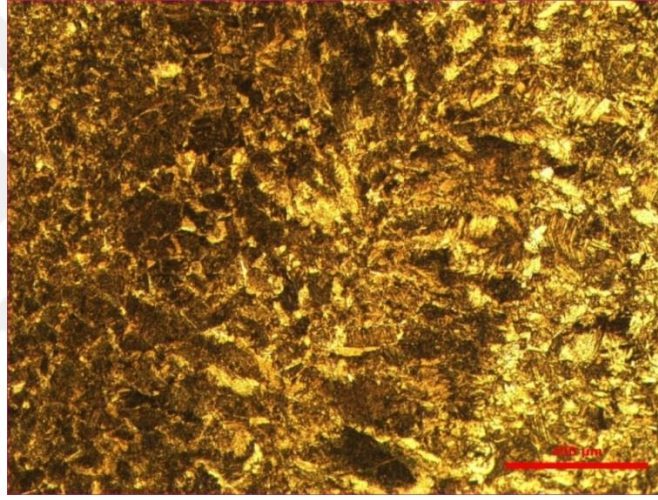


Şekil 4.46. Numune 136.2'ye ait kaynak bölgesinin stereo görseli (5x)

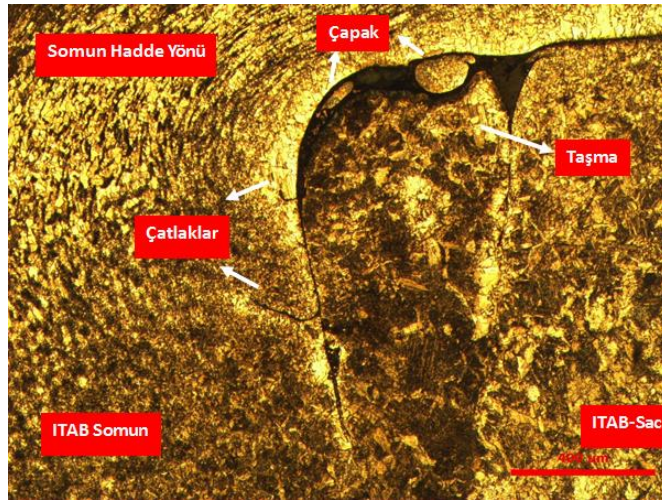
Numune 136.2'nin kaynak işleminden sonra kaynak bölgesinden uzak olan somun çeperi ve sac arasında bulunan boşluk, kaynak ısısından dolayı sacı da etkileyerek kaynak metali tarafından doldurulmuştur (Şekil 4.47.). Fışkırmaya bağlı olarak kaynak bölgesinin çevresinde çapak oluşumuna rastlanmıştır. Ayrıca kaynak bölgesi çevresinde yüksek akım ve kaynak süresine bağlı olarak çatlak oluşumu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.47. Numune 136.2'ye ait kaynak ve ITAB bölgeleri (50x)



Şekil 4.48. Numune 136.2'ye ait kaynak bölgesi (50x)

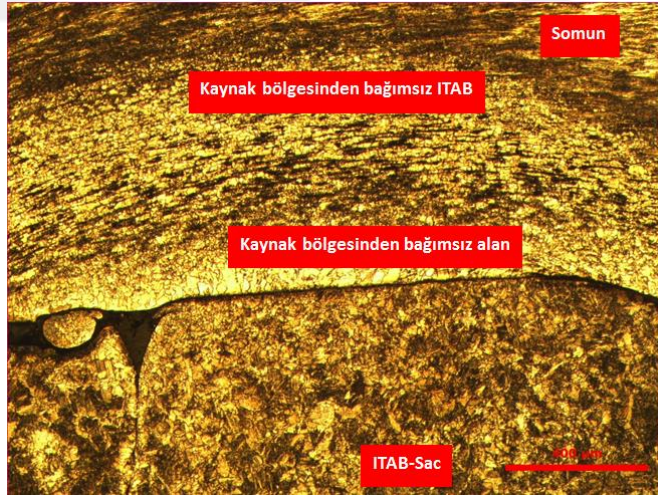


Şekil 4.49. 136.2 numaralı numunede fişkırmaya sonucu oluşan çatlak ve çapaklanma-1 (50x)

Projeksiyon kaynak somununun imalatı haddeleme yöntemiyle yapıldığından dolayı mikroyapıda hadde yönü şekil 4.50.'de görülmektedir. Fıskırmaya bağlı olarak oluşan çapaklanma ve mikro çatlaklar şekil üzerinde gösterilmiştir. Kaynak bölgesinden taşan metal ve çapaklara doğru gidildikçe martenzitik yapının azaldığı görülmektedir.



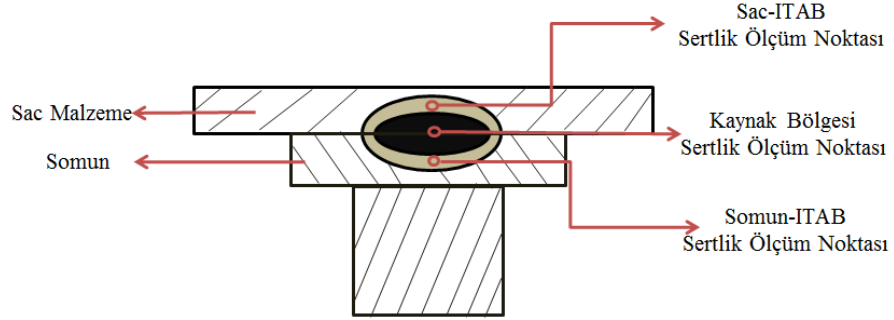
Şekil 4.50. 136.2 numaralı numunede fıskırma sonucu oluşan çatlak ve çapaklanma-2 (50x)



Şekil 4.51. 136.2 136.2 numaralı numunede fıskırma sonucu oluşan çatlak ve çapaklanma-3 (50x)

ITAB bölgeleri kıyaslandığında ısıya çok fazla maruz kalan somun bölgesinin ITAB boyutunun daha büyük olduğu açıktır. Şekil 4.52.'de görüldüğü üzere akım ve kaynak süresinin yüksek olması ısı girdisini arttırdığından dolayı somunun saca yakın olan iki bölgesi de ısıdan etkilenmiştir. Eriyen metal somun şaftına kadar taşarak ürünün geometrik toleranslarını ve kaynak kalitesini olumsuz etkilemiştir.

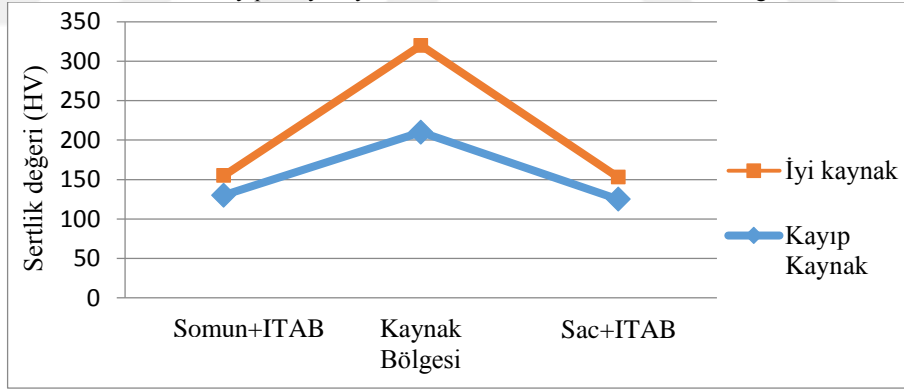
İyi kaynak sınıfına dahil edilen 70.2 numaralı numune ile kayıp kaynak sınıfına dahil olan 10.2 numaralı numunenin sertlik ölçüm işlemleri yapılmıştır. Sertlik ölçüm noktalarının şematik görseli şekil 4.53.'de sunulmaktadır.



Şekil 4.52. Sertlik ölçüm noktalarının şematik görseli

İyi kaynak sınıfına dahil edilen 70.2 numaralı numune ile kayıp kaynak sınıfına dahil olan 10.2 numaralı numunenin sertlik ölçüm karşılaştırmalı değerleri tablo 4.4.'de verilmiştir. Somunun sertlik değeri 170 ± 5 HV, sac malzemenin sertlik ölçüsü ise 93 ± 2 HV olarak ölçülmüştür.

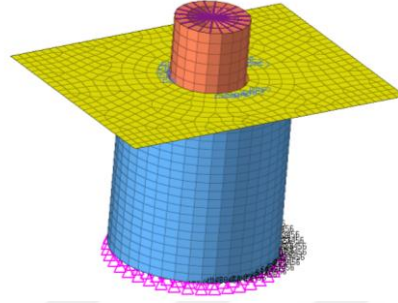
Tablo 4.4. Kayıp ve iyi kaynak sınıfına dahil numunelerin sertlik değerleri



10.2 numaralı numune ile 70.2 numaralı numunenin kaynak alanı sertliği kıyaslandığı zaman 70.2 numaralı numunenin sertlik değerinin yaklaşık 110 HV daha fazla olduğu görülmektedir.

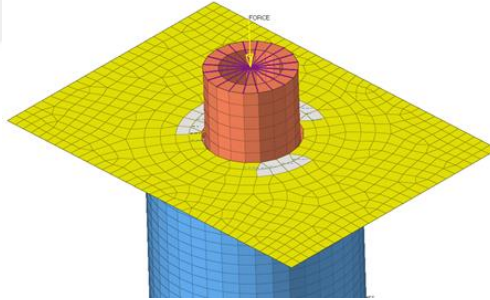
4.6. Analiz Bulguları

Analiz işlemlerinde ürün (somun+sac) ve koparma testlerinde kullanılan C 2379 malzeme dayama parçasının 3D datası hazırlanmıştır. Test elemanlarının analiz programına aktarılmış görseli şekil 4.54.'de ki gibidir.

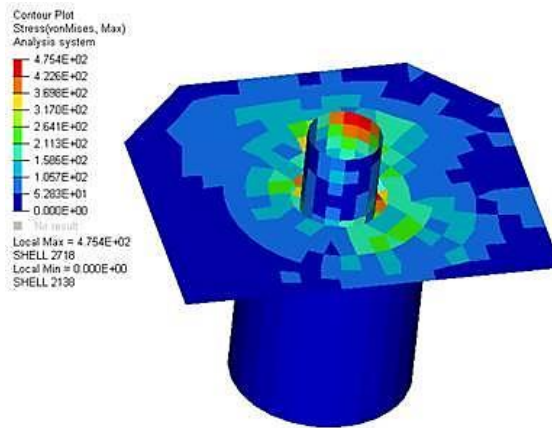


Şekil 4.53. Analiz programına aktarılan ürün ve dayama parçasının program üzerindeki görseli

Analiz çalışmaları kısmında sac ve somun şekil 4.55.'de bulunan üç adet kaynak noktasını temsil eden beyaz bölgelerden rijitlenmiştir.

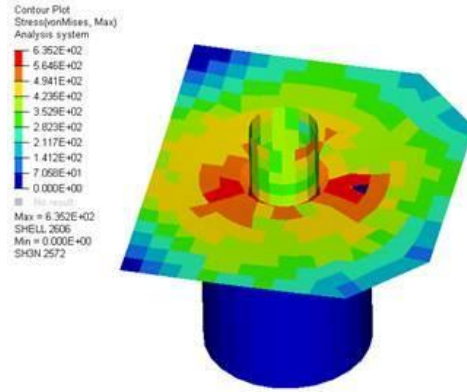


Şekil 4.54. Kabartı noktalarının analiz programı üzerinde rijitlenmiş görseli



Şekil 4.55. 18000 N kuvvet esnasında kaynak noktalarında oluşan gerilme görseli ve miktarı

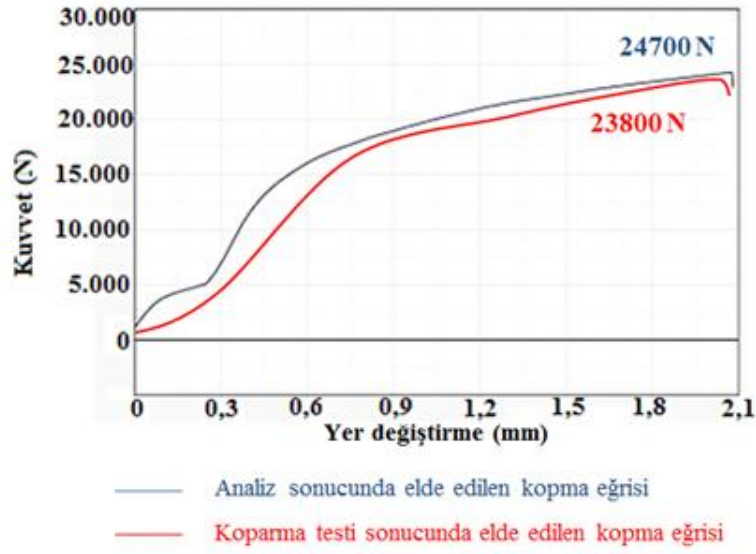
Şekil 4.56.'da görüleceği üzere ürünün kaynak noktalarında yaklaşık olarak 475 Mpa'lık gerilme oluşumu gerçekleşmiştir. Bu noktada ürün üzerindeki kuvvet yaklaşık olarak 18.000 N'dur. Tahmin edildiği gibi uygulanan kuvvet sonucunda ürün üzerinde ki en yüksek gerilme kaynak noktalarında oluşmuştur.



Şekil 4.56. Kopmanın gerçekleştiği esnada ürün üzerinde oluşan gerilme görseli

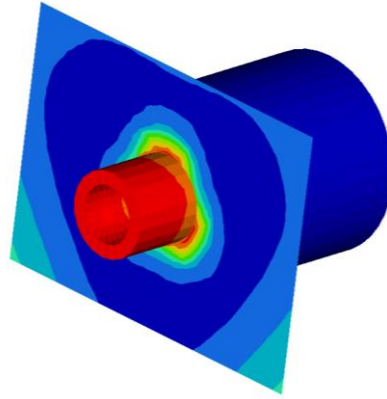
Şekil 4.57.'de görüleceği üzere kopma esnasında ürünün kaynak noktalarında yaklaşık olarak 635 Mpa'lık gerilme oluşmuş ve bu gerilme sonucunda kaynak noktalarının birinde kopma gerçekleşmiştir. Bu noktada ürün üzerindeki kuvvet yaklaşık olarak 24700 N'dur. Bu değer ürünün dayanım değerini göstermektedir.

Şekil 4.58.'de sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılan ürünün 24700 N'luk dayanım eğrisi ile koparma testlerinde elde edilen 23800 N'luk numuneye ait dayanım eğrisi bir arada sunulmaktadır.



Şekil 4.57. Statik analizi yapılan ürün ile koparma testi yapılan ürünün karşılaştırılmalı dayanım eğrileri

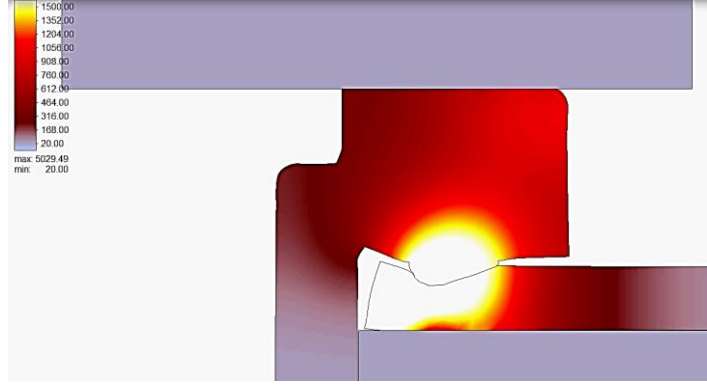
Şekil 4.59.'da bulunan görselde kırmızı renkli bölümler kuvvet uygulaması sırasında yer değiştirmeye uğrayan bölgelerdir.



Şekil 4.58. Kuvvet altında ürün üzerinde oluşan deplasman görseli

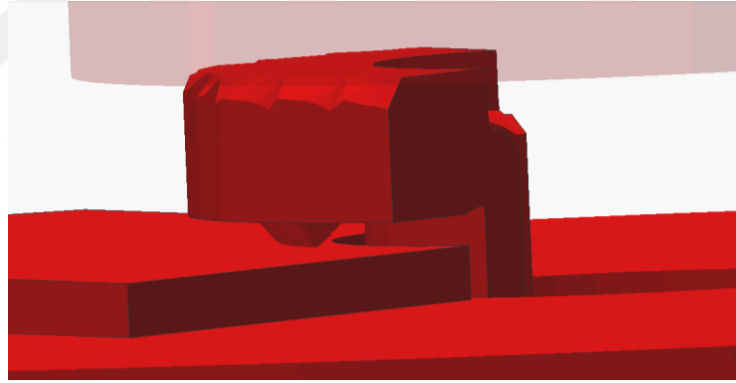
Çalışma kapsamında ısıl analizi yapılan ürünün sıcaklık dağılımı ve miktarları şekil 4.60.'da sunulmuştur. Kaynak somununun, kaynaklama analizini 3D olarak gerçekleştirmek çok küçük elemanlar kullanılması gerektiğinden ve iş parçası eleman ağları arasında ciddi temas problemleri yarattığından dolayı ürün modeli 2D-eksenel simetrik modele indirgenmiştir.

Isıl analiz işlemi için elektrot kuvveti 1910 N, kaynak akımı 18 kA ve kaynak süresi 10 per olarak belirlenmiştir.

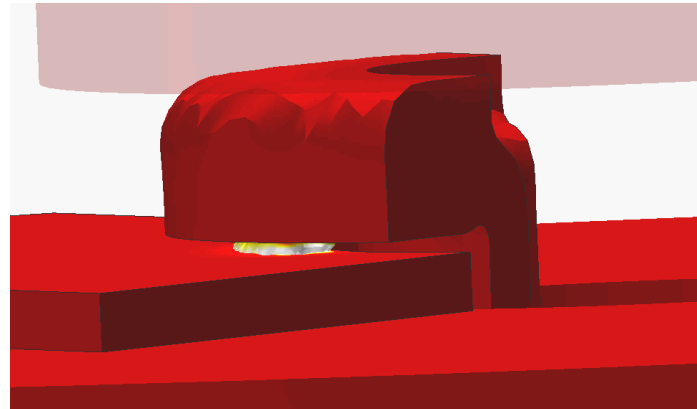


Şekil 4.59. Isıl analizi 2D eksenel olarak tamamlanan ürünün sıcaklık dağılımı ve derecelerinin görseli

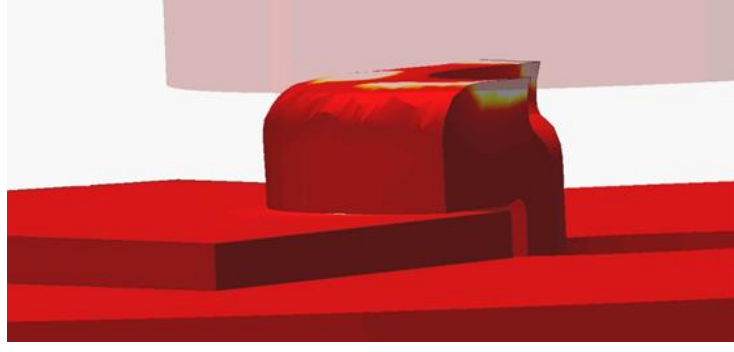
Kaynak çevriminin 10 per olduğu durumda kaynak merkezindeki sıcaklığın yaklaşık 1500°C, kaynak alanının çevresinde yaklaşık 1352°C ve ITAB bölgelerinde 1200°C olduğu görülmüştür. Simülasyon çalışması 3D olarak yapılan ürün görselleri aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.60. Simüle edilen ürünün kaynak başlangıcı görseli



Şekil 4.61. Simüle edilen ürünün kaynak işlemi görseli



Şekil 4.62. Simüle edilen üründe ergitme ısısının ürüne geçiş bölgeleri



BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilen kaynak ve soğuk sac şekillendirme operasyonlarının ayrı ayrı yapılmasına gerek duyulmadan kalıp içerisinde projeksiyon kaynak prosesinin gerçekleştirilmesi ve optimum kaynak parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar ile ilgili aşağıda maddeler halinde bulunan sonuçlar elde edilmiştir:

- Kaynak akımının ve kaynak süresinin kaynak dayanımı üzerindeki etkisinin yüksek olduğu saptanmıştır. Tutma süresinin yüksek olması ise kaynak dayanımı üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı ancak dayanım değerlerini anlamlı bir şekilde arttırmadığı görülmüştür.
- 140 adet numune kaynak koparma testleri sonucunda kopma tipine göre kayıp, iyi ve yanık kaynak olarak sınıflandırılmış ve uygun kaynak dayanım değerine sahip numuneler grubu belirlenmiştir.
- Kaynak işlemi için bilgisayar ortamında statik analiz yapılarak ürünün kaynak koparma kuvvet değeri %4 sapma ile belirlenmiştir.
- Yapılan ısı analizlerinde kaynak merkezinde ve ITAB bölgelerinde oluşan sıcaklık dağılımı ve miktarı belirlenmiştir. 1500°C sıcaklıkta ergiyen metalin daha sonra soğumasıyla oluşan martenzitik yapıdan dolayı en sert bölgenin kaynak çekirdeği olduğu sertlik ölçümleriyle desteklenmiştir. Kaynak merkezinden ana metale gidildikçe martenzitik yapının çok azaldığı 1200°C'lik sıcaklığa maruz kalan bölgeler ise (ITAB) kaynak bölgesine ve kaynak çeperine göre çok daha düşük sertlik değerine sahiptir.
- Metalografik muayenelerde kaynak akım ve kaynak süresinin gerekenden az seçilmesi sonucunda yetersiz füzyondan dolayı birleşmenin sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Kaynak süresinin ve akımının gerekenden yüksek seçilmesi sonucunda ise fişkırmaya bağlı olarak taşma, çapak ve mikro çatlaklar gözlemlenmiştir. Taşan ergiyik metalin somun şaftına kadar uzadığı

görülmüştür. Bu durumun travers parçasına ait geometrik toleransları olumsuz etkilediği saptanmıştır.

- Metalografik muayenelerde ITAB'dan kaynak bölgesine doğru gidildikçe martenzitik yapının arttığı gözlemlenmiştir. ITAB bölgelerinde ince tanelerin oluştuğu ve ana malzemeye doğru tane irileşmesi gözlemlenmiştir. ITAB bölgeleri parçaların normal hava şartlarında soğutulmasından dolayı düzgün ve homojen görünüme sahiptir.
- Tüm numunelerin mikroyapı görselleri incelendiğinde, birleşme bölgelerinde ergimenin oluştuğu ve katılaşmanın ergimeyen dış kısımdan başlayıp kaynak merkezi çizgisinde son bulduğu gözlemlenmiştir.
- Kaynak metalinde oluşan taneler ısı akış yönüne işaret etmektedir. Isı merkezden dışa doğru hareket ederken, taneler birleşme merkezine doğru katılaşmaktadır. Üç numunede de aynı katılaşma sisteminin olduğu görülmektedir. Isının etkilenmediği bölgelerde iş parçalarının iç yapılarında herhangi bir değişiklik oluşmamıştır.
- Tasarım birleştirilmesi yapılarak birbirlerinden bağımsız iki farklı prosesin tek bir proses olarak tasarlanması sağlanmıştır. Birleştirilmiş tasarıma ait görseller EK-G'de sunulmaktadır.

Bu çalışma, üzerinde somun, cıvata, pul veya vida bulunan sac parçaların üretim ve montaj işlemlerinde ikincil istasyonlara gerek kalmadan kalıp içerisinde montaj işlemlerinin tek proseste tamamlanabilmesi için rehber niteliğindedir. Yapılan araştırmalar neticesinde üretim yapılan somun kaynaklı bir sac parçanın imalat ve montaj işlemleri için harcanan sürenin 13 saniye olduğu ve bu çalışma ile bu sürenin 8 s'ye ve daha aşağısına düşürülebileceği öngörülmüştür.

Ayrıca, ikincil operasyonlardan kaynaklı zaman kayıpları, proses verimsizliği, ikincil makine yatırım maliyetleri ve operasyon için harcanan güç, enerji ve alan kayıplarından oluşan ek maliyetler elimine edilebilecektir.

İlerki çalışmalarda, kabartı ölçülerinin değiştirilerek kaynak dayanımı ve kaynak kalitesine etkisi incelenebilir. Ayrıca bulanık mantık, çok amaçlı optimizasyon veya sayısal göstergeler metotlarıyla üründen beklenen kaynak dayanımının girdi olarak

belirlenmesi ve optimum kaynak parametre değerlerinin çıktı olarak elde edilebileceği çalışmalar gerçekleştirilebilir. Böylelikle kaynak prosesi başlamadan istenilen kaynak dayanım değerine göre giriş parametrelerinin önerildiği akıllı bir imalat sistemi geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- Akkas, N., Varol, F., Ferik, E., Ozsarac, U., Aslanlar, S. (2013). "Effect of welding current on mechanical properties of welding joints in S235JR(Cu) steel sheets in resistance spot welding. Proceedings of the 3rd International Congress APMAS2013, Antalya, Turkey. DOI: 10.12693/APhysPolA.125.500
- Akkas, N., Ferik, E., Ilhan, E., Aslanlar, S. (2016). The effect of nugget sizes on mechanical properties in resistance spot welding of S235JR(Cu) steel sheets used in railway vehicles. Special issue of the 2nd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering ICCESN 2015, Antalya, Turkey. DOI: 10.12693/APhysPolA.130.60
- Albak, B. Kurt, Z.B. (2018). Soğuk Sac Şekillendirme Kalıbında Direnç Kaynak Sistemi Tasarımı. [Hazırlık Aşamasındaki metin]. Uluslararası 6. GAP Mühendislik Kongresi, Şanlıurfa.
- Ameresh, H., Shankar, P.H. (2013). Progressive Tool Design and Analysis for 49 Lever 5 Stage Tools, International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT) – volume 4 Issue 7. Erişim adresi: <http://ijcttjournal.org>
- Anık, S. (1983). Kaynak teknolojisi El Kitabı, s 124-133. Erişim adresi: <https://tr.scribd.com/document/36869910/KAYNAKCININ-EL-K%C4%B0TABI>
- Anık, S., Anık, E.S. ve Vural, M. (1993). 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, 1.Cilt. Birsen Yayınevi, 186-195. [Adobe Acrobat Reader sürümü]. Erişim adresi: <http://www.hakimkaynak.com/docs/dokuman/1000%20soruda%20kaynak%201.pdf>
- Anık, S. ve Vural, M. (2007). Alaşimsız Çeliklerin Kabartı (Projeksiyon) Kaynağı. Mühendis ve Makine, 48 (573): 46-51. [Adobe Acrobat Reader sürümü]. Erişim adresi: <http://www.mmo.org.tr>
- Arsel Elektrik Ürün kataloğu (2019, 23 Mart). Erişim adresi: <http://www.arselektrik.com/>
- Aslanlar, S. (2017). Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kaynak Yöntemleri Ders Notları. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 2-70. Erişim adresi: http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/57196/46691/3._kabartılı_kaynak.pdf
- Ataşımşek, S. (1977). Sac Kalıpları, Özel Basım, Bursa, 571-587. Erişim adresi: <https://tr.scribd.com/doc/38588470/SamiATA%C5%9E%C4%B0M%C5%9EEK-Sac-Kal%C4%B1plar%C4%B1>

- Bıyık, A., İnce, U., Ateş, F., Yetilmezsoy, K. (2016). Kaynak Cıvatalarının Projeksiyon Kaynağı ile Birleştirilmesinde Çapaklanmanın Azaltılmasına Yönelik Optimal Proses Parametrelerinin Taguchi ve Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemleriyle Tespit Edilmesi. Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 677, s. 36-52. Erişim adresi: <https://www.mmo.org.tr>
- Cottrell, A. (1997). An introduction to metallurgy second edition. s. 17-26, İngiltere: CRC Press
- Çavdar, K., Yaşar, H., Şahin, U.O. (2017). Aısı 304 paslanmaz çeliğin nokta direnç kaynağı yöntemi ile izsiz kaynak parametrelerinin araştırılması. X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara. Erişim adresi: <http://www.mmo.org.tr>
- Çetinkaya, K. Başak, H. (1999). Kalıp Elemanlarının Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Tasarımı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 2-3, 155-160. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr>
- Davut, K., Erhuy, C.G., Ecer, A.S., Mete, M. (2015). Projeksiyon kaynak somunlu ara soğutuculu braketinde hasar analiz sonuçlarına göre imalat parametrelerinin değiştirilerek yapısal performansın iyileştirilmesi. Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara. Erişim adresi: <https://www.mmo.org.tr>
- Doruk, E. Pakdil, M. Çam, G. Durgun İ. Kumru, U.C. (2016). Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Tofaş Uygulamaları. Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara, 29-38. Erişim adresi: <https://www.mmo.org.tr>
- Durgut, E. Kaçar, R. (2011). Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Nokta Direnç Kaynağına Akım Şiddeti ve Kaynak Zamanının Etkisi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi Cilt 26, No 2, 341-348. Erişim adresi: <http://dergipark.gov.tr>
- Emre, H.E., Bozkurt, B., Kaçar, R., Bozkurt, A. (2018). Nokta Direnç Kaynak Elektrotlarına TiC-Co Kaplamanın Etkisi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt 6, 618-628. Erişim adresi: <http://dergipark.gov.tr>
- Erhuy, C. G., Ateş, F., İnce, U., Bıyık, A., Davut, K. (2015). "Projeksiyon Kaynağında Fıskırma ve Çapaklanma Düzeyinin Tanımlanmasına Yönelik Sayısal Bir Göstergenin Geliştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma," Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara. Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr>
- Erik, M. (2010, Mayıs). Galvaniz kaplanmış çelik sac metallerin elektrik direnç kaynağı ile kaynatılabilirliği (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara). Erişim adresi: www.acikarsiv.gazi.edu.tr
- Esener, E. Sönmez, E. Fırat, M. (2018). Metal Şekillendirme Proseslerinde Sac Açınım Geometrisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Geliştirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C, 6(1): 79-89. Erişim adresi: <http://dergipark.gov.tr>
- Gauthier, E., Carron, D., Rogeon, P., Pilvin, P., Pouvreau, C., Lety, T., Primaux, F. (2014) Numerical Modeling of Electrode Degradation During Resistance Spot

- Welding Using CuCrZr Electrodes. Journal of Materials Engineering and Performance, 23, 1593–1599. DOI: 10.1007/s11665-014-0908-9
- Gould, E. (1987). An Examination of Nugget Development During Spot Welding, Using Both Experimental and analytical Techniques. Welding Journal Research Supplement, 66(1), 1-10. Erişim adresi: <https://app.aws.org>
- Hayat, F., Demir, B., Acarer, M., Aslanlar, S. (1999). Effect of weld time and weld current on the mechanical properties of resistance spot welded IF steel. Kovove Materialy, 47, 11-17. Erişim adresi: www.kovmat.sav.sk
- Hidtek shock absorber/stoper kataloğu. (2019, 22 Mart). Erişim adresi: <https://www.hid-tek.com.tr/>
- HIM “Mechanical Press Tonnage”. (2019, 23 Mart). Erişim adresi: <http://himpress.co.kr/en/sub02/0201.php?ca=50>
- İriç, D. İriç S., Kozan, R. (2012). Sac şekillendirme prosesinde kullanılan süzdürme çubuğu frenleme kuvvetinin modellenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17. Cilt, 2. Sayı, s. 201-205. Erişim adresi: <http://www.saujs.sakarya.edu.tr>
- Makinetak “Otomotiv Sanayi’de Kullanılan Pres Türleri”. (2019, 15 Nisan). Erişim adresi: <http://makinatek.com.tr/uncategorized/135-otomotiv-sanayinde-kullanilan-pres-turleri/>
- Mete, O.H. (2007, Mayıs). Sac levhaların şekillendirebilirliğine etki eden değişkenliklerin incelenmesi (Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya) Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/3977150-Sac-levhalarin-sekillendirilebilirliğine-etki-eden-degiskenliklerin-incelenmesi.html>
- Oğur, A., Muzoğlu, B.M. (2003). Otomotiv Sektöründe Kullanılan Direnç Kaynak Makinalarının Optimizasyonu. Sakarya University Journal of Science, cilt 7, Sayı 3, s.248-252. Erişim adresi: <http://www.saujs.sakarya.edu.tr>
- Özgöl, H.G., Arslan, S. (2018). Farklı elektrik direnç kaynağı parametrelerinin mukavemet üzerine etkilerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. Cilt, 2. Sayı 22, s. 673-679. Erişim adresi: <http://www.saujs.sakarya.edu.tr>
- Sick Sensör Kataloğu. (2019, 24 Mart). Erişim adresi: <https://www.sick.com/tr/tr/>
- Vatbuz Isıtma-Soğutma Üniteleri. (2019, 25 Mart). Erişim adresi: <https://www.vatbuz.com.tr/>
- Vishwanath M.C., Dr. Ramni, Sampath K. L. (2013). Design of Progressive Draw Tool. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 8. Erişim adresi: <http://www.ijsrp.org>

EKLER

EK-A. Gazlı Yay Basma Testi ve Gazlı Yay Karakteristiği

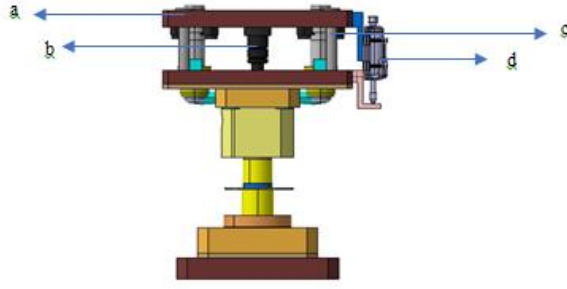
Kaynak koparma testlerinin ardından projeksiyon kaynak makinesinin elektrot kuvveti görsel 1.'de cihaz ile 1910 N olarak ölçülmüştür (Aslanlar, 2017, s. 27).



Görsel 1. Elektrot kuvvetinin ölçümü (Aslanlar, 2017, s. 27)

Koparma testinden sonra ölçülen elektrot kuvvetinin kalıp içerisinde sağlanabilmesi için elektrot grubunun üzerine adapte edilen gazlı yayın sıkışması gerekmektedir (Görsel 2. b parçası). Presin her çevriminde elektrot kuvvetinin sağlanabilmesi için kalıp kapalı pozisyonda iken elektrot uçları arasında belirli bir mesafe bırakılması gerekmektedir. Pres kapalı pozisyondayken elektrotlar arasında parça bulunduğu durumda elektrot grubu presin tersi yönünde harekete zorlanarak gazlı yayın sıkışmasını sağlayacaktır. Böylece elektrot kuvveti gazlı yayın sıkışması sonucu elde edilecektir. Alt ve üst elektrot grubuna adapte edilmiş gazlı yayın konumlandırılmasına ilişkin tasarım görseli görsel 2.'de sunulmaktadır.

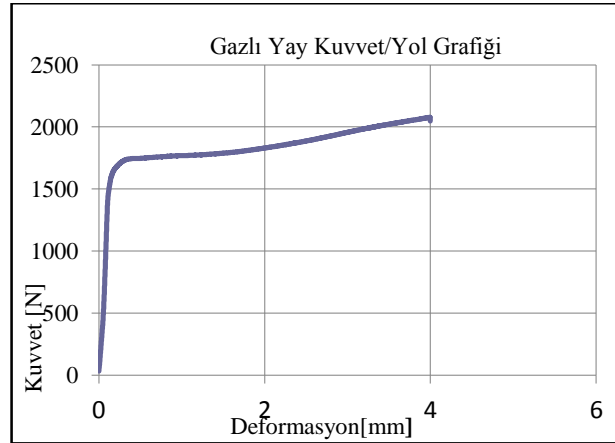
Görsel 2'de; a: elektrot grubunun kalıba bağlantı plakası (St52), b: gazlı yay, c: hareket sağlayıcı askı cıvataları, d: Lineer potansiyometre'dir.



Görsel 2. Kuvvet sağlayıcı olan gazlı yayın elektrot grubuna adaptasyonu

Kalıp içerisinde gazlı yayın çalışmasının denetlenmesi, elektrot aşınma miktarının belirlenerek önlemlerin alınabilmesi ve kaynağın başlayabilmesi için 10 mm stroklu % 0,5 mm hassasiyete sahip lineer potansiyometre kullanılmıştır.

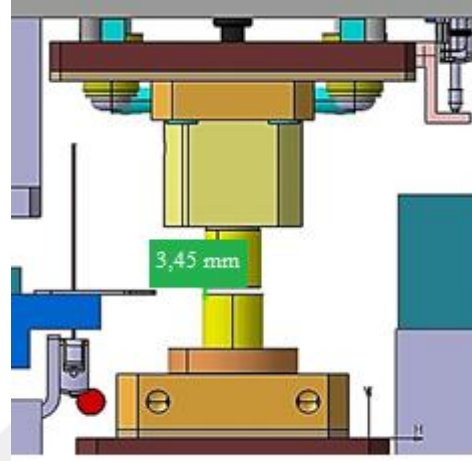
Direnç kaynak makinesinin elektrot kuvvetinin 1910 N olarak kalıp içerisinde sağlanabilmesi için gazlı yay seçimi gerçekleştirilen basma testi sonuçlarına göre karar verilmiştir. Görsel 3.'de gösterilen basma testine ait kuvvet- deformasyon grafiği incelendiğinde 1910 N elektrot kuvvetinin sağlanabilmesi için elektrot grubunun üzerinde bulunan gazlı yayın 3,1 mm sıkışması gerekmektedir.



Görsel 3. Gazlı yay kuvvet-deformasyon grafiği

Presin her çevriminde bu değerin elde edilebilmesi için kalıp kapalı pozisyonda iken, görsel 4.'de gösterilen, elektrot uçları arasında 3,45 mm mesafe bırakılmıştır. Somun ve sac parçanın temas eden yüzeylerinin toplam kalınlığı 6,55 mm dir. Pres kapalı pozisyonda elektrotlar arasında parça bulunduğu durumda elektrot grubu 3,1 mm

presin tersi yöne harekete zorlanarak gazlı yayın sıkışmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Böylelikle 3,1 mm sıkışma altında 1910 N kuvveti veren gazlı yay tarafından kaynak kuvveti elde edilir.



Görsel 4. Kalıp kapalı konumda elektrot uçları arası mesafe

EK-B. Ölçüm ve Kontrol Cihazları Seçimi

Çalışma kapsamında tasarımı yapılacak sistemin kararlı ve otomatik olarak çalışabilmesi için bir takım kontrollerin yapılması gerekmektedir. Bunlar aşağıda bulunan adımlar için gereklidir. Bunlar;

- Besleme ünitesi çalıştır-durdur,
- Somun besleme yolu alt nokta somun varlık-yokluk kontrolü,
- Somun aktarma ekipmanı üzerinde bulunan pnömatik sistemlerin konum kontrolü,
- Kalıp içerisine yerleştirilen somunun varlık-yokluk kontrolü,
- Kalıptan çıkan son parçanın kontrolü,
- Kaynak mesafe ölçüsünün kontrolü,
- Kaynak start inputu,
- Pres konumunun dairesel olarak anlık takibi,
- Sac besleme ünitesi start inputu,
- Kaynak akım dalgalanmasının kontrolü'dür.



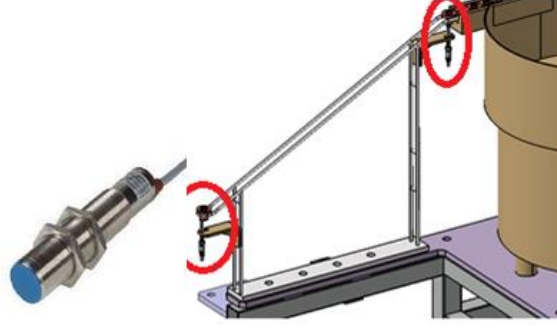
Görsel 5. Ölçüm ve kontrol cihazlarından bazıları ("Sick", 2019)

Görsel 5.'de bazı ölçüm ve control cihazları sunulmaktadır. Çalışma kapsamında seçimi yapılan ölçüm cihazlarıyla ilgili bilgiler tablo 1 'de ki gibidir.

Tablo 1. Ölçüm cihazları ve kullanım yerleri

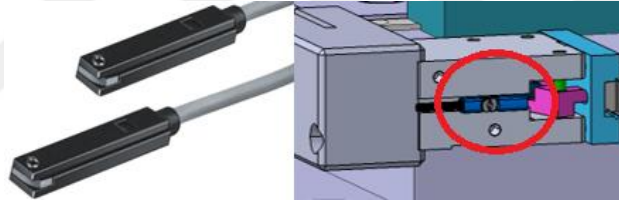
Kriter	Kontrol/Ölçüm Cihazı
Besleme ünitesi çalıştır/durdur	Proximity Sensör
Somun besleme yolluğu alt nokta somun varlık-yokluk kontrolü	Proximity Sensör
Somun aktarma ekipmanı üzerinde bulunan pnömatik sistemlerin konum kontrolü	Manyetik sensörü
Kalıp içerisine yerleştirilen somunun varlık-yokluk kontrolü	Mesafe Ölçer Lazer Sensör
Kalıptan çıkan son parçanın kontrolü	Proximity Sensör
Kaynak start inputu	Lineer Potansiyometre
Pres konumunun dairesel olarak anlık takibi	Rotary Enkoder
Sac besleme ünitesi start inputu	Proximity Sensör
Kaynak akım dalgalanmasının kontrolü	Toroid

Proximity sensörler ucuz ve dayanıklı olduğundan dolayı varlık-yokluk kontrolleri için tasarıma adapte edilmiştir. Görsel 6.'da proximity sensörün gerçek ve tasarıma adapte edilmiş hali görülmektedir.



Görsel 6. Kalıp içerisinde dahil edilen proximity sensör görseli (“Sick”, 2019)

Manyetik sensörler, pnömatik ekipmanların üzerine montajı yapıldıktan sonra ekipman içerisinde hareket eden ekipman manyetikli milin hareketini algılayabilmektedir. Bu sayede konumu belirlenebilen ekipman çift veya tek etkili silindirler aracılığıyla otomasyona dahil edilebilmektedir. Görsel 7.’de somun aktarma organı üzerine adapte edilen manyetik sensörün gerçek ve tasarıma adapte edilmiş görseli bulunmaktadır.



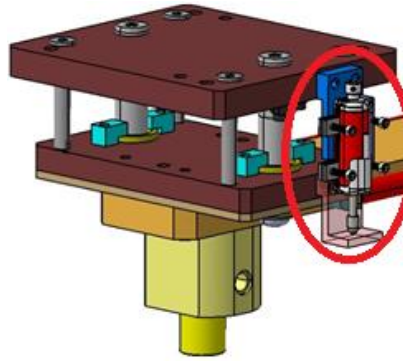
Görsel 7. Somun aktarma ekipmanı üzerine dahil edilen manyetik sensör görseli (“Sick”, 2019)

Mesafe ölçer lazer sensörler pahalı olduklarından genellikle hassas ölçüm yapılan yerlerde kullanılmaktadır. Tasarım kapsamında kalıp içerisinde adapte edilen sensör, somunun her çevrimde kalıp içerisinde olup olmadığını kontrol ederek olası problemlerin önüne geçilmesini sağlayacaktır. Görsel 8.’de kalıp içerisinde adapte edilmiş mesafe ölçer sensörün görüntüsü mevcuttur.



Görsel 8. Kalıp içerisine yerleştirilen mesafe ölçer sensör

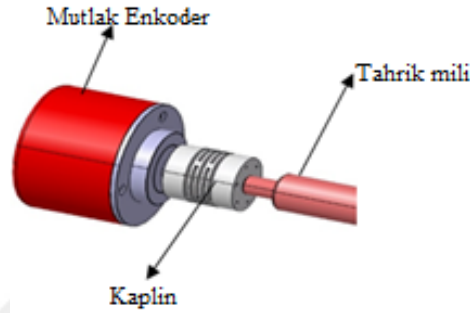
Lineer potansiyometre gazlı yay grubunun bulunduğu gruba adapte edilmiştir. Yüksek çalışma hızlarında ve yüksek sıcaklıklar altında kısa sürede aşınan elektrotlar kaynak kuvvetinin düşmesine ve dolayısıyla kaynak kalitesini olumsuz anlamda etkilemektedir. Bu durumunun önüne geçilmesi adına lineer potansiyometre kontrolü ile kaynak işlemi gerçekleştirilebilecektir. Lineer potansiyometre, kalıp kapalı pozisyonda uygun ölçü birimi kadar sıkıştığı takdirde kaynak startını vererek kaynak işlemi gerçekleşecektir. Ayrıca somunun beslenmediği durumlarda kalıbın kapalı pozisyonunda sıkışamayacağından lazer sensörün hatalı çalıştığını operatöre ekran üzerinden bildirecektir. Görsel 9.'da gazlı yay grubuna adapte edilmiş lineer potansiyometrenin görüntüsü mevcuttur.



Görsel 9. Tasarıma adapte edilen lineer potansiyometre

Enkoder; elektromekanik bir cihaz olup, bağlı olduğu iş parçasının dönme ya da ötelenme hareketini algılayıp, buna karşılık olarak sayısal bir elektrik sinyali (kare ya da sincos dalga) üretmektedir. Lineer ve rotary olmak üzere iki gruba ayrılır. Bu çalışmada rotary grubuna ait mutlak enkoder seçimi yapılmıştır. Enerji kesintisi gibi

durumlarda son bulunduğu pozisyondan çalışmasına devam edebilmektedir. Enkoderin preste koç başının bağlı olduğu krank milinin eksenine bağlanması önerilmektedir. Preslerde bulunan saat üzerine de bağlanması ayrıca mümkündür. Çalışma esnasında veya montaj esnasında oluşabilecek aksel kaçıklıklardan dolayı enkoder ve döner mil arasına kaplin montajı ayrıca tasarıma adapte edilmiştir. Görsel 10'da tasarıma adapte edilen mutlak enkoder görseli bulunmaktadır.



Görsel 10. Tasarıma adapte edilmiş mutlak enkoder görseli

Toroid, kalıp içerisine elektrik aktarımı sırasında oluşabilecek akım dalgalanmalarını algılayan üründür. Elektrik panolarının tümünde izolasyon eksikliğinden oluşan ek akımların önüne geçmek için kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında transformatör kabineine bir adet toroid eklenmiştir. Toroid görseli görsel 11.'de görülmektedir.

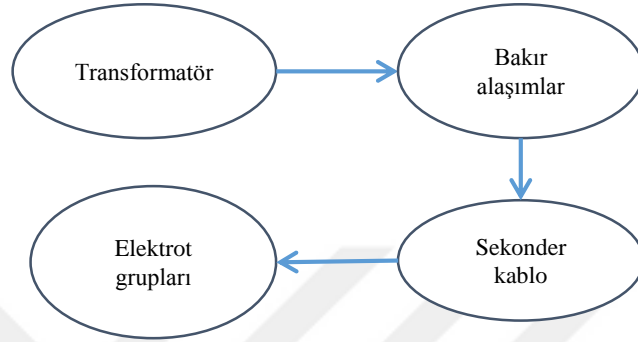


Görsel 11. Toroid ("Arsel Elektrik", 2019)

EK-C. Projeksiyon Kaynak Makinesi Elemanlarının Tayini ve Tasarımı

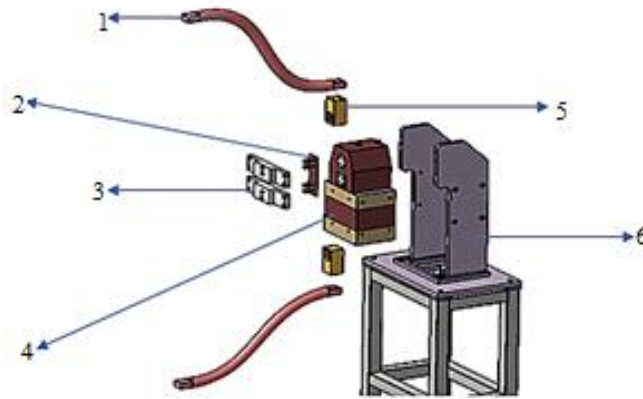
Çalışma kapsamında kaynak işlemi için gerekli olan elektrik enerjisinin sağlanması için transformatör kullanımı uygun görülmüştür. Transformatör seçimi için en önemli kriter kaynak akımıdır. Kaynak işlemi için geleneksel direnç kaynak

makinelerinde de sıkça kullanılan 175 kVA orta frekans ve 35 kA'ya kadar akım üretebilen transformatör seçimi yapılmıştır. Transformatör ebatlarına göre transformatör tutucu gövde, elektrot tutucu çelik baralar ve sekonder kablo tasarımı tamamlanmıştır. Kalıp içerisinde bulunan elektrotlara elektrik akımının transferi görsel 12'de ki gibidir.



Görsel 12. Elektrik aktarım şeması

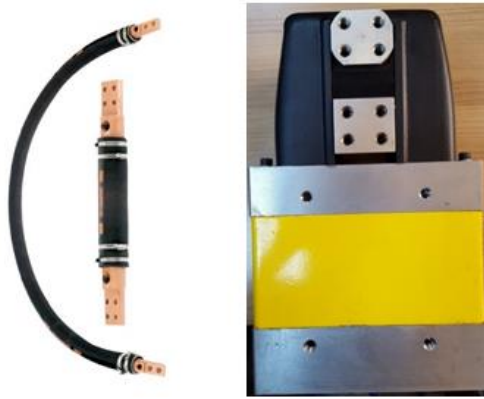
Elektrik ilk etapta (transformatörden) transformatöre bağlanan bakır alaşımlı elektrotlara aktarılır. Bir ucu kalıp içerisinde bulunan elektrotlara diğer ucu bakır alaşımlara bağlı olan sekonder kablolar üzerinden elektrik aktarımı tamamlanır. Sekonder kablolar elektriği içerisinde bulunan bakır teller aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Genellikle iletimin yapılacağı iki noktadan birinin hareketli olduğu yerlerde sekonder kablo veya fleks bakır plakalar kullanılır. Çalışma kapsamında tasarımı yapılan transformatör, sekonder kablolar ve bağlantı elemanları görsel 13.'de gösterilmektedir.



Görsel 13. Elektrik tasarım grubu görseli

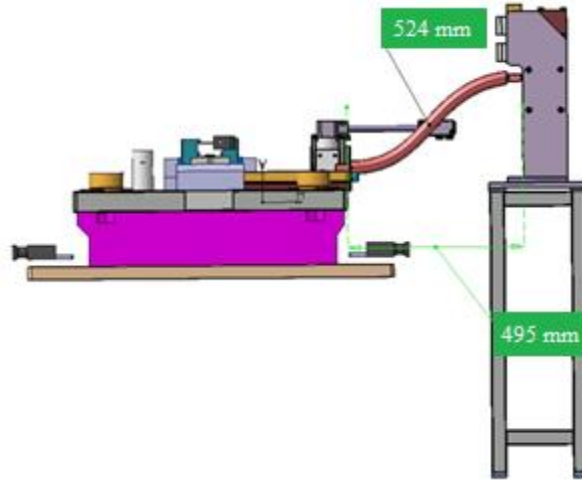
Görsel 13’de 1) Sekonder kablo max. 600 mm, 2) Yalıtım malzemesi, 3) Elektrot tutucu çelik bara, 4) Transformatör, 5) Transformatör tutucu gövde, 6) bakır alaşımlı elektrot’tur.

Tasarımın her safhasında elektrot ve çelik plaka bağlantı arasına yalıtım malzemesi eklenerek (Görsel 13. numara 2) elektrik kaçağı ve olası iş kazalarının önüne geçilmiştir. Elektrot ve çelik malzeme arasına yapılacak olan tüm sökülebilir bağlantılar da ayrıca yalıtılmalıdır. Şekil üzerinde sunulan 3 numaralı parça elektrotlar üzerinden transformatör gövdesine bağlanmaktadır. Böylece transformatör ve bakır alaşımlar üzerine gelen yük elimine edilerek ürünlerin kullanım ömrü uzatılmaktadır. Çalışma kapsamında tasarıma dahil edilen su soğutmalı sekonder kablo ve transformatörün gerçek görseli görsel 14.’de görüldüğü gibidir.



Görsel 14. Su soğutmalı sekonder kablolar ve transformatör görseli

Transformatör grubunun yeri de kalıba maksimum 600 mm mesafe olacak şekilde belirlenmiştir. 600 mm ölçüsü sekonder kablo uzunluğuna bağlı olarak belirlenmiş bir ölçüdür.



Görsel 15. Transformatör grubunun kalıba olan mesafesi ve yaklaşık sekonder kablo ölçüsü

EK-D. Projeksiyon Kaynağı Ünitesi ve Ekipmanlarının Soğutma Prensipleri

Elektrik üretimi ve aktarımı için kullanılan tüm ekipmanların soğutulması gerektiğine daha önceki bölümlerde değinilmiştir. Transformatör grubu ve elektrot gruplarının verimli olarak seri bir şekilde çalışabilmesi için içerisinde bulunan soğutma suyu sıcaklığı maksimum 29 °C olmalıdır (Aslanlar, 2017, s. 29). Sistem bünyesinde bulunan elektrotlar, sekonder kablolar ve transformatör grubunu aynı anda aktif olarak soğutabilecek soğutucu ünite seçimi debi ve maksimum çıkış sıcaklığına göre yapılmıştır. Görsel 16.'de tipik bir soğutma cihazının görseli sunulmaktadır.



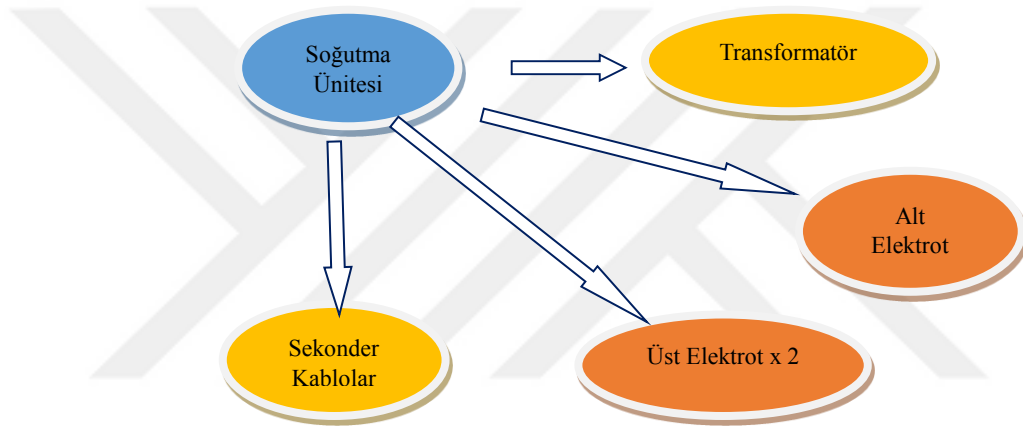
Görsel 16. Su soğutma cihazı ("Vatbuz", 2019)

Tablo 2’de bulunan 24 lt / dk değerine göre 30 lt / dk kapasiteli ve 35 °C derece dış ortam sıcaklığında maksimum su çıkış sıcaklığı 19 °C olan sistem seçimi yapılmıştır.

Tablo 2. Kaynak ekipmanlarının soğutma suyu toplam debi miktarları

Ürün	Debi
Transformatör	6 lt / dk
Sekonder Kablolar	10 lt / dk
Elektrot Grupları (Alt ve üst toplam)	8 lt / dk
Toplam	24 lt / dk

Soğutma suyu aktarım şeması görsel 17.’de sunulmuştur.



Görsel 17. Soğutma suyu aktarım şeması

Üst elektrot ucu ile tabla arasında bulunan mesafenin fazla olmasından dolayı yüksek çalışma hızlarında kaynak alanında oluşacak ısıya en fazla maruz kalacak olan üst elektrot ucu efektif olarak soğutulamayacaktır. Bu yüzden tasarım kapsamında yapılan çalışmalarda üst elektrot grubuna iki adet soğutma hortumu bağlanmıştır. İlk hortum üst elektrot tablasına ve diğer hortum tablaya bağlı olan elektrot ucunun bulunduğu kısımdır. Böylelikle elektrot ömürleri uzatılarak süre kaybı, kalitesizlik ve ek maliyet oluşmasının önüne geçilmiştir. Elektrot ömrünün uzatılmasının önemine değinen bir çalışmada elektrotların soğutulması işleminin gerekliliği ve etkili bir soğutma için soğutma suyunun minimum 3 lt/dk olması gerektiği vurgulanmıştır (Doruk ve diğerleri, 2016).

EK-E. Kaynak Parametreleri ve Dayanım Sonuçları

Kaynak koparma testleri sonucunda numunelere ait kaynak parametreleri ve kaynak dayanımları detaylı olarak tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Projeksiyon (kabartı) kaynak dayanım değerleri

Numune No	Akım	Kaynak süresi (per)	Tutma Süresi (per)	Dayanımı (N)
101	12 kA	5	5	3070
102	12 kA	5	10	3140
103	12 kA	5	15	3210
104	12 kA	5	20	3310
105	12 kA	5	25	3350
106	12 kA	10	5	3150
107	12 kA	10	10	3240
108	12 kA	10	15	3310
109	12 kA	10	20	3500
110	12 kA	10	25	3700
111	12 kA	15	5	3230
112	12 kA	15	10	3410
113	12 kA	15	15	3650
114	12 kA	15	20	3760
115	12 kA	15	25	3800
116	12 kA	20	5	3550
117	12 kA	20	10	3810
118	12 kA	20	15	4010
119	12 kA	20	20	4100
120	12 kA	20	25	4250
121	12 kA	25	5	3440
122	12 kA	25	10	3550
123	12 kA	25	15	3600
124	12 kA	25	20	3650
125	12 kA	25	25	3850

Tablo 3. (Devamı)

Numune No	Akım	Kaynak süresi (per)	Tutma Süresi (per)	Dayanımı (N)
1	14 kA	5	5	4155
2	14 kA	5	10	4250
3	14 kA	5	15	4300
4	14 kA	5	20	4250
5	14 kA	5	25	4400
6	14 kA	10	5	4300
7	14 kA	10	10	4450
8	14 kA	10	15	4500
9	14 kA	10	20	4440
10	14 kA	10	25	4650
11	14 kA	15	5	5150
12	14 kA	15	10	5300
13	14 kA	15	15	5400
14	14 kA	15	20	5450
15	14 kA	15	25	5410
16	14 kA	20	5	5600
17	14 kA	20	10	5850
18	14 kA	20	15	5900
19	14 kA	20	20	5840
20	14 kA	20	25	6000
21	14 kA	25	5	5300
22	14 kA	25	10	5700
23	14 kA	25	15	5750
24	14 kA	25	20	5650
25	14 kA	25	25	5780
26	16 kA	5	5	8100
27	16 kA	5	10	8800
28	16 kA	5	15	8910
29	16 kA	5	20	8900
30	16 kA	5	25	8940

Tablo 3. (Devamı)

Numune No	Akım	Kaynak süresi (per)	Tutma Süresi (per)	Dayanımı (N)
31	16 kA	10	5	8450
32	16 kA	10	10	9250
33	16 kA	10	15	9300
34	16 kA	10	20	9310
35	16 kA	10	25	9400
36	16 kA	15	5	9100
37	16 kA	15	10	9750
38	16 kA	15	15	10100
39	16 kA	15	20	10050
40	16 kA	15	25	10120
41	16 kA	20	5	11200
42	16 kA	20	10	12600
43	16 kA	20	15	13100
44	16 kA	20	20	13200
45	16 kA	20	25	13250
46	16 kA	25	5	10040
47	16 kA	25	10	10140
48	16 kA	25	15	11200
49	16 kA	25	20	11320
50	16 kA	25	25	11400
51	18 kA	5	5	14100
52	18 kA	5	10	16200
53	18 kA	5	15	16800
54	18 kA	5	20	16810
55	18 kA	5	25	16900
56	18 kA	10	5	18150
57	18 kA	10	10	19150
58	18 kA	10	15	20200
59	18 kA	10	20	20350
60	18 kA	10	25	20500

Tablo 3. (Devamı)

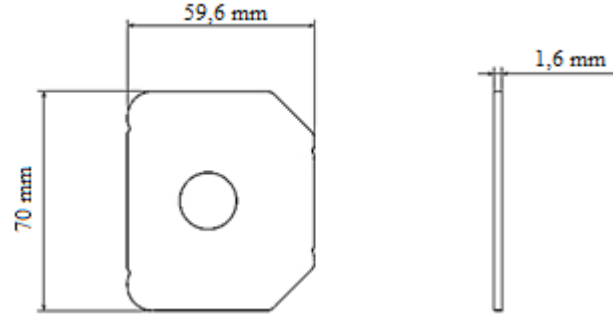
Numune No	Akım	Kaynak süresi (per)	Tutma Süresi (per)	Dayanımı (N)
61	18 kA	15	5	20600
62	18 kA	15	10	21400
63	18 kA	15	15	21600
64	18 kA	15	20	21650
65	18 kA	15	25	21780
66	18 kA	20	5	22150
67	18 kA	20	10	22650
68	18 kA	20	15	23650
69	18 kA	20	20	23700
70	18 kA	20	25	23800
71	18 kA	25	5	21000
72	18 kA	25	10	22400
73	18 kA	25	15	23300
74	18 kA	25	20	23320
75	18 kA	25	25	22900
76	20 kA	5	5	18450
77	20 kA	5	10	20000
78	20 kA	5	15	20460
79	20 kA	5	20	20650
80	20 kA	5	25	20800
81	20 kA	10	5	19150
82	20 kA	10	10	21150
83	20 kA	10	15	21210
84	20 kA	10	20	21300
85	20 kA	10	25	21450
86	20 kA	15	5	20250
87	20 kA	15	10	22100
88	20 kA	15	15	22350
89	20 kA	15	20	22300
90	20 kA	15	25	22500

Tablo 3. (Devamı)

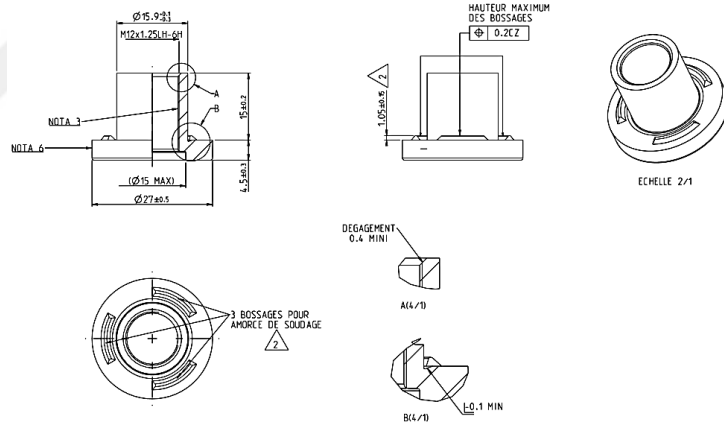
Numune No	Akım	Kaynak süresi (per)	Tutma Süresi (per)	Dayanımı (N)
91	20 kA	20	5	19400
92	20 kA	20	10	21400
93	20 kA	20	15	21560
94	20 kA	20	20	21540
95	20 kA	20	25	21580
96	20 kA	25	5	18850
97	20 kA	25	10	20150
98	20 kA	25	15	20400
99	20 kA	25	20	20550
100	20 kA	25	25	20500
126	22 kA	5	5	17550
127	22 kA	5	10	17600
128	22 kA	5	15	17450
129	22 kA	5	20	17600
130	22 kA	5	25	17650
131	22 kA	10	5	17950
132	22 kA	10	10	17900
133	22 kA	10	15	17850
134	22 kA	10	20	17940
135	22 kA	10	25	17920
136	22 kA	15	5	17600
137	22 kA	15	10	16580
138	22 kA	15	15	15790
139	22 kA	15	20	15640
140	22 kA	15	25	15500
141	22 kA	20	5	-

EK-F. Projeksiyon Kaynağında Kullanılan Ürünlerin Teknik Resim Görselleri

Çalışma kapsamında kullanılan ürünlerin teknik resim görseli görsel 18. ve görsel 19.'da sunulmuştur.

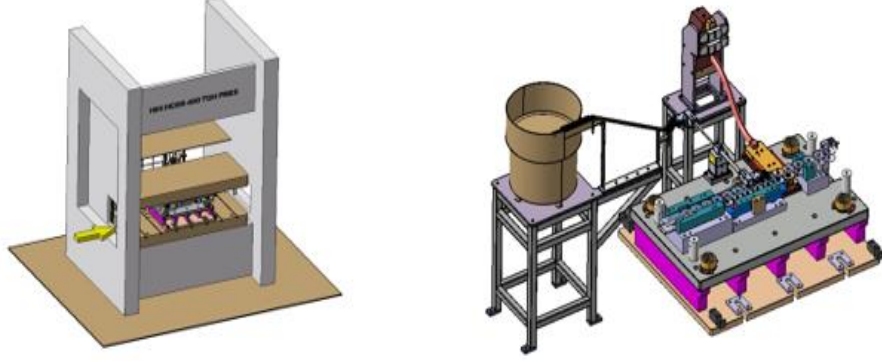


Görsel 18. Çalışma kapsamında kullanılacak ürünün teknik resim görseli

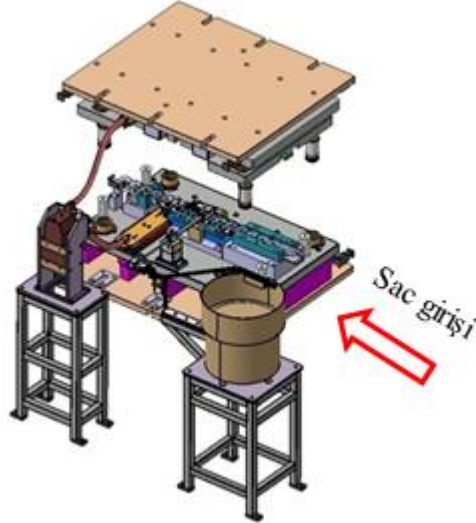


Görsel 19. Çalışma kapsamında kullanılacak somunun teknik resim görseli

EK-G. Birleştirilmiş Tasarıma Ait Görseller



Görsel 20. Kalıp içerisinde projeksiyon kaynak sistemi tasarımı-1



Görsel 21. Kalıp içerisinde projeksiyon kaynak sistemi tasarımı-2

ÖZGEÇMİŞ

Bircan Albak, 28.01.1993'de Antakya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Antakya'da tamamladı. 2010 yılında Nimet-Fahri Öksüz Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Aksaray Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2012 yılında Uludağ Üniversitesine yatay geçiş hakkı kazanarak buradaki öğrenimini 2014 yılında tamamladı. 2015 yılında Toksan Otomotiv A.Ş. Ar-Ge merkezinde tasarım mühendisi olarak başladığı mühendislik hayatını halen bu firmada devam ettirmektedir. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.