

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN
PARÇALARDA HADDELEME (BURNISHING) İLE YÜZEYLERİN
İŞLENMESİ, HADDELEMENİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE
SERTLEŞMEYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Serkan ÖZKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2006
ANKARA**

Serkan ÖZKAN tarafından hazırlanan, SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN PARÇALARDA HADDELEME (BURNISHING) İLE YÜZEYLERİN İŞLENMESİ, HADDELEMENİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE SERTLEŞMEYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr.Hüdayim BAŞAK
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof.Dr. Faruk MENDİ

Üye : Yrd.Doç.Dr. Hüdayim BAŞAK

Üye : Prof.Dr. Mahmut GÜLESİN

Üye : Prof.Dr. H.Rıza BÖRKLÜ

Üye : Doç.Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ

Tarih : / /

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serkan ÖZKAN

**SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI ile BİRLEŞTİRİLEN
PARÇALARDA HADDELEME (BURNISHING) İLE YÜZEYLERİN
İŞLENMESİ, HADDELEMENİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE
SERTLEŞMEYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Serkan ÖZKAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2006**

ÖZET

Haddeleme işlemi son işlem operasyonu olarak kullanılmaktadır ve uygulandığı iş parçası yüzeylerinde sertliğin artması, malzeme yorulmasına karşı dayanıklılık ve aşınma direncinin artması gibi avantajları da beraberinde getirmektedir. Haddeleme yapılan yüzey karakteristiğinde aşırı yükleme yapıldığında malzeme hatalarına karşı direncin önemli şekilde arttığı bilinen bir gerçektir. İş parçasının yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi ve yüzey sertliğindeki artış, doğrudan haddeleme işleminde kullanılan ilerleme, basma kuvveti, devir ve paso sayısı gibi parametrelere bağlıdır. Bu çalışmada, sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış parçalar üzerinde haddeleme işlemi yapacak bir aparatın tasarlanması hedeflenmiştir. Tasarlanan aparatın imalatı gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Al7075 T6 malzemesi kullanılarak sürtünme karıştırma kaynağı yapılmıştır. Kaynatılan parçalar farklı parametreler (İlerleme hızı, devir sayısı, basma kuvveti ve paso sayısı) kullanılarak kaynak bölgesinde haddeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin sonucunda, kaynak bölgesinde yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğinde iyileşmeler sağlanmıştır.

Bilim Kodu : 708
Anahtar Kelimeler : Sürtünme Karıştırma Kaynağı, Haddeleme (Galetaj)
Sayfa Adedi : 138
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hüdayim BAŞAK

**FORMING OF SURFACE IN THE PARTS JOINED WITH FRICTION
STIR WELDING BY BURNISHING, INVESTIGATION OF THE
BURNISHING PROCESS EFFECT ON SURFACE ROUGHNESS AND
HARDNESS
(M.Sc. Thesis)**

**Serkan ÖZKAN
GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
July 2006**

ABSTRACT

Burnishing process has been used as a finishing operation in manufacturing and applying on work piece surface brings some advantages, it increases hardness, resistance against material fatigue and abrasion resistance. In Burnishing process it is known that excessive loading changes material surface characteristic and increases resistance against material fault. In burnishing process some parameters like that feed, pass number, press forces, number of revolution, ball radius parameters a effect to improve work piece surface roughness, refine surface hardness, increase material abrasion resistance, decrease depth created cracked on material surfaces. In this study, designing of an apparatus to make burnishing process for friction stir welded parts has been aimed. First of all, friction stir welding has been done using Al7075 T6 materials. Then burnishing process has been done on welding zone using different parameters (feed rate, number of revolution, press forces and passes numner). At the end of this process, surface roughness and surface hardness have been improved on the welding zone.

Science Code : 708

Key Words : Friction Stir Welding, Burnishing

Page Number: 138

Adviser : Yrd. Doç. Dr. Hüdayim BAŞAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd.Doç.Dr.Hüdayim BAŞAK'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Kenan KÜTÜKDE' ye , ayrıca Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi ve GATEM (Gazi Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi) laboratuarında çalışmalarına yardımcı görevli tüm hocalarıma, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli ailem ve arkadaşım Serap KARAPINAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMLERİ	11
3.1. Sürtünme Kaynağı Yöntemi.....	11
3.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemi.....	14
3.3. İşlemin Temel Hazırlanma Süreci.....	15
3.4. Yöntemin Uygulanması	16
3.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Kaynak Dikişinin Formu ve Metalurjik Yapı	17
3.6. Karıştırıcı Uç ve Özellikleri	18
3.7. Malzeme Kalınlıkları ve Kaynak Hızı	20
3.8. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılabilen Malzemeler.....	21
3.9. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Etkin Olan Kaynak Parametreleri	23

Sayfa

3.10. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Üstünlükleri ve Sınırlamaları.....	25
3.10.1. Sürtünme karıştırma kaynağının avantaj ve dezavantajları	25
3.10.2. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulamalarında görülen bazı sınırlamalar	26
3.10.3. Sürtünme karıştırma kaynağının daha kaliteli kaynak dikişleri.....	27
4. HADDELEME (GALETAJ) İŞLEMİNİN TANIMLANMASI.....	29
4.1. Yüzeylerin Haddelenerek veya Ezilerek Şekillendirilmesi.....	29
4.1.1. Avantajları.....	29
4.2. Silindirik Dış Yüzeyler için Haddeleme	30
4.2.1. Haddeleme prensibi ve makara takımının hareketi.....	30
4.2.2. Haddeleme sırasında oluşan malzemenin akışı.....	32
4.2.3. Haddelenenin işleme tarzı.....	33
4.2.4. Yüzey kalitesi.....	35
5. MATERYAL VE METOT	37
5.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılacak Malzeme	37
5.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Uç ve Özellikleri	39
5.2.1. SAE 1050 çeliğinin mekanik özellikleri	39
5.2.2. 115CrV3 takım çeliğinin mekanik özellikleri.....	40
5.2.3. X210Cr12 takım çeliğinin mekanik özellikleri.....	42
5.3. Sürtünme Karıştırma Kaynak Kalıbı.....	43
5.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Tezgâh Tipi	45
5.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı İşleminin Yapılması	46
5.6. Haddeleme Aparatının Tasarımı ve İmalatı	57

Sayfa

5.7. Haddeleme İşleminde Kullanılan Tezgâh Tipi	66
5.8. Haddeleme (Burnishing) İşleminin Yapılması	67
5.9. Haddeleme İşleminin Yüzey Sertliğine ve Pürüzlülüğüne Etkisi	75
5.10. Isıl İşlem Uygulanan Malzemeye Haddeleme İşlemi Yapılarak, Sonuçlarının Yüzey Sertliği ve Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi	91
5.11. Uygulanan Kuvvet ile Paso Sayısı Arasındaki İlişkinin Haddeleme Sonrasında Yüzey Sertliği ve Pürüzlülüğüne Etkisi	95
5.12. Haddeleme Sonrası Kaynak Bölgesinden Alınan Mikro Yapı ve Mikro Sertlik	104
5.12.1. Mikro yapısı incelenecek numunenin hazırlanması	104
5.12.2. Elde edilen numunenin mikro yapısının incelenebilmesi için tabi tutulduğu işlemler	105
5.12.3. Mikro yapının incelenmesini sağlayan mikroskobun özelliği	105
5.12.4. Bazı numunelerden alınan mikro yapı örnekleri	106
5.12.5. Mikro sertlik ölçümünün alınması	115
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR	122
EKLER	126
EK-1 Haddeleme aparatı teknik resim çizimleri	126
EK-2 Karıştırıcı uçların detay resimleri	135
ÖZGEÇMİŞ	138

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Al7075 kalite alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi	38
Çizelge 5.2. Al7075 kalite alüminyum alaşımının mekanik özellikleri.....	38
Çizelge 5.3. SAE 1050 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	39
Çizelge 5.4. SAE 1050 çeliğinin ısıtılma işlem özellikleri	39
Çizelge 5.5. SAE 1050 çeliğinin sertlik ve çekme dayanım özellikleri.....	40
Çizelge 5.6. 115CrV3 takım çeliğinin kimyasal bileşimi	41
Çizelge 5.7. 115CrV3 takım çeliğinin mekanik özellikleri	41
Çizelge 5.8. X210Cr12 takım çeliğinin kimyasal bileşimi	42
Çizelge 5.9. X210Cr12 takım çeliğinin sertlik ve çekme dayanım özellikleri	42
Çizelge 5.10. Üniversal freze tezgâhının özellikleri	45
Çizelge 5.11. Haddelenmeden önce alınan yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertlikleri	55
Çizelge 5.12. CNC freze tezgâhının özellikleri	66
Çizelge 5.13. Haddelenme öncesi ve sonrası alınan yüzey sertliği ve pürüzlülük değerleri	72
Çizelge 5.14. Sertlik ölçüm cihazının teknik özellikleri	74
Çizelge 5.15. Yüzey pürüzlülüğü cihazının ölçüm parametreleri.....	74
Çizelge 5.16. Haddelenme öncesi ve sonrası kaynak bölgesinde oluşan yüzey sertlik farkları	100
Çizelge 5.17. Haddelenme öncesi ve sonrası kaynak bölgesinde oluşan yüzey pürüzlülük farkları	101
Çizelge 5.18. Haddelenme öncesi ve sonrası malzemede oluşan kalınlık farkı.....	102
Çizelge 5.19. 9 ve 17 nolu numune için mikro sertlik değerleri	116

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Axir ve arkadaşlarının tasarlayıp kullandıkları dönel parçalar için haddeme aparatı.....	7
Şekil 3.2. Sürtünme kaynağının yapım aşaması	13
Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağı yapım aşaması	14
Şekil 3.4. Sürtünen eleman ile kaynak yönteminde özel olarak tasarlanmış pim	16
Şekil 3.5. Sürtünme karıştırma tekniği şematik gösterimi	17
Şekil 3.6. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü	18
Şekil 3.7. Örnek karıştırıcı uç çeşitleri	20
Şekil 3.8. Sürtünen eleman ile kaynak yönteminde ucun eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi	21
Şekil 4.9. Profil metreye göre bir yüzeyin kesiti.....	30
Şekil 4.10. Ezme ve destek makaraları ve makaraların parça boyunca ilerlemesi	31
Şekil 4.11. Makara eğim açısı ve yüzeyin deformasyon bölgesi	32
Şekil 4.12. Haddelenen yüzeyde basma ve çekme gerilmelerinin oluşumu	32
Şekil 4.13. Basınç artışıyla elde edilen farklı pürüzlülük değerleri	33
Şekil 4.14. Haddelenen parçanın iki punta arasına alınması.....	34
Şekil 4.15. Parçaların puntasız haddelenmesi	34
Şekil 4.16. Yüzey kalitesinin, "Abott" eğrileri ile ifade edilmesi.....	36
Şekil 5.17. Alüminyum alaşımlı malzemeye karıştırıcı ucun yanaşması.....	47
Şekil 5.18. Karıştırıcı ucun, alüminyum malzemeye kaynak öncesi hizalanması	48
Şekil 5.19. Karıştırıcı ucun hareket yönü	49
Şekil 5.20. Kavramsal tasarım çalışması.....	58

Şekil	Sayfa
Şekil 5.21. Tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen haddeleme aparatı	64
Şekil 5.22. 10 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü	75
Şekil 5.23. 10 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü	77
Şekil 5.24. 20 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü	79
Şekil 5.25. 20 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü	81
Şekil 5.26. 30 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü	83
Şekil 5.27. 30 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü	85
Şekil 5.28. 40 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü	87
Şekil 5.29. 40 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü	89
Şekil 5.30. 15 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü	91
Şekil 5.31. 15 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü	91
Şekil 5.32. 25 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü	92
Şekil 5.33. 25 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü	93
Şekil 5.34. 35 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü	94
Şekil 5.35. 35 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü	94
Şekil 5.36. 10-40 kg kuvvet ve iki paso sayısı için yüzey sertliği kıyaslaması	95
Şekil 5.37. 10-40 kg kuvvet ve iki paso sayısı için yüzey pürüzlülüğü kıyaslaması	96
Şekil 5.38. 10-20-30-40 kg kuvvet ve üç paso sayısı için yüzey sertliği kıyaslaması	96
Şekil 5.39. 10-20-30-40 kg kuvvet ve üç paso sayısı için yüzey pürüzlülük kıyaslaması	97
Şekil 5.40. 10-15-20-25-30-35-40 kg kuvvet ve dört paso sayısı için yüzey sertliği	97

Şekil	Sayfa
Şekil 5.41. 10-15-20-25-30-35-40 kg kuvvet ve dört paso sayısı için yüzey pürüzlülüğü kıyaslaması.....	98
Şekil 5.42. 15-25-35 kg kuvvet ve üç paso sayısı için yüzey sertliği kıyaslaması	98
Şekil 5.43. 15-25-35 kg kuvvet ve üç paso sayısı için yüzey pürüzlülüğü kıyaslaması.....	99
Şekil 5.44. Haddelenen bölgenin mikro yapısının incelenmesi için alınan numune.....	104
Şekil 5.45. Mikro sertlik ölçümünün alınması.....	116
Şekil 5.46. 9 nolu numune için mikro sertlik değerleri.....	117
Şekil 5.47. 17 nolu numune için mikro sertlik değerleri.....	118

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Al7075 T6malzemenin kaynak işlemine hazır hali	38
Resim 5.2. SAE 1050 çeliğinden yapılmış uç.....	40
Resim 5.3. 115CrV3 takım çeliğinden yapılmış uç	41
Resim 5.4. X210Cr12 takım çeliğinden yapılmış uç	43
Resim 5.5. Sürtünme karıştırma kaynak kalıbı	44
Resim 5.6. Sürtünme kaynağı işleminin başlangıç aşaması.....	46
Resim 5.7. Sürtünme kaynağı işleminin bitiş aşaması.....	50
Resim 5.8. Sürtünme kaynağı yapılmış olan malzemenin kalıba ve tezgâha bağlanmış hali	51
Resim 5.9. Alüminyum malzeme içerisinde kırılan SAE 1050 çeliğin ucu.....	51
Resim 5.10. Kaynak işlemini gerçekleştiren deforme olmuş uçlar.....	52
Resim 5.11. Kaynak yapılmadan önce ve kaynak yapıldıktan sonra malzeme	52
Resim 5.12. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan parçalar	53
Resim 5.13. Haddeleme aşamasına hazır kaynaklı parça	54
Resim 5.14. Haddeleme aparatı ucunda kullanılan bilyeler	58
Resim 5.15. Haddeleme aparat mili	58
Resim 5.16. Haddeleme aparatı bilye tutucu somunu.....	59
Resim 5.17. Haddeleme aparatı bilye altı parçası	60
Resim 5.18. Haddeleme aparatı ana gövde	60
Resim 5.19. Basınç yayları	61
Resim 5.20. Haddeleme aparatı arka sıkıcı cıvatası	62
Resim 5.21. Haddeleme aparatı eksantrik mili.....	63

Resim	Sayfa
Resim 5.22. Haddeleme işlemine uğramış örnek alüminyum plaka.....	65
Resim 5.23. Aparatta kullanılan malzemeler.....	65
Resim 5.24. Haddeleme işleminin yapılışı.....	68
Resim 5.25. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen parçanın kaynak bölgesinin haddeleme işlemi yapılmış hali	70
Resim 5.26. Isıl işlem sonrası haddeleme uygulanmış numuneler	71
Resim 5.27. Geçiş alt 50 x 1	106
Resim 5.28. Geçiş orta 50 x 1	106
Resim 5.29. Geçiş üst 50 x 1	107
Resim 5.30. Üst katman 100 x 1	107
Resim 5.31. Üst katman 100 x 1	108
Resim 5.32. Üst katman 400 x 1	108
Resim 5.33. Üst katman 400 x 1	109
Resim 5.34. Üst katman 100 x 1	109
Resim 5.35. Üst katman 100 x 1	110
Resim 5.36. Üst katman 400 x 1	110
Resim 5.37. Üst katman 400 x 1	111
Resim 5.38. Üst katman 400 x 1	111
Resim 5.39. Üst katman 400 x 1	112
Resim 5.40. Üst katman 400 x 1	112
Resim 5.41. Üst katman 100 x 1	113
Resim 5.42. Üst katman 400 x 1	113
Resim 5.43. Üst katman 100 x 1	114

Resim	Sayfa
Resim 5.44. Üst katman 400 x 1	114
Resim 5.45. Üst katman 400 x 1	115

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
HRc	Rockwell C- Sertliği
Rm	Kopma Dayanımı
Rt	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
Ra	Yüzey Pürüzlülüğü
MPa	Mega Pascal
S	Haddeleme Devri dev/dak
<i>f</i>	İlerleme Miktarı
<i>F</i>	Baskı Kuvveti
n	Paso Miktarı
Hv	Vickers Cinsinden Sertlik

Kısaltmalar	Açıklama
DKB	Dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge
TKB	Termodinamik olarak yeniden kristalleşen
ITAB	Isının tesiri altındaki bölge
GTAK	Gaz tungsten ark kaynağı
GMAK	Gaz metal ark kaynağı
GDYS	Genel Dinamik Yer Sistemleri
EKE	Edison Kaynakçılık Enstitüsü
HSS	Yüksek Hız Çeliği
AISI	Amerikan Standart Birimi
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu

Kısaltmalar**Açıklama****DIN**

Alman Endüstri Normu

CNC

Bilgisayarlı Sayısal Denetim

FSWSürtünme Karıştırma Kaynağı
(Friction Stir Welding)**TEB**Termodinamik olarak yeniden kristalleşen
bölge

1.GİRİŞ

Kaynaklı birleştirmeler günlük hayatımızın her safhasında karşılaştığımız ve kullandığımız bir birleştirme türüdür. Kaynaklı birleştirmeler tarih boyunca insanların ihtiyaçı olan araç ve gereçleri elde etme çalışmaları ile ortaya çıkmıştır. İhtiyaçların sınırsız olması teknolojiadaki gelişmenin başlıca sebeplerindendir. Kaynaklı birleştirmeler de, başlangıçta iki metal malzemenin birbirleriyle birleştirilmesi ihtiyaçından doğmuştur. Ancak daha sonraları insanlar sadece birleştirmenin yeterli olmayacağı, birleştirmenin malzeme özelliklerini etkilemeden gerçekleştirebilmesini araştırmışlardır. Buradan hareketle kaynak teknikleri ergitmeli ve ergitmesiz kaynak metotları olarak iki şekilde gruplandırılmışlardır. Ergitmeli kaynak yöntemlerinde birleştirilen metalik malzemelerin birleşme yüzeylerinin ergimesi ve ergiyik karışımının katılaşması sonucu metaller birleştirilirken, ergitmesiz kaynak yönteminde metalik malzemeler ergitilmeden, malzemelerin ergime sıcaklıklarının alımında bir sıcaklıkta malzeme katı halde iken birleşme sağlanmaktadır. Günümüzde, ileri teknolojilerin uygulandığı gelişmiş makine elamanlarının kaynaklı birleştirilmelerinde faz dönüşümleri ve plastik deformasyon istenmeyen bir durumdur. Bu olumsuzlukları gidermek, ancak malzemelerin mekanik ve metalürjik özelliklerini etkilemeyecek kadar düşük sıcaklıklarda yapılan birleştirme işlemleri ile mümkündür [1].

Mühendislik malzemeleri içerisinde yer alan elik-elik alaşımları, alüminyum-alüminyum alaşımları ve bakır, pirinç malzemelerinin hem kendi aralarında hem de değişik türden malzemelere kaynatılma ihtiyaçı endüstrinin değişik alanlarında ihtiyaç duyulmaktadır. Döküm ve dövme yöntemleri ile üretilmesi güç olan ve farklı metallerden olması gerekli parçaların imalatına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür parçaların kaynaklarının yapılması ark kaynak yöntemi ile güçlükler oluşturmakta ve bazı malzemelerin kaynak yapımı bu yöntemle imknsızlaşmaktadır. Kaynak sonrası oluşan bağlantının kaynak bölgesinin özelliklerinin belirlenmesinde birleştirilen malzemelerin çeşitli özellikleri ile bunların birlikte oluşturdukları faz diyagramı en önemli faktörlerdir. Bununla beraber kaynak ile birleştirilecek malzemelerin birbirinden farklı alaşımlarda olması ve bunların çok sayıda bileşenlerden oluşması

sonucu faz diyagramlarının önceden tahmin edilmesine olanak vermemektedir. Eriyen malzemelerin erime bölgesindeki bileşimi oluşturulan malzemelerin bileşenlerine bağlı olarak bileşim ve özellik bakımından çok farklı kısımlar ortaya çıkar. Farklı malzemeler, eritme kaynağı yerine katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme kaynağı ile kaynak edilmektedir [2]. Alüminyum ve alaşımları da sürtünme kaynağı ile kolayca kaynak edilebilirler.

Ark kaynak yöntemi, alın yakma veya direnç kaynak yöntemi gibi eritme kaynak yöntemleri ile kaynatılması güç olan metaller ile bu metallerin alaşımları kendi aralarında sürtünme kaynak yöntemi ile kolayca kaynatılabilirler. Farklı metallerin kaynağı fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonları nedeni ile eritme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmeleri hemen hemen imkânsız gibidir. Farklı metal ve alaşımlarının kaynağına mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı gidermek amacı ile yapılan çalışmalar sonucunda sürtünme kaynak yöntemi ile sürtünme karıştırma kaynak yöntemi bulunmuştur. Bu yöntem bir eritme kaynak yöntemi değildir. Kaynatma sırasında erime olmadığından katılaşmada olmamaktadır. Dolayısıyla katılaşma sırasında oluşabilecek kristal yapı farklılaşması, erimiş metal içersinde yabancı madde kalma riski ve katılaşma hızına bağlı olarak meydana gelebilecek çatlamlar sürtünme kaynak yönteminde görülmez. Sürtünme kaynağında yüzeyler arasındaki difüzyonun iyi olması için sürtünme kaynak parametrelerinin iyi tayin edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde uçak, tren, roket, otomobil, gemi ve helikopter gibi araçların imalatında hafif olmasına rağmen, mekanik özellikleri çok iyi olan alüminyum alaşımları büyük oranda kullanılmaktadır. Ancak alüminyum ve alaşımlarının ergitme kaynak teknikleri hem problemlili hem de zordur. Bu problemlerin çözümü için yeni birleştirme tekniklerinin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, alüminyum alaşımlarının problemsiz ve kolay birleştirilmesi amacıyla geliştirilmiş ve endüstrideki uygulamalarına başlamış bir birleştirme tekniğidir. Bunun yanı sıra sürtünme karıştırma kaynak yönteminden

sonra yapılacak haddeleme operasyonun kaynak bölgesine olan etkileri de günümüzde farklı birçok araştırmanın temelini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, haddeleme işleminde kullanılan ilerleme, basma kuvveti, paso sayısı ve devir sayısı gibi parametrelerin sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış malzeme yüzeyinde meydana gelecek olan yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve haddeleme işlemi için en uygun şartlar belirlenmeye çalışılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynak yapımından sonra kaynak bölgesinde elde edilen yüzey sertliği ve pürüzlülüğü ölçümleri ile haddeleme sonrası sürtünme karıştırma kaynak bölgesindeki yüzey sertliği ve pürüzlülüğü ölçümleri arasındaki sonuçları karşılaştırılmıştır. Haddeleme sonrasında alınan deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sürtünme karıştırma kaynağı işlemi iki malzemenin birbirine bir karıştırıcı uç vasıtasıyla birleştirme işlemidir. Alüminyum alaşımların birleştirilmesinde kullanılan ve uygulama alanı giderek yaygınlaşan bir metottur. Sürtünme karıştırma kaynağı farklı alaşımların birleştirilmesinde ve ürün kaynağında üstün metalürjik özellik ve dayanıklılık göstermektedir. Birçok uzay uygulamasında sürtünme ve sürtünme karıştırma kaynak yöntemi kullanılarak diğer birleştirme elemanları ortadan kalkabilir. Sürtünme karıştırma kaynağı sayesinde ucuz bileşimli malzemeler tasarlanabilir ve önemli maliyet azalmaları olabilir.

Cederqvist ve Reynolds [3], alüminyum malzemelerin, bindirme bağlantılarının sürtünme karıştırma kaynağını etkileyen faktörlerini incelemişlerdir. Sürtünme kaynağı katı hal birleştirme işlemi olup, bindirme kaynağında kullanılmak üzere sürtünme kaynağının geliştirilmesi tekniğinden faydalanmak ve yeni uygulamalar bulunmasına imkân sağlamak için çalışma yapmışlardır. Sürtünme karıştırma kaynağı ve bindirme kaynakları üzerinde kesişim morfolojisi ve mekanik özelliklerinin de dâhil edildiği bir araştırma yapmışlardır. İki malzeme Al2024 T3 ve Al7075 T6 olarak havacılık endüstrisinde sıklıkla kullanılan malzemeleri birleştirmişlerdir. Kaynak parametrelerine kaynak hızı, dönme hızı, kısmi öneme sahip takım ölçüleri dâhil edilmiştir. Metalografik kesitlerin değerlendirilmesi ve kopma noktaları incelemesini yapmışlardır. Yapılan çalışma ile tüm kaynaklarda kritik ara safha yüzlerinin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu ara yüzlerin giderilmesi için ikinci bir kaynak pasosu eklenerek giderildiği sonucuna varmışlardır. Sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılan bindirme kaynağının, mukavemet olarak diğer kaynakların (punta ve perçin kaynağı) yerini ileride alabileceği bu çalışma ile ortaya konmuştur.

Haddeleme, makine elemanlarında, fonksiyonel yüzeylerin, talaş kaldırmadan, ezerek süper ince işlenmesinde uygulanan, hassas bir işleme tekniğidir. Diğer bir ifade ile haddeleme işlemi, iş parçası yüzeylerinin talaş kaldırılmadan ezilmek

suretiyle işlenmesi tekniğine verilen isimdir. Makine imalat tekniğinde öteden beri kullanılmakta olan bu işleme yöntemi, elde edilen yüzeyin üstün kalitesi, uygulanan yüzeyde malzemeye ait mekanik karakteristiklerin iyileşmesi (yüzeyin sertleşmesi) ve seri üretimde verimliliğinin yüksek olması sebebiyle taşlama tekniğine üstünlük sağlamaktadır. Haddeleme işlemi ile elde edilen yüzeyin kalitesini (yüzey pürüzlülüğü iyileşmesi) arttırmakta ve malzemeye ait mekanik karakteristiklerin de (sertleşme, aşınma direnci, yorulma direnci) iyileşmesini sağlamaktadır. Bu noktada, haddeleme işlemi, bu özelliklerin de istenildiği durumlarda taşlama işlemine göre tercih edilen bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Haddeleme işlemi, son işlem operasyonu olarak kullanıldığı ve uygulandığı yerlerde sertliğin artması, malzeme yorulmasına karşı dayanıklılık ve aşınma direnci gibi avantajları da beraberinde getirmektedir. Haddeleme yapılan yüzey karakteristiğinde aşırı bir yükleme yapıldığında malzeme hatalarına karşı direncin önemli şekilde arttığı bilinen bir gerçektir. Malzemelerdeki yorulma çatlakları, parçanın yüzeyindeki çekirdek ve sonra yığılmalarındaki çoğalmalar oluşur. Bundan dolayı çekirdek de çatlak olduğu yerlerde yüzey karakteristiğinin durumu çok önem kazanmaktadır. Bu çatlakları gidermenin önemli yollarından birisi de haddeleme işlemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Haddeleme işlemi, yüzey üzerinde yüzey pürüzlülüğünü azalttığı için çatlak oluşma oranını da azaltacaktır. Talaşlı imalatla (tornalama, frezeleme vb.) işlenen parçalar belli yüzey kalitelerine kadar işlenebilmektedirler. Yüzeylerin durumunda birtakım iyileştirmeler isteniyorsa bu yüzeyleri sonradan taşlama veya haddeleme gibi bir işleme tabi tutmak gerekmektedir. Dönel parçalar üzerinde özellikle torna tezgâhı kullanılmak suretiyle haddeleme işlemlerinin yapıldığı çalışmalar mevcuttur. Fakat literatürde prizmatik parçalar için bu sıklığı görmek mümkün değildir.

Literatür incelendiğinde, dönel parçalar için haddeleme aparatlarının tasarlandığı ve bu aparatlarla yüzeylerin haddelendiği görülmektedir. Haddeleme işleminin prizmatik parçalar için uygulanması literatürde seyrek çalışılmış bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır [4-7]. Bu çalışma da prizmatik parçalar için bir yüzey

haddeleme aparatı tasarımı gerçekleştirilmiş ve bu aparat yardımıyla prizmatik parçalar üzerinde deneyler yapılmıştır. Haddeleme işleminde kullanılan ilerleme, bilyenin batma oranı, kullanılan tezgâh devir sayısı, paso sayısı gibi parametrelerin iş parçası yüzeyinde meydana gelecek olan yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve malzemenin dayanımına etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

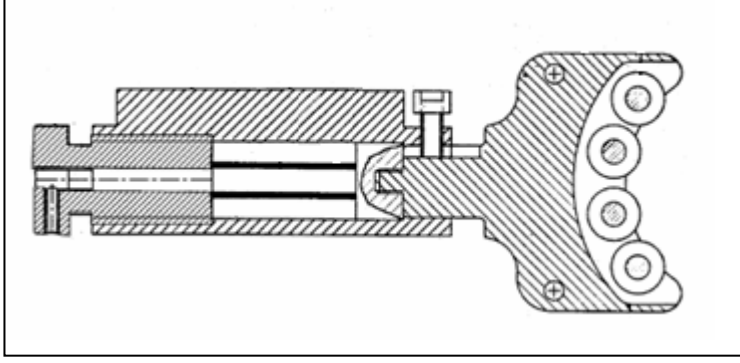
Literatürde haddeleme işlemi ve bu işlem ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar mevcuttur [8-12]. Aşağıda haddeleme işlemiyle ilgili olarak yapılmış çalışmalardan bir kısmı özetlenmiştir.

Hassan ve arkadaşları [13], pirinç malzemelerin yüzey pürüzlülüğünü ve yüzey sertliğini geliştirmek için tasarımı yapılan bir bilyeli haddeleme aparatı kullanmışlardır. Haddeleme işleminden sonra malzeme basit bir aşınma testine tabi tutulmuş ve yapılan deneyler pirinç malzemenin aşınma direncinin arttığını göstermiştir. Bu testler sonucunda haddeleme operasyonunun aşınma direncini arttırmak için kullanılabileceği söylenebilir.

Hassan ve Maqableh [14], yaptıkları çalışmada yük, ilerleme, kullanılan takım sayısı gibi değişkenlerin haddeleme işlemi üzerindeki etkileri incelemişlerdir. İş parçasının başlangıçtaki yüzey pürüzlülüğü ve sertliğinin, haddeleme aparatında kullanılan bilye çapının ve bu işlem içerisinde kullanılan yağlamanın haddelemeye etkileri ortaya konmuştur. Bu deneylerde pirinç ve alüminyum alışımı kullanılmıştır. Deneylerin sonuçları başlangıçtaki haddeleme parametrelerinin haddeleme işleminde önemli etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur.

Axir ve arkadaşları [15], torna tezgâhında katere bağlanmak suretiyle çalışan bir haddeleme aparatı geliştirmişler ve dönel parçalar üzerinde haddeleme hızı, batma derinliği, haddeleme zamanı ve başlangıçtaki malzeme sertlik değişkenlerini beş farklı malzemede uygulayarak yuvarlaklık, yüzey sertliği ve iş parçası çapındaki değişiklikleri gözlemlemişlerdir. Bu deneyler batma derinliği ile haddeleme zamanının dönel parça yuvarlaklığı ve iş parçası çapı üzerinde önemli parametreler

olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda haddeleme hızının artması sertlikte önemli azalmalara ve iş parçası malzemesinin başlangıçtaki sertliğinin azalmasına sebep olmuştur.



Şekil 2.1. Axir ve arkadaşlarının tasarlayıp kullandıkları dönel parçalar için haddeleme aparatı

Klocke ve Lierman [16], dönel parçalar üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada hidrostatik olarak çalışan sert bilyeli haddeleme aparatı ile haddeleme işlemini gerçekleştirmişler ve pürüzlü yüzeylerin düzgünleştiğini ve yüzey kalitesinin iyileştiğini tespit etmişlerdir. Deneylerin sonucunda yüzey üzerindeki pürüzlülük üst değerinin orijinal yüzey pürüzlülüğüne göre maksimum % 30 ila % 50 arasında iyileştiği tespit edilmiştir.

Zhang ve Lindeman [17], yapmış oldukları çalışmada dönel haddeleme işleminin AZ80'nin yorulma performansını geliştirdiğini göstermişlerdir. Optimum şartlarda yorulma performansında % 110'luk bir gelişme söz konusudur. Haddeleme işlemi AZ80 için yorulma ömrünü arttırmakta ve püskürtmeli sertleştirmeden daha etkili olduğu görülmektedir.

Axir ve İbrahim [18], bilyeli haddeleme işlemini yüzey pürüzlülüğünü, uygulanan kuvvet, ilerleme oranı, haddeleme hızının üç bilye ucu kullanarak nasıl değişim gösterdiğini incelemişlerdir. Yapılan deneyler, haddeleme aparatı kullanılarak en iyi yüzey karakteristiklerinin elde edilebileceğini göstermiştir. Haddeleme kuvveti ve

ilerleme oranının bütün yüzey karakteristik değerlerinde önemli bir rol oynadığını göstermişlerdir.

Khabeery ve Axir [19], 6061-T6 alüminyum alışıını için geleneksel metotlar yerine dönel haddeleme kullanılarak haddeleme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu deneysel çalışmada yüzey düzgünlüğünü geliştirmek için doğru haddeleme parametrelerini seçmenin önemli olduğunu göstermiştir. Bu çalışma ile düşük haddeleme hızları ve yüksek batma oranlarının ve üç veya dört pasonun daha düzgün yüzeyler ortaya çıkardığı gösterilmiştir. Haddeleme hızının artması, sıkışma ile beraber artan gerginlikte azalmalar meydana getirmektedir.

Luo ve arkadaşları [20], yüzey tepki metoduyla alüminyum alaşımlı malzeme üzerinde küreli aparat ile haddeleme işlemi yapılarak, alüminyum alaşımın haddeleme sürecinde ortaya çıkan yırtılma olayı üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, talaşsız bitirme işlemi (haddeleme süreci) kullanılarak yüzey pürüzlülüğü azaltılmaya çalışılmıştır. Al alaşımının, silindirik yüzeyli Polikristalin elmas takım ile haddelemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisini farklı parametreler kullanarak araştırmışlardır. İdeal haddeleme parametrelerinin seçiminde ortaya çıkan parametre problemleri ve bu problemlerin koşullarını çözmeye yönelik araştırmalarda bulunmuşlardır. Deneyler sonucunda sıyrılma olgusunu bulmuşlardır. Sıyrılma olayının oluştuğu haddeleme süreçlerinin bazı şartlarını tespit etmişlerdir.

Axir [21], makaralı haddelemeye ait bir çalışma yapmıştır. Farklı haddeleme parametrelerinin (haddeleme hızı, kuvveti, ilerleme ve paso miktarı) yüzey mikro gerilim ve pürüzlülüğüne etkileri incelemiştir. Ayrıca, gerginlik, haddeleme hızı ile kuvveti arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Sarkarak aşındırma tekniği kullanılarak, malzeme üst yüzey bölümlerindeki kalıntı gerilim dağılımı tespiti yapılmıştır. Yağlamalı koşullar altında yapılan haddelemede, ED-37'nin yüzey mikro sertliğe ve pürüzlülüğüne karşı bulunan sonuçlar matematiksel modelleme yöntemi ile sunulmuştur. $R_a:4,5 \mu m$ başlangıç pürüzlülüğüne sahip iken, $R_a:0,5 \mu m$ yüzey

pürüzlülüğüne düşürülmüştür. Aralarında pek çok etkileşim olmasına rağmen yüzey pürüzlülüğü ve yüzey mikro sertliği üzerinde iş mili devri, haddeleme kuvveti, hareketi, ilerlemesi ve paso miktarı en önemli etkiye sahip olan özellikler olarak görülmüştür. Mikro gerilim ve haddeleme baskısı arasındaki en büyük kalıcı gerilim değişimi, haddeleme kuvvetinin 5kg'dan 25 kg kuvvete arttırılmasıyla olduğu tespit etmiştir. Haddeleme kuvvetinin daha çok arttırılmasıyla da 25 kg'dan 45 kg'a kadar baskı halindeki kalıcı gerilim miktarının da arttığı ortaya çıkarmıştır.

Hassan, Maqableh [22], başlangıç haddeleme parametrelerinin metal malzemeler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Haddeleme süreci üzerinde yapılmış önceki çalışmalar, baskı kuvveti, ilerleme, hız ve paso miktarı parametrelerini üzerinde yoğunlaşırken, bu çalışmada ise haddeleme takımının küre çapı ve farklı yağlayıcıların kullanılmasının yüzey pürüzlülüğünü ve sertliği etkileri araştırmışlardır. İki metal iş parçası pirinç ve AlCu alaşımı kullanarak başlangıç parametrelerin bu iki metal üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuçlar, başlangıç parametrelerinin haddeleme işlemi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Takımın hassasiyeti ve önemi üzerine de ayrıntılı bilgileri de vurgulamışlardır.

Khabeery ve Axir [23], Farklı malzemeler için haddeleme parametrelerinin yüzey özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bu kullanım, beraberinde sertlikte artış, yorulma dayanımı ve aşınma direncinde artış özelliklerini beraberinde getirdiğini belirlemişlerdir. Haddelenmiş yüzey özellikleri, malzeme yüksek yorulma döngü yükleri altındayken, malzemenin kopma direncine etkisinden ve yorulma çatlağı genel olarak parçaların yüzeyinde oluşarak ve içerilere doğru ilerleyeceği varsayarak yola çıkmışlar, deneysel çalışma, bir torna tezgâhında yapılmış, dört makaralı haddeleme takımının etkileri parça üzerinde incelenmiştir. Değişkenler; haddeleme hızı, makara batma derinliği, haddeleme zamanı ve başlangıç sertliği olup beş farklı malzemenin yüzey sertliği, daireselliği ve çaptaki değişimi kaydetmişlerdir. Sonuç olarak; üç farklı çıkış tepkisinde farklı oranlarda, giriş değişkenleri kontrollü bir etkiye sahip olduğu bulgusuna varmışlardır. Haddeleme derinliği ve zamanının en önemli değişkenler olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca

haddeme hızındaki artış malzemenin mikro sertlik değeriinde kaydedilir bir düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir. Malzemenin başlangıç sertliğindeki azalma, malzemedeki dairesellik bozukluğunu arttırdığını vurgulamışlardır.

Hassan [24], döküm AlCu alaşımlarının haddelenmesinin yüzey özelliklerini üzerine etkisini incelemiştir. Döküm AlCu alaşımlarının sertlik ve yüzey pürüzlülüğüne farklı haddeme parametrelerinin (kuvvet, hız ve ilerleme) etkileri araştırmıştır. Deneyler basit bir küreli haddeme takımıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, AlCu iş parçası üzerine bu işlemin uygulanması ile yüzey özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir.

Yu ve Wang [25], küresel yüzeyde polikristalin elmas takımı ile alüminyum alaşımın haddelenmesinin yüzey parametrelerine etkisini incelemiştir. Çalışmada teorik analizlerle, deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İdeal haddeme parametrelerinin seçiminde problemler ve haddeme mekanizmalarını incelemiştir. Uygun parametrelerin uygulanmasıyla, yeni talaşsız son işlem süreci geliştirilmiş, polikristalin elmas kesme takımı kullanılarak yüzeydeki izlerin azaltılması ya da yok edilmesini sağlamışlardır. Bu çalışmadan önce başlangıçta 0,5 µm olan yüzey pürüzlülüğü, 0,026 µm değere kadar düşürülmüştür.

Bu tez çalışmasında, sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış ve sürtünme karıştırma kaynak bölgesinden yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri alınmıştır. Daha sonra yapılan haddeme aparatı ile sürtünme karıştırma kaynağı yapılan malzemenin kaynak bölgesine haddeme işlemi uygulanmıştır. Haddeme sonrası kaynaklı bölgeden yüzey sertliği ve pürüzlülüğü ölçümleri alınarak, haddeme öncesindeki değerler ile karşılaştırılmıştır.

3. SÜRTÜNME VE SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAK YÖNTEMLERİ

3.1. Sürtünme Kaynağı Yöntemi

Sürtünme kaynağı, teknolojisi sürekli gelişim gösteren dünyamızın birçok ülkesinin endüstrisinde uygulama alanı bulmuş ticari ve ekonomik bir yöntemdir. Malzemelerin kaynak edilmesinde kullanılan enerji kaynaklarından birisi de sürtünme enerjisidir. Bevington sürtünme ısısından yararlanarak boruların kaynağını yapmıştır. 1924 yılında W.Richter İngiltere'de, H.Klopstock Sovyetler Birliğinde paten almıştır. 1941 yılında A.R. Nealonds ve H.Klopstock silindirik parçaların sürtünme kaynağı için birer patent almışlardır. Ayrıca II. Dünya savaşı sırasında Almanya ve Amerika'da plastik malzemelerin kaynağında sürtünme kaynağı kullanılmıştır [26-29].

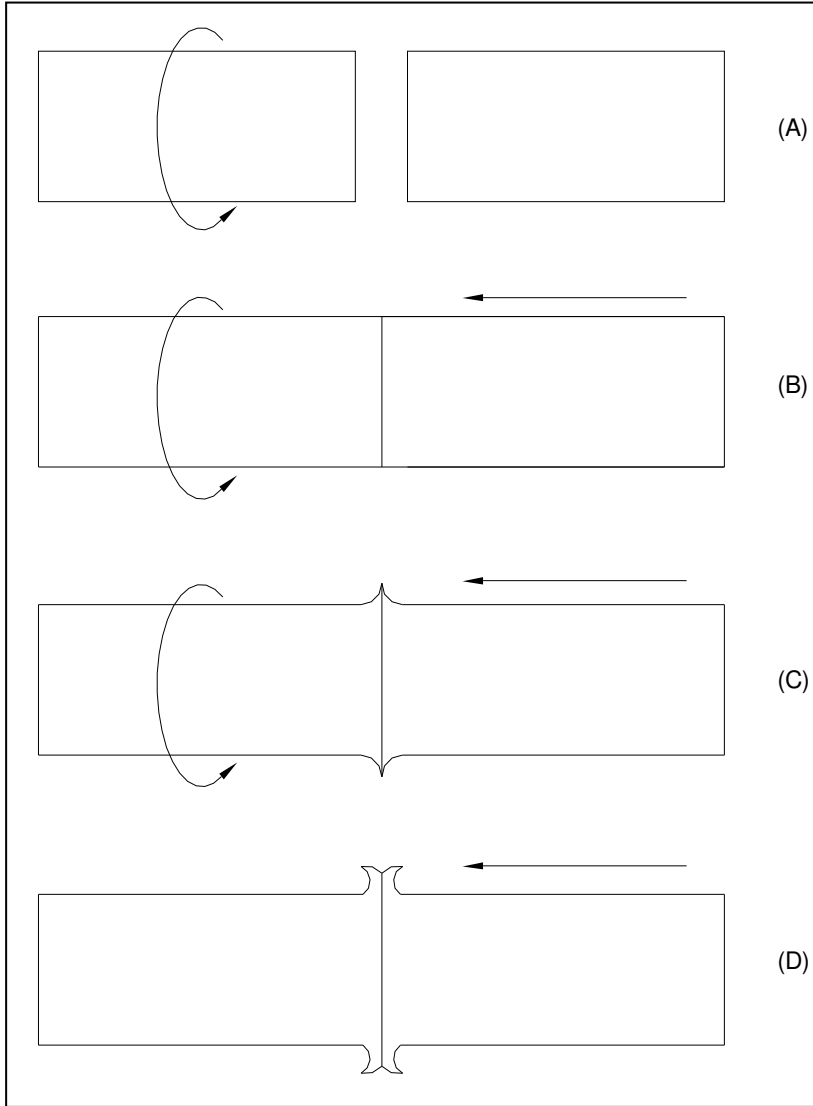
Sürtünme kaynağının ticari amaç için seri üretim de kullanılması amacı ile bilimsel çalışmaları bir Rus makinist başlatmıştır. 1956 yılında A.J. Chdikov iki metal çubuğu sürtünme kaynağı ile uygun şartlarda birleştirerek bir patent almıştır. Sovyetler Birliğinde daha yoğun çalışmalar Vill ve arkadaşları tarafından yürütülmüştür. Bu yöntem ABD'ye 1960'da girmiştir. Holland ve Cheng adlı araştırmacılar sürtünme kaynağının termal ve parametre analizleri üzerinde çalışmışlardır [26-29].

İngiltere'de ilk sürtünme kaynağı 1961 yılında kaynak enstitüsü tarafından yapılmıştır. 1962 yılından itibaren pek çok fabrikada sürtünme kaynağı kullanılmaya başlanmıştır. Yine 1962 yılında ABD'de Caterpillar Tractor Co. Atalet kaynağı adı altında sürtünme kaynağını modifiye ederek kullanmıştır. Sürtünme kaynağı yöntemi bu tarihten itibaren daha hızlı bir gelişme göstererek hızla bütün dünyaya yayılmıştır. Günümüzde sürtünme kaynağı modern kaynak yöntemleri arasında yer almıştır. Elektron ışın kaynağından sonra pratikte en çok uygulama alanı bulmuş bir yöntemdir [26-29].

Sürtünme kaynağında elektrik enerjisi kullanılır. Kullanılan elektrik enerjisi kaynatılmak istenen parçalara mekanik enerji sağlar. Mekanik enerji kaynatılacak parçaların sürtünmesi sonucunda ısı enerjisine dönüşür. Elde edilen bu ısı enerjisinden yararlanarak yapılan kaynak tekniğine katı hal kaynak yöntemi denilir. Dolayısıyla sürtünme kaynağı bir katı hal kaynağıdır. Kaynak süresince parçalar basınç altında ve mekanik enerjinin etkisi altında hareket halindedir. Bu duruma sürtünme fazı veya ısıtma fazı olarak adlandırılır. Isıtma fazı, malzeme yüzeylerinde plastik şekil değiştirme sıcaklığı oluşuncaya kadar devam eder. Çelikler için bağlantı bölgesinde meydana gelen sıcaklık 900-1300°C arasındadır. Kaynak işleminde ısıtma fazı sonrasında basınç artırılarak ısınmış ara yüzey malzemesi yığılır. Böylece kaynak bölgesi, termo-mekanik işleme tabi birleşme bölgesinde iyileşme gösterir. Bundan dolayı diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilemeyen metaller ve metal alaşımları kolaylıkla kaynatılabilir. Kaynatılan parçalarda kaynak bağının oluşabilmesi için temiz metal yüzeylerinin temas haline gelmesi gerekir. Sürtünme kaynağında bütün temassızlıklar sürtünme yolu ile ortadan kaldırıldığından bu temas çok iyi gerçekleşir. Kaynak esnasında parçaların yüzeylerinde ergime meydana gelmez. Çok az bir ergime olsa bile uygulanan yığma işlemi sonunda birleşme bölgesinden bu ergiyen malzeme uzaklaşır. Kaynak yüzeyinde ergimiş metale ait herhangi bir bulguya rastlanmaz [28-29].

Kaynak yapılış yöntemi Şekil 3.2’de şematik olarak görülmektedir. Genelde parçaların her ikisi de sabittir. Dönme hızı belli bir değere geldiğinde iki parçanın teması, sürtünme işini yapacak araca yaklaştırılarak ön temas olayı meydana gelir. Bu temastan sonra parçaların ucundaki yabancı maddeler uzaklaşır. Ön temasın arkasından eksenel basınç uygulanarak parçaların ısınması sağlanır. Aracın dönme hareketi durdurulduğunda eksenel basınç bir miktar artırılarak dövme etkisi yapılır. Bu etki sonucunda kaynak yüzeyindeki çok az miktar erimiş metal dışarı doğru yığılarak çıkar. Sürtünme kaynağında dönme hareketi birinci harekettir.

İkinci hareket ise aksenal harekettir. Yapılan aksenal hareket ile kaynaklı yüzey birleştirmiş olur. Ortaya çıkan çapaklı bölüm, torna edilerek temizlenir. Böylece bindirme tekniği kullanılarak sürtünme kaynağı yapılmış olur.

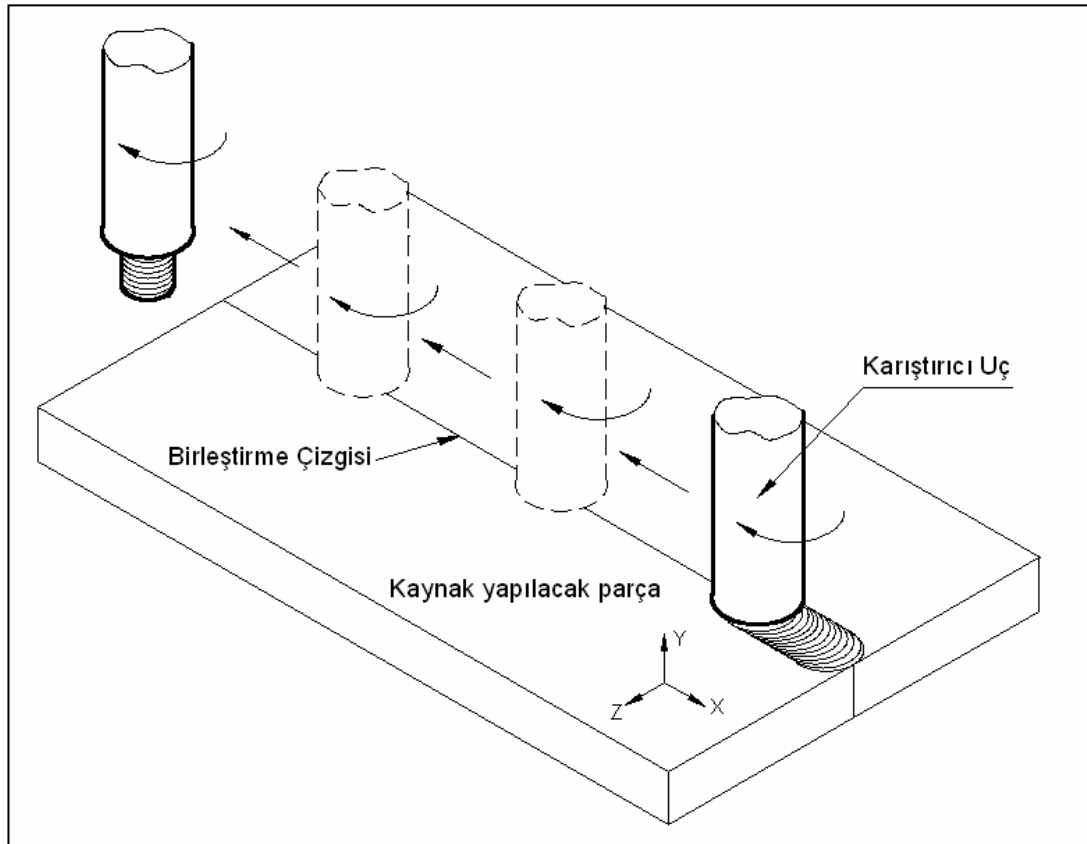


Şekil 3.2. Sürtünme kaynağının yapım aşaması

3.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yöntemi

Sürtünme karıştırma kaynağı genellikle prizmatik parçalar üzerine yapılmaktadır. Sürtünme kaynak yönteminden faydalanılarak geliştirilmiş, farklı bir kaynak türüdür.

Özellikle kaynak yapılması çoğu zaman zor olan alüminyum alaşımların birleştirilmesi, sürtünme karıştırma kaynağı performansının geliştirilmesi için kullanılabilmesine rağmen araştırmalar sanayinin ilgisi alüminyum alaşımlarını birleştirmek üzerine toplanmıştır. Bu kaynak yöntemi 1 mm'den az 35 mm'den daha kalın olan ve kaynaklanamaz olarak düşünülen alüminyum malzemelere uygulanmış ve çok iyi mekanik özellikler elde edildiğini görülmüştür [30]. Bu kaynak türü daha çok özel uçak ve askeri sanayide kullanım alanı bulan kaynak türüdür (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Sürtünme karıştırma kaynağının yapım aşaması

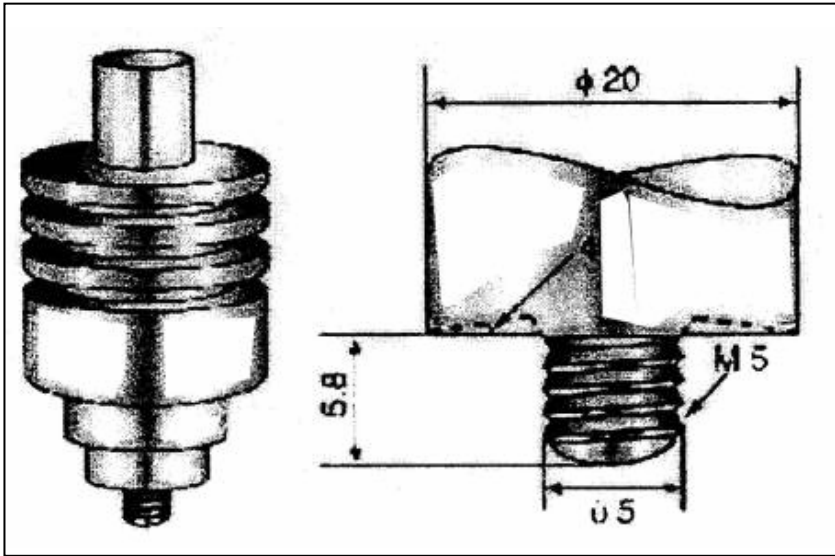
3.3. İşlemin Temel Hazırlanma Süreci

Bir sürtünme karıştırma kaynağı yapmak için birleştirilecek olan parçalar, kaynak esnasında yana yukarıya ve ileriye doğru hareket etmelerini önlemek için bir destek parçasının üzerine sıkıca bağlanmalı ve sabitlenmelidir. Birleştirme esnasında iş parçaları yukarıya doğru kalkmaya, yana doğru kaymaya ve ileriye doğru itilmeye çalışacaktır. Bu sabitleme işlemi çeşitli hidrolik baskı pabuçları ile de yapılabilir. Ayrıca birleştirme hattında geometrik bozuklukların önüne geçilebilmesi için karıştırıcı ucun her iki yanında ve önünde baskı bilyesi kullanmakta mümkündür. Ucu özel olarak imal edilmiş silindirik kademeli bir karıştırıcı ucun dönmekte olan bir karıştırıcısı yavaşça birleşme hattı üzerine bastırılır. Karıştırıcı ucun boyu istenilen kaynak derinliği ile aynıdır. Dönen karıştırıcının ucu işlenen yüzeye temas ettiği zaman meydana gelen sürtünme, karıştırıcı ucun temas ettiği noktayı aniden ısıtır ve böylece malzemenin mekanik direncini azaltır. Uygulanan kuvvet altında karıştırıcı uç malzemeyi, karıştırıcı uç omuzu da izlenen yüzeye temas edinceye kadar karıştırıcı uç ve onun hareket ettiği yönde zorlamakta ve yerinden oynatmaktadır. Bu işlemde dönen karıştırıcı ucun meydana getirdiği sürtünme ısı, karıştırıcı uç etrafında ve karıştırıcı uç omuzu altında yumuşamış bir metal tabakası oluşturur. Kaynak yapılacak parçaların veya karıştırıcının ileriye ve geriye hareket etmesi halinde, yumuşamış olan metal karıştırıcı ucun ön yüzü tarafından kaldırılır ve karıştırıcı ucun mekaniksel dönüşü yönünde ve bastırma hareketi ile karıştırıcı ucu arkasından dönerek sürüklenir.

Sonuç olarak karıştırıcı uç birleşme hattı içine girdikçe oluşan sürtünme birleşme yüzeylerini ısıtarak metali yumuşak hale çevirmekte, takiben birleşme hattını ezerek oksit filmi kırmakta, yumuşak metali karıştırarak birbirine birleştirmekte ve ileriye hareketi ile geride kalan birleşim soğuyarak katı hal kaynağı oluşturmaktadır. Tüm bunlar alaşımın ergime noktasının altında bir sıcaklıkta meydana gelir [31].

3.4. Yöntemin Uygulanması

Sürtünen eleman ile kaynak yöntemi, sürtünme kaynağından türetilmiştir. Kaynak edilen parçalar ergimezler bu yüzden yöntem katı hal kaynağı olarak adlandırılır [32]. Bu kaynak yöntemi alın altına sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen omuzlu bir karıştırıcı ucun daldırılarak kaynak yapılmak istenen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesinden ibarettir. Şekil 3.4’de yöntem için kullanılan ve özel olarak tasarlanmış pim görülmektedir [33-35].



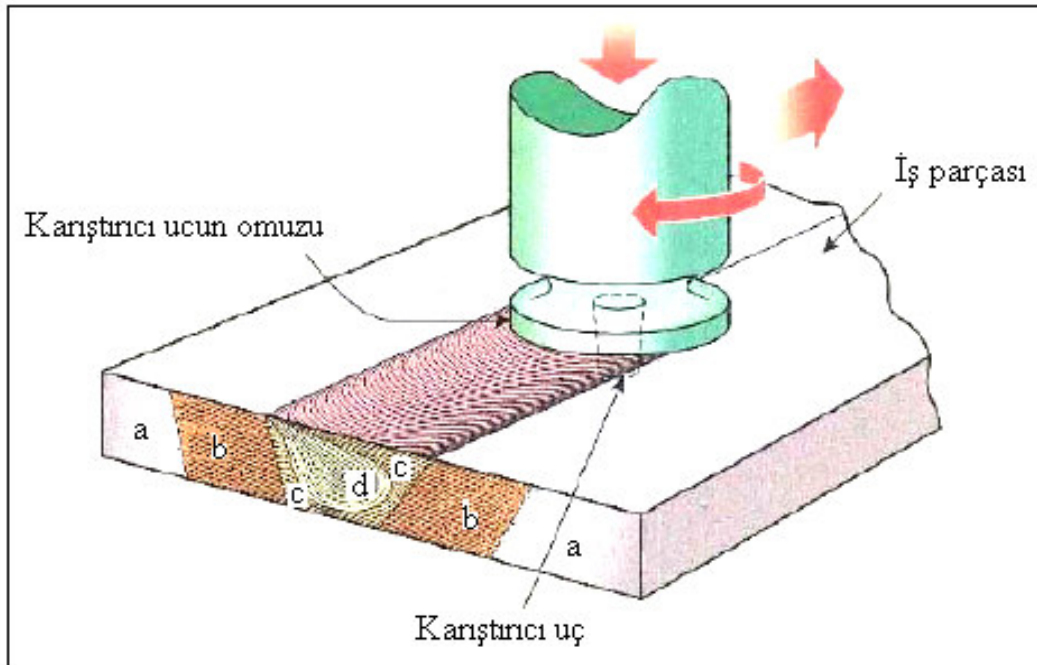
Şekil 3.4. Sürtünen eleman ile kaynak yönteminde özel olarak tasarlanmış pim [35]

Kaynak edilecek parçalar öncelikle sabit bir yüzey üzerine yerleştirilir. Yöntemin uygulama aşaması iki farklı şekilde olabilir (Şekil 3.5). Parçaların hareketi söz konusu olabileceği gibi, takımın dönme ve ilerleme hareketi de mümkün olmaktadır. Pim, malzemelere temas ettiğinde sürtünme kaynağındaki duruma benzer bir durum oluşarak temas noktasında ısı, sürtünmenin de etkisiyle hızla artar ve malzemelerin plastik değişimine neden olur. Bu değişim malzemelerin akışını sağlar ve birleşme olayı gerçekleşir.

3. 5. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kaynak Dikiş Formu ve Metalurjik Yapı

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi bir katı hal yöntemi olduğundan kaynak dikişinde ergime meydana gelmez. Yüksek ısı olmadığından ısıdan etkilenen bölge de oldukça dardır. Ergitme kaynak yöntemi ile elde edilen kaynak dikişlerinden farklı bir kaynak dikişi ve metalurjik yapı elde edilir. Isıdan etkilenmeyen ana metalden kaynak dikişine doğru oluşan bölgeleri sıralarsak, kaynak bölgesinde oluşan içyapı Şekil 3.6’de şematik olarak gösterilmiştir [36].

Kaynak bölgesi üç farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge, termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge ve ısı tesiri altında karışım bölgesinin şekli kaynak parametrelerine, birleştirilen alaşımların mekanik özelliğine ve kullanılan karıştırıcı ucun şekline bağlı olarak değişmektedir [36].



Şekil 3.5. Sürtünme karıştırma tekniği şematik gösterimi



Şekil 3.6. Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan iç yapının Şematik Görünümü. B: ısının tesiri altındaki bölge (ITAB), C: termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (TEB), D: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB), A:kaynak tesiri altında olmayan bölge [36].

3.6. Karıştırıcı Uç ve Özellikleri

Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde kullanılan karıştırıcı ucun iki bölgesi vardır: Birincisi, karıştırma işleminin yapıldığı helisel bir diş şekline sahip uç kısmı ikincisi ise, bu uç kısmının üstünde bulunan ve birleştirilecek parçalara temas ettirilen geniş yüzey çıkıntısıdır. Karıştırıcı ucun uç kısmı ve geniş yüzey çıkıntı kısmı gelişi güzel tasarlanamazlar. Düzgün bir kaynak işlemi elde edebilecek tasarım ve görünüş kesitleri kullanılmalıdır [37].

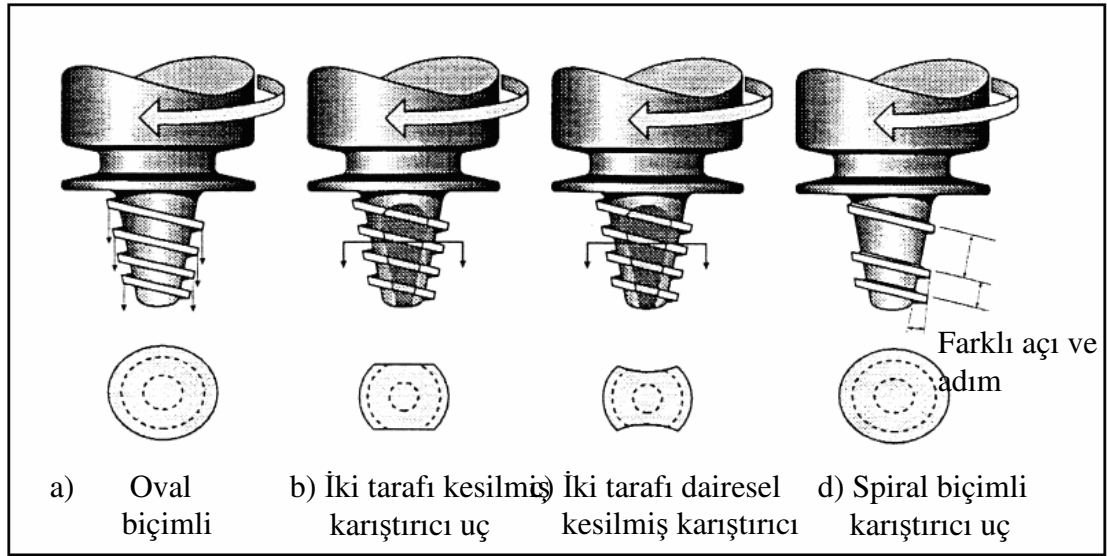
Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde birleştirme kalitesini etkileyen en önemli faktör, karıştırıcı ucun tasarım profili ve diş formudur. Bu faktörlere bağlı olarak birleştirme kalitesi değişmektedir. Bu nedenle en uygun ve ideal sonuçlar verecek özelliklere sahip bir karıştırıcı ucu seçmek oldukça önemlidir.

Karıştırıcı ucun görünüş tasarımı, kaynak bölgesindeki metal akış yolunu kolaylaştıracak bir tasarım şekli düşünülerek yapılmalıdır. Karıştırıcı uç helisel bir vida diş formuna sahip olup, uç görünüş kesiti değişik şekillerde tasarlanabilmektedir. Örneğin; oval, üç kenarlı, iki kenarlı ve dairesel helisel diş profiline sahip, karıştırıcı uçlar geliştirilmiştir (Şekil 3.7).

Helisel dişlerin aralarındaki mesafe, diş kalınlığı ve açısı kaynak kalitesini etkilemektedir. Karıştırıcı ucun helisel dişleri arasındaki mesafe, dişlerin kalınlığından daha büyük olması halinde karıştırma esnasında şekil değiştiren malzemenin helisel diş aralıklarından daha kolay aktığı tespit edilmiştir. Helisel dişlerin yüzeysel alanı, malzeme özelliklerine göre farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle en uygun malzeme akışını sağlayacak helisel diş formu daima tercih edilmelidir [37].

Karıştırıcı ucun üst kısmındaki geniş yüzey çıkıntısının iç görünüş şekli, iş parçası ile en iyi temas sağlayacak ve karıştırıcı uç ile parçayı en iyi şekilde sıkıştırabilecek bir şekilde seçilmelidir. Bu geniş yüzey çıkıntısı iş parçası ile öyle temas etmeli ki, karıştırma sonucu hamurumsu hale gelen ve dışarıya doğru çıkmak isteyen metalin kaçışını önleyebilsin. Metal kaçışını Önlemek amacıyla, çıkıntısının iş parçası ile temas edecek yüzeylerine, spiral veya aynı merkezli dairesel oyuklar açılmıştır. Aynı merkezli dairesel oyuklar sayesinde, karıştırıcı uç iş parçası üzerinde daha rahat hareket eder. Bu oyuklar, kaynak metali üzerinde sürekli birbirini takip eden yarım ay şekilleri meydana getirirler.

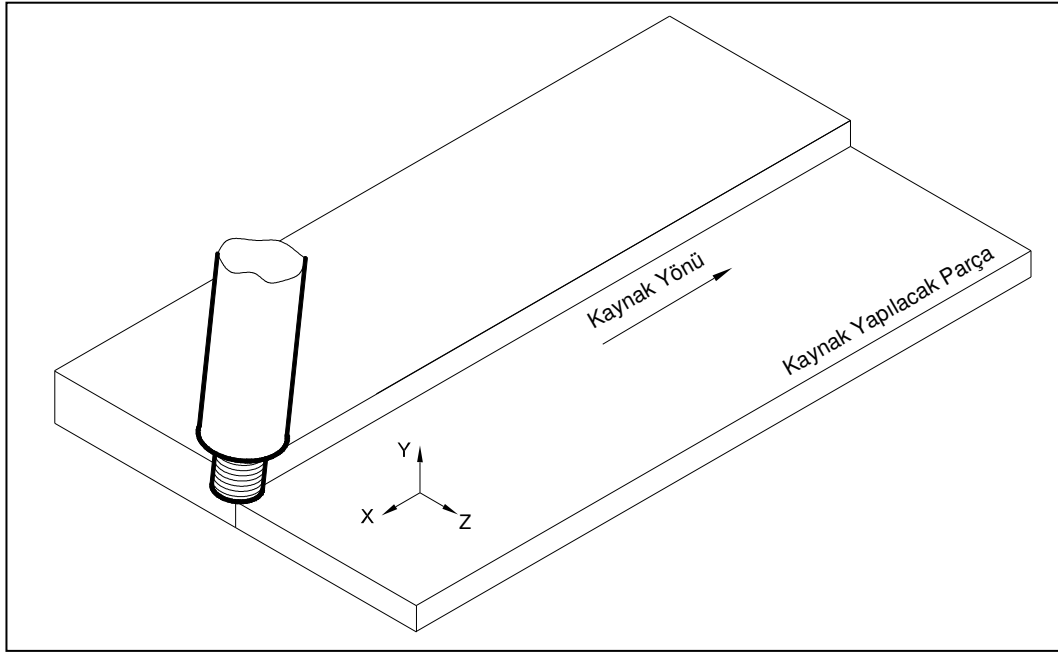
Sürtünme karıştırma kaynak tekniğinde, malzemelerin karıştırılarak birleştirilmelerinin sağlanması için bir karıştırıcı uç kullanılır. Bu uç işlem esnasında ergimemeli ve aşınmamalıdır. Özel bir diş formuna sahip bu karıştırıcı uç, birleştirme esnasında deforme olmamalı ve diş formu bozulmamalıdır. Dolayısıyla karıştırıcı uç, yüksek sıcaklıklarda iyi dinamik ve statik özelliklere sahip aşınmaya dayanıklı, en az 62 HRc sertliğinde çelik malzemelerden yapılmalıdır [37].



Şekil 3.7. Örnek karıştırıcı uç çeşitleri [38]

3.7. Malzeme Kalınlıkları ve Kaynak Hızı

Yapılan çalışmalar özellikle 2219, 2014, 6083, 6082 ve 7075 gibi alüminyum alaşımlarında sürtünen eleman ile kaynak yönteminin başarıyla uygulandığını ortaya koymaktadır [39]. Kaynak için kullanılan profillerin kalınlıkları 1,2 mm den 50 mm 'ye kadar çıkabilmekte ve tek paso ile sürekli kaynak bağlantısı elde etmek mümkün olmaktadır. Farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirme işlemi pimin eğik konumda levhalara daldırılması ile yapılmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Sürtünen eleman ile kaynak yönteminde ucu eğik konumda daldırılması ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirilmesi [39].

3.8. Sürtünme Karıştırma Kaynağı Yapılabilen Malzemeler

Birçok metalik malzeme ve bileşimlerinin sürtünme karıştırma kaynağı için, uygulamalar ve deneylerle elde edilmiş verileri mevcuttur. Sürtünme karıştırma kaynağının özelliği, ergitme kaynağı yöntemlerinin uygulanamadığı malzeme ve malzeme bileşimlerinde de başarıyla kullanılmasıdır. Diğer kaynak yöntemleri için kaynağa uygunluğunu belirleyen ölçütler, sürtünme karıştırma kaynağı için her zaman kullanılmaz. Bunun nedeni, birleştirme sıcaklığının düşük, kaynak süresinin kısa ve birleştirmenin bir kuvvet altında yapılmasıdır. Buna örnek olarak çeliğin alüminyum ve bakır ile toz metalürjisi ile üretilen parçaların ve seramiklerin alüminyum ile sert ve ağır metallerin diğer metallerle sürtünme karıştırma kaynağı yöntemiyle yapılan birleştirmeleri gösterilebilir [40].

Döküm-döküm alüminyum alaşımlarında, döküm-dövme alüminyum alaşımlarında, sıvı hal kaynak yöntemleri ile kaynağı güç olan 0,8 mm kalınlığındaki çinko sacların kaynağında, düşük karbonlu yumuşak çeliklerde,

orta karbonlu çeliklerde, metal matrisli kompozitlerde, plastiklerde, farklı iki malzemenin kaynaklarında, bakır alaşımlarında, kurşun, titanyum ve çinko alaşımlarında bu yöntem başarı ile uygulanmaktadır. Ayrıca zırh kaliteli alüminyum saçların sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği üzerine mekanik testler yapılmıştır.

Dayanıklılığı yüksek ve üstün balistik performansı olduğu bilinen zırh kaliteli alüminyum alaşımlar halen deniz kuvvetlerinin gelişmiş amfibrik taarruz araçlarında kullanılmaktadır. Geleneksel ark kaynağı GMAK (gaz metal ark kaynağı) ve GTAK (gaz tungsten ark kaynağı) ile yapılan belirli 2519 kaynak tipleri maalesef gerekli balistik eleme testlerinden geçememişlerdir. Testten geçememek, birçok kaynak birleştirme tasarımının araç yapısında kullanılmasını engellemektedir. Balistik eleme sırasında 2519'un kusuru diğer alüminyum zırhları ile kıyaslandığında nispeten düşük genleşebilme özelliğine atfedilmiştir [40].

Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilecek gereçlerin ikisinin de eş prizmatik kesitli olması gerekir. Aynı özellikte veya farklı özellikte olan malzemeler sürtünme karıştırma kaynağı ile birbirine kaynak edilebilir. Fakat aynı özellikteki malzemelerin seçilmesi, kaynağın daha kaliteli olmasını sağlar. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birbirine kaynak edilebilen malzemeler şunlardır:

- Bakırın, alüminyum ve alaşımlara,
- Düşük karbonlu çelikleri, alaşımlı çeliklere, paslanmaz çeliklere, alüminyum ve alaşımlara,
- Pirincin, alüminyum ve alaşımlara,
- Bronzun, alüminyum ve alaşımlara,
- Bakırın, eliğe,
- Pirincin, eliğe,
- Titanyum ve titanyum alaşımlarının, çeliğe,
- Titanyum ve titanyum alaşımlarının, alüminyum ve alaşımlarına,

- Paslanmaz çelik, Zirkonyum gibi metallere kaynak edilebilir [41].

Belirtilen bu metal ve alaşımların özellikleri birbirinden farklı olmasına rağmen, sürtünme karıştırma kaynağı ile kolaylıkla birleştirme yapılabilir.

Sürtünme karıştırma kaynağının 2519 T87 zırhlı alüminyum alaşımı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılıp kullanılmayacağı hususunu tespit etmek üzere GDYS (Genel dinamik yer sistemleri) ile Edison kaynakçılık enstitüsü tarafından ortak bir program yürütülmüştür. Sürtünme karıştırma kaynağı takım geometrisini ve kaynak parametrelerini başlangıçta bildirmek üzere bir termal model kullanımını kapsıyordu ve istenilen sonuçları almak için ihtiyaç duyulan kaynak parametrelerini daha sonra netleştirmek için istatistiksel olarak tasarlanan bir deneyi geliştirmek üzere bu modelin verileri kullanılmıştır. Bu program sonucu yapılan iş, ısının tesiri altındaki bölgeye benzer, ancak önemli derecede yüksek genleşmeye sahip sürtünme karıştırma kaynağı yapmak olmuştur. Gelişim işlem parametrelerini kullanarak uzunluğuna yapılan kaynak sacları, balistik kaynak darbe testinden istenilen hususlardan başarı ile geçmiştir [42].

3.9. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Etkin Olan Kaynak Parametreleri

Sürtünme karıştırma kaynağı kontrolü gereken oldukça çok sayıda parametre içerir. Bu yöntemle ilgili değişkenler dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, ilerleme süresi, yığma geciktirmesi süresi, yığma basıncı (dövme) ve yığma süresidir. Yapılan çalışmalarda yöntem üzerinde en etkili olan ve optimizasyonu gerektiren parametrelerin devir sayısı, sürtünme karıştırma süresi, ilerleme ve kullanılan uç olduğunu göstermiştir. Bu değerlerin dışında kaynatılacak malzeme şartlarına bağlı parametreler de söz konusudur.

Konu ile ilgili kaynak eserler incelendiğinde kaynak parametreleri ile ilgili şu genel sonuçlar çıkarılabilir [43].

Dönme hızı termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölgenin genişliğine de etkilidir. Çelikler için çevresel hız 1,2-1,8 m/s arasında önerilmektedir. 1,2 m/s altındaki hızlar çok yüksek momentler dolayısıyla uniform olmayan yığılmalar meydana getirir. Bununla birlikte farklı metal bağlantıları için düşük hızlar, gevrek bir intermetalik bileşiğin formlaşmasını minimize edebilir. Yüksek hızların kullanılması durumunda ise sürtünme karıştırma süresi ve basıncı çok iyi kontrol edilmelidir [43].

Sürtünme basıncı ve yığma basıncı, numune geometrisine ve yapıldığı malzemeye bağlıdır. Değişim dar bir aralıkta değildir. Basınç değişkeni kaynak bölgesindeki sıcaklık veya aksel kısılma ile kontrol edilebilir. Sürtünme basıncı temas eden yüzeylerden oksitleri uzaklaştırabilecek atmosfer ile ilişkisinin kesebilecek ve ara yüzeylerde dengeli bir ısınmayı sağlayabilecek değerde olmalıdır. Yığma basıncı ise malzemelerin sıcak akma sınır değerine bağlıdır. Aşırı kaynak yığılmasına sebep olacak kadar yüksek, yetersiz kaynamaya neden olacak kadar da düşük olmamalıdır. Farklı malzemelerin kaynağında sıcak akma sınırı düşük olan malzeme esas alınarak yığma basıncı tespit edilir. Genel olarak yumuşak çeliklerin sürtünme basıncı 30-65 MPa, yığma basıncı 75-140 MPa iken orta ve yüksek karbonlu çeliklerin kaynağında sürtünme basıncı 70-210 MPa, yığma basıncı ise 100-420 MPa arasındadır [43].

Sürtünme ve yığma süreleri malzemeye bağlıdır. Sürtünme süresi malzeme yüzeylerindeki pislik ve oksitleri temizleyebilecek gerekli plastisite için uniform bir kaynak bölgesi sıcaklığını sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Uygun bir kaynak bağlantısı için ısıtma süresi iyi tespit edilmelidir. Yetersiz ısıtma süresi kaynakta uygun plastisite değeri yakalayamadığı için birleşme yetersiz olacaktır. Aşırı ısıtma zamanı ise yığma basıncı sırasında fazla yığılmadan dolayı malzeme kaybına neden olacaktır [44].

3.10. Sürtünme Karıştırma Kaynağının Üstünlükleri ve Sınırlamaları

Sürtünme karıştırma kaynağı süresince ısıtılan metal miktarı çok küçük olduğundan soğutma süresi de birkaç saniyeden yarım dakikaya kadar çok küçük bir zaman aralığını kapsar. Bu özellik nedeni ile sürtünme karıştırma kaynağı yalnızca elektrik direnç kaynağı ile karşılaştırılabilen çok yüksek hızlarda yapılabilmektedir.

3.10.1. Sürtünme karıştırma kaynağının avantaj ve dezavantajları

Sürtünme karıştırma kaynağının belli sınırlamaları olduğu gibi, bilinen diğer kaynak işlemlerine göre daha fazla avantajlara sahiptir [45]. Sürtünme kaynağının avantajları aşağıdaki gibidir:

1. Erimeyi kolaylaştıran malzeme (Flux dolgu malzemesi) ve koruyucu atmosfere gerek yoktur.
2. Elektrik gücü ve toplam enerji gereksinimi diğer kaynak işlemlerinin sadece küçük bir oranı kadardır.
3. İşlem diğer kaynak işlemlerine nazaran daha temizdir. Çok az atık vardır. Ark gaz çıkışı oluşmaz.
4. Isıdan etkilenmiş olan alan çok dardır ve gözenek ölçüsü ana malzemenin gözenek ölçüsünden daha küçüktür.
5. Farklı özellikteki malzemelerin birbirleri ile birleşmesine uygundur. Eritme kaynağı ile birleştirilemeyen malzeme ve kompozitler sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilebilirler.
6. Alüminyum alaşımların üzerinde bulunan ince oksitlenmeler temizlenmeden kaynak işlemine geçilebilir.
7. Katı hal birleşme tekniği olduğundan, alüminyum alaşımları birleştirmede katılaşma ve sıvılaşma çatakları görülmez.
8. Uygun kaynak parametreleri ve karıştırıcı uç kullanıldığında, diğer birleştirme teknikleri ile yapılanlardan daha iyi hale gelir. Çekme, yorulma ve

kopma mukavemetleri daha yüksektir.

9. 2000 ve 7000 seri alüminyum alaşımların birleştirilmesine uygundur.

10. Karıştırıcı ucun HSS kalitesinde yapılması, çok fazla parçanın kaynağın yapılmasını sağlayabilir.

11. Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde plastik deformasyon sayesinde, ana metale göre kaynak metalinde daha ince taneli bir yapı ve kristalleşme meydana gelir.

12. Sürtünme karıştırma kaynağında buharlaşma olmadığından, ana metalde eksilme olmaz.

13. İnsan sağlığına zararlı kaynak dumanı, radyasyon v.b. etkileri karşılaşılmaz.

14. Kaynak yapımında, eriyik metal ve ark oluşumu yoktur.

15. Malzeme çarpılması azdır. Malzeme uzun olduğu sürece oluşur.

16. Kullanılan aparata göre değişik kalınlıklardaki alüminyum alaşımları, tek bir karıştırıcı uç ile gerçekleştirilebilir.

17. Kaynak metalinde gözenek problemi yoktur.

18. İstenilen tüm kaynak pozisyonları için uygundur.

19. Enerjiden tasarruf sağlayan kaynak tipidir.

20. Eriyen ilave metal kullanmaya gerek yoktur.

21. Koruyucu maske ve gaz kullanımına gerek yoktur.

22. Kalifiye işçiliğe gerek duyulmaz.

23. Kaynak sonrasında oluşan çapakların temizlenmesinde başka herhangi bir taşlama ve fırçalamaya gerek yoktur.

3.10.2. Sürtünme karıştırma kaynağı uygulamalarında görülen bazı sınırlamalar

İş parçalarından birinin kaynak yüzeyi yuvarlak (silindirik) veya silindire yakın olmalı, tutulabilir ve döndürülebilir büyüklükte olmalıdır [46]. Prizmatik parçalar içinde, eş parçalar ve farklı geometrilere sahip parçalarda sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilebilir.

1. İş parçaları torka, ısınmaya ve birleştirme esnasındaki eksenel basınca dayanıklı olmalıdır.
2. İş parçalarını tutan cihazlar ağır şok ve tork yüklerine dayanacak güçte olmalıdır.
3. Geleneksel sürtünme kaynağı, açılmal birleşimler için pahalı değişikliklerin yapılmasını gerektirir.

3.10.3. Sürtünme karıştırma kaynağının daha kaliteli kaynak dikişleri

Sürtünme hareketi ile bütün oksit ve diğer tabakalar parçalanarak yüzeyden uzaklaştırılır ve sürtünen yüzeyler arasındaki sürekli temas kaynak sırasında oksit filmlerinin oluşmasını önler.

Sürtünme karıştırma kaynağı sırasında kaynak süreksizliklerinin büyük bir kısmı ortadan kaldırılabilir. Bağlantı bölgesi, hızlı yerel ısıtma ve soğutma sonrası uygulanan yüksek basınç nedeni ile ince taneli bir yapıya sahiptir. Hızlı yerel ısıtma ve ayrıca bağlantıya bitişik olan göreceli olarak geniş ısıtılmamış bölgeler, yerel ısınmış bölgelerden ısıyı hızla çekmesi sonucunda çok dar bir ısının tesiri altındaki bölge oluşur.

Bütün bu üstünlüklerinin yanında sürtünme karıştırma kaynağının bazı sınırlamaları da vardır. Sürtünme karıştırma kaynağını sınırlandırılan en büyük etken parçanın sahip olduğu geometrik biçimdir. Her ne kadar günümüzde özel yöntemler geliştirilmişse de bağlantısı yapılacak parçalardan birinin bir eksene göre simetrik olması ve çoğu kez bir eksen etrafında dönebilir olması istenir. Sürtünme karıştırma kaynağını sınırlandıran en büyük etken parçanın sahip olduğu geometrik biçimdir.

Her ne kadar günümüzde özel yöntemler geliştirilmişse de bağlantısı yapılacak parçalardan birinin bir eksene göre simetrik veya eş prizmatik parçalar olması ve çoğu kez bir eksen etrafında dönebilir olması istenir. Sürtünme karıştırma

kaynağını sınırlandıran diğer önemli bir etken ise kesit alanıdır. Kesit alanının çok büyük olması, motor gücünün ve yığma basıncı değerlerinin çok yüksek olmasına neden olur. Sürtünme karıştırma kaynağı için kesit alanları 30-8000 mm² değerleri arasında sınırlanırken, bazı araştırmacılar azami kesit alanını 10000 mm² olarak vermişlerdir. Çubuk parçalar için uygun çap değerleri de 10-250 mm olarak önerilmiştir [47].

4.HADDELEME (GALETAJ) İŞLEMİNİN TANIMLANMASI

4.1.Yüzeylerin Haddelenerek veya Ezilerek Şekillendirilmesi

Haddeleme; makine elemanlarında, fonksiyonel yüzeylerin, talaş kaldırmadan, ezerek süper ince işlenmesinde uygulanan, hassas bir şekillendirme tekniğidir. Makine imalat tekniğinde eskiden beri kullanılmakta olan bu şekillendirme yöntemi, elde edilen yüzeyin en iyi kalitesi, uygulanan yüzeyde malzemeye ait mekanik karakteristiklerin iyileşmesi, yüzeyin sertleşmesi ile seri üretimde kullanılabilirliğinin yüksek olması sebebiyle taşlama tekniğine üstünlük sağlamaktadır.

Haddeleme işlemi, metal parçaların prizmatik, silindirik ve konik iç ve dış yüzeylerine uygulanır [48]. Bu yöntem;

1. Silindirik Dış Yüzeyler İçin Haddeleme (Dış Galetaj)
2. Delik Olan Yüzeyler İçin (İç Galetaj)
3. Prizmatik parçalar olmak üzere üç tip parça üzerinde uygulanabilir.

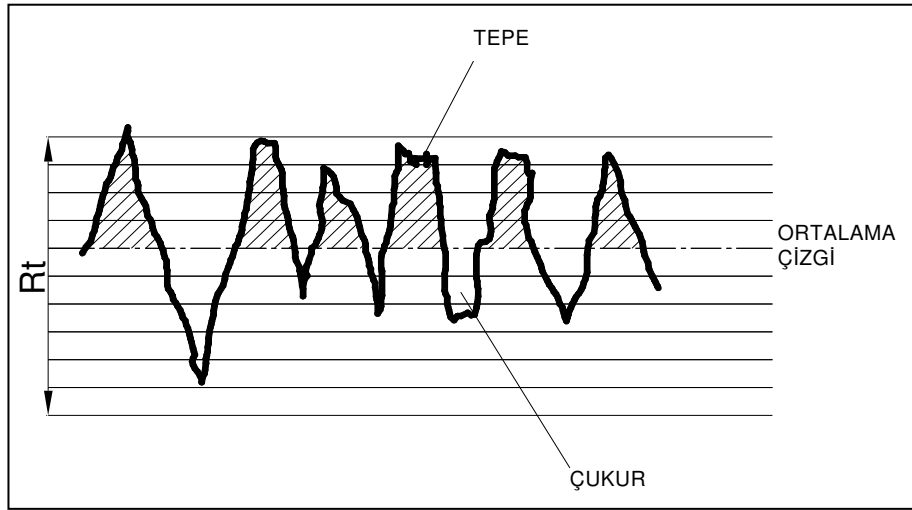
4.1.1.Avantajları

- Yüzey kalitesini olumlu yönde yükseltir.
- Yüzeyin mekanik özelliklerini iyileştirirken, yüzey sertliği ve aşınmaya karşı mukavemeti artırır.
- Taşlama işlemine göre, seri üretimde kullanılabilirliği fazladır.
- Çok iyi, ölçü hassasiyeti sağlar.
- İşleme süresi, taşlamaya göre çok daha kısadır.
- Bu işlem için kullanılan takımın tasarım süreci ve yapımı, diğer takımlara göre basit ve maliyeti azdır. Bu operasyon klasik tezgâhlarla gerçekleştirilebilir.

4.2. Silindirik Dış Yüzeyler için Haddeleme

4.2.1. Haddeleme prensibi ve makara takımının hareketi

İşlenmiş metal parçaların yüzeyleri, bir profilometre ile incelendiğinde, bu yüzeylerin gerçekte düz olmadığı, aksine girinti ve çıkıntılara sahip olduğu görülür [48].



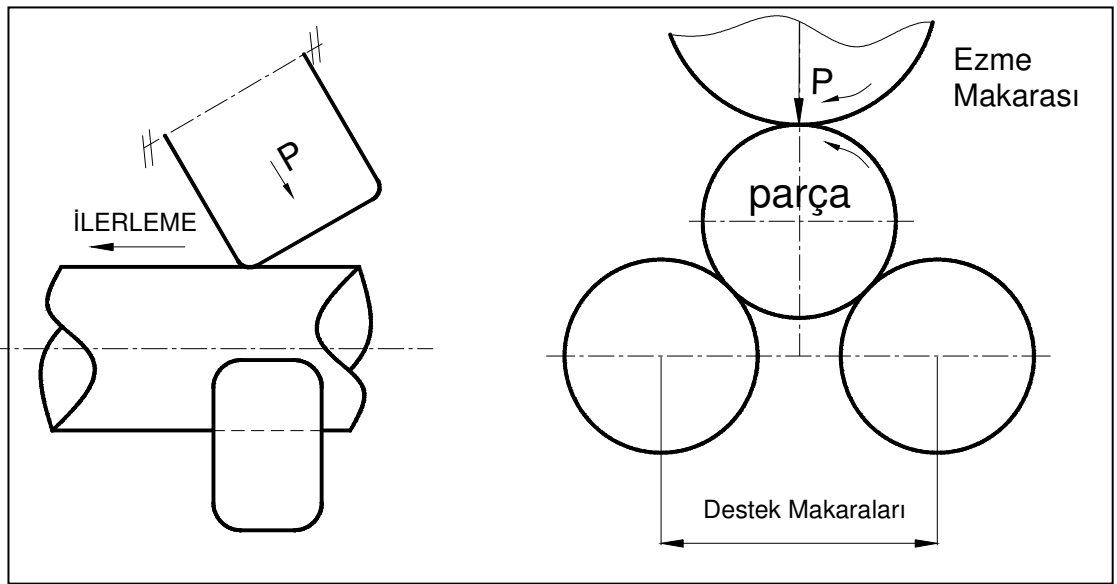
Şekil 4.9. Profil metreye göre bir yüzeyin kesiti

Haddeleme işlemi; malzemelerin ezilerek şekil alma özelliklerinden yararlanmak suretiyle (Şekil 4.9), ortalama çizgiye göre yüksek çıkıntıların, dönerek çalışan çelik veya bilyeli makarayla ezilmek suretiyle, yüzeydeki girinti bölgelerinin doldurulması, başka bir ifade ile yüzeydeki çıkıntıların ezilmesi esasına dayanmaktadır.

Sistem genel olarak, Şekil 4.10'da görülen iki adet destek makarası ile bir ezme makarasından oluşur. Kendi eksenini etrafında dönmekte olan parçaya sözü edilen bu makaralar veya bilyeli aparat sistemi yardımıyla sabit bir basınç verilir. Bu arada ezme ve destek makaraları, parça eksenini boyunca ilerleyip, yüzeyin tümünü ezerek şekillendirilmiş olurlar.

Haddeleme işlemi, tornalama, taşlama gibi tezgâhlarda işlenmiş malzeme yüzeylerine uygulanır. Uygulamada deforme edilecek yüzey kalınlığı (talaş payı) malzemenin karakteristik özelliklerine göre değişmekle beraber;

- Tornalanmış yüzeylerde max, 15-20 mikron
- Taşlanmış yüzeylerde max, 6-8 mikron olarak öngörülmelidir [48].

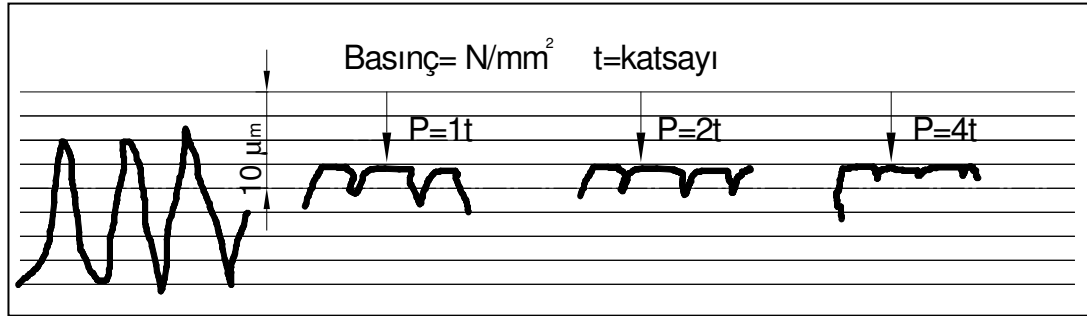


Şekil 4.10. Ezme ve destek makaraları ve makaraların parça boyunca ilerlemesi [48]

Haddeleme (galetaj) işlemi yapan, ezme makarası takım çeliğinden yapılmış olup, çalışma esnasında ezme makarasına Şekil 4.11'de görüldüğü gibi $\gamma/2=1^\circ30'$ lık bir eğim verilir. Yüzeyin ezilen bölgesini, Şekil 4.11.a ve Şekil 4.11.b'de görüldüğü gibi, üçe ayırmak mümkündür. Bunlar;

- 1-Giriş bölgesi
- 2-Plastisite bölgesi
- 3-Polisaj bölgesidir

Haddeleme işleminde, elde edilen yüzey pürüzlülük değeri, yüzeye uygulanan basınçla ters orantılıdır. Basınç artışıyla elde edilen yüzey pürüzlülük değeri azalır. Malzemenin yüzey kalitesi artar. Şekil 4.13'de çeşitli basınçlarda maruz bırakılan malzemeden elde edilen yüzey değerlerini ifade eden grafik verilmiştir [48].



Şekil 4.13. Basınç artışıyla elde edilen farklı pürüzlülük değerleri

Yüzeyin ezilmesinde, kullanılan takım gerecinin işleme kalitesindeki rolü, göz ardı edilmeyecek kadar önemlidir. Şekil değiştirme özelliği yüksek olan malzemelerde haddeleme işlemi mükemmel sonuçlar vermektedir. Kopma dayanımı 150 daN/mm² ve sertliği 45 HRC' ye kadar gereçlere, galetaj işlemi uygulanabilmektedir.

4.2.3. Haddelemenin işleme tarzı

Haddeleme uygulanacak parçalar, genelde iki punta arasına alınarak veya diğer bağlama aparatları yardımıyla bağlanarak işlenirler (Şekil 4.14). Ezme ve destek makaraları, monte edildikleri muylu sistem üzerinde avare dönerler. Bu makaraların oluşturduğu basınç ve ilerleme kuvvetleri, hidrolik veya mekanik sistemler yardımıyla gerçekleştirilir.

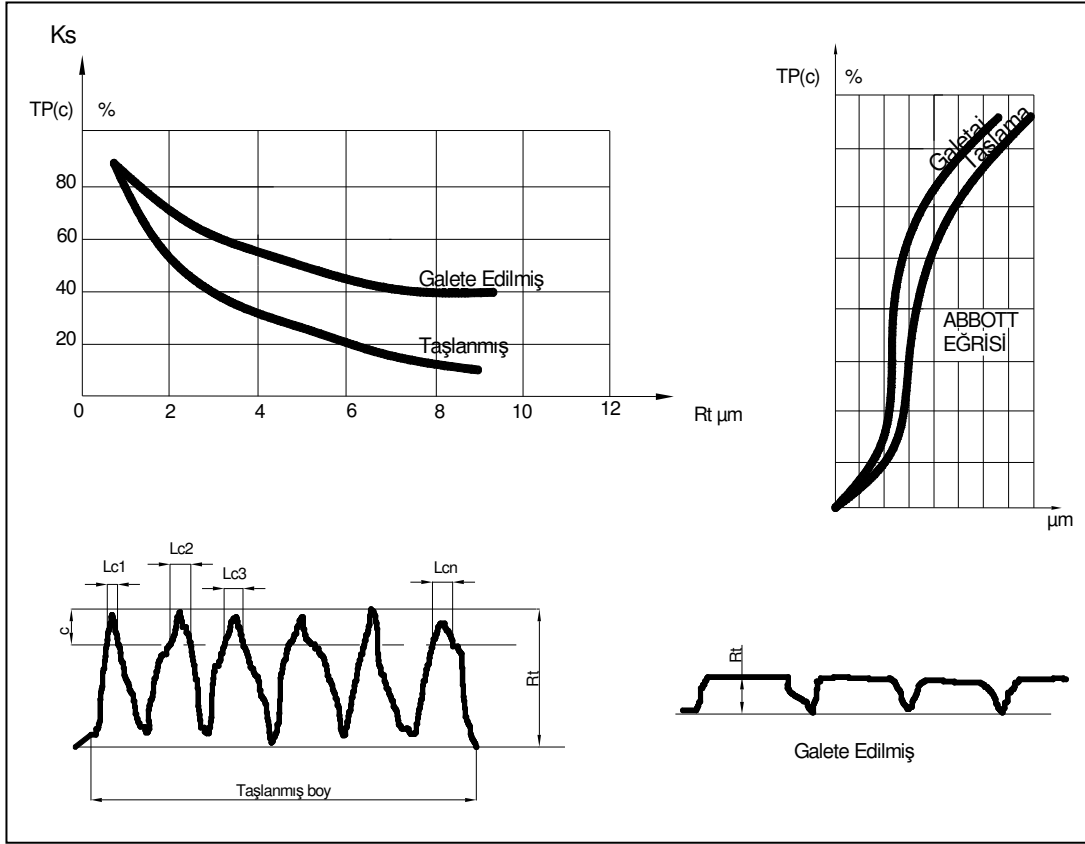
Parçaların daha seri şekilde haddelenebilmesi için, puntasız haddeleme işlemi uygulanabilir. Şekil 4.15'de görüldüğü gibi bu çalışma tarzı puntasız silindirik taşlama işleminin bir benzeridir.

4.2.4.Yüzey kalitesi

Şekil 4.16'da görülen "Abbott" diyagramı, c derinliğinde ve l uzunluğundaki bir yüzeyin, taşlanmış ve galete edilmiş haldeki R_t pürüzlülük değerini vermektedir. Her iki işlemde de, TP destek yüzdesinin artan değerlerinde yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. TP destek yüzdesinin matematiksel ifadesi [48];

$$TP = 1 / L (Lc_1 + Lc_2 + \dots + Lc_n) \times 100 \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

Abbott diyagramından da anlaşılacağı gibi, taşlama işlemine göre haddeleme ile elde edilen yüzey kalitesi daha iyi olmaktadır. Diğer yandan bir ile üç mikron arasında haddeleme edilmiş yüzeyde meydana gelen sürtünme kuvveti düşük ve dolayısıyla sürtünme katsayısı da küçüktür. Değişik yüzeyler üzerinde yapılan sistematik ve pratik deneyler sonucu, haddeleme işlemi sonucunda ortaya çıkan problemler konusunda, sürtünme olayı ikinci sırayı işgal etmektedir.



Şekil 4.16. Yüzey kalitesinin, "Abott" eğrileri ile ifade edilmesi

Haddeleme işlemi ile, taşlama işlemi arasındaki farkı daha iyi anlayabilmek için, haddeleme edilmiş ve taşlanmış iki ayrı otomobil direksiyon mili 130000 km sonunda teste tabi tutulmuştur. Buna göre;

Mil: 55 HRC sertliğinde su verilmiş ve taşlanmış ve 130000 km sonunda milde meydana gelen aşınma boşluğu 90 mikron, mil yatağında oluşan boşluk 10 mikron olup, toplamda 100 mikron aşınma boşluğu oluşmuştur. *Mil:* Sertliği 55 HRC olan ve haddelenmiş diğer bir direksiyon mili 130000 km sonunda teste tabi tutulduğunda, milde 3,5 mikron, yatakta 10 mikron, toplam 13,5 mikron'luk bir boşluğa sahip olduğu gözlenmiştir. Toplam boşluk miktarları mukayese edildiğinde, haddeleme edilmiş milin taşlanmış mile göre, aşınma dayanımının çok yüksek olduğu ifade edilebilir [48].

5. MATERYAL VE METOT

5.1. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Malzeme

Bu tez çalışmasında şu işlem basamakları takip edilmiş ve yapılmıştır:

- Sürtünme karıştırma kaynağı yapımına elverişli malzeme seçimi ve tedarik etme işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Sürtünme karıştırma kaynağını gerçekleştirecek karıştırıcı uçlar tasarlanmış ve tedarik edilerek imal edilmiştir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak malzemenin, kaynak sırasında sabitlenmesini sağlayacak kaynak kalıbı tasarlanmış ve imal edilmiştir.
- Sürtünme karıştırma kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış malzemelerin kaynak bölgesine haddeleme işlemi gerçekleştirebilecek aparatın tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan malzemelerin kaynak bölgesine haddeleme işlemi uygulanmıştır.
- Haddeleme öncesi ve haddeleme sonrasında, kaynak bölgesinde yüzey sertlik ve yüzey pürüzlülük ölçümleri alınmıştır.
- Elde edilen ölçüm verileri değerlendirilip, sonuçlar yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliğine göre değerlendirilmiştir.

Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmak üzere Al7075 T6 malzemesi seçilmiştir. Bu malzemenin genel özellikleri Çizelge 5.1-2’de verilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı için bu malzemenin seçilmesi sebebi, yüksek sertlik ve çekme mukavemetinin çok iyi olmasıdır. Birleşme kabiliyetinin çok iyi ve dayanım özelliğinin de iyi olması sürtünme karıştırma kaynağı yapımı için bu malzeme tipi için önemli bir yere sahiptir. Korozyona karşı oldukça duyarlı olması malzemenin olumsuz yönü olarak karşımıza çıkmaktadır.

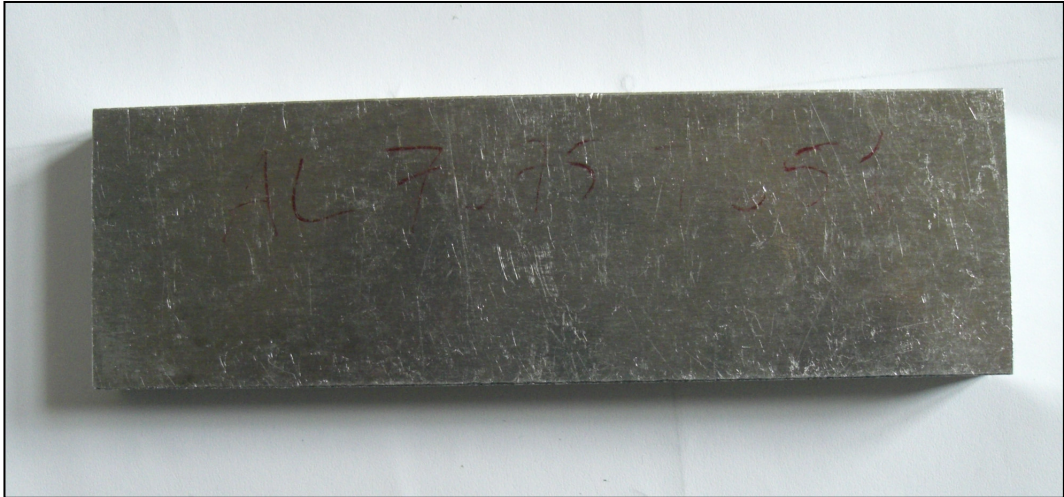
Dolayısıyla endüstride de mekanik özelliklerinden dolayı ve birçok yerde kullanılabilen bir malzeme olduğunda, Al7075 T6 malzemesi ile çalışması tercih sebebidir. Bu malzeme genellikle uzay, uçak ve savunma sanayisinde kullanılmaktadır.

Çizelge 5.1. Al7075 Kalite alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (%) [49]

<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Mg</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Cr</i>	<i>Ti</i>	<i>Diğer</i>	<i>Al</i>
1,20	5,10	2,10	0,40	0,30	0,50	0,18	0,20	0,15	Kalan
2,00	6,10	2,90	max	max	max	0,28	max		

Çizelge 5.2. Al7075 Kalite alüminyum alaşımının mekanik özellikleri [49]

<i>AL 7075 T6</i>	<i>Kopma Mukavemeti MPa</i>	<i>Akma Mukavemeti MPa</i>	<i>Süneklik %</i>	<i>Kayma Mukavemeti MPa</i>
	572	503	11	331



Resim 5.1. Al7075 T6 Malzemenin kaynak işlemine hazır hali

Al7075 T6 Malzemesi 1000 mm boyunda, eni 250 mm, kalınlığı ise 10 mm olarak temin edilmiştir (Resim 5.1). Malzeme kesme payı ile birlikte hesap edilmiştir. Kesim sonrası toplam 38 parça elde edilmiş ve sürtünme karıştırma kaynak tekniği kullanılmak suretiyle 38 parçanın birbiriyle kaynatılması ve yapılacak deneyde kullanılması hedeflenmiştir.

5.2. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Uç ve Özellikleri

Sürtünme karıştırma kaynağını yapacak olan ucun tayini, yapılacak olan sürtünme karıştırma kaynağının güçlüğüne göre seçilmiştir. Kaynak işlemi için toplam altı adet uç imal edilmiştir. Bu uçların bir adedi 115CrV3 çeliği, iki adedi SAE 1050 çeliği ve üç adedi ise X210Cr12 çeliği malzemeleri kullanılarak imal edilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynak yapımına uygun şekilde karıştırıcı uçlar tasarlanmıştır. Tasarlanan karıştırıcı uçlara ait detay resimleri EK-2’de verilmiştir.

5.2.1. SAE 1050 çeliğinin mekanik özellikleri

DIN normunda “C 45” olarak da bilinen, gereç numarası 1,0503 ve SAE AISI normunda 1050 olarak ifade edilen bu malzeme, piston pimi, zincir pimleri, dişli milleri; sonsuz dişliler, tırtıllı merdane, kam milleri, lift milleri, dişli parçaları, otomobil ve motor aksamı gibi bir çok yerde kullanılmaktadır (Çizelge 5.3-Çizelge 5.5).

Çizelge 5.3. SAE 1050 çeliğinin kimyasal bileşimi (%) [50]

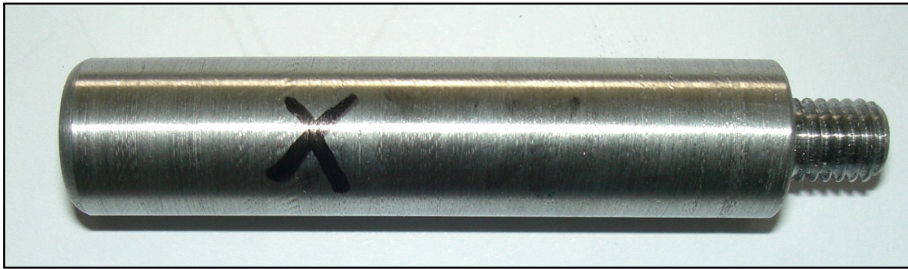
<i>Kimyasal Analizi (SAE/AISI)</i>				
C	Mn	Si	P	S
0,45-0,54	0,60-0,90	0,10-0,30	0,040- en çok	0,050 - en çok

Çizelge 5.4. SAE 1050 çeliğinin ısıtılma özellikleri (°C) [50]

<i>Isıl İşlem Analizi (SAE/AISI)</i>				
Şekil Verme	Yumuşatma	Normalize	Sertleştirme	Meneviş
1100-850	650-700	840-870	820 Su – 860 Yağ	530-670

Çizelge 5.5. SAE 1050 çeliğinin sertlik ve çekme dayanım özellikleri [50]

<i>Sertlik ve ÇekmeDayanım Değerleri</i>	
Yumuşak tavlama hali (max)	220 HB
Normalize edilme hali	70 kg / mm ² (204 HB)
İslah edilmiş hali	75-85 kg / mm ² (220-260 HB)
Endiksiyon yüzey sertliği	55 HRc.



Resim 5.2. SAE 1050 çeliğinden yapılmış uç

Resim 5.2’de SAE 1050 imalat çeliğinden yapılmış olan ucun, sürtünme karıştırma kaynak işlemi için imalat aşamasında iken çekme dayanımı ve sertliğinin istenilen değerlerde olması için sertleştirme ısı işlemine (su verme işlemine) tabi tutulmuştur. Uygulanan ısı işlem sonrası ucun gövde sertliği 47 HRc’ye yükseltilmiştir. Isıl işlem ucun tamamına yapılmıştır. Karıştırıcı ucun tezgâh pensine takılacak kısmı Ø 16 olarak imal edilmiştir.

5.2.2. 115 Cr V3 takım çeliğinin mekanik özellikleri

DIN 17006 ‘ya göre “115 Cr V3” ve malzeme numarası 2210 olarak bilinen ve ”civa çeliği” olarak da adlandırılan malzeme, helezon ve diş matkapları, kılavuzlar, raybalar, havşalar, punta matkapları, raspalar, delik zımbaları, metal testereler, çekme zımbası ve her türlü zımba, tırnak vb. aletlerin yapımına elverişli, su ile sertleştirilebilen bir takım çeliğidir (Çizelge 5.6-Çizelge 5.7).

Çizelge 5.6. 115CrV3 takım çeliğinin kimyasal bileşimi (%) [50]

<i>Kimyasal Analizi (SAE/AISI)</i>			
C	Cr	V	Fe
1,15	0,70	0,10	Kalan

Çizelge 5.7. 115CrV3 takım çeliğinin mekanik özellikleri [50]

<i>Sertlik ve Dayanım Değerleri</i>	
<i>Dövme Tavlı :</i>	1050-800 °C
<i>Yumuşatma Tavlı :</i>	700-720 °C
<i>Tav Sertliği :</i>	Azami 280 HB
<i>Gerilim Giderici Tavlama:</i>	600 °C
<i>Sertleşme İçin Ön Isı:</i>	650 °C
<i>Sertleşme (Su Verme/Isıl İşlem):</i>	12 mm'ye kadar 780-800 °C yağda 12-20 mm'ye kadar 780-790 °C suda 20-40 mm'ye kadar 780-790 °C suda 40-60 mm'ye kadar 800-820 °C suda
<i>Meneviş :</i>	180-200 °C – 1 saat / 25 mm



Resim 5.3. 115CrV3 takım çeliğinden yapılmış uç

Resim 5.3'de 115CrV3 takım çeliğinden yapılmış olan ucun, sürtünme karıştırma kaynak işlemi için imalat aşamasında iken dayanım ve sertliğinin istenilen değerlerde olması için ısıtılma işlemi (su verme işlemine) tabi tutulmuş ve uygulanan ısıtılma işlem sonrası malzeme 57 HRC sertlik değerine getirilmiştir. Karıştırıcı ucun tezgâh pensine takılacak kısmı Ø 16 olarak imal edilmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağı işlemi için hazır hale getirilmiştir.

5.2.3. X210Cr12 takım çeliğinin mekanik özellikleri

DIN 17006'ya göre “X210Cr12”, malzeme numarası 2080 olarak da bilinen bu malzeme çok yüksek sürtünme mukavemetini ve kesme dayanıklılığına haiz yağ ve sıcak banyo ile sertleştirilen, ölçü ve şekil değişikliği göstermeyen takım çeliğidir.

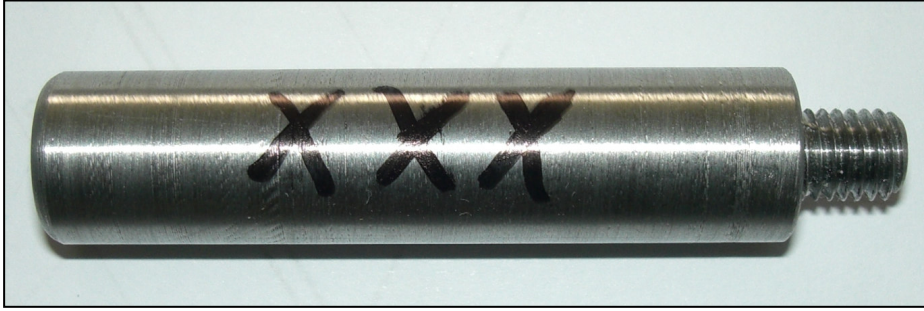
Yüksek mukavemetli kesme ve baskı takımları, zımbalar, makas bıçakları, çivi imalinde lokma ve baş zımbaları, çelik yünü için kesici aletler, yüksek zorlama gören ağaç frezeler, oyma tıgı, çubuk ve boru çekme tezgahları için çekme matris ve zımbalar, derin sıvama tazyik ve akıcı pres takımları, ölçü aletleri ve diş açma için uygundur (Çizelge 5.8-Çizelge 5.9).

Çizelge 5.8. X210Cr12 takım çeliğinin kimyasal bileşimi (%) [50]

<i>Kimyasal Analizi (SAE/AISI) (%)</i>			
C	Cr	Si	Mn
2,0	12,0	0,2	0,3

Çizelge 5.9. X210Cr12 takım çeliğinin sertlik ve çekme dayanım özellikleri [50]

<i>Sertlik ve Dayanım Değerleri</i>	
<i>Dövme Tavlı :</i>	1050-850 °C
<i>Yumuşatma Tavlı :</i>	800-820 °C
<i>Tav Sertliği :</i>	Azami 250 HB
<i>Gerilim Giderici Tavlama:</i>	650 °C
<i>Sertleşme İçin Ön Isı:</i>	850 °C
<i>Sertleşme (Su Verme/Isıl İşlem):</i>	930-970 Yağda, Havada (Ø 30 kadar) Sıcak Banyoda 450-500°C veya 200-230°C
<i>Meneviş (Meneviş derecesi, müddetli 1 saat hava soğutmalı,):</i>	150-300 °C 1 saat / 25 mm * Sertleştirme 960 °C Yağda.



Resim 5.4. X210Cr12 takım çeliğinden yapılmış uç

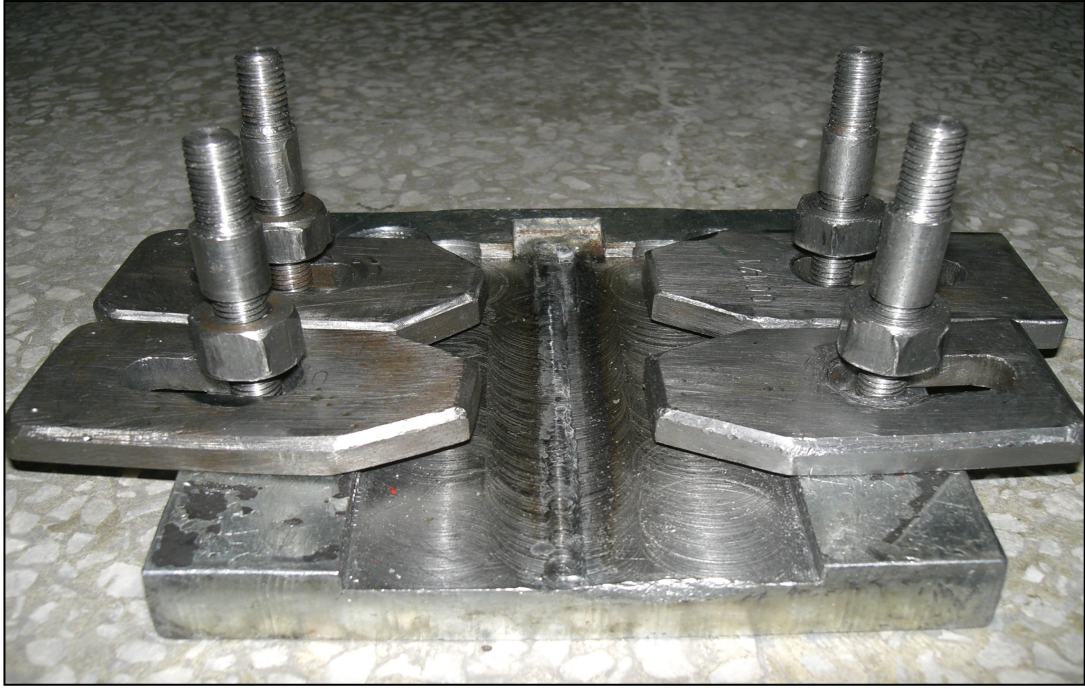
X210Cr12 takım çeliğinden tedarik edilen karıştırıcı uçlar, tasarım sürecinde Ø 14,4'lük olarak yapılmıştır. Verilen +0,4 mm taşlama payı, ısıtılma işlem sonrasında malzeme üzerinde gerçekleşecek olan eğilmenin en az seviyeye indirilmesi için bırakılmıştır. Isıl işlem sonrası karıştırıcı uçlar, taşlama tezgâhında taşlanarak Ø14 net ölçüsüne getirilmiştir. X210Cr12 takım çeliğinin tercih edilmesinin sebebi ise ısıtılma işlemi ile sertleştirildiği zaman HSS takım çeliğine yakın bir sertliğe ulaşabilmesidir. X210Cr12 takım çeliğinin mekanik özellikleri, HSS takım çeliğinin mekanik özelliğine yakın benzerlikler taşımaktadır. Sürtünme karıştırma kaynak işleminde kullanılacak bu karıştırıcı uçlar için yeterli olan malzeme sertliği 50-65 HRc aralığında olduğundan, ısıtılma işlem değeri 60 HRc olacak şekilde seçilerek ısıtılma işlemi gerçekleştirilmiştir (Resim 5.4).

X210Cr12 takım çeliğinde yapılan karıştırıcı uçlar fazla sertlik almaları durumunda, sürtünme karıştırma kaynağı sırasında kırılabilirlik oranı artabilir. Bu yüzden malzemenin ısıtılma işlem sertliği 60 HRc olarak gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür. Yapılmış olan tüm karıştırıcı uçlar, kendi mekanik özelliklerine göre ısıtılma işlemi tabi tutularak, sürtünme karıştırma kaynağı yapımına hazır hale getirilmiştir.

5.3. Sürtünme Karıştırma Kaynak Kalıbı

Sürtünme karıştırma kaynak kalıbı, kaynak yapılacak numunelere göre tasarlanmış olup, sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak numunenin, en kolay ve hızlı bir şekilde sabitlenebilmesi için SAE 1050 çeliğinden yapıldı. Sürtünme karıştırma kaynak kalıbı, numuneye göre en, boy ve derinlik ölçüleri, kritik ölçü olarak işlenmiştir.

Diğer yüzeyleri ise gönye tutacak şekilde kaba olarak işlenmiştir. Burada sürtünme karıştırma kaynak kalıbının amacını gerçekleştirebilmesi için numuneyi düzgün ve sabit bir şekilde tutması gerekmektedir. Sürtünme karıştırma kaynak kalıbı, malzemenin x, y ve z eksenleri yönündeki hareketlerini kısıtlayan bir aparat olarak da düşünülebilir. İmal edilen kaynak kalıbı, Resim 5.5’de gösterilmiştir.



Resim 5.5. Sürtünme karıştırma kaynak kalıbı

Kaynak kalıbının tezgâha tutturulması, olabildiğince düzgün ve sağlam yapılmalıdır. Sürtünme karıştırma kaynağı sırasında kalıbının hareket etmemesi gerekir. Aksi taktirde, sürtünme karıştırma kaynağı istenilen şekilde gerçekleştirilemez. Karıştırıcı ucun, sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak malzemeyi kaynak bitimine doğru terk etmesi gerekeceğinden karıştırıcı ucun rahat çıkmasını sağlayacak, çıkış kanalı tasarlanmış ve imal aşamasında kanal açılmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılacak malzemenin kalıba düzgün bir şekilde oturtturulabilmesi için kalıbın iç köşelerine köşe delikleri (lambalar) açılmıştır. Birleştirilecek malzemenin, sürtünme karıştırma kaynağı sırasında yukarı doğru kalkmasını engellemek için kaynak kalıbının üst kısmına bağlama pabuç tertibatı yapılmıştır.

5.4. Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Tezgâh Tipi

Sürtünme karıştırma kaynak işlemi için 1995 yılı yapımı, FA 3 BTOS marka universal freze tezgâhı kullanılmıştır. Üniuersal freze tezgâhın özellikleri Çizelge 5.10'de verilmiştir.

Çizelge 5.10. Üniuersal freze tezgâhının özellikleri [51]

<i>Tabla ölçüleri</i>	Tabla Çalışma Ölçüleri	mm	300 x 1375
	T Kanal Sayısı ve Genişliği	mm	3 x 63
	Tablaya Bağlanabilecek Maksimum Parça Ağırlığı	Kg	250
<i>Tabla hareketleri</i>		<i>MOTORİZE ELLE</i>	
	Boyuna Hareket (X eksen)	mm	890 900
	Enine Hareket (Y eksen)	mm	225 235
	Dikey Hareket (Z eksen)	mm	350 360
	Tablaya Verilebilecek Aç	45°	
<i>İş mili</i>	İş Mili Koniği Standardı	ISO	40
	İş Mili Devir Aralığı (18 Kademe)	dev / dak	45 - 2240
	İş Mili eksen ile Tabla Arası Mesafe, min-max	mm	65 - 425
<i>İlerleme</i>	Boyuna ve Enine (13 Kademe)	mm / dak	14 - 900
	Dikey (13 Kademe)	mm / dak	4 -250
<i>Hızlı ilerleme</i>	Boyuna ve Enine (X,Y Ekseninde)	m / dak	2,8
	Dikey (Z Ekseninde)	m / dak	0,8
	İlerleme Motor Gücü	KW	1,1
	Ana Motor Gücü	KW	5,5
<i>Genel ölçüler</i>	Tezgâhın Kapladığı Alan	mm	2185 x 1815
	Tezgâhın Ağırlığı, (Standart Teçhizat İle)	Kg	1950

Tezgâhın standart donanımı içinde elektrik, uzun freze malafası, malafa çekirme çubuğu, soğutma sıvısı, aydınlatma, bakım ve onarım takımı, kullanma ve bakım kitabı ve hassasiyet test protokolü bulunmaktadır. Ayrıca özel donanım olarak dik freze başlığı, planya başlığı, uzun malafa takımı, kısa malafa takımı, pens tutucu ve pens takımı ve üniuersal divizör bulunur [58].

5.5. Sürtünme Karıştırma Kaynağı İşleminin Yapılması

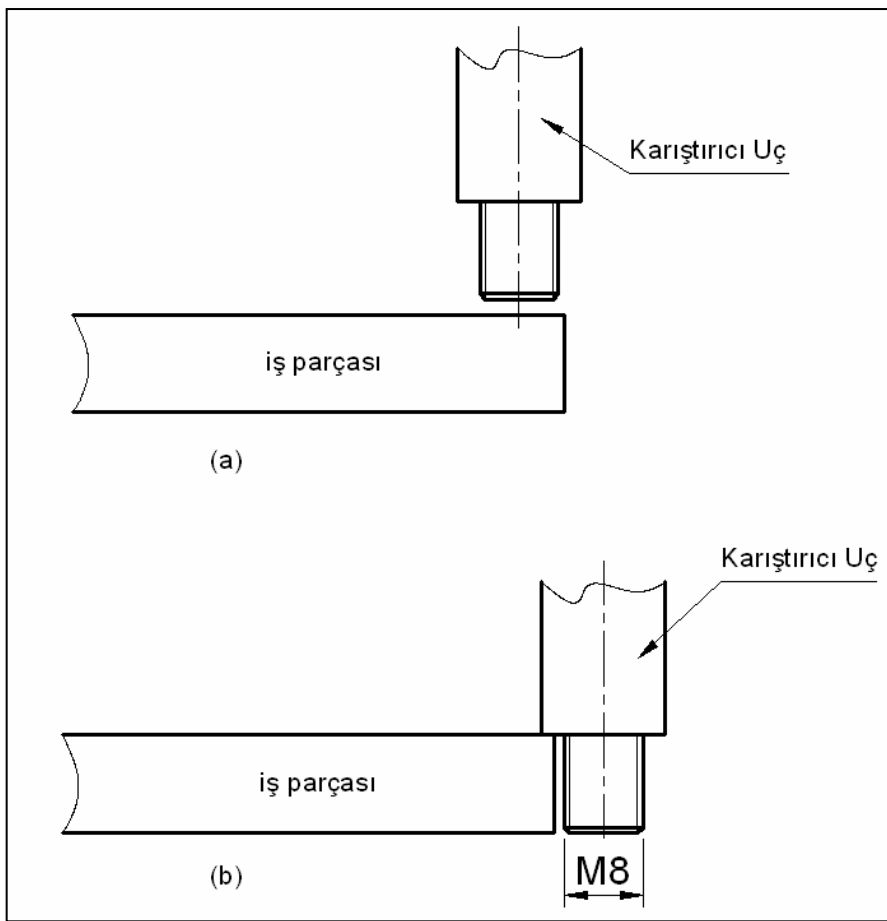
Sürtünme karıştırma kaynak kalıbı, universal freze tezgâhı üzerine gönyelenmek suretiyle bağlama pabuçları yardımıyla düzgün bir şekilde bağlanmıştır. Birleştirilecek olan malzeme, sürtünme karıştırma kaynak kalıbı üzerinde bulunan pabuçlar kullanılarak tutturulmuştur. Burada önemli olan birleştirilecek numunelerin, kalıba bağlama işleminde birbirlerini alında ve yatayda sıfırlamalarıdır.



Resim 5.6. Sürtünme kaynağı işleminin başlangıç aşaması

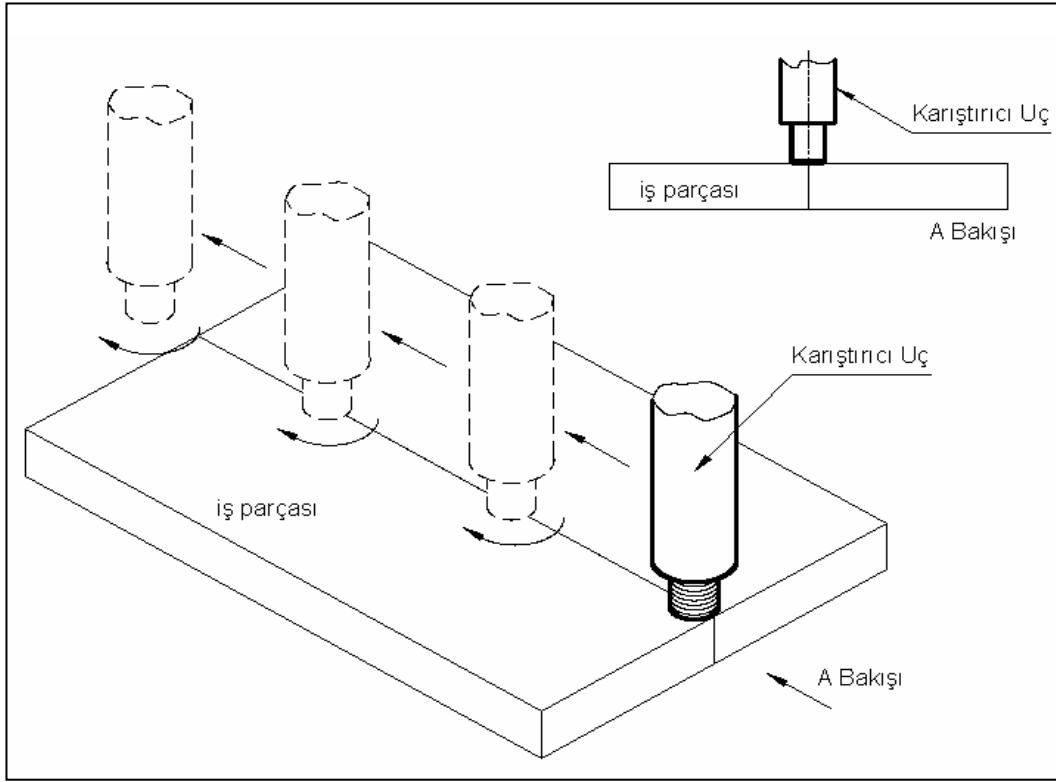
Sürtünme karıştırma kaynak kalıbı ve kaynak yapılacak numuneyi bağladıktan sonra tezgâha Ø14 ve Ø16'lık uçları takmak için Ø 14 ve Ø 16'lık pensler temin edilmiştir. Ø 14'lük pens yağ çeliğinden yapılan uç için, Ø 16'lık pens ise imalat çeliği ve civa çeliğinden yapılan uçlar için kullanılmıştır. Tezgâhın iş miline yağ çeliğinden yapılan uç takılmıştır. X210Cr12 takım çeliğinden yapılan uçlar ile sürtünme karıştırma kaynağına başlanılmıştır. Tezgâh ile ilgili ayarlama işlemine geçmeden önce, kaynak kalıbı ve kaynak kalıbına yerleştirilen malzemenin tekrar sabitliği kontrol edilmiştir. Kaynak işlemini gerçekleştirecek karıştırıcı uç, birleştirilecek malzeme üstüne doğru

getirilerek yaklaştırılmıştır (Şekil 5.17.a). İki numunenin birleşme çizgisi ve karıştırıcı ucun bu çizgi üzerinde hizası kontrol edildi (Şekil 5.18). Elle sıfırlama ayarı yapmak için tezgâh devri 2000 dev/dak alınarak malzeme üzerine doğru “z” ekseninde yaklaştırılmıştır. Hem karıştırıcı uç oynatılarak hem de “z” ekseninde malzeme üstüne karıştırıcı ucun teması gerçekleşinceye kadar uç aşağı doğru yaklaştırılmıştır (Şekil 5.17.b).



Şekil 5.17. Alüminyum alaşımlı malzemeye karıştırıcı ucun yanaşması

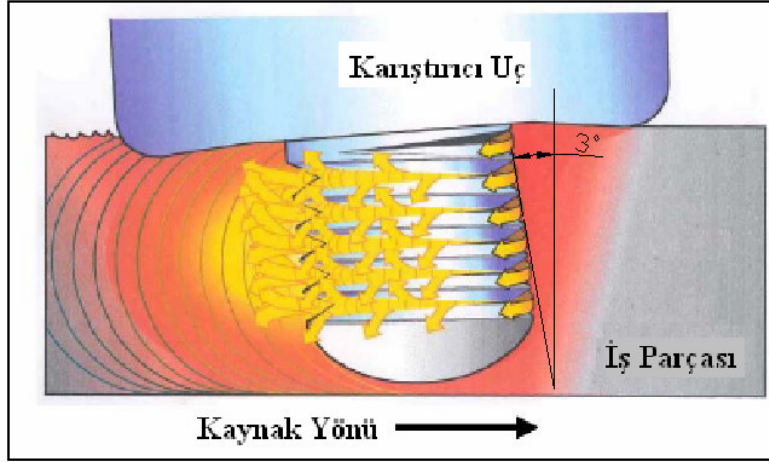
Karıştırıcı ucun malzeme üzerindeki baskısı gözlenebilir hale gelinceye kadar malzeme yüzeyine karıştırıcı uç yaklaştırılmıştır.



Şekil 5.18. Karıştırıcı ucun, alüminyum malzemeye kaynak öncesi hizalanması

Karıştırıcı ucun hizalanması ve numuneye teması gerçekleştirildikten sonra sürtünme karıştırma kaynağı için tezgâh devri 710 dev/dak ve ilerleme 28 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Tezgâh otomatik olarak çalıştırılmış ve kaynak işlemine başlanılmıştır (Resim 5.6-Resim5.9).

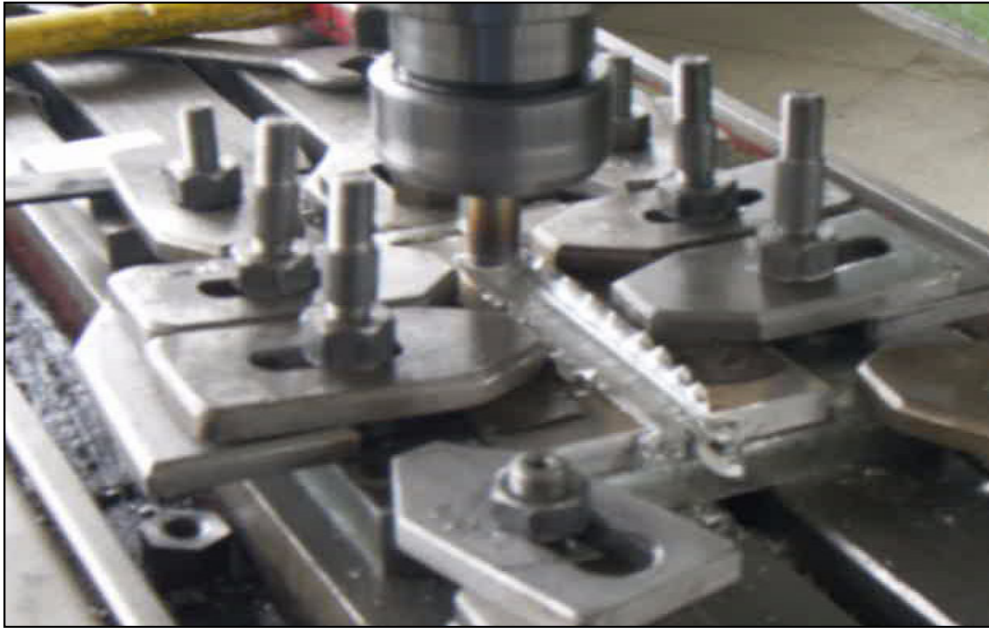
İlerlemenin 28 mm/dak gibi düşük bir ayar ile başlatılmasındaki amaç, kaynak yapacak ucun, iki alüminyum numune arasına girmeye çalışırken ani dalışını engellemek ve karıştırıcı ucun ısınmasını sağlamaktır. Kaynak işlemi sırasında malzeme yüzeyinde karıştırıcı uçtan dolayı meydana gelen ergime, gözle görülebilir hale geldiği andan itibaren ilerleme miktarı 40 mm/dak'ya arttırılmıştır. Tezgâh durdurulmadan ilerleme miktarı arttırılmıştır. Yapılan bir kaç uygulama ile devir sayısı ve ilerleme miktarı belirlenmiştir. Sürtünme karıştırma kaynağının yapım aşamasında karıştırıcı uç için belirlenen değerler tespit edilmiştir. Uygulanan devir sayısı ile ilerleme miktarı hemen hemen birleştirilen tüm numunelerde aynı değerler kullanılmıştır.



Şekil 5.19. Karıştırıcı ucun hareket yönü

Sürtünme karıştırma kaynak işlemi sırasında, kaynağı gerçekleştiren ucun malzemeye giriş yapan kısmında M8 x 10 mm boyunda diş bulunduğundan, burada aşağı ve yukarı yönlü hareket meydana gelmiştir. Bu hareketlerin önlenmesi için uç üzerinde gerekli tasarım değişikliği yapılmıştır. Karıştırıcı ucun aşağı doğru ilerleme hareketinde karşı ise, operatör tarafından “z” ekseninde tezgâh tablasını el yardımıyla aşağı yönlü hareket ettirilerek giderilmeye çalışılmıştır. Böylece karıştırıcı ucun malzemeye dalması önlenmiştir (Şekil 5.19). Aşırı zorlamadan dolayı karıştırıcı uçta oluşan deformasyon sonucu kırılmalar meydana gelmiştir (Resim 5.10). Birden çok parçayı kaynak yapan karıştırıcı uçlar için tezgâh ilerlemesi minimum seviyeye getirilerek kaynak işlemi yapılmıştır. Özellikle 115CrV3 takım çeliğinden yapılan karıştırıcı uçta, birkaç kaynak sonrasında numuneye girme aşamasında iken kırılmalar meydana gelmiştir. 115CrV3 takım çeliğinden yapılan uç, ikinci defa kaynak yapımı gerçekleştirirken, imalat çeliğinden (SAE 1050 asil) yapılan uç üçüncü defa kaynak yapımı gerçekleştirirken ve X210Cr12 takım çeliğinden yapılan uç ise dördüncü kaynak yapımı aşamasında iken kırılmıştır. Kullanılan bu üç farklı uç, birbirine göre farklı sertlikte ve mekanik yapıda olduğu için kaynak sırasında dayanımları da farklılaşmıştır. 115CrV3 takım çeliği en dayanıksız uç iken X210Cr12 takım çeliği en dayanıklı uç olarak ortaya çıkmıştır. 115CrV3 takım çeliğinin ısıtılma işlemi alma özelliği az olduğundan kırılma oranı da bu nispete artmıştır. SAE 1050 imalat çeliği ise 115CrV3 takım çeliğine göre nispeten biraz daha dayanıklılık göstermiştir. Bu nedenle, kaynak işlemi yapılırken X210Cr12

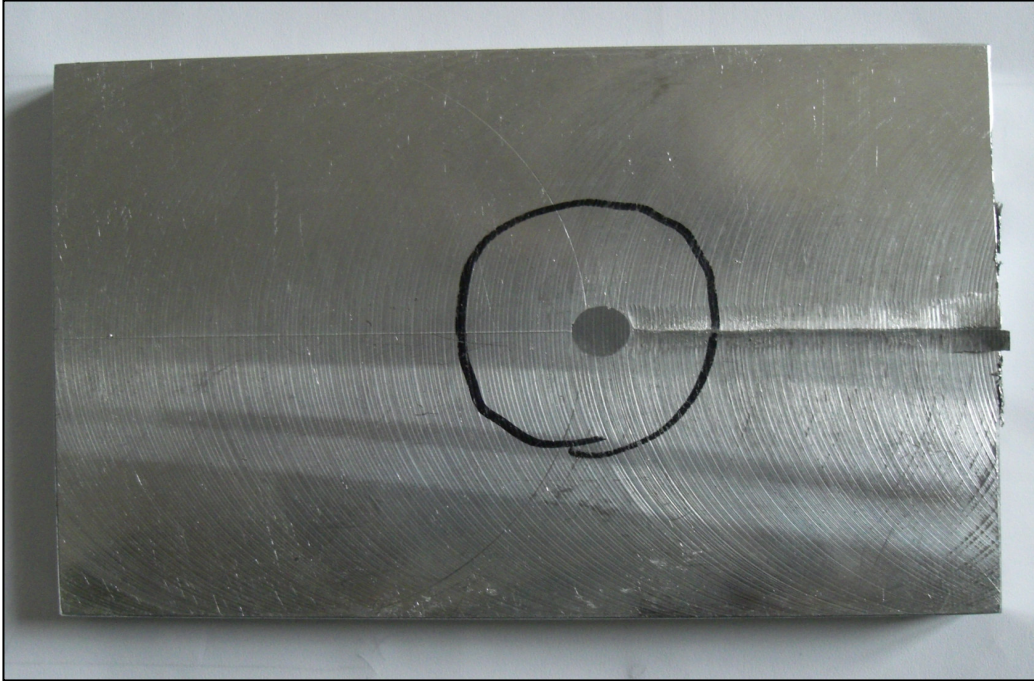
takım çeliğinden yapılan uç tercih edilmelidir; çünkü dayanımı ve sertlik alabilme özelliği diğer uçlara göre fazladır. Bu yüzden başlangıç ilerleme değeri kırılmalık gösteren uçlara göre 14-20 mm/dak olarak belirlenmiştir. Bazı karıştırıcı uçlar ise kaynak sırasında yorularak numune içerisinde kırılmıştır. Resim 5.9’da SAE 1050 çeliğinde yapılan ucun malzeme içinde kırılması gösterilmiştir.



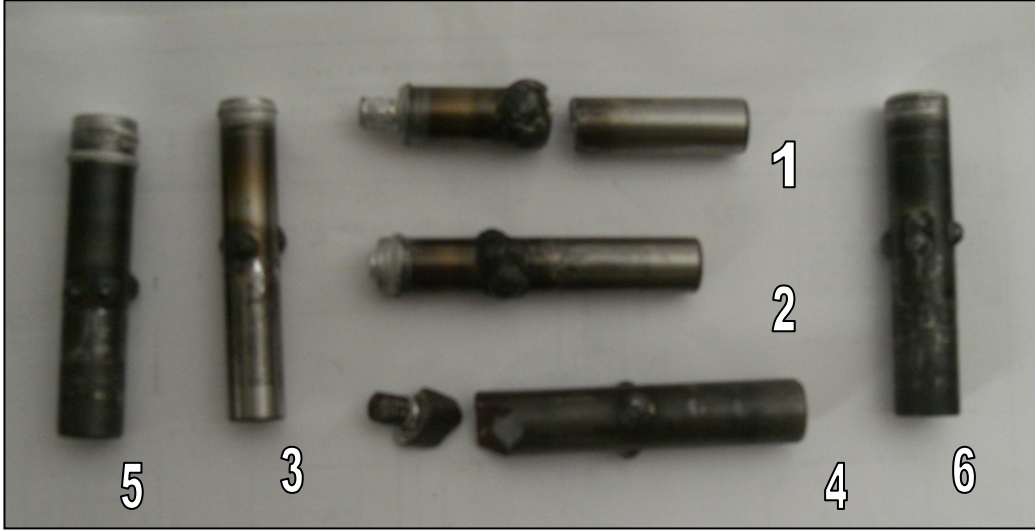
Resim 5.7. Sürtünme kaynağı işleminin bitiş aşaması



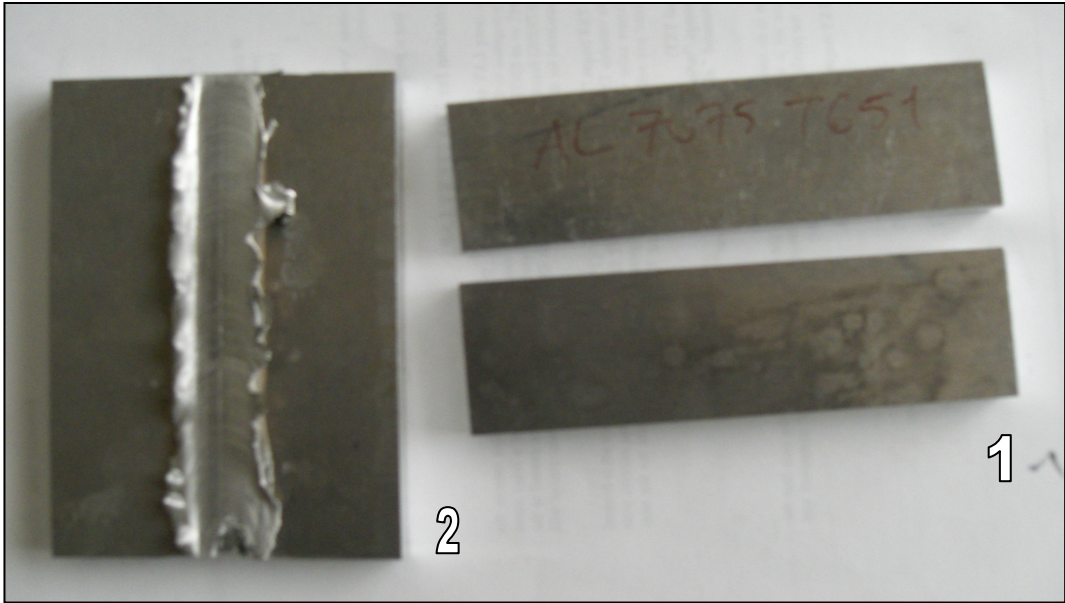
Resim 5.8. Sürtünme kaynağı yapılmış olan malzemenin kalıba ve tezgaha bağlanmış hali



Resim 5.9. Alüminyum malzeme içerisinde kırılan SAE 1050 çeliğin ucu



Resim 5.10. Kaynak işlemini gerçekleştiren deforme olmuş uçlar (1-2-3 nolu parçalar X210Cr12 takım çeliği, 4-6 nolu parçalar SAE 1050 çeliği, 5 nolu parça 115CrV3 takım çeliği)



Resim 5.11. Kaynak yapılmadan önce (1) ve kaynak yapıldıktan sonra malzeme (2)

Sürtünme karıştırma kaynağının yapım aşaması şöyledir:

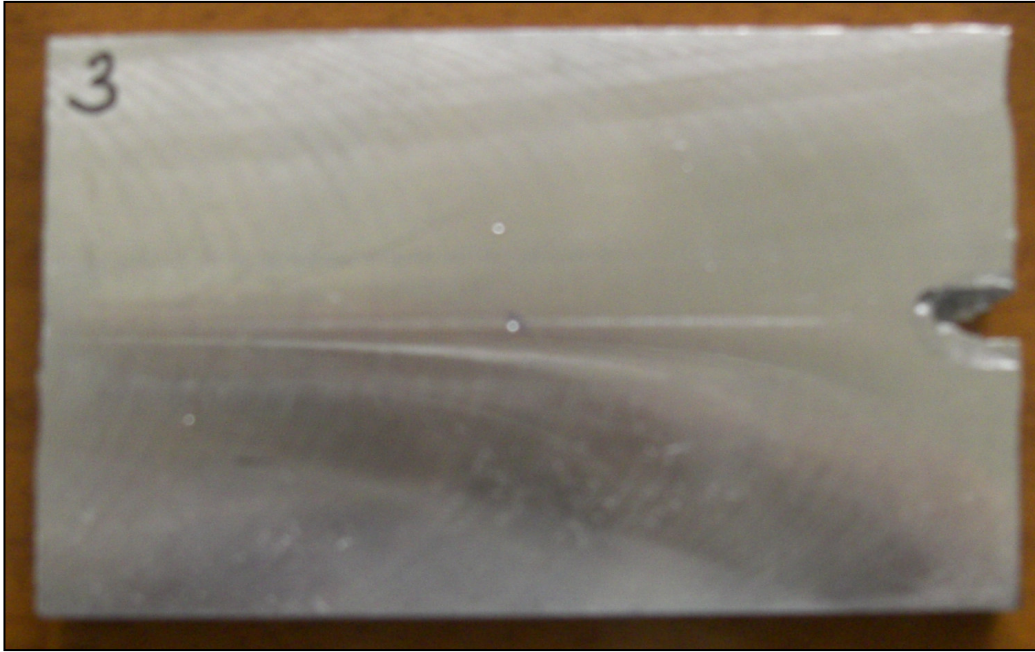
1. Malzemenin hazırlanması,
2. Kalıbın tezgâha bağlanması,
3. Kesilen parçaların ikili olarak kalıba bağlanması,
4. Karıştırıcı ucun tezgâh iş miline takılması,
5. Optimum devir ve ilerleme ayarlarının yapılması,
6. Uygun yavaşma ve sıfırlama işleminin yapılması,
7. Tezgâhta kaynak işleminin başlatılması ve sona erdirilmesi, (Resim 5.11)
8. Sürtünme karıştırma kaynağı gerçekleştirilen numunelerin çapaklarının temizlenerek haddeleme işlemine hazır hale getirilmesi.



Resim 5.12. Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan parçalar

Sürtünme karıştırma kaynağı işleminin sonunda karıştırıcı ucun iki numune arasına dalması sonucunda, numuneler üzerinde meydana getirdiği çapaklar temizlendi. Kaynak sonrası, malzeme üzerinde oluşan bu çapakların temizlenmesi için universal

freze tezgâhında, iş mili 1000 dev/dak, tezgâh ilerlemesi 40 mm/dak ve Ø50'lik tarama çakısı kullanılarak, malzeme üzerinde kaynak derinliğine göre kaba talaş kaldırıldı. Aynı zamanda sürtünme karıştırma kaynağı gerçekleştiren karıştırıcı ucun birleştirilecek numunenin kaynak girişi ve çıkışında numunenin alın taraflarında meydana getirdiği çapaklarda taşlama tezgâhında temizlendi. Malzemenin kaynak kalıbına oturduğu diğer kısmı yani alt tarafı ise daha sonra tezgâh üzerinde yapılacak olan haddeleme işlemini kolaylaştırmak için 0,5mm ile 1mm arasında talaş kaldırılarak düzeltme işlemi gerçekleştirildi. Resim 5.12'de sürtünme karıştırma kaynağı tamamlanmış numune parçalar gösterilmiştir.



Resim 5.13. Haddeleme aşamasına hazır kaynaklı parça

Haddeleme işlemini gerçekleştirilmeden önce, sürtünme karıştırma kaynağı yapılan on dokuz adet numune üzerinde kaba talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Resim 5.13). Haddeleme aparatının uç kısmında bulunan bilyenin, bozuk yüzeyde istenilen görevi yerine getiremeyeceğinden dolayı malzeme üzerinde düzeltmeye gidilmiştir. Daha sonra kaynak yapılan on dokuz adet parçanın on altı adedinde, farklı referans noktaları alınarak hem kaynak bölgesinden hem de kaynak bölgesi ile

ana malzemeye yakın sınır bölgeden 4'er ölçüm ortalaması alınarak yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve yüzey sertliği (Hv) ölçümleri yapılmıştır (Çizelge 5.14).

Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan 10-11-12 nolu numune parçalara ise, ısıtma işlemi uygulanmıştır. Isıtma işlemi yapıldıktan sonra yine bu numuneler içinde farklı referans noktaları alınarak hem kaynak bölgesinden hem de kaynak bölgesi ile ana malzemeye yakın sınır bölgeden yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve yüzey sertliği (Hv) ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra bu numuneler iki eşit parçaya bölünerek, 10,10-1,11,11-1, 12 ve 12-1 nolu numuneli parçalar olarak numaralandırılmıştır. Haddemeleme işlemi için bütün parçalar hazır hale getirilmiştir. Çizelge 5.11'de sürtünme karıştırma kaynağı işlemi bittikten sonra numunede yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.11. Haddemeleden önce alınan yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertlikleri

Parça	Ra ₁	Ra ₂	Brinell ₁	Hv ₁	Brinell ₂	Hv ₂
1	1,504 µm	1,780 µm	62,1	110 Hv	66,3	118 Hv
2	1,270 µm	1,829 µm	60,9	108 Hv	74,5	138 Hv
3	1,320 µm	1,736 µm	68	122 Hv	71,3	128 Hv
4	1,546 µm	1,768 µm	72,3	130 Hv	70,5	128 Hv
5	1,428 µm	1,510 µm	61,9	110 Hv	76,7	140 Hv
6	1,523 µm	1,903 µm	67,2	120 Hv	74	135 Hv
7	1,374 µm	1,735 µm	60,8	107 Hv	75,8	138 Hv
8	1,635 µm	1,647 µm	70,5	126 Hv	76,2	140 Hv
9	1,319 µm	1,418 µm	70,1	126 Hv	74,1	135 Hv
10	-	1,843 µm	67,7	120 Hv	65,3	116 Hv
10-1	-	1,843 µm	67,7	120 Hv	65,3	116 Hv
11	-	1,812 µm	65,8	118 Hv	65,2	116 Hv
11-1	-	1,812 µm	65,8	118 Hv	65,2	116 Hv
12	-	1,722 µm	56,4	100 Hv	74,9	138 Hv
12-1	-	1,722 µm	56,4	100 Hv	74,9	138 Hv
13	1,424 µm	1,742 µm	63,4	112 Hv	72,7	132 Hv
14	1,278 µm	1,778 µm	73,7	135 Hv	76,2	140 Hv
15	2,009 µm	2,450 µm	60,8	108 Hv	77,3	142 Hv
16	1,484 µm	1,711 µm	56,1	100 Hv	73,8	135 Hv
17	1,235 µm	1,735 µm	71	128 Hv	73,3	132 Hv
18	1,763 µm	1,755 µm	70,1	126 Hv	72,2	130 Hv
19	1,944 µm	1,901 µm	60	107 Hv	72,2	130 Hv

Parça : Deney numunesi,

Ra_1 : Haddeleme öncesi kaynak bölgesi ile ana metal arasındaki sınır bölgeden alınan yüzey pürüzlülüğü, (μm)

Ra_2 : Haddeleme öncesi kaynak bölgesinden alınan yüzey pürüzlülüğü,

Hv_1 : Haddeleme öncesi kaynak bölgesi ile ana metal arasındaki sınır bölgeden alınan yüzey sertliği, (Vickers)

Hv_2 : Haddeleme öncesi kaynak bölgesinden alınan yüzey sertliği (Vickers).

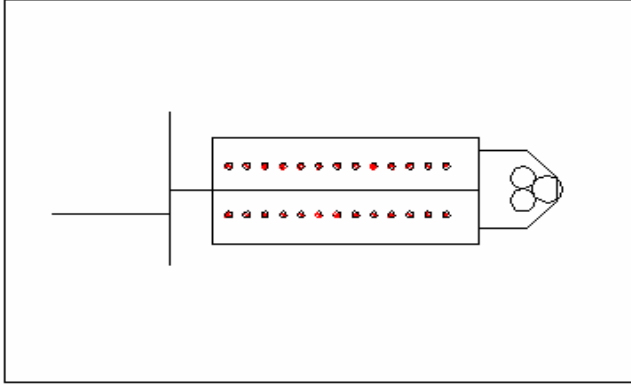
Haddeleme öncesi kaynak bölgesi ile ana metal arasındaki sınır bölgeden alınan yüzey pürüzlülüğünün (16 numune için) ortalama değeri :1,5035 μm olup, haddeleme öncesi kaynak bölgesinden alınan yüzey pürüzlülüğünün (19 numune için) ortalama değeri: 2,1109 μm 'dir. Haddeleme öncesi kaynak bölgesi ile ana metal arasındaki sınır bölgeden alınan yüzey sertliğinin (19 numune için) ortalama değeri: 116 Hv olup, haddeleme öncesi kaynak bölgesinden alınan yüzey sertliğinin (19 numune için) ortalama değeri: 132 Hv'dir.

5.6. Haddeleme Aparatının Tasarımı ve İmalatı

Yapılacak olan haddeleme deneyleri için haddeleme aparatı tasarımı ve imalat gerçekleştirilmiştir. Haddeleme aparatı ile;

- Her numune için haddeleme parametreleri belirlenmiştir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan malzeme üzerinde haddeleme işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Haddeleme işlemi, parçanın kaynak bölgesi ve kaynak bitiş sınır bölgesini de içine alacak şekilde uygulanmıştır,
- Haddelenen yüzeyde, yüzey pürüzlülüğü ve sertlik ölçümleri yapılmıştır,
- Elde edilen yüzey pürüzlülük ve sertlik değerleri, kaynak yapılmadan önceki değerler ile karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Haddeleme aparatının tasarımı için öncelikle literatürde yer alan ve dönel parçalar için kullanılan haddeleme aparatlarının çalışma prensipleri göz önünde bulundurulmuştur. Tasarımın başlangıç aşamasında hem dikey işleme merkezli freze tezgâhında kullanılabilecek, hem de ucunda ezici takım olarak kullanılabilecek bilye bulunan, aynı zamanda da prizmatik parçaları haddeleyebilecek bir aparat için kavramsal tasarım aşaması yapılmıştır. Aparat kavramsal tasarım aşamasında şematik olarak çalışıldı ve üzerinde tartışılmıştır. Şekil 5.20’de kavramsal olarak tasarlanan aparatlar içerisinde seçilen ve detay tasarımları yapıp, imalatı gerçekleştirilen aparatın şematik resmini vermektedir.



Şekil 5.20. Kavramsal tasarım çalışması

Kavramsal tasarım aşamasında karar verilen aparatın bütün parçaları için ayrı ayrı malzeme seçimi ve tedariki gerçekleştirilmiştir. Burada kritik olan bölgelerdeki malzemeler için kaliteli malzemeler seçilirken (Ç 3415 olan malzeme; Resim 5.15, Resim 5.16, Resim 5.17), diğer parçalar için standart imalat çeliği (Ç 1050 olan malzeme; Resim 5.18, Resim 5.20, Resim 5.21) kullanılmıştır. Tasarlanan aparatın parçalarına ait detay resimleri EK-1’de verilmiştir.

Yapılan bu aparatta, haddeleme (galetaj) işlemini gerçekleştirecek kısmı, aparatın uç tarafı olacağından, ilk olarak tasarım aşaması bilyeye yataklık yapacak olan haddeleme aparatı milinde başlanılmıştır. Tasarım sürecine aparatın uç kısmı esas alınarak devam edilmiştir.



Resim 5.14.Haddeleme
aparatı ucunda
kullanılan bilyeler



Resim 5.15. Haddeleme aparat mili

Resim 5.14’de görülen bilyelerin çaplarına göre haddeleme aparatı milinin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir (Resim 5.15). Bilyelerin yataklanmasını sağlayacak kısım iki farklı şekilde yapılmıştır. Birinci tip yataklama, haddeleme aparatı milinin ön kısmına Ø13, Ø11,12 mm bilyelere göre yataklama yuvası tasarlanmış ve imal edilmiştir. İkinci tip yataklama ise; haddeleme aparatı milinin yataklama yuvası, haddeleme aparatı bilye altı parçası ile kapatılarak (Resim5.17) haddeleme aparatı bilye tutucu somununa bilyelerin çalışabileceği şekilde yataklama yuvası tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir (Resim 5.16).



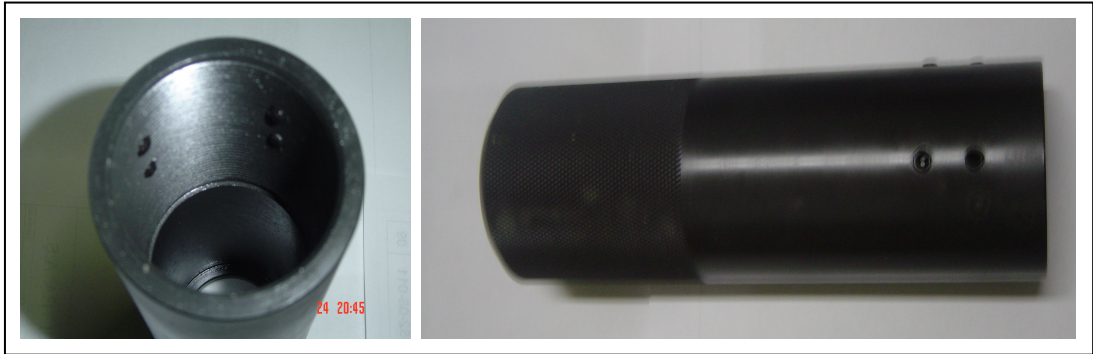
Resim 5.16. Haddeleme aparatı bilye tutucu somunu

Resim 5.16’da görülen tutucu somun, bilyeye yataklık ederken, diğer taraftan ise aparatın uç kısmını teşkil etmektedir. Bilye tutucu somunu içerisinde bilyenin yataklama yapacağı yuva yüzeyi, ısıtılma işlemine tabi tutularak 55 HRC değerinde sertleştirildi. Tutucu somunu sertleştirmedeki amaç; çalışma sırasında aparatın, uç kısmında bulunan bilyenin alt kısmında temas ettiği diğer bilyelere yapacağı baskıdan dolayı oluşacak dışa ve yukarı yönlü itme kuvvetini karşılamasını sağlamaktır. Oluşacak bu kuvvetin malzemeyi deforme etmemesi için bilye altı parçası sertleştirilmiştir.



Resim 5.17.Haddeleme aparatı bilye altı parçası

Resim 5.17’de görülen parça, bilyaların altına gelerek destek teşkil etmektedir. Bu parçanın bütünü, haddeleme sırasında aşınma ve baskı kuvvetine karşı dayanıklı olabilmesi için ısıtılma işlemine tabi tutularak 60 HRc değerinde sertleştirilmiştir.



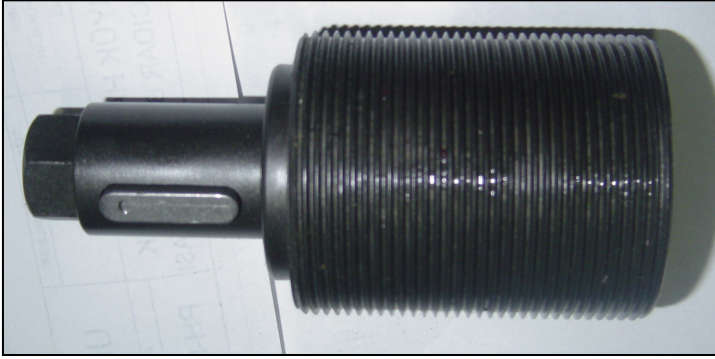
Resim 5.18.Haddeleme aparatı ana gövde

Resim 5.18’de görülen parça ise aparatın ana gövdesini teşkil etmektedir. Bu ana gövde, aynı zamanda haddeleme aparatı miline yataklık etmektedir. Ana gövde üzerinde bulunan setsukur delikleri ise gövde arka sıkıcı civatası olarak adlandırılan parçayı (Resim 5.20), universal freze veya CNC freze tezgâhında haddeleme aşamasında, dönme kuvvetinden dolayı oluşabilecek açılmayı engellemek amacıyla yapılmıştır. Tasarım aşamasında ana gövde, sistemin düzgün bir şekilde çalışabilmesi ve haddeleme aparatı milinin içerisindeki hareketinin lineer bir biçimde olması dikkate alınarak yapılmıştır.



Resim 5.19.Basınç yayları

Resim 5.19’da verilen yaylar, deneyde uygulanacak kuvvet açısından önemli bir yer teşkil etmektedir. Numune üzerine yapılacak olan haddeleme işleminde, haddeleme kuvvetinin ne kadar olması gerektiği belirleyecektir. Uygulanacak olan parametrenin maksimum kuvvetine göre seçilecek yayın sertliği de önemlidir. Haddelemede uygulanacak baskı kuvvetini karşılayabilecek şekilde farklı sertlikte yaylar seçildiğinden, yayın sertliği bu aparat çalışmasında dikkate alınmamıştır. Yay boyu, tel kalınlığı ve iç çapından hareket edilerek ana gövde için tasarım çalışmasına gidilmiştir. Haddeleme sırasında eksantrik hareketten dolayı makina yatağında titreşim sonucu zorlama meydana geleceğinden ve bu zorlama sonucu tezgah yatağında oluşacak deforme ve bozulmasını önlemek için basınç yayı kullanılmıştır.

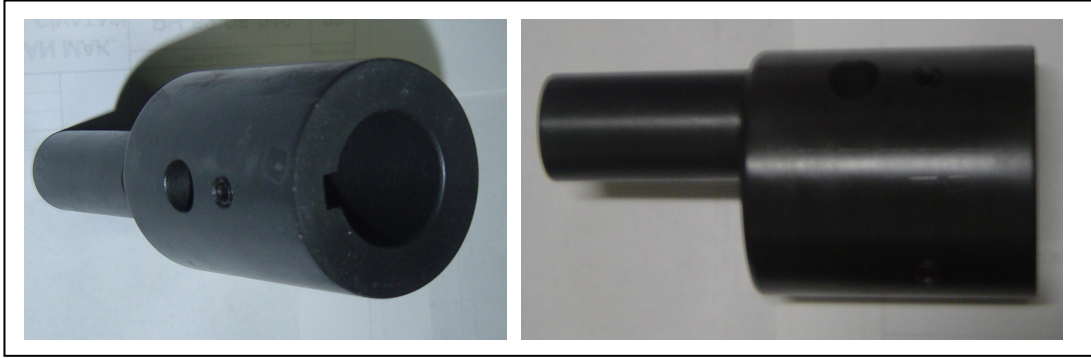


Resim 5.20.Haddeleme aparatı arka sıkıcı civatası

Haddeleme aparatı arka sıkıcı civatası, aparatta çalışma yeri olarak üç aşamada görev yapmaktadır (Resim 5.20). Birinci aşamada, haddeleme aparatı miline yataklama yaparak lineer bir doğrultuda ileri ve geri hareket imkânı sağlamaktadır. İkinci aşamada, basınç yayının alın kısmına sıkıştırma ile birlikte uyguladığı kuvveti, haddelenecek numune üzerinde etkisini göstermektedir. Haddelenecek numune üzerinde ezme işlemi yapacak bilyanın uç kısmında oluşacak kuvvet, haddeleme aparatı arka sıkıcı civatasının basınç yayı üzerine uygulayacağı kuvvete eşit olacaktır.

Haddeleme aparatı arka sıkıcı civatası (Resim 5.20) sıkıldığında, basınç yayının sıkışarak sertleşmesine ve bilyanın numune parça üzerine etki edeceği haddeleme kuvvetine doğrudan etki edecektir.

Üçüncü aşamada ise, haddeleme aparatı arka sıkıcı civatasının haddeleme aparatı eksantrik miline monte edilebilmesi ve CNC tezgahına bağlanan eksantrik milin hareketini aparat üzerine aktarabilmesi için kama kanalı açılmıştır. Parçanın üst kısmına yapılan 19 altıköşe anahtar ağzı ise, hem sıkma işlemini hem de açma işlemi gerçekleştirmek için yapılmıştır (Resim 5.20). Resim 5.21'deki eksantrik mil, haddeleme işlemi yapacak olan aparata eksantrik hareket vermek için tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu eksantrik mil aynı zamanda aparatın CNC freze tezgahına bağlanmasını sağlamaktadır.

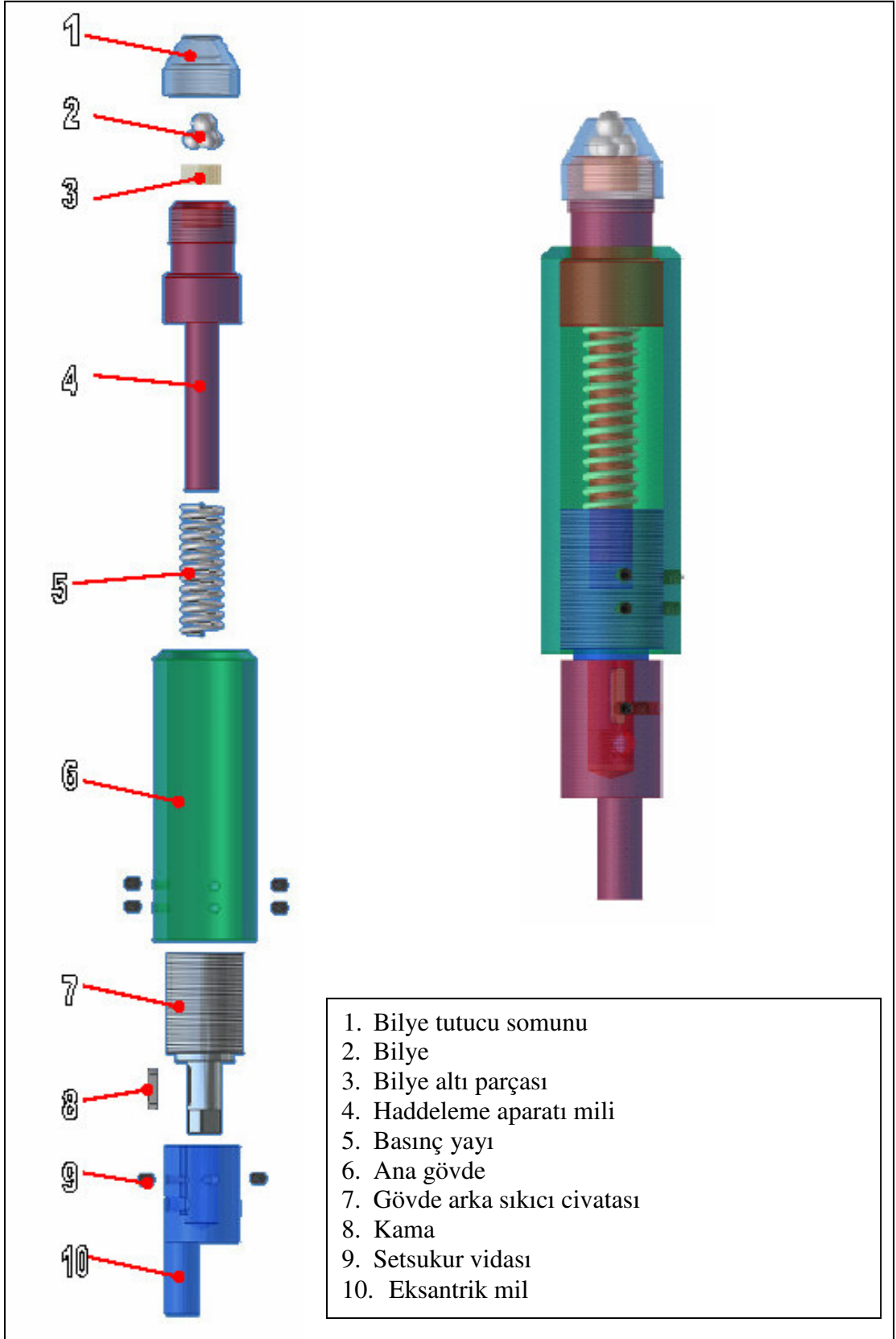


Resim 5.21.Haddeleme aparatı eksantrik mili

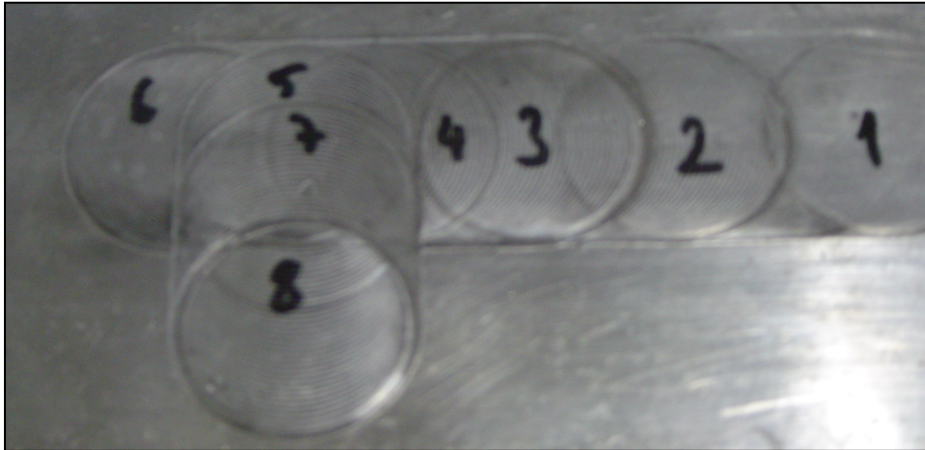
İçine açılan kama kanalı, dönme esnasında hem aparatı bütünü tutmaya hem de eksantrik hareketten dolayı dairesel kaçıışı engellemek için açılmıştır. Eksantrik milde bulunan Ø 10 'luk delik ise kama kanalının açılması sırasında talaşın dışarı çıkmasını kolaylaştırmak için yapılmıştır.

Haddeleme aparatına ait parçaların tümü karartmaya (mangan-fosfat) tabi tutuldu. Çeliğin direncini geliştirmek, esnekliğini az miktarda zayıflatmak, dövme ve kaynak edilme özelliğine olumlu etki sağlaması için bu işlem yapılmıştır. Manganın, sertlik ve direnci arttıran özelliği, çelik malzemedeki karbon miktarına bağlı olduğu için bu yöntem de karartma sonrası gerçekleştirilmiştir. Karartma (Mangan-fosfat), su verme derinliğini arttırırken, paslanmaya (korozyona) karşı olan direncini de artırmaktadır.

Özetle aparatın çalışma prensibi şöyledir: Haddeleme aparatı, CNC freze tezgahına bağlanarak, iş milinden aldığı hareket ile eksantrik olarak dönmeye başlayacaktır. Aparatın uç kısmında bulunan Ø 13'lük bilyenin ucu, eksantrik dönme hareketi ile malzeme yüzeyine temas ederek ezme işlemini gerçekleştirecektir. Haddeleme işleminin oluşturacağı ezme sonucu, malzeme yüzeyinde oluşacak izin çapı 20 mm olacaktır. Haddeleme sırasında baskı kuvvetini ayarlamak ve tezgah iş milinin eksantrik hareketten dolayı titreşimini minimum seviyeye indirmek için yay sistemi kullanılmıştır (Şekil 5.21).



Şekil 5.21. Tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen haddelerme aparatı



Resim 5.22.Haddeleme işlemine uğramış örnek alüminyum plaka

Resim 5.22’de görülen örnek alüminyum plaka üzerinde, imalatı yapılan haddeleme aparatı denenmiştir. Burada universal freze tezgâhının düşey hareketi ile aparata baskı uygulanarak, alüminyum malzemedeki haddeleme deformasyonu incelenmiştir. Farklı baskı kuvveti ve ilerlemeye bağlı olarak malzemede sekiz farklı yüzey meydana gelmiştir. Resimde görülen her dairesel derin izler, farklı baskı kuvvetini gösterir. İlerlemenin, durdurularak artırılmasından dolayı malzeme yüzeyinde farklı izler meydana gelmiştir. İlerleme azaltılarak baskı kuvveti arttırıldı ve bilyanın oluşturduğu izler incelenmiştir. Haddeleme aparatının işlevselliği test edilmiştir.



Resim 5.23. Aparatta kullanılan malzemeler

Haddeleme aparatının parçaları ve bu aparata yardımcı hazır ekipmanlar Resim 5.23’de verilmiştir.

5.7. Haddeleme İşleminde Kullanılan Tezgâh Tipi

Haddeleme işlemi gerçekleştirildiği tezgâh ise Taksan 40T1500 marka, siemens kumanda paneline sahip 1999 yılı yapım olan bir dik işleme merkezli CNC frezede gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.12’de CNC freze tezgâhının genel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.12. CNC Freze tezgâhının özellikleri [52]

<i>Tabla ölçüleri</i>	Tabla Çalışma Ölçüleri	mm	450 x 1650
	T Kanal Sayısı ve Genişliği	mm	6 x 63
	Tablaya Bağlanabilecek Maksimum Parça Ağırlığı	Kg	650
<i>Tabla hareketleri</i>	Boyuna Hareket (X eksen)	mm	990
	Enine Hareket (Y eksen)	mm	425
	Dikey Hareket (Z eksen)	mm	550
<i>İş mili</i>	İş Mili Koniği Standardı	ISO	40
	İş Mili Devir Aralığı	dev / dak	45 - 2240
	İş Mili eksen ile Tabla Arası Mesafe, min-max	mm	65 - 550
<i>İlerlemeler</i>	Boyuna ve Enine	mm / dak	0 - 900
	Dikey	mm / dak	4 -250
<i>Hızlı ilerleme</i>	Boyuna ve Enine (X,Y Ekseninde)	m / dak	2,8
	Dikey (Z Ekseninde)	m / dak	0,8
	İlerleme Motor Gücü	kW	1,5
	Ana Motor Gücü	kW	5,5
<i>Genel ölçüler</i>	Tezgahın Kapladığı Alan	mm	2185 x 1815
	Tezgahın Ağırlığı , (Standart Teçhizat İle)	Kg	2250

Tezgâhta kullanılacak haddeleme aparatı için uygun haddeleme parametreleri oluşturularak, haddeleme işlemi için CNC tezgâhı ayarlamasına gidilmiştir. Haddeleme işlemi için uygun tezgâh ayarlanması yapılmıştır. Haddeleme aparatı, Taksan marka CNC tezgâhında haddeleme işlemine hazır hale getirilmiştir.

5.8. Haddeleme (Burnishing) İşleminin Yapılması

Haddeleme yapılan yüzey karakteristiğinde aşırı bir yükleme yapıldığında malzeme hatalarına karşı direncin önemli şekilde arttığı bilinen bir gerçektir. İş parçasının yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi, yüzey sertliğindeki iyileşmeler, malzemenin aşınma direncinin artması, malzeme yüzeyinde çatlak oluşturabilecek derinliklerin azaltılması v.b. direk olarak haddeleme işleminde kullanılan ilerleme, uygulanan kuvvet, tezgâh devir sayısı ve paso sayısı gibi parametrelere bağlıdır.

Haddeleme işlemi gerçekleştirecek aparatın, CNC freze tezgâhı üzerinde çalışabilmesi için freze tezgâhının yükseklik ve aparatı tutacak olan takımın hazırlanması gibi ayarlamalar yapılmıştır. Al7075 T6 malzemesinin yüzeyleri düzgün hale getirildikten sonra tezgâh üzerine bağlanan mengeneyle düzgün ve destekli bir şekilde bağlanarak, haddeleme işlemine hazır hale getirilmiştir (Resim 5.24).



Resim 5.24. Haddeleme işleminin yapılışı

Her numune için gerekli olan haddeleme parametreleri ve buna bağlı olarak da CNC tezgâhı için CNC kodları hazırlanmıştır. Aşağıda sadece bir numune için yazılmış örnek CNC kodu verilmiştir:

1 Nolu Numune için CNC programı;

```
G95 M8,
M04 S100
G01 X-85 F0.05
X0
G0 Z70
M9 M5 M30
-----eof-----
```

Tezgâh üzerinde yapılacak deneyler öncesinde, kaynaklı bölgeye uygulanacak baskı kuvvetini (kg) ayarlamak için yük ölçer kullanılmıştır. Kaynaklı bölgeye uygulanacak kuvvet değerleri parametrelere göre belirlenmiştir. Yük ölçer ile 10-15-20-25-30-35-40 kg’a karşılık gelen değerler “mm” cinsine çevrilmiştir. Aparat “z” eksenini boyunca hareket ettirildiğinde, malzeme üzerinde oluşacak baskı kuvvetleri;

10 kg için = 0,7 mm

15 kg için = 1,1 mm

20 kg için = 1,6 mm

25 kg için = 6 mm

30 kg için = 10,2 mm

35 kg için = 14,8 mm

40 kg için = 17,5 mm karşılık olarak tespit edilmiştir.

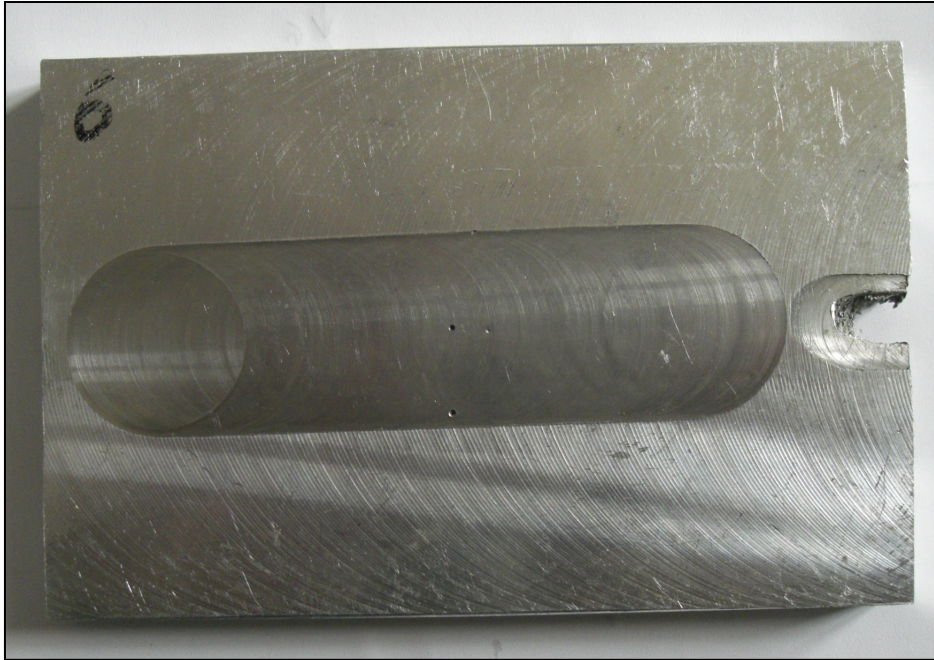
Elde edilen veriler, tezgâha yüklenen programın haricinde kontrollü bir şekilde elle kumanda edilerek kaynaklı bölgeye uygulanmıştır. “Z” eksenini yönünde, haddeleme (burnishing) işlemi yapacak bilyanın temas edeceği yarıçap ile sürtünme karıştırma kaynağı yapılan malzemenin kaynak bölgesine temas ettiği yüzey arasındaki sıfırlama işlemi ise yine tezgâhın elle kumanda edilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan deney numunelerinin kaynaklı bölgesi ile haddeleme aparatının oluşturduğu eksantrik hareketin birbirini karşılaması için “y” ekseninde de ayarlama yapılmıştır. Bu ayarlama kaynak bölgesi üzerine “z” ekseninde aparatın bilyesi temas ettirilerek, oluşan izin kaynaklı bölgeye yakın ya da uzak oluşuna göre el yardımıyla olarak ayarlanması ile tamamlanmıştır.

Haddeleme işleminden önceki en son aşamada ise, “x” eksenini boyunca oluşacak olan haddeleme boyunun belirlenmesidir. Sürtünme karıştırma kaynağını yapan karıştırıcı ucun kaynaklı numunelerin giriş ve çıkışlarında oluşturduğu yarıklar dikkate alınarak “x” eksenini üzerindeki haddeleme için gerekli olan ilerleme mesafesi belirlenmiştir. Bu işlem, diğer tüm numunelere de elle kumanda edilerek tek tek yapılmıştır.

Yapılan tüm ayarlamaların sonunda tezgâh çalıştırılmış ve bilyanın hem ezme hem de dönme hareketi ile meydana getireceği ısınmayı önlemek için soğutma sıvısı kullanılmıştır. Daha sonra haddeleme işlemine geçilerek, kullanılan tüm numuneler kendilerine ait parametrelere göre haddeleme (burnishing) işlemine tabi tutulmuştur. İş milinin devri maksimum 400 dev/dak minimum 100 dev/dak olarak belirlenmiştir. Çünkü; önceden yapılan haddeleme denemelerinde eksantrik dönmeden dolayı 450 dev/dak'ın üzerinde CNC tezgahında titremeler meydana gelmiştir. Haddeleme işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertliği ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Resim 5.25).

Sonuç olarak; haddeleme işlemine maruz kalan numunelerin bilye ile temasa geçtiği kaynak bölgesi yüzeylerinde, ilerleme, baskı kuvveti, devir ve paso sayısı gibi parametrelerin etkisi ile kaynak bölgesinde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.



Resim 5.25. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen parçanın kaynak bölgesinin

haddeleme işlemi yapılmış hali



Resim 5.26. Isıl işleme sonrası haddeleme uygulanmış numuneler

Çizelge 5.13' de haddeleme öncesi ve sonrası yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğü değerleri alınmıştır. Yapılan ölçümde devir ve paso sayısı, ilerleme miktarı ve uygulanan baskı kuvveti değerlerin etkileri verilmiştir. Yapılan sertlik ölçümleri Vickers, yüzey pürüzlülüğü ise Ra (μm) cinsinde yapılmıştır. Isıl işlem ile malzemenin gerginliği alınmış, haddeleme sonrası en iyi yüzey sertliği elde edilmiştir.

Çizelge 5.13. Haddelenme öncesi ve sonrası alınan yüzey sertliği ve pürüzlülük değerleri

Parça	Ra ₁	Ra ₂	₁	Hv ₁	Brinell ₂	Hv ₂	S	f	F	n	Ra ₃	Brinell ₃	Hv ₃	₄	Hv ₄
1	1,504 µm	1,780 µm	62,1	110 Hv	66,3	118 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	2	µm	68	122 Hv	82,3	156 Hv
2	1,270 µm	1,829 µm	60,9	108 Hv	74,5	138 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	4	µm	61	108 Hv	80,2	150 Hv
3	1,320 µm	1,736 µm	68	122 Hv	71,3	128 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	3	µm	56,3	129 Hv	81	152 Hv
4	1,546 µm	1,768 µm	72,3	130 Hv	70,5	128 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	4	µm	50,3	133 Hv	81	152 Hv
5	1,428 µm	1,510 µm	61,9	110 Hv	76,7	140 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	3	µm	55,7	121 Hv	79,4	150 Hv
6	1,523 µm	1,903 µm	67,2	120 Hv	74	135 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	3	µm	62,5	131 Hv	74,4	Hv
7	1,374 µm	1,735 µm	60,8	107 Hv	75,8	138 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	4	µm	65	116 Hv	81	153 Hv
8	1,635 µm	1,647 µm	70,5	126 Hv	76,2	140 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	3	µm	66,2	138 Hv	81,8	156 Hv
9	1,319 µm	1,418 µm	70,1	126 Hv	74,1	135 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	4	µm	67	129 Hv	81	153 Hv
10	-	1,843 µm	66,7	120 Hv	65,3	116 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	4	µm	70,1	135 Hv	74,9	138 Hv
10-1	-	1,843 µm	67,7	120 Hv	65,3	116 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	5	µm	74,3	138 Hv	74,3	138 Hv
11	-	1,812 µm	65,8	118 Hv	65,2	116 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	4	µm	69,5	131 Hv	75,8	140 Hv
11-1	-	1,812 µm	65,8	118 Hv	65,2	116 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	5	µm	68,8	126 Hv	77,8	142 Hv
12	-	1,722 µm	56,4	100 Hv	74,9	138 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	4	µm	121	213 Hv	132	244 Hv
12-1	-	1,722 µm	56,4	100 Hv	74,9	138 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	6	µm	119	192 Hv	128	232 Hv
13	1,424 µm	1,742 µm	63,4	112 Hv	72,7	132 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	3	µm	52	114 Hv	76,3	140 Hv
14	1,278 µm	1,778 µm	73,7	135 Hv	76,2	140 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	4	µm	74,7	138 Hv	82,5	157 Hv
15	2,009 µm	2,450 µm	60,8	108 Hv	77,3	142 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	3	µm	61,1	108 Hv	79,6	150 Hv
16	1,484 µm	1,711 µm	56,1	100 Hv	73,8	135 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	4	µm	61,5	110 Hv	86	168 Hv
17	1,235 µm	1,735 µm	71	128 Hv	73,3	132 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	3	µm	61,3	138 Hv	85,3	164 Hv
18	1,763 µm	1,755 µm	70,1	126 Hv	72,2	130 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	2	µm	76	140 Hv	82,4	158 Hv
19	1,944 µm	1,901 µm	60	107 Hv	72,2	130 Hv	dev/dak	mm/dev	kg	3	µm	62	110 Hv	85	164 Hv

- Ra_1 : Haddeleme öncesi kaynak bölgesi ile ana metal arasındaki sınır bölgeden alınan yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)
- Ra_2 : Haddeleme öncesi kaynak bölgesinden alınan yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)
- Parça* : Deney numunesi
- Hv_1 : Haddeleme öncesi kaynak bölgesi ile ana metal arasındaki sınır bölgeden alınan yüzey sertliği (Vickers),
- Hv_2 : Haddeleme öncesi kaynak bölgesinden alınan yüzey sertliği (Vickers)
- S : Haddeleme devri
- f : İlerleme miktarı
- F : Baskı kuvveti
- n : Paso Miktarı
- Ra_3 : Haddeleme sonrası kaynak bölgesinden alınan yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)
- Hv_3 : Haddeleme sonrası kaynak bölgesi ile ana metal arasındaki sınır bölgeden alınan yüzey sertliği (Vickers),
- Hv_4 : Haddeleme sonrası kaynak bölgesinden alınan yüzey sertliği (Vickers).

Numunelerin sertlik ölçümleri Brinell olarak bulunup, Vickers (Hv) değerine çevirmek suretiyle 60 kg yük uygulanarak Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı üretim laboratuvarında bulunan dijital “Rockwell & Brinell ” tipi sertlik ölçüm cihazından, yüzey pürüzlülüğü ise “Perthometer M1 (Mahr)” model ölçme cihazından yapılmıştır.

Sertlik ve yüzey pürüzlülüğü değerleri her bölgeden 4'er ölçümün ortalaması alınarak belirlenmiştir. Çizelge 5.14'de sertlik ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.15'de ise yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının ölçüm parametreleri verilmiştir.

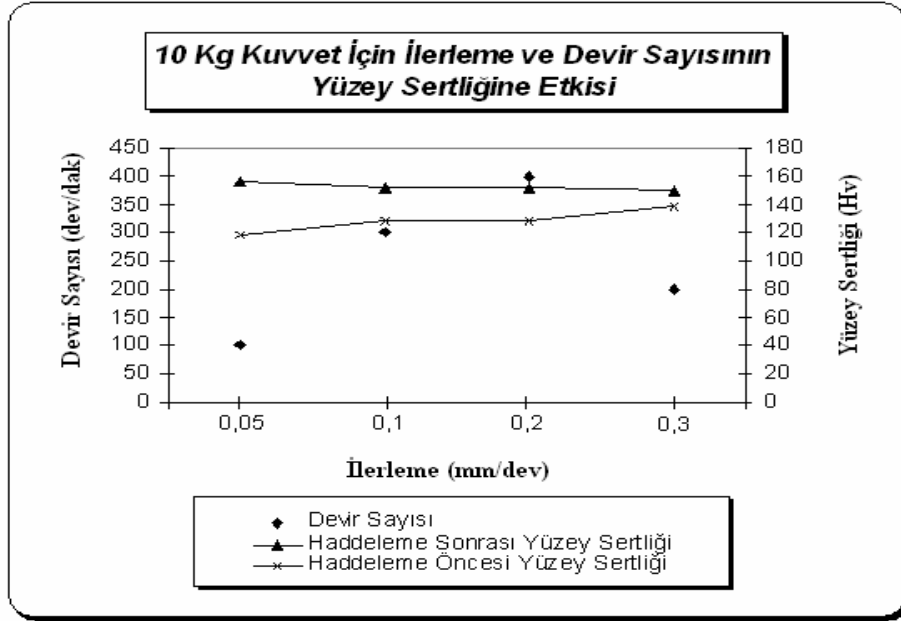
Çizelge 5.14 Sertlik ölçüm cihazının teknik özellikleri [53]

<i>Sertlik ölçüm cihazının teknik özellikleri</i>	
Ön yük (kgf)	10
Test yükleri (kgf)	60, 62.5, 100, 150, 187.5
Yük seçimi	Yük ayar düğmesi ile
Test metodu	Rockwell, Brinell
Yükün uygulanması	Hidrolik
Mak. test yüksekliği	220 mm
Boğaz açıklığı	145 mm
Makina boyutları	720 x 590 x 280 mm
Ambalaj boyutları	790 x 590 x 420 mm
Ağırlık (net / brüt)	85 / 115 kg

Çizelge 5.15. Yüzey pürüzlülüğü cihazının ölçüm parametreleri [53]

<i>MODEL</i>	<i>Perthometer M1 (Mahr)</i>
Ölçme Hızı	150µm/sn
Ölçme Kuvveti	0,7 mN
Uç malzemesi	Elmas
Değerlendirme Uzunluğu	0,8 mm
Ölçüm Uzunluğu	5,6 mm

5.9. Haddeleme İşleminin Yüzey Sertliği ve Pürüzlülüğüne Etkisi



Şekil. 5.22. 10 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü

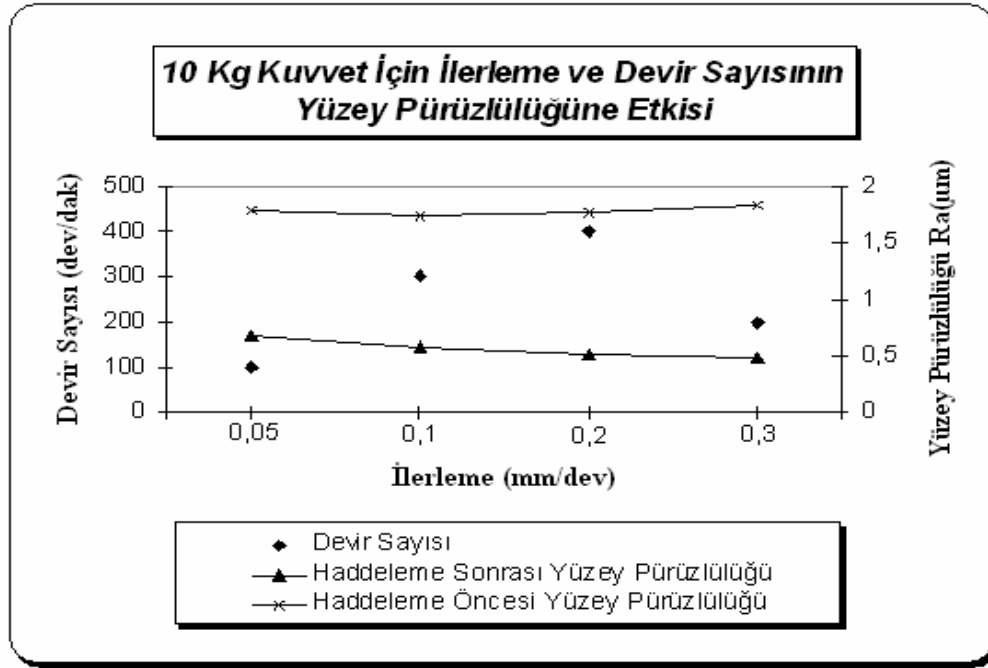
1 nolu numune için; devir sayısı ve ilerlemenin düşük olması nedeniyle haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:118$ iken, haddeleme sonrasında $Hv_4:156$ olmuştur. Sertlikte artış görülmüştür. Paso sayısının düşük tutulmasına rağmen yüzey sertliğinde artış meydana gelmiştir. 10 kg yük altındaki yüzey, sertliği en iyi geliştiği numune yüzeyidir. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 38 Hv olmuştur.

2 nolu numune için; devir sayısı ile birlikte ilerlemenin de artırılmasıyla, haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:138$ iken, haddeleme sonrasında $Hv_4:150$ olmuştur. Devir sayısı ve ilerlemenin yükseltilmesi, yüzey sertliği üzerindeki artışın yavaşlamasına neden olmuştur. İlerlemenin hızlı olması yüzey sertliğine olumsuz yönde etki ettiğinden, paso sayısı bunu telafi ederek yüzey sertliğinin artmasını neden olmuştur. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 12 Hv olmuştur.

3 nolu numune için; devir sayısı iki nolu numuneye göre artmasına rağmen ilerlemenin düşürülmesi ile haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:128$ iken, haddeleme sonrasında $Hv_4:152$ olmuştur. İlerlemenin düşü, paso sayısının fazla oluşu devir sayısının kaynak bölgesindeki haddeleme süresini uzatarak yüzey sertliğinin artmasına neden olmuştur. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 24 Hv olmuştur.

4 nolu numune için; baskı kuvveti 10 kg olarak uygulanan numuneler içerisinde, maksimum devre ve ilerlemenin diğer numunelere göre orta değerde tutulması, yüzey sertliğine olumlu yönde etkisini göstermiştir. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:128$ iken, haddeleme sonrasında $Hv_4:152$ olmuştur. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 24 Hv olmuştur.

Devir sayısı ile ilerlemenin en düşük olduğu değerde, yüzey sertliğinde artış görülmüştür. Devir ve ilerleme miktarlarının her bir numunede giderek artırılması, yüzey sertliği üzerindeki artışı da olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Grafiğe bakıldığında paso sayısının yüzey sertliğine etkisi, uygulanan parametreye göre değiştiği görülmektedir. Paso sayılarının her bir parça için farklı oluşu ve ilerlemenin de parçalara göre düşük veya yüksek olması, yüzey sertliği arasındaki farkı ortaya çıkarmıştır. Paso ve devir sayısının giderek fazlalaştığı parametrelerde, yüzey sertliği üzerindeki etkisini göstermiştir. 10 kg'lık yük için, devir sayısı ve ilerleme miktarı ne kadar az olursa, buna paralel olarak da yüzey sertliğinin de o kadar iyi olacağı öngörülebilir.



Şekil 5.23. 10 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü

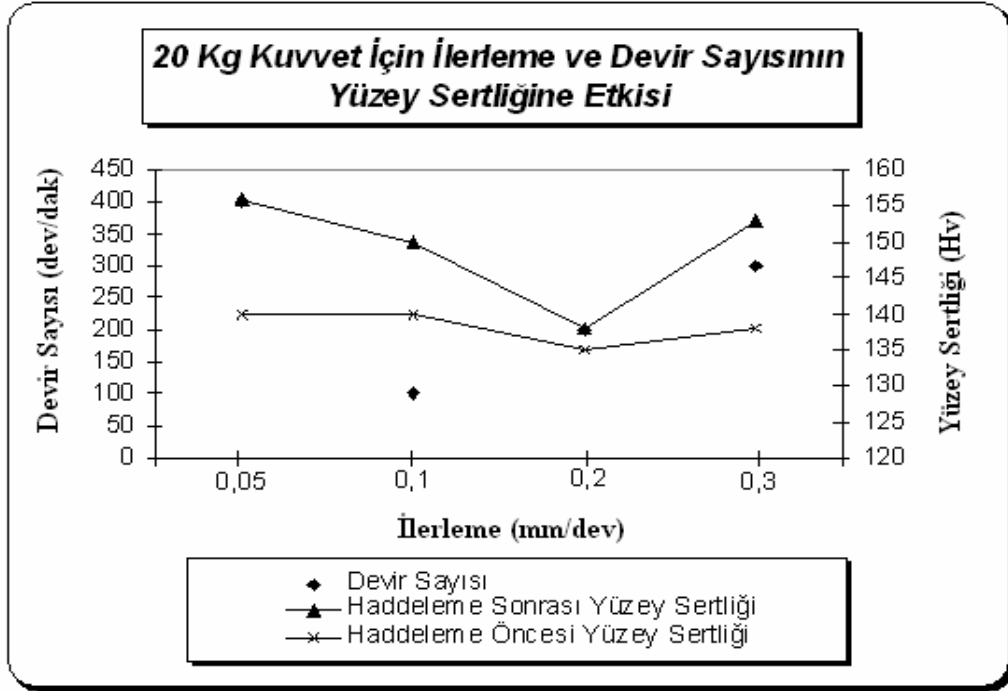
1 nolu numune için; devir sayısı ile ilerleme miktarının minimum değerde tutulması malzeme üzerinde yeterli yüzey kalitesi oluşmasını engellemiştir. Haddemele öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,780 \mu m$ iken, haddemele sonrasında $Ra_3:0,685 \mu m$ olmuştur. Haddemele öncesi yüzeye göre, malzemenin yüzey kalitesinin iyileştiği gözlenmiştir. Haddemele sonrasında, grup içinde karşılaştırma yapıldığında yüzey pürüzlülüğünün en az iyileştiği numune olduğu söylenebilir. Haddemele öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,095 \mu m$ olmuştur.

2 nolu numune için; devir sayısı ve ilerleme miktarı bir nolu numuneye göre daha fazla olup, bu grup parametreler arasında yüzey pürüzlülüğünün en iyi geliştiği numunedir. Haddemele öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,829 \mu m$ iken, haddemele sonrasında $Ra_3:0,475 \mu m$ olmuştur. İlerlemenin ve paso sayısının fazla, devir sayısının ise orta değerde olması yüzey pürüzlülüğünün bu grup içerisinde en iyi değerde çıkmasına neden olmuştur. İlerlemenin hızlı olması yüzey pürüzlülüğünün iyi olmasına etki ettiği görülür. Haddemele öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,354 \mu m$ olmuştur.

3 nolu numune için; paso sayısı, ilerleme ve devir sayısı arasındaki ilişkiye bakıldığında, diğer numunelerin yüzey pürüzlülüğüne göre orta değerde bir yüzey pürüzlülüğü elde edildiği görülür. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,736 \mu m$ iken, haddeleme sonrasında $Ra_3:0,579 \mu m$ olmuştur. Devir sayısının fazla tutulması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilerken, ilerlemenin parametreler içinde orta değerde olması yüzey pürüzlülüğüne etkisini az da olsa göstermiştir. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,157 \mu m$ olmuştur.

4 nolu numune için; ilerleme miktarı, paso ve devir sayısındaki artışın, yüzey kalitesinde, bir ve üç nolu numuneye göre daha iyi olduğu görülmüştür. Devir sayısını maksimum değerde olması yüzeyi pürüzlülüğünü olumlu şekilde etkilemiştir. Baskı kuvvetini de göz önüne alırsak paso sayısının fazla olması yüzey pürüzlülüğüne olumlu etkilemiştir. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,768 \mu m$ iken, haddeleme sonrasında $Ra_3:0,519 \mu m$ olmuştur. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,249 \mu m$ olmuştur.

Devir sayısı ve ilerleme miktarı arasındaki ilişkiye bakıldığında, ilerleme ve devir sayısının hızlı olduğu parametrelerde yüzey pürüzlülüğünün daha iyi olduğu görülmüştür. 10 kg'lık baskı kuvveti uygulanan bu numunelerde, devir sayısını orta seviyede ve ilerlemenin maksimum olduğu parametrede, yüzey pürüzlülüğü en iyi olduğu gözlenmiştir. İlerlemenin hızlı, paso sayısının da fazla olması yüzeyi olumlu etkilemiştir. Haddeleme bilyesinin malzeme yüzeyi üzerinde hızlı geçiş yapması, yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde etkilediği görülür. Haddeleme öncesi yüzey pürüzlülüğü ile haddeleme sonrası yüzey pürüzlülüğü arasında iyileşmenin olduğu görülmektedir.



Şekil 5.24. 20 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü

5 nolu numune için; ilerlemenin hızlı, devrin düşük olması, bu grup içerisindeki çıkan en iyi yüzey sertlikleri arasında üçüncü sırayı almıştır. Haddeme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:140$ iken, haddeme sonrasında $Hv_4:150$ olmuştur. Paso sayısının yüzey sertliğine etkisi olmuştur. Haddeme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 10 Hv olmuştur.

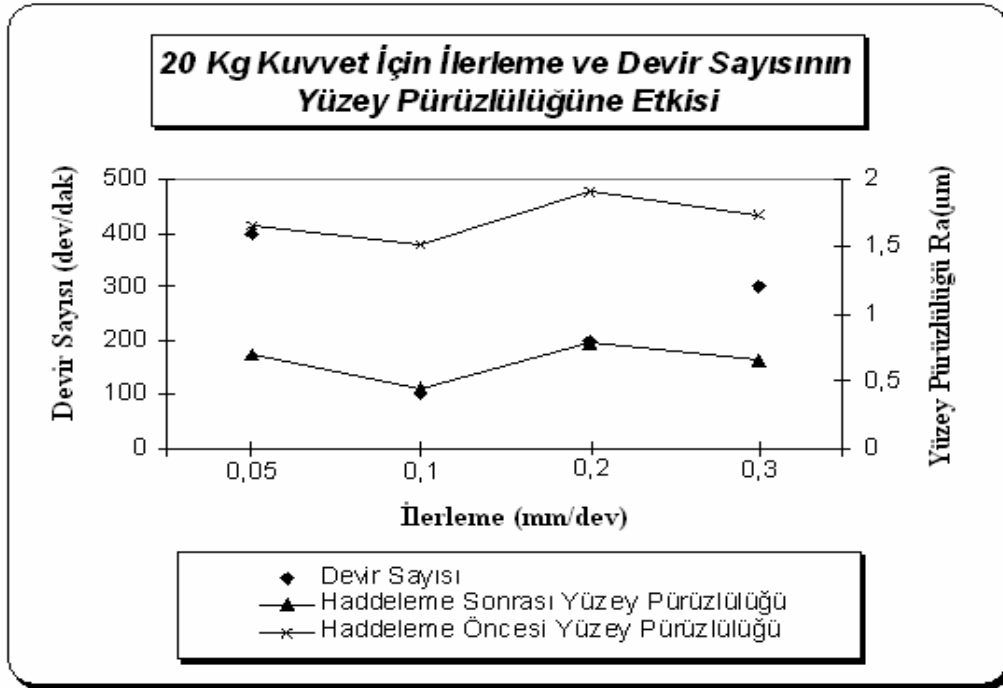
6 nolu numune için; İlerleme ve devir sayısındaki artış, yüzey sertliğine olumsuz yönde etkilemiştir. Paso sayısının diğer numunelerle aynı olmasına rağmen, malzeme yüzey sertliğine az da olsa olumlu bir etkisi olmuştur. Haddeme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:135$ iken, haddeme sonrasında $Hv_4:138$ olmuştur. Bu parametrelerle yapılan haddeme işlemi, malzeme yüzeyinde az da olsa yüzeyde sertleşme meydana gelmiştir. Haddeme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 3 Hv olmuştur.

7 nolu numune için; yüzey sertliği artmış, ilerleme ile paso sayısı diğer numunelere göre fazla oluşu yüzeyi olumlu yönde etkilemiştir. Uygulanan baskı kuvvetine göre

haddelemenin kuvvetinin giderek fazlalaşması yüzey sertliğine etkisi olumlu yansıtmıştır. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:138$ iken, haddeleme sonrasında $Hv_4:153$ olmuştur. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 15 Hv olmuştur.

8 nolu numune için; devir sayısının maksimum, ilerlemenin minimum değerde olması yüzey sertlik değişiminin bu grup numuneler içinde en iyi seviyede olduğu gözlemlenmiştir. İlerlemenin az olması, baskı kuvvetinin malzeme yüzeyinde kalıcı ve yavaş yavaş kendini göstermesine sebebiyet verdiğinden haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:140$ iken, haddeleme sonrasında $Hv_4:156$ olmuştur. Kaynak bölgesindeki yüzey sertliğinin gelişmesi sağlanmıştır. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 16 Hv olmuştur.

Grafiğe bakıldığında; devir sayının maksimum, ilerlemenin minimum olması, bu parametrenin yüzey sertliğine olumlu yansıdığını gösterir. Baskı kuvveti de göz önüne alındığında, haddeleme bilyesinin hızlı dönüşü ile birlikte yavaş ilerlemesi, yüzey sertliğine olumlu yönde etkilemiştir. Haddeleme işlemi sırasında kuvvetin ilerlemeye bağlı olarak, kaynak bölgesine tesirinin yavaş yavaş ve tezgâh iş mili devrinin yüksek olması, haddeleme sonrası numune parçada yüzey sertliğine olumlu yansımıştır. Yüksek hız ve düşük ilerlemede yüzey sertliğinin iyi olması, aynı zamanda paso sayısının fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.25. 20 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü

5 nolu numune için; bu grup içerisinde yüzey pürüzlülüğünün en iyi olduğu numune parçadır. Bu gruba göre devrin düşük olması, ilerlemenin orta değerde seyretmesi yüzey pürüzlülüğüne etkisi olumlu olmuştur. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,510 \mu m$ iken, haddeleme sonrasında $Ra_3:0,443 \mu m$ olduğu görülür. Kaynak yüzeyinde, haddeleme sonrasında iyileşme görülmüştür. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,067 \mu m$ olmuştur.

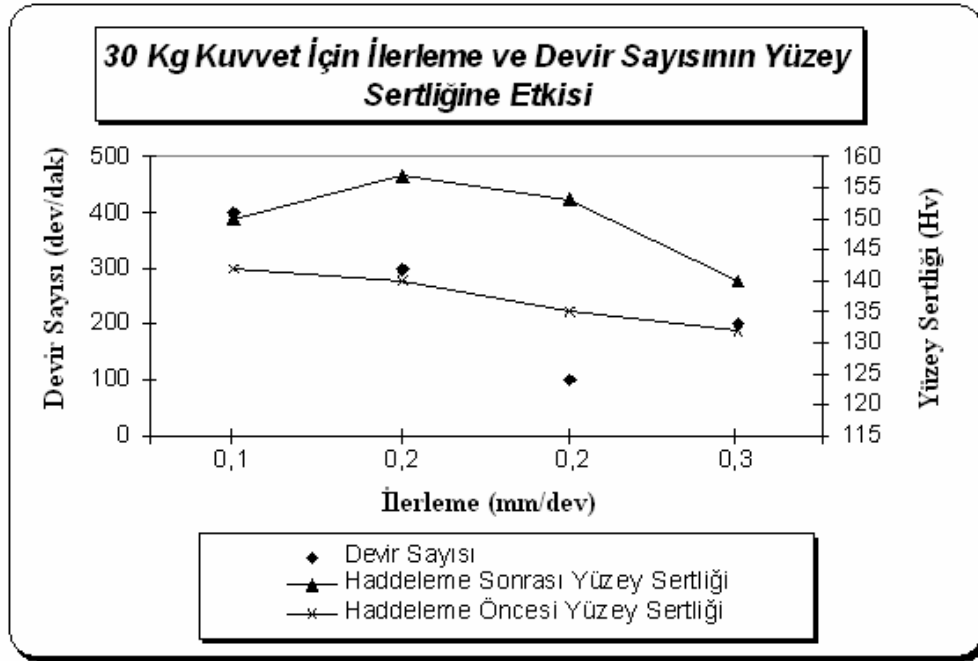
6 nolu numune için; yüzey pürüzlülüğü haddeleme sonrasında az seviyede iyileştiği görülmüştür. İlerlemenin yükselmesine paralel olarak devir sayısındaki artışta, yüzey kalitesini düşürmüştür. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,903 \mu m$ iken, haddeleme sonrasında $Ra_3:0,778 \mu m$ olmuştur. Haddeleme öncesine göre yüzey pürüzlülüğü iyileştirilmiştir. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,125 \mu m$ olmuştur.

7 nolu numune için; Numune parça üzerindeki hızın ve ilerlemenin fazla ve paso sayısının da gruba göre maksimum seviyede olması, yüzey kalitesini olumlu yönde

etkilemiştir. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,735 \mu m$ iken, haddeleme sonrasında $Ra_3:0,655 \mu m$ olmuştur. İş milinin hızlı dönmeye başlaması ile birlikte, haddeleme bilyesinin ezilmesi de hızlı olmuştur. Bu yüzden yüzey pürüzlülüğü grup içerisinde orta değerde seyretmiştir. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,080 \mu m$ olmuştur.

8 nolu numune için; maksimum devir sayısı ve minimum ilerleme ile yapılan haddeleme işlemi sonunda, yüzey pürüzlülüğü orta değerde olmuştur. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,647 \mu m$ iken, haddeleme sonrasında $Ra_3:0,706 \mu m$ olmuştur. Yüzey pürüzlülüğünün kalitesi, paso sayısına bağlı olarak artarken, ilerlemenin yavaş oluşu yüzeyde bozulma meydana getirdiğinden, yüzey pürüzlülüğüne olumsuz yönde etki etmiştir. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $0,941 \mu m$ olmuştur.

Grafiğe bakıldığında, devir sayısındaki artış yüzey pürüzlülüğünün kalitesinin az gelişmesine neden olurken, devir sayısındaki azalmanın ise yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde etki ettiği görülür. İlerleme ve paso sayısının ortalama bir değerde olması yüzey pürüzlülüğünün daha iyi olmasını sağlamıştır. Paso sayısının maksimum olduğu parametrede ise yüzey pürüzlülüğünün giderek iyi konuma geldiği görülür. Devir sayısı ile ilerleme arasında ters orantı olduğu görülmüştür. Bu grup için genelleme yapacak olursak; yüzey pürüzlülüğünün kalitesi ilerlemenin hızlı, devir sayısının yavaş olduğu zaman iyi olacağı ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.26. 30 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü

9 nolu numune için; grup içerisinde oluşturulan ilerleme miktarına göre, ortalama değerlerde ilerlemeye sahip bu numune parça, devir sayısının minimum olması itibariyle de, haddeme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:135$ iken, haddeme sonrası $Hv_4:153$ olmuştur. Devir sayısı azaltılıp, ilerleme artırıldığı için yüzey sertliği daha çok gelişmiştir. Bunun nedeni, uygulanan baskı kuvvetinin artması gösterilebilir. Paso sayısının fazla olması, baskı kuvvetinin kaynak bölgesinde gezinmesini uzatmıştır. İlerlemenin orta değerlerde olması yükün tesirini artırmıştır. Haddeme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 18 Hv olmuştur.

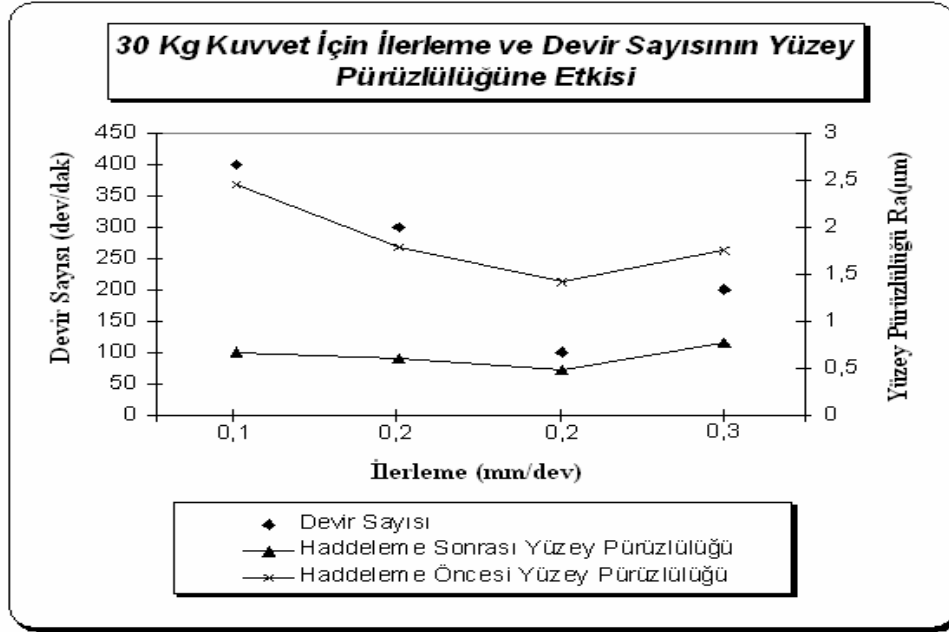
13 nolu numune için; devir sayısı dokuz nolu numuneye göre iki katına çıkarılarak, ilerleme de % 50 artmasına rağmen, yüzey sertliği ilerlemenin maksimum olması sebebiyle düşmüştür. Haddeme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:132$ iken, haddeme sonrasında $Hv_4:140$ olmuştur. Paso sayısının fazlalığı yüzey sertliğinin etkisini artırmıştır. Çünkü haddeme bilyesinin, parça yüzeyi üzerinde gezinmesi tekrarlandığı için sertliğe etkisi olumlu yönde olmuştur. Bu grup

numune parçalar içerisinde yüzey sertliği en az gelişen malzemedir. Haddeme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 8 Hv olmuştur.

14 nolu numune için; devir sayısı dokuz nolu numuneye göre üç katına çıkarılarak, ilerleme ve paso sayısı aynı tutulduğunda, malzeme üzerindeki hızlı hareket ile uygulanan kuvvetinde etkisi düşünüldüğünde yüzey sertliğine olumlu etki etmiştir. Dokuz nolu numuneye göre sadece devir sayısını yüksek olması yüzey sertliğinin daha iyi olmasına neden olmuştur. Haddeme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği Hv₂:140 iken, haddeme sonrasında Hv₄:157 olmuştur. Bu grup içerisinde yüzey sertliği en iyi olan numune parçadır. Haddeme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 17 Hv olmuştur.

15 nolu numune için; devir sayısı maksimum seviyede tutularak, ilerleme ise minimum seviyeye çekilerek haddeme işlemi yapıldı ve yüzey sertliği bu gruba göre orta seviyede olmuştur. Haddeme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği Hv₂:142 iken, haddeme sonrasında Hv₄:150 olmuştur. Devir sayısının maksimum olmasına rağmen, ilerlemenin düşük olması yüzey sertliğinin artmasına sağlayacağına, aksine azaltmıştır. Devir sayısına göre düşünüldüğünde, paso sayısının az olması sertliğin düşmesine neden olmuştur. Haddeme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 8 Hv olmuştur.

Malzeme yüzeyine uygulanan kuvvetin daha çok tesir etmesi, devir sayısından ziyade, ilerleme ve paso sayısı belirlemiştir. Devir sayısının artması yüzey sertliğini olumsuz etkilemiştir. Paso sayısı, haddeme bilyesinin malzeme yüzeyinde daha uzun veya kısa süreli gezinmesini sağlamıştır. İlerleme ise sadece ezme zamanını uzatarak, yüzeyin sertliğine doğrudan etkide bulunmuştur. Sonuç olarak; düşük devir, ilerleme ve paso ayısının fazlalığı, yüzey sertliğinin gelişmesini olumlu yönde etkilemektedir.



Şekil 5.27. 30 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü

9 nolu numune için; grup içerisinde en iyi yüzey pürüzlülüğü bu numunede elde edilmiştir. Yüzeyin pürüzlülüğü iyi olması eksantrik haddelemenin yavaş, ilerlemenin orta değer bir parametrede izlemesidir. Paso sayısının fazla olması, yükün tesirini arttırmış, ezmenin süresi uzamıştır. Haddelenme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,418 \mu m$ iken, haddelenme sonrasında $Ra_3:0,480 \mu m$ olmuştur. Devir sayısı yüzey pürüzlülüğüne direkt olarak etki ettiği görülmüştür. Haddelenme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $0,938 \mu m$ olmuştur.

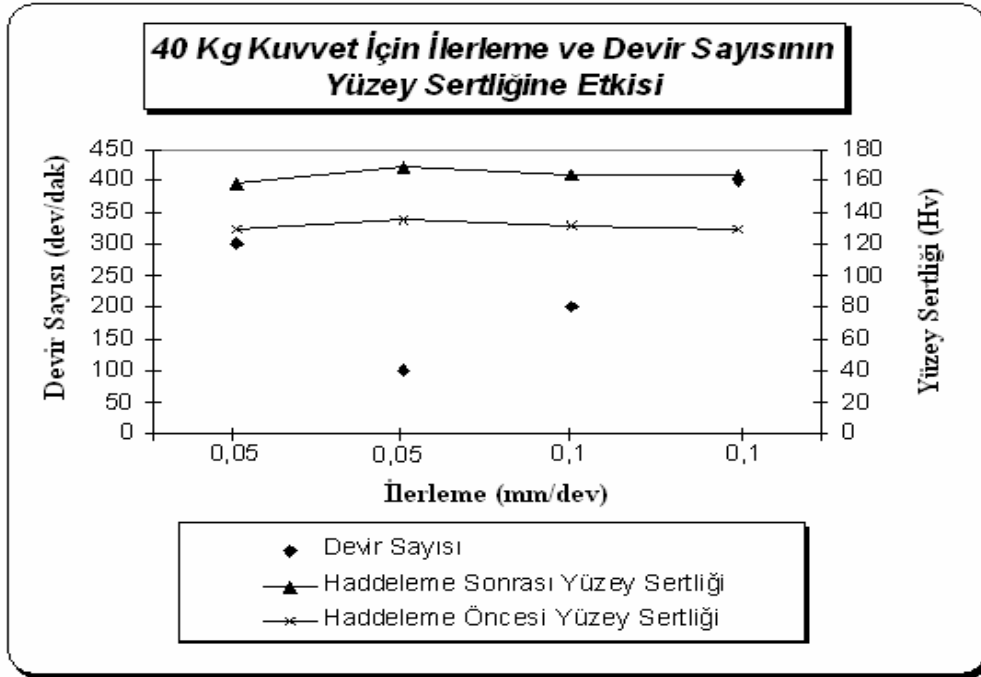
13 nolu numune için; ilerlemenin artırıldığı ve paso sayısının düşürüldüğü bu numunede, yüzey pürüzlülüğü diğer numunelere göre iyileşmesi az olmuştur. Haddelenme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,742 \mu m$ iken, haddelenme sonrasında $Ra_3:0,765 \mu m$ olmuştur. İlerlemenin fazla olması yüzey pürüzlülüğüne olumsuz yönde etki etmiştir. Haddelenme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $0,977 \mu m$ olmuştur.

14 nolu numune için; devir sayısı ve paso miktarının artırılması, ilerlemenin de düşürülmesi ile yüzey kalitesinin daha çok iyileştiği görülmektedir. İlerlemenin orta

seviyede tutulması yüzey pürüzlülüğüne etkisini olumlu yansıtmıştır. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,778 \mu m$ iken, haddeleme sonrasında $Ra_3:0,596 \mu m$ olmuştur. Paso sayısı, devir sayısının fazla olmasından kaynaklanan olumsuzluğu telafi etmiştir. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,182 \mu m$ olmuştur.

15 nolu numune için; ilerlemenin düşük, devir sayısının maksimum olduğu bu parametrede, yüzey pürüzlülüğü orta değerde çıkmıştır. İlerleme az olduğunda malzeme yüzeyinde deformasyon gerçekleşmiştir. Devir sayısının yüksek olması yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki ederken, ilerlemenin yavaş olması malzemede bozulmalara neden olmuş ve yüzey kalitesini düşürmüştür. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,791 \mu m$ olmuştur.

Grafiğe bakıldığında; devir sayısının düşük, ilerlemenin orta seviyede tutulduğu parametrelerde, yüzey pürüzlülüğünün daha kaliteli olduğu görülmüştür. Paso sayısının da fazla olması yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkilemiştir. Kaynak yüzeyine nüfuz eden baskı kuvveti artıkça ve bu baskı kuvvetini mümkün olan en iyi parametrede kaynak bölgesine yansıtıldığında, en iyi yüzey pürüzlülüğü elde edildiği görülmüştür.



Şekil 5.28. 40 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü

16 nolu numune için; iş mili devri ve ilerlemenin minimum olduğu bu parametrede en iyi yüzey sertlik değeri elde edilmiştir. Paso sayısının fazla olması yüzey sertliğine etkisini göstermiştir. Haddeme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:135$ iken, haddeme sonrasında $Hv_4:168$ olmuştur. Bu numune için uygulanan haddeme parametresi, bu grup numuneler içerisinde uygulanan parametreler arasında yüzey sertliği en iyi olan numunedir. Haddeme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 33 Hv olmuştur.

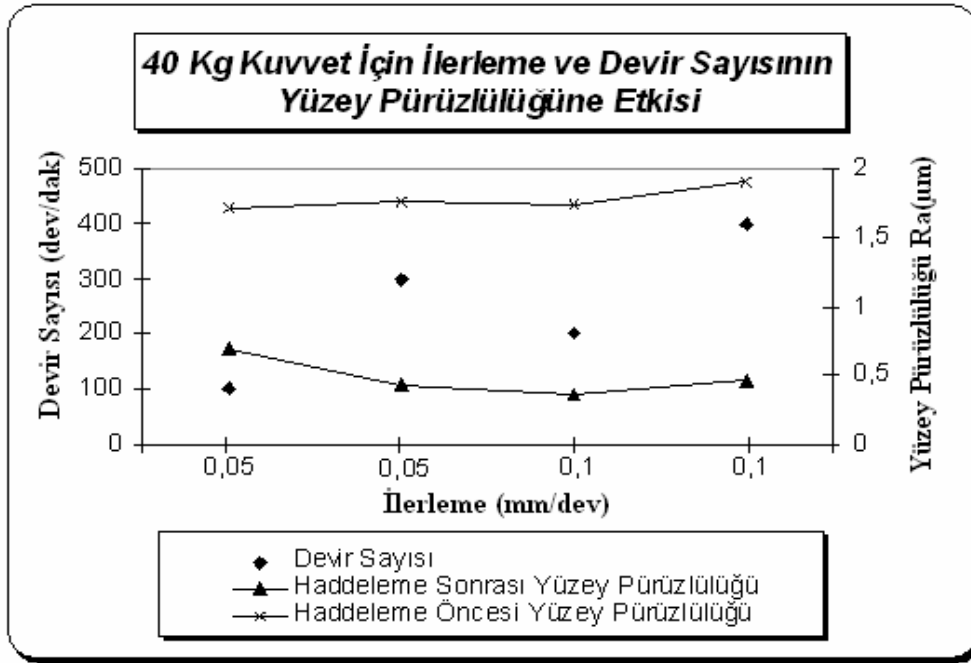
17 nolu numune için; ilerleme miktarının fazla, paso sayısının az olması bu parametrenin yüzey sertliğinde olumsuz etkiye neden olmuştur. Haddeme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği $Hv_2:132$ iken, haddeme sonrasında $Hv_4:164$ olmuştur. Devir ve ilerlemenin artması, paso sayısının azalması ile yüzey sertliği grup içerisinde 16 nolu numuneye göre azalma göstermiştir. Haddeme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 32 Hv olmuştur.

18 nolu numune için; devir sayısının yükselmesine karşın, ilerleme ve paso sayısının düşük olması, yüzey sertliğine olumsuz etki etmiştir. Uygulanan baskı kuvvetinin

yüksek devirdeki hareket ve ilerlemenin yavaşlamasıyla birlikte etkisini negatif olarak gösterdiği söylenebilir. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği Hv₂:130 iken, haddeleme sonrası Hv₄:158 olmuştur. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 28 Hv olmuştur.

19 nolu numune için; devrin maksimum oluşu ve gruba göre ilerlemenin hızlı olmasına rağmen, baskı kuvveti de düşünüldüğünde, haddeleme işlemi malzeme yüzeyinde olumlu sonuçlar göstermiştir. 17 nolu numune ile kıyaslandığında sadece devir sayısının bu numunede fazlalaştığı görülür. Devir sayısının fazla olması yüzey sertliğine herhangi bir etki sağlamamıştır. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey sertliği Hv₂:130 iken, haddeleme sonrası Hv₄:164 olmuştur. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey sertlikleri arasındaki fark 34 Hv olmuştur.

Baskı kuvvetinin artması, yüzey sertliğinde de artışa neden olmuştur. Devrin fazlalığı, uygulanan ilerlemeye göre değiştiğinden, yüzey sertliği de bu yönde değişmektedir. Devir ve ilerleme miktarının yavaş olması yüzey sertliğini haddeleme öncesindeki sertliğe göre artırmıştır. İlerlemenin yavaş olması, ezme işleminin de yavaş olmasına sebebiyet verdiğinden, malzemenin yüzeyinde sertleşmenin daha iyi olmasına neden olmuştur. İlerleme miktarı ile paso sayısı arasındaki ilişkinin, yüzey sertliği üzerinde en önemli etkiyi bıraktığı görülmüştür. Uygulanan baskı kuvveti arttıkça yüzey sertliğinin de artacağı öngörülebilir.



Şekil 5.29. 40 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü

16 nolu numune için; devir sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi olumsuz yansımıştır. Düşük devir sayısı ve ilerleme, paso sayısının fazlalığı, numune yüzeyinde bozulmalara neden olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü grup içerisinde göre daha az gelişmiştir. Haddemele öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,711 \mu m$ iken, haddemele sonrasında $Ra_3:0,690 \mu m$ olmuştur. Haddemele öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,021 \mu m$ olmuştur.

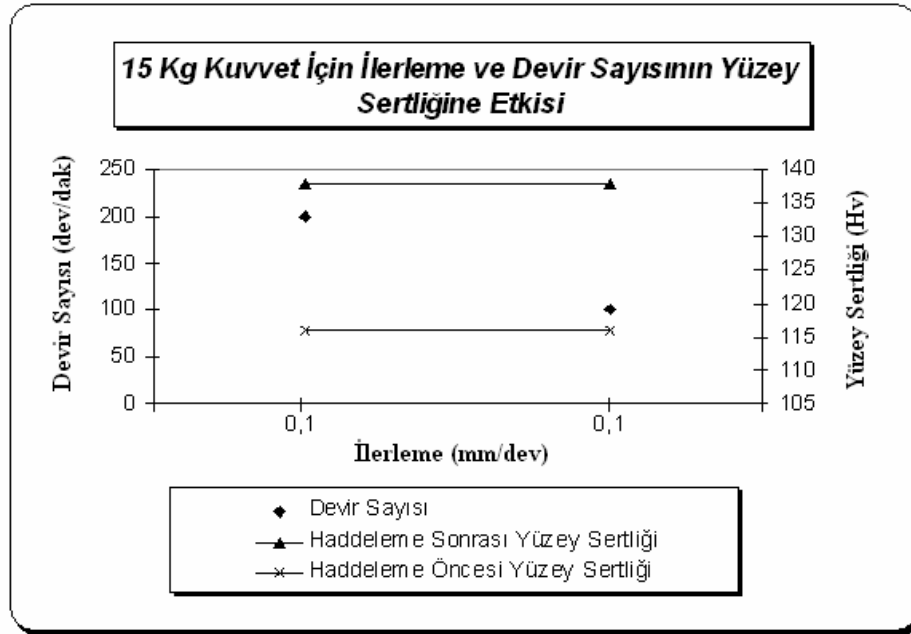
17 nolu numune için; devir sayısı ve ilerlemenin artmasıyla, yüzey pürüzlülüğü, bu grup numuneler içerisinde en iyi değerde olmuştur. Paso sayısının gruba göre orta değerde olması, numune yüzeyinde deformasyonun fazla gerçekleşmemesine ve yüzey pürüzlülüğünün iyi olmasını sağlamıştır. Haddemele öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,735 \mu m$ iken, haddemele sonrasında $Ra_3:0,358 \mu m$ olmuştur. Haddemele öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,377 \mu m$ olmuştur.

18 nolu numune için; devirin yükselmesi, ilerlemenin düşmesine rağmen yüzey pürüzlülük değeri, diğerlerine göre ortalama bir değerde çıkmıştır. Paso sayısının bu gruba göre az olması, yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde etki etmiştir. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,755 \mu m$ iken, haddeleme sonrasında $Ra_3:0,434 \mu m$ olmuştur. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $0,778 \mu m$ olmuştur.

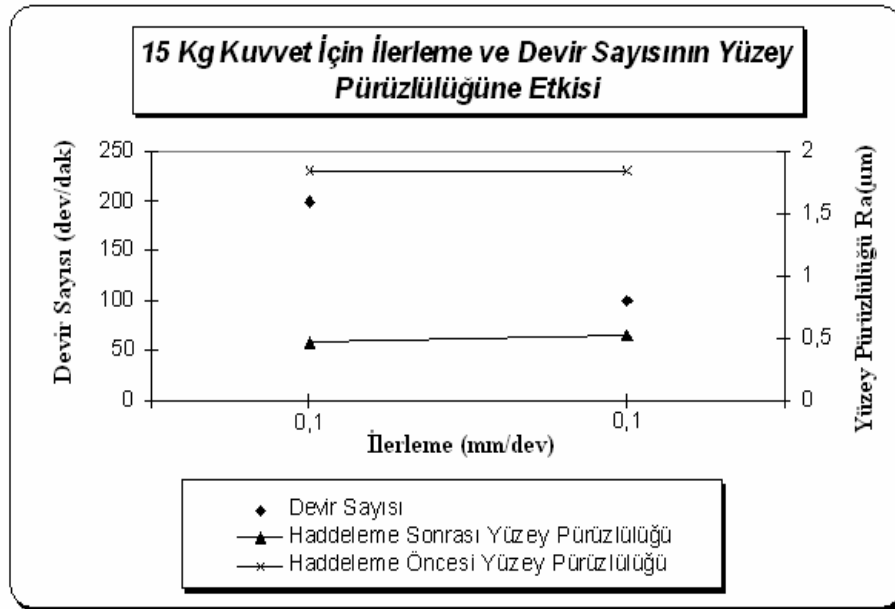
19 nolu numune için; yüzey pürüzlülüğü gruba göre en iyi olan numuneye göre kıyaslandığında, devir sayısının maksimum, ilerleme ve paso sayısının ortalama bir değerde bulunması, yüzey kalitesinin düşük olmasına neden olduğu söylenebilir. Haddeleme öncesinde kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü $Ra_2:1,901 \mu m$ iken, haddeleme sonrasında $Ra_3:0,466 \mu m$ olmuştur. 17 nolu numuneye göre kıyaslandığında, parametreler aynı olmasına rağmen devrin yüksek oluşu, yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemiştir. Haddeleme öncesi ve sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülükleri arasındaki fark $1,435 \mu m$ olmuştur.

Devir sayısı, ilerleme ve paso sayısının ortalama olduğu değerde yüzey pürüzlülüğünün en iyi şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Paso sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi oldukça fazladır. Paso sayısının fazlalığı yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilerken, az olması ise olumlu etki yaratmaktadır. Sonuç olarak; haddeleme işleminde kullanılan parametreler, yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesinde önemli bir yer sahiptir. Daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü için yüksek devir, ortalama değerde ilerleme, paso sayısının az ve baskı kuvveti de fazla olması, haddelemenin de o kadar iyi olmasını sağlayacaktır. Ve böylece yüzey kalitesinin daha iyi olacağı öngörülebilir.

**5.10. Isıl İşlem Uygulanan Malzemeye Haddeme İşlemi Yapılarak,
Sonuçlarının Yüzey Sertliği ve Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi**

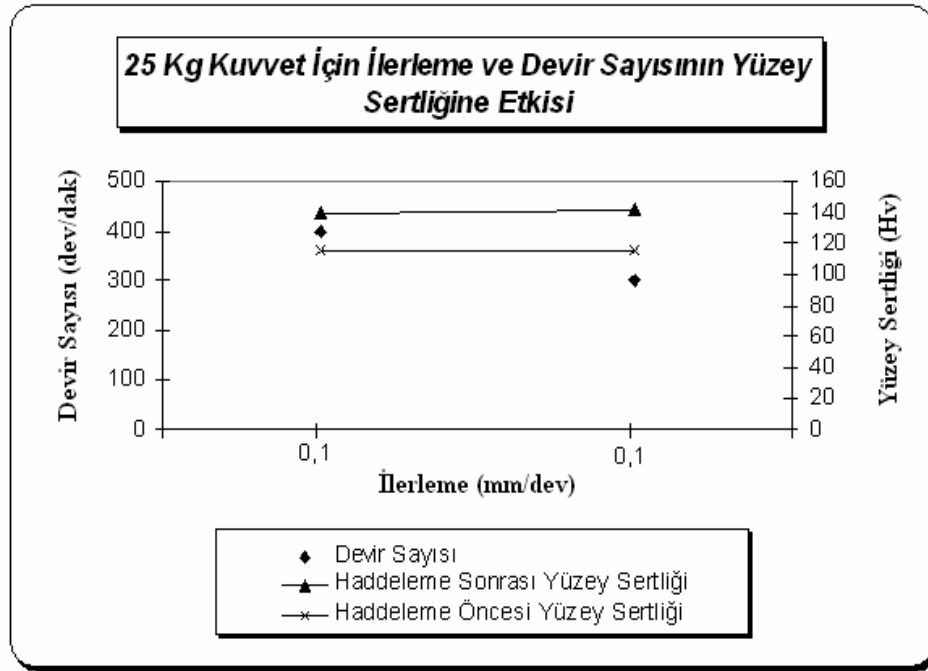


Şekil 5.30. 15 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü

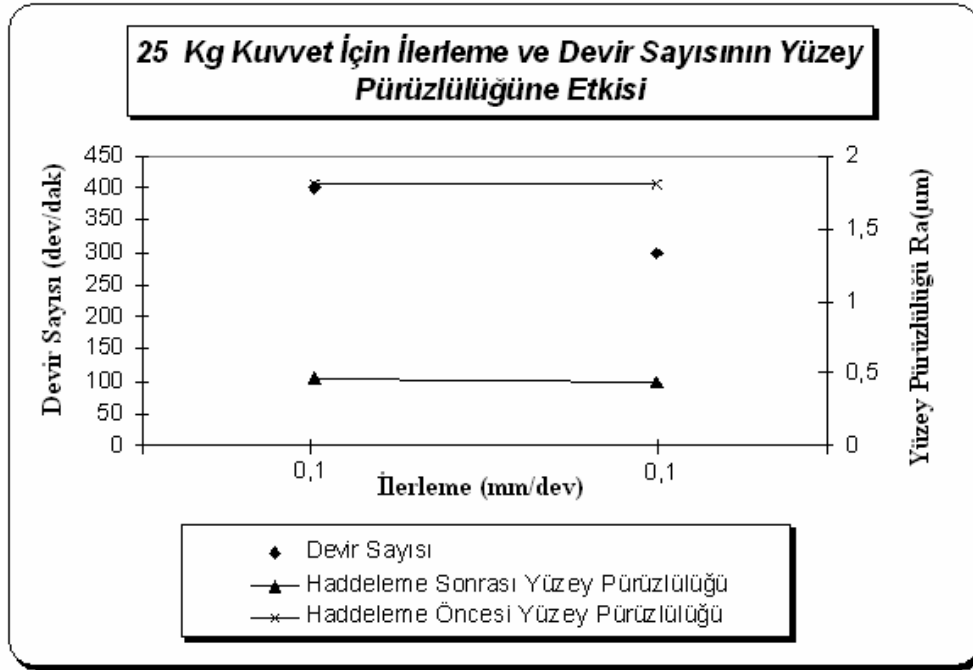


Şekil 5.31. 15 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Haddeleme işlemi yüzey pürüzlülüğü ve sertliğine olumlu yönde etki etmiştir. Devir sayısının yüksek ya da düşük olması yüzey sertliğinde herhangi bir fark yaratmamıştır. Sertlik haddeleme öncesine göre daha iyi olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü ise yüksek devir ve düşük paso sayısında daha iyi sonuç vermiştir. Sonuç olarak; yüzeyi sertliği ve pürüzlülüğü ters orantılı olarak iyileşirken, diğer parametrelerin ise (devir sayısı, uygulanan baskı kuvveti ve ilerleme) haddelemede önemli yere sahiptir (Şekil 5.30-Şekil 5.31).

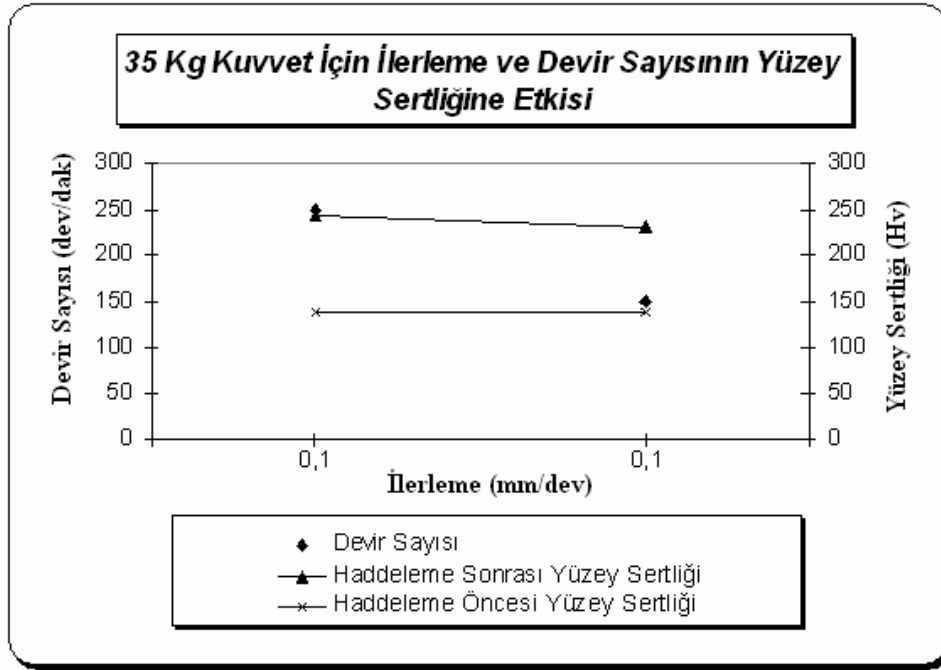


Şekil 5.32. 25 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü

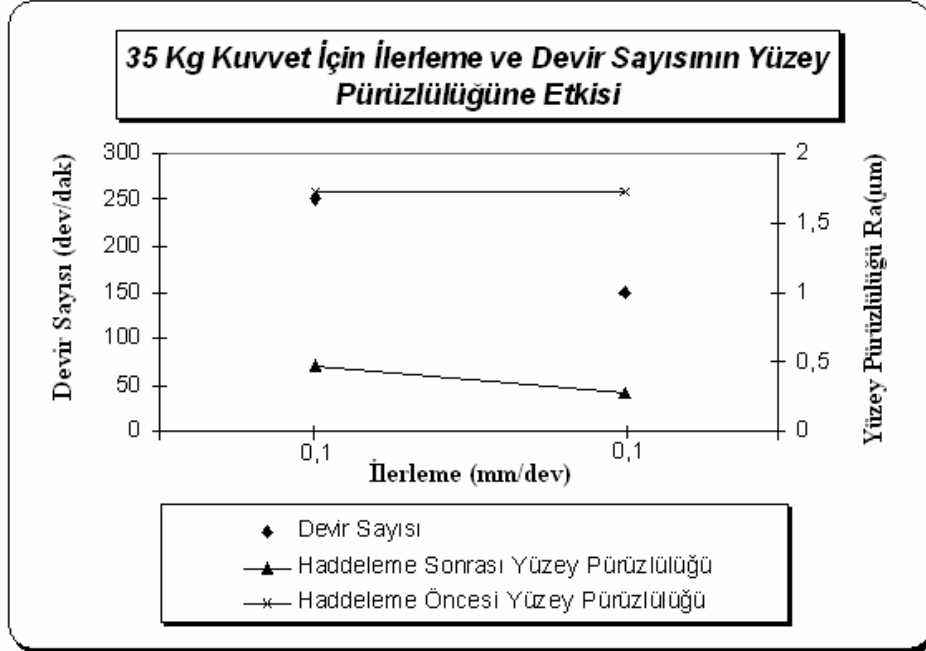


Şekil 5.33. 25 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Haddelerme işlemi yüzey pürüzlülüğü ve sertliğine olumlu yönde etki etmiştir. Devir sayısının fazla ve paso sayısının az olması sertliği olumsuz etkilemiştir. Uygulanan baskı kuvvetini de göz önüne alırsak sertlik öncekine göre daha iyi olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü ise devir yükseldikçe bozulmaya başlamıştır. Sonuç olarak; numune yüzeyi üzerinde uygulanan parametrelerdeki uyumun önemi ortaya çıkmıştır. Kullanılan numunenin ısıtılma işlemi sonrası aldığı sertlikte, yüzeyin özelliklerine doğrudan etki etmiştir.



Şekil 5.34. 35 kg kuvvet için yüzey sertliği ölçümü

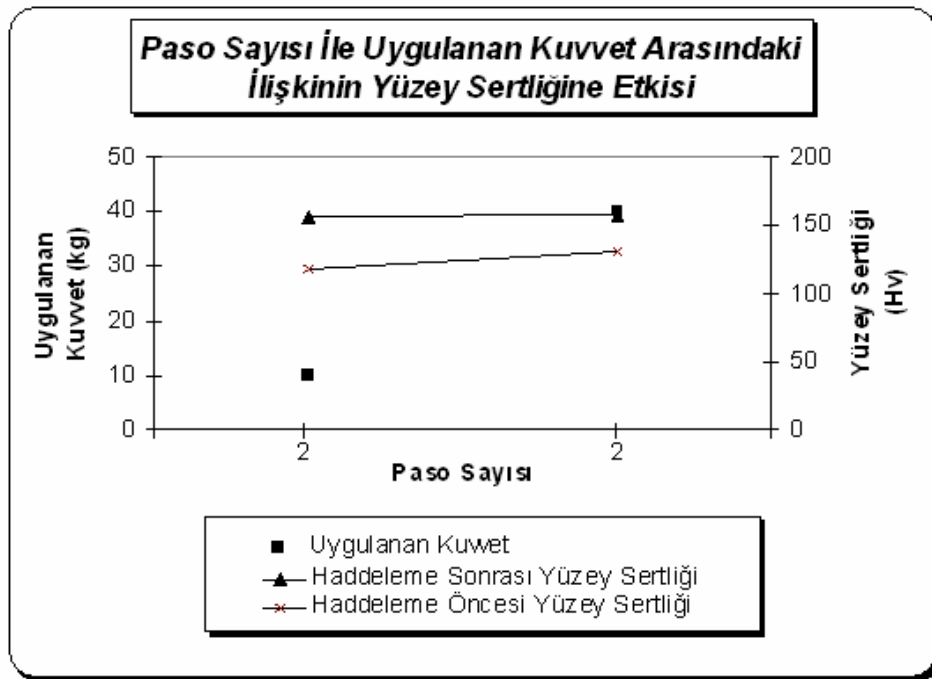


Şekil 5.35. 35 kg kuvvet için yüzey pürüzlülüğü ölçümü

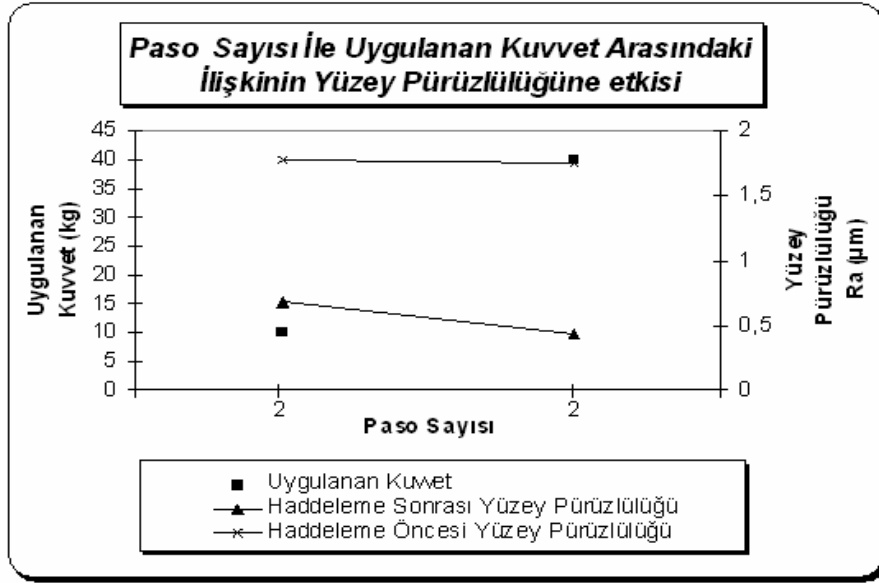
Uygulanan baskı kuvvetinin ısıtılma uğrayan diğer numunelere göre daha fazla olması, yüzey sertliği ve pürüzlülüğüne olumlu yönde etkilemiştir. Haddemenin

uygulandığı tüm numunelerden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Isıl işlem uygulana malzemelerde haddeleme işlemi daha iyi sonuçlar alınmıştır. Orta değerdeki devir sayısında yüzey sertliği, düşük devirde ise yüzey pürüzlülüğü daha iyi olmuştur. İlerleme ve baskı kuvvetinin aynı olduğu numunede, devir ve paso sayısı sertlik ve pürüzlülük üzerinde etkili olmuştur.

5.11. Uygulanan Kuvvet ile Paso Sayısı Arasındaki İlişkinin Haddeleme Sonrasında Yüzey Sertliği ve Pürüzlülüğüne Etkisi

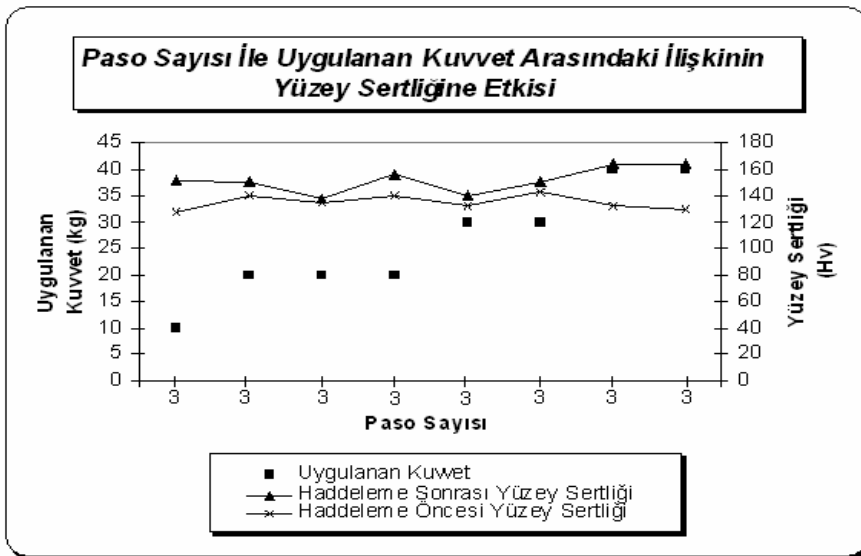


Şekil 5.36. 10-40 kg kuvvet ve iki paso sayısı için yüzey sertliği kıyaslaması

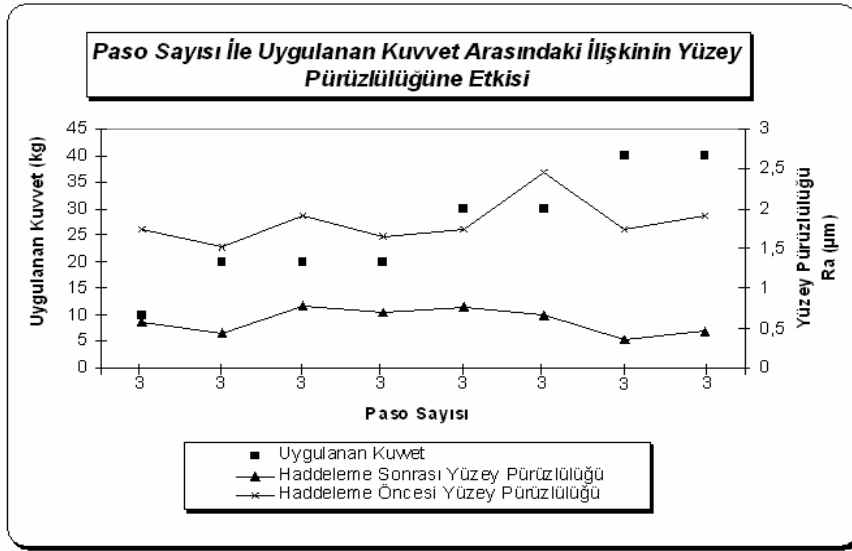


Şekil 5.37. 10-40 kg kuvvet ve iki paso sayısı için yüzey pürüzlülüğü kıyaslaması

Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'e bakıldığında uygulanan kuvvet arttıkça haddelenen yüzeyin sertliğinde artmıştır. Paso sayısı sabit olduğundan baskı kuvvetinin yüzey sertliğine olumlu etki ettiği görülür. Yüzey pürüzlülüğü ise uygulanan kuvvetin fazla olması sebebiyle önceki yüzeye göre daha iyi olmuştur. İki yüzey incelemesinde, uygulanan kuvvetin yüzeyin sertliğine ve pürüzlülüğüne etkisi fazla olmuştur.

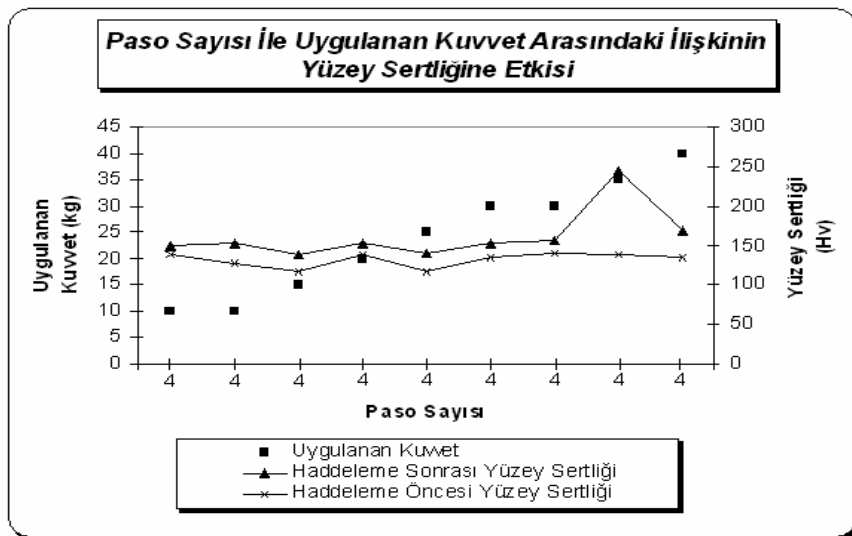


Şekil 5.38. 10-20-30-40 kg kuvvet ve üç paso sayısı için yüzey sertliği kıyaslaması

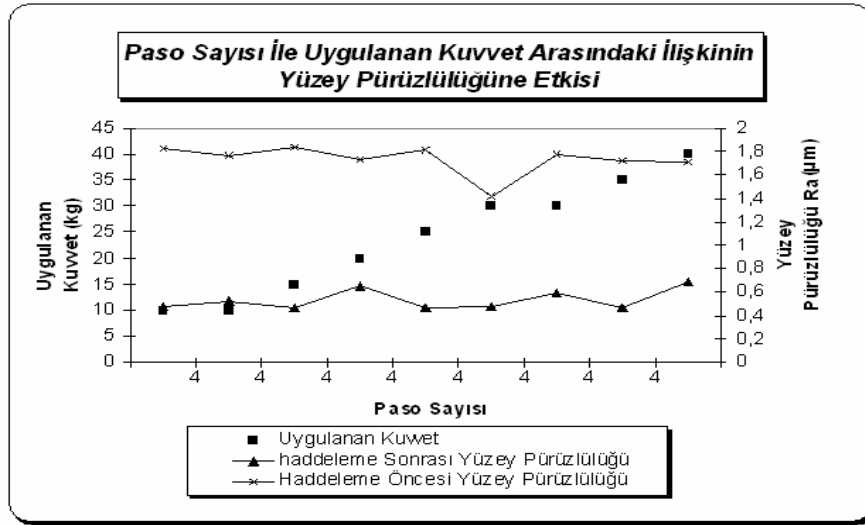


Şekil 5.39. 10-20-30-40 kg kuvvet ve üç paso sayısı için yüzey pürüzlülük kıyaslaması

Şekil 5.38 ve Şekil 5.39’da uygulanan kuvvetler arttıkça yüzeyde oluşan sertlikte artmıştır. Paso sayıları aynı olmasına karşı, uygulanan kuvvet, ilerleme ve devir sayısının yüzey karakteristiklerinin de değişmesine neden olmuştur. Yüzey pürüzlülüğü ise devir sayının ve uygulanan kuvvetin artmasıyla iyi hale gelmiştir. Kuvvet 40 kg ve 4 paso en iyi yüzey sertliği, 25 kg ise en iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir.

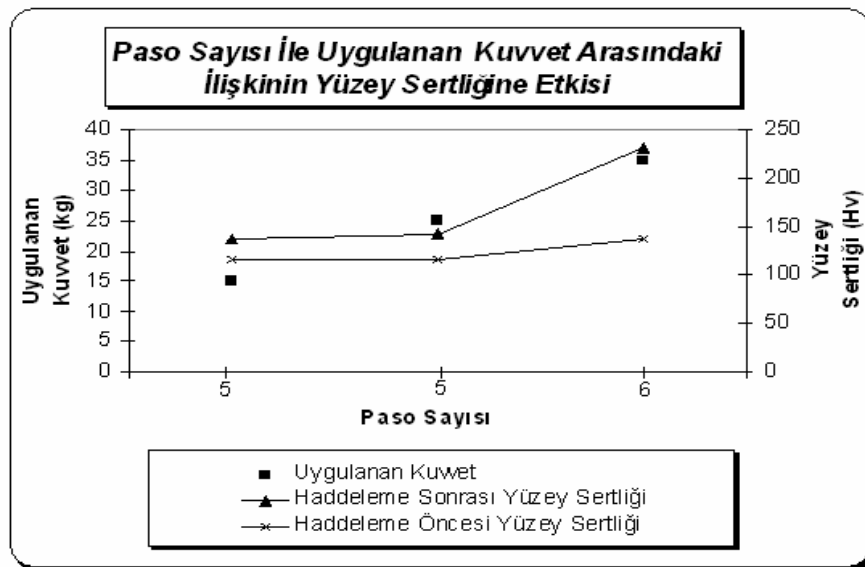


Şekil 5.40. 10-15-20-25-30-35-40 kg kuvvet ve dört paso sayısı için yüzey sertliği

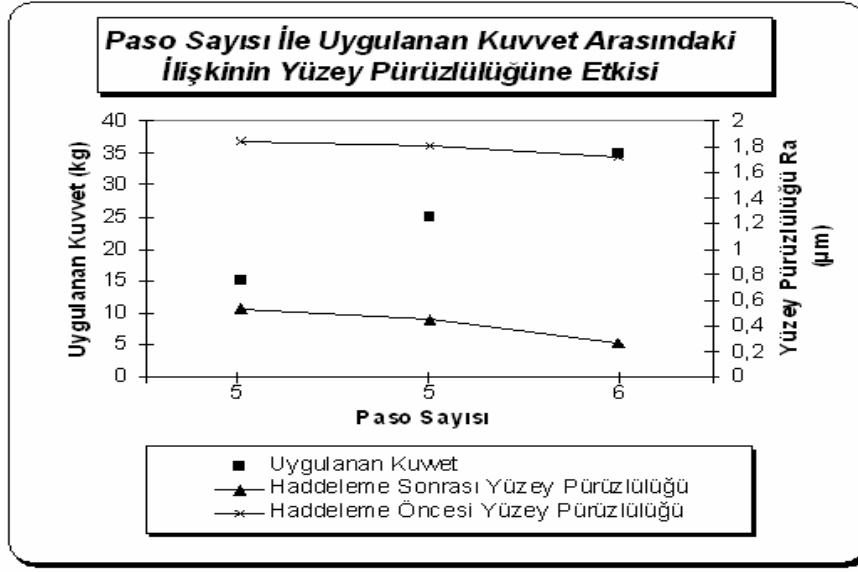


Şekil 5.41. 10-15-20-25-30-35-40 kg kuvvet ve dört paso sayısı için yüzey pürüzlülüğü kıyaslaması

Şekil 5.40 ve Şekil 5.41 'de paso sayısının dört olduğu numuneler incelenmiştir. Farklı baskı kuvvetleri uygulanarak elde edilen yüzey sertliği ve pürüzlülüğü değerleri gösterilmektedir. Yüzey sertliğinde paralel bir artış gözlenmektedir. Uygulanan kuvvet ve paso sayısının yanı sıra, ilerlemenin de parça yüzeyinde önemli bir etki sağladığı söylenebilir. Devir sayısının fazlalaşması sertliği arttırırken, yüzey pürüzlülüğünü azaltmıştır.



Şekil 5.42. 15-25-35 kg kuvvet ve üç paso sayısı için yüzey sertliği kıyaslaması



Şekil 5.43. 15-25-35 kg kuvvet ve üç paso sayısı için yüzey pürüzlülüğü kıyaslaması

Şekil 5.42 ve Şekil 5.43 'de ısıl işleme tabi tutulan malzemenin yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Paso sayısı artıkcı yüzey pürüzlülüğü azalmış, yüzey sertliği de artmıştır. Uygulanan baskı kuvveti farklılığı yüzey özelliklerine olumlu yansımıştır.

Çizelge 5.16 Haddeleme öncesi ve sonrası kaynak bölgesinde oluşan yüzey sertlik farkları

<i>Parça</i>	<i>Haddeleme sonrası kaynak bölgesindeki yüzey sertliği</i>	<i>Haddeleme öncesi kaynak bölgesindeki yüzey sertliği</i>	<i>Arasındaki fark</i>
1	156 Hv	118 Hv	38 Hv
2	150 Hv	138 Hv	12 Hv
3	152 Hv	128 Hv	24 Hv
4	152 Hv	128 Hv	24 Hv
5	150 Hv	140 Hv	10 Hv
6	138 Hv	135 Hv	3 Hv
7	153 Hv	138 Hv	15 Hv
8	156 Hv	140 Hv	16 Hv
9	153 Hv	135 Hv	18 Hv
10	138 Hv	116 Hv	22 Hv
10-1	138 Hv	116 Hv	22 Hv
11	140 Hv	116 Hv	24 Hv
11-1	142 Hv	116 Hv	26 Hv
12	244 Hv	138 Hv	106 Hv
12-1	232 Hv	138 Hv	94 Hv
13	140 Hv	132 Hv	8 Hv
14	157 Hv	140 Hv	17 Hv
15	150 Hv	142 Hv	8 Hv
16	168 Hv	135 Hv	33 Hv
17	164 Hv	132 Hv	32 Hv
18	158 Hv	130 Hv	28 Hv
19	164 Hv	130 Hv	34 Hv

Çizelge 5.16’da haddeleme öncesi ve sonrası kaynak bölgesinde oluşan yüzey sertlik farkları verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında en iyi yüzey sertlik farkı 12 nolu numunede meydana gelmiştir. 12 nolu numunede, haddeleme öncesi yapılan ısıtma işleminin malzemenin sertliğine etkisini olumlu yönde olmuştur. Haddeleme işlemi sonucu yüzey sertlik farkının en iyi gerçekleştiği diğer malzeme ise 1 nolu numunedir.

1 nolu numune için kullanılan haddeleme parametreleri şunlardır: devir sayısı 100 dev/dak, ilerleme miktarı 0,05 mm/dev, uygulanan kuvvet 10 kg ve paso sayısı 2’dir. Çizelge 5.16’ya bakıldığında haddelemenin numuneden numuneye uygulanan

parametrelere göre fark ettiği görülmüştür. Sonuç olarak; aparatın numune üzerindeki hareket etme süresi ne kadar fazla ve yavaş olursa (baskı kuvveti de düşünüldüğünde) yüzey sertliği de o kadar iyi olabileceği söylenebilir.

Çizelge 5.17 Haddemelele öncesi ve sonrası kaynak bölgesinde oluşan yüzey pürüzlülük farkları

<i>Parça</i>	<i>Haddemelele öncesi kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü</i>	<i>Haddemelele sonrası kaynak bölgesindeki yüzey pürüzlülüğü</i>	<i>Arasındaki fark</i>
1	1,780 μm	0,685 μm	1,095 μm
2	1,829 μm	0,475 μm	1,354 μm
3	1,736 μm	0,579 μm	1,157 μm
4	1,768 μm	0,519 μm	1,249 μm
5	1,510 μm	0,443 μm	1,067 μm
6	1,903 μm	0,778 μm	1,125 μm
7	1,735 μm	0,655 μm	1,080 μm
8	1,647 μm	0,706 μm	0,941 μm
9	1,418 μm	0,480 μm	0,938 μm
10	1,843 μm	0,465 μm	1,378 μm
10-1	1,843 μm	0,528 μm	1,315 μm
11	1,812 μm	0,461 μm	1,351 μm
11-1	1,812 μm	0,444 μm	1,368 μm
12	1,722 μm	0,469 μm	1,253 μm
12-1	1,722 μm	0,270 μm	1,452 μm
13	1,742 μm	0,765 μm	0,977 μm
14	1,778 μm	0,596 μm	1,182 μm
15	2,450 μm	0,659 μm	1,791 μm
16	1,711 μm	0,690 μm	1,021 μm
17	1,735 μm	0,358 μm	1,377 μm
18	1,755 μm	0,434 μm	1,321 μm
19	1,901 μm	0,466 μm	1,435 μm

Çizelge 5.17’de haddemelele öncesi ve sonrası kaynak bölgesinde oluşan yüzey pürüzlülük farkları verilmiştir. Çizelgeye bakıldığında en iyi yüzey pürüzlülük farkı 15 nolu numunede meydana gelmiştir. 15 nolu numune için kullanılan haddemelele parametreleri şunlardır: Devir sayısı 400 dev/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev, uygulanan kuvvet 30 kg ve paso sayısı 3’tür. En iyi yüzey pürüzlülüğünün olduğu numunenin parametrelerine bakıldığında, uygulanan devir sayısı ile ilerlemenin hızlı

oluşu malzeme yüzeyinde hareket eden aparatın gezinme süresinin de kısa olduğu çıkarılabilir. Sonuç olarak; aparatın numune üzerindeki hareket etme süresi ne kadar az ve hızlı olursa (baskı kuvveti de düşünüldüğünde) yüzey pürüzlülüğü de o kadar iyi olabileceği öngörülebilir. Haddeme sonrasında malzeme kaynak bölgesinde kalınlık farkı olmuştur. Elde edilen bu kalınlık farkı, uygulanan baskı kuvvetine ve haddeme aparatı bilyesinin gezinme süresine göre değişmiştir. Haddeme öncesi ve sonrası malzemede oluşan kalınlık farkı Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Haddeme öncesi ve sonrası malzemede oluşan kalınlık farkı

<i>Parça</i>	<i>Parçanın haddemeden önceki kalınlığı</i>	<i>Parçanın haddemeden sonraki kalınlığı</i>	<i>Arasındaki fark</i>
1	9,588 mm	9,448 mm	0,14 mm
2	9,576 mm	9,495 mm	0,081 mm
3	9,577 mm	9,426 mm	0,151 mm
4	9,467 mm	9,427 mm	0,04 mm
5	9,657 mm	9,540 mm	0,117 mm
6	9,523 mm	9,275 mm	0,248 mm
7	9,460 mm	9,447 mm	0,013 mm
8	9,546 mm	9,481 mm	0,065 mm
9	9,610 mm	9,474 mm	0,136 mm
10	9,665 mm	9,558 mm	0,107 mm
10-1	9,596 mm	9,583 mm	0,013 mm
11	9,650 mm	9,475 mm	0,175 mm
11-1	9,591 mm	9,545 mm	0,046 mm
12	9,600 mm	9,570 mm	0,03 mm
12-1	9,684 mm	9,514 mm	0,17 mm
13	9,516 mm	9,460 mm	0,056 mm
14	9,582 mm	9,474 mm	0,108 mm
15	9,512 mm	9,478 mm	0,034 mm
16	9,597 mm	9,554 mm	0,043 mm
17	9,532 mm	9,488 mm	0,044 mm
18	9,581 mm	9,516 mm	0,065 mm
19	9,472 mm	9,424 mm	0,048 mm

Haddeme işlemi ile malzeme yüzeyine uygulanan baskı kuvvetinin oluşturduğu çöküntünün “mm” olarak karşılığı tespit edilmiştir. Numunelerin haddeme öncesi

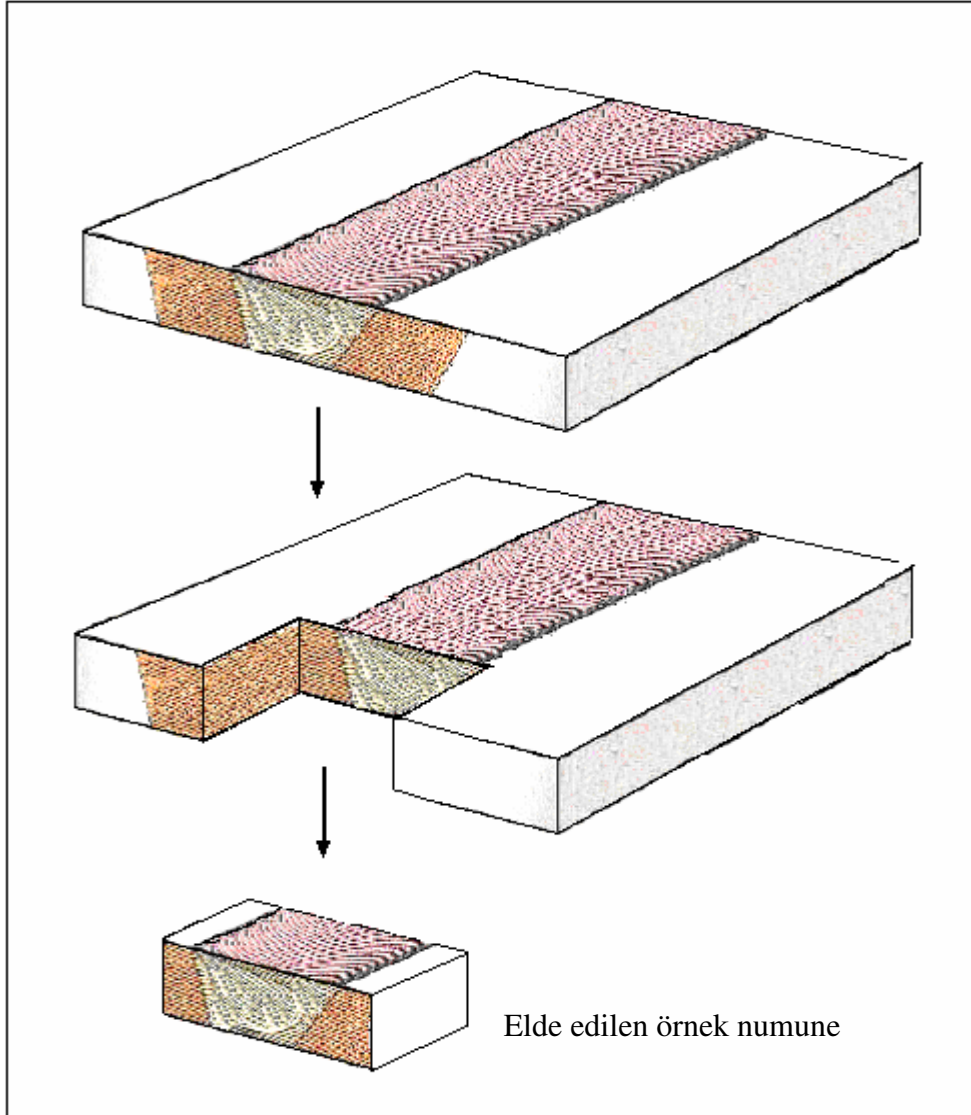
kalınlığı ile haddeleme sonrasındaki kalınlık farkı, uygulanan kuvvete göre değişmektedir. Değişim malzemenin mekanik özelliğine ve uygulanan haddeleme parametrelerine göre farklılaştığı söylenebilir. Numuneler arasındaki kalınlık farkı en fazla olan numune 6 nolu numunedir. Bu numune için belirlenmiş haddeleme şartları şöyledir:

Haddeleme deviri 200 dev/dak , ilerleme 0,2 mm/ dev, uygulanan baskı kuvveti 20 kg ve paso sayısı 3'tür. Parametrelere bakıldığında uygulanan devir sayısı ve ilerleme, tüm numuneler için belirlenen haddeleme parametrelerine göre orta değerdedir.

Bu parametrelere göre , kalınlık farkındaki azalmayı haddelemede uygulanan baskı kuvveti ve haddeleme öncesinde gerçekleştirilen sürtünme karıştırma kaynağının, kaynak yapısının sertliği ile ilişkili olduğu söylenebilir.

5.12. Haddeleme Sonrasında Kaynak Bölgesinden Alınan Mikro Yapı ve Mikro Sertlik

5.12.1. Mikro yapısı incelenecek numunenin hazırlanması



Şekil 5.44 Haddelenen bölgenin mikro yapısının incelenmesi için alınan numune

Sürtünme karıştırma kaynağı sonrası haddeleme yapılan numuneler, mikro yapının incelenmesi için iki eşit parçaya bölünmüştür. Daha iyi yüzey oluşumunu elde etmek için kaynaklı bölgenin orta kısmından numune alınmıştır. Sürtünme karıştırma kaynağı ve haddeleme işlemine tabi tutulan numunelerin orta kısmından mikro yapısı

incelenecek numune çıkartılmıştır. Numunenin çıkartılma işleminde, mikro yapının daha sağlıklı bir şekilde incelenebilmesi için tezgâh işleme sırasında malzemede oluşacak ısıyı minimize etmek için soğutma sıvısı kullanılmıştır. Şekil 5.44’de mikro yapının incelenmesi için gerekli olan numunenin alınma aşaması gösterilmiştir.

5.12.2 Elde edilen numunenin mikro yapısının incelenebilmesi için tabi tutulduğu işlemler

Elde edilen numunede mikro yapının incelenebilmesi için gerekli olan işlem basamakları bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla;

1. Mikro yapının inceleneceği yüzeyi 1200 zımpara kağıdı ile numune yüzeyi parlayıncaya kadar zımparalandı.
2. Zımparalanan yüzey üzerine honlama yapıldı. Yüzey iyice parlatıldı.
3. İncelenecek numune kimyasal bir sıvı içerisinde bekletilerek yakma işlemi gerçekleştirildi.

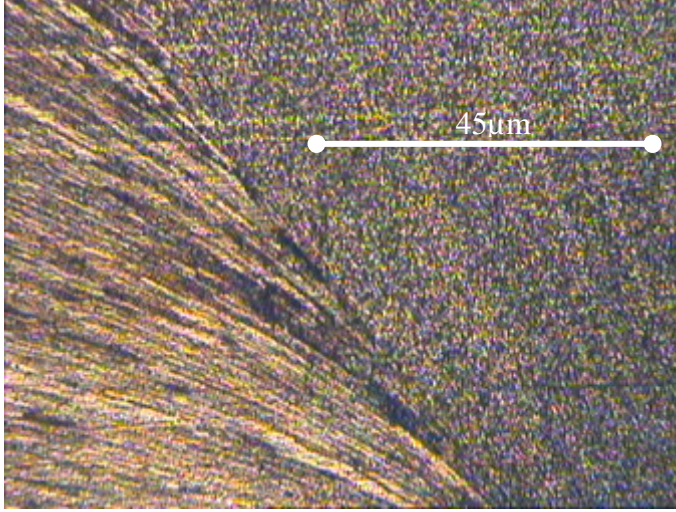
5.12.3 Mikro yapının incelenmesini sağlayan mikroskobun özelliği

Minimum büyütme kapasitesi 50, maksimum büyütme kapasitesi 400 kat olan ve mikro yapı incelemeye müsait görüntüleri bilgisayar ortamına atabilen kabiliyette bir mikroskop kullanılmıştır.

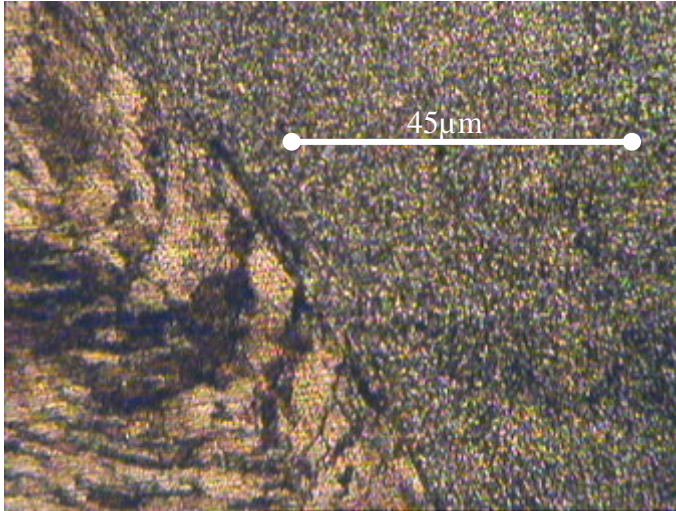
5.12.4 Bazı numunelerden alınan mikro yapı örnekleri

Haddeleme sonrası “1” nolu numune için mikro yapı:

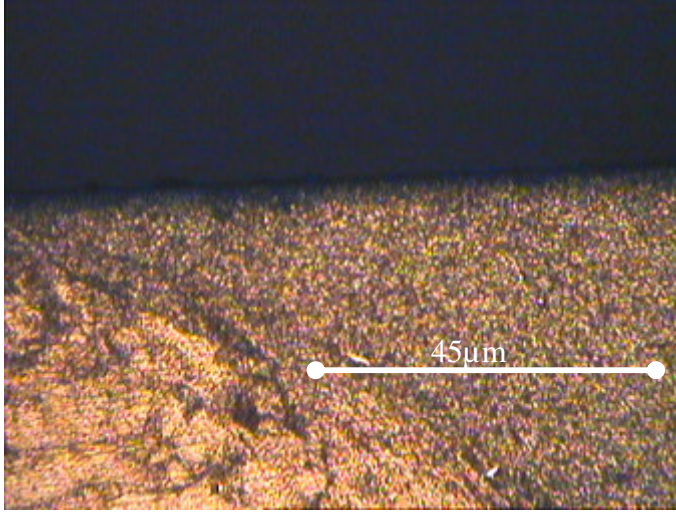
Tezgah devri : 100 dev/dak, İlerleme : 0,05 mm/dev, Uygulanan kuvvet : 10 kg, Paso sayısı : 2



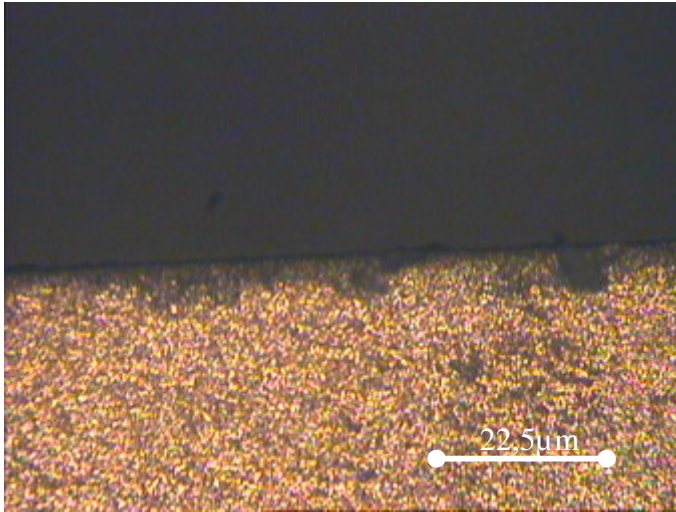
Resim 5.27 Geçiş alt 50 x 1



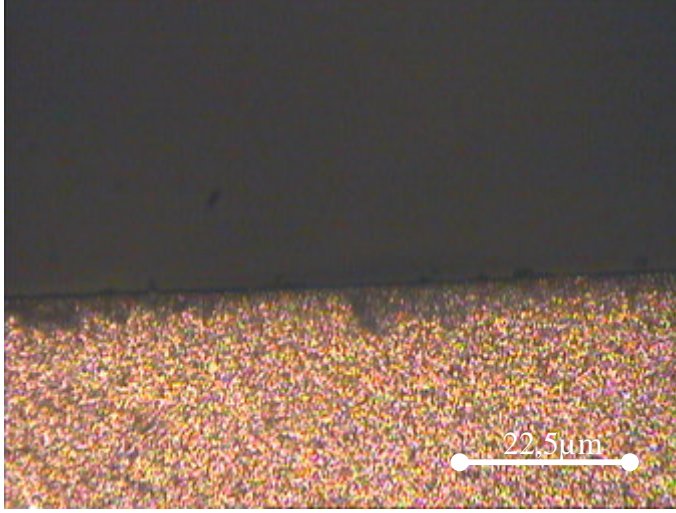
Resim 5.28 Geçiş orta 50 x 1



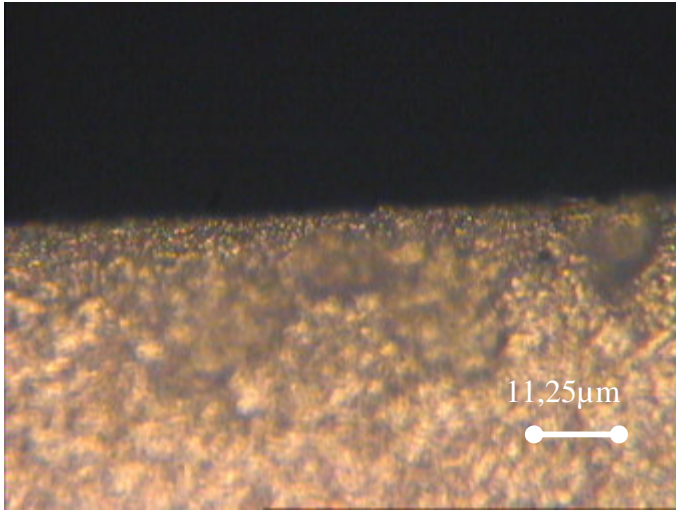
Resim 5.29 Geçiş üst 50 x 1



Resim 5.30 Üst katman 100 x 1



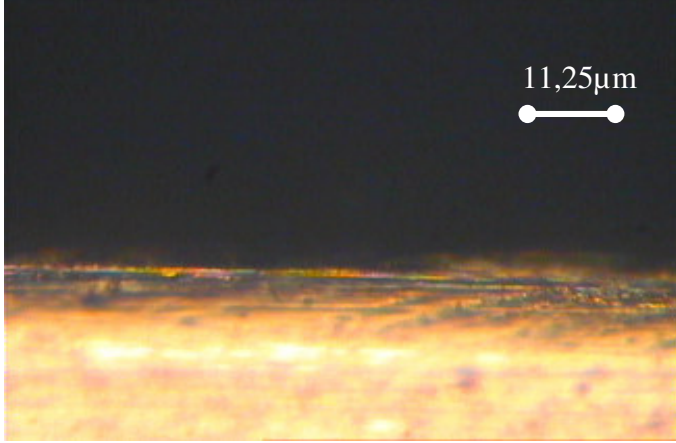
Resim 5.31 Üst katman 100 x 1



Resim 5.32 Üst katman 400 x 1

Haddeleme sonrası “2” nolu numune için mikro yapı:

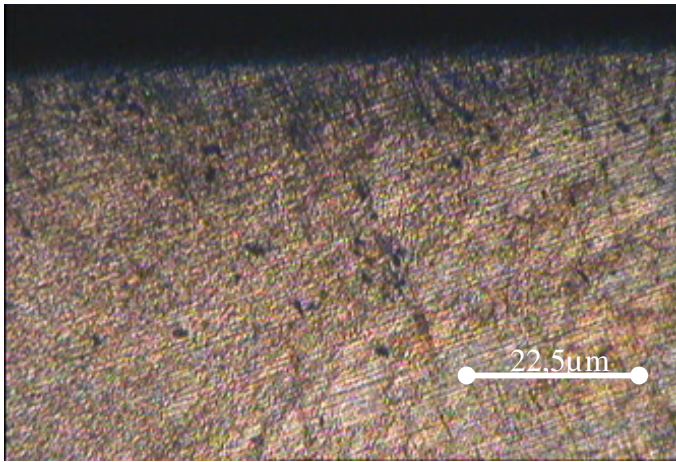
Tezgah devri : 200 dev/dak, İlerleme : 0,3 mm/dev, Uygulanan kuvvet : 10 kg, Paso sayısı : 4



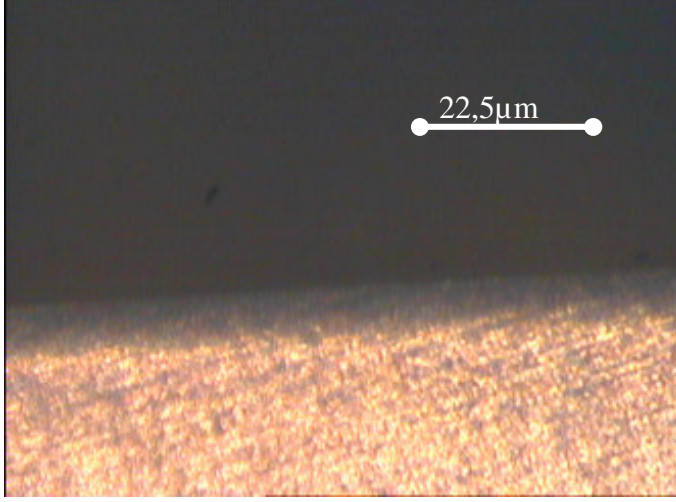
Resim 5.33 Üst katman 400 x 1

Haddeleme sonrası “3” nolu numune için mikro yapı:

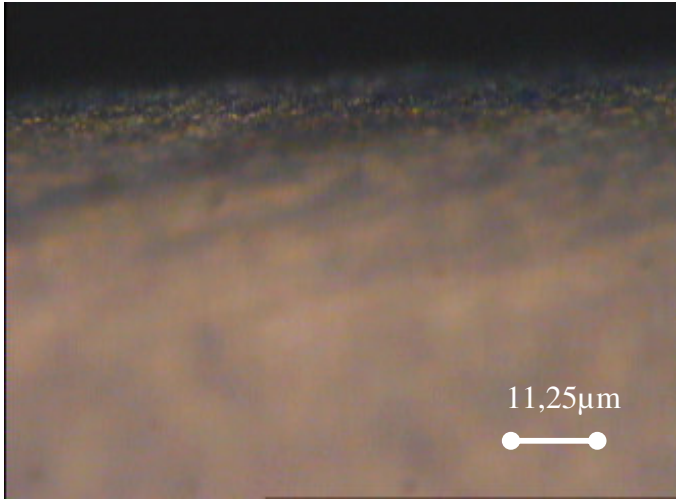
Tezgah devri : 300 dev/dak, İlerleme : 0,1 mm/dev, Uygulanan kuvvet : 10 kg, Paso sayısı : 3



Resim 5.34 Üst katman 100 x 1



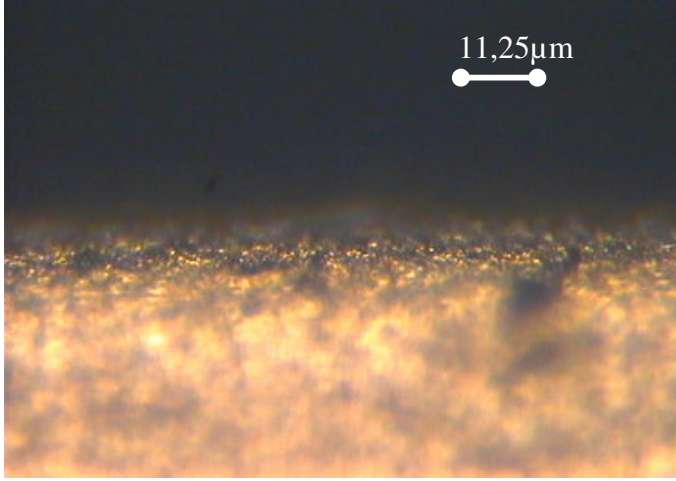
Resim 5.35 Üst katman 100 x 1



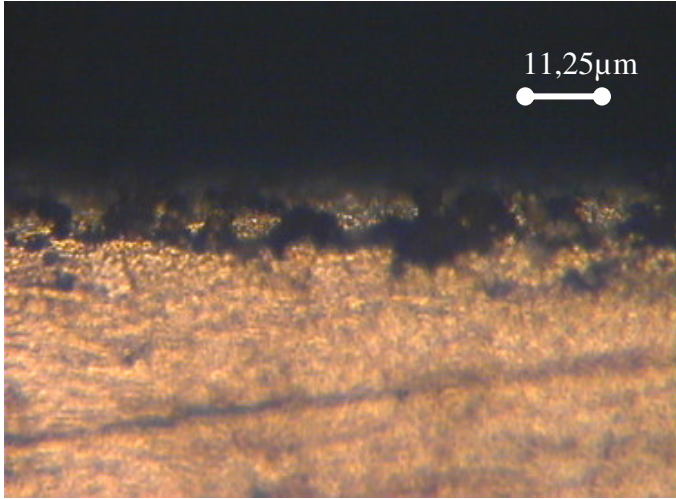
Resim 5.36 Üst katman 400 x 1

Haddeleme sonrası “5” nolu numune için mikro yapı:

Tezgah devri : 100 dev/dak, İlerleme : 0,1 mm/dev, Uygulanan kuvvet : 20 kg, Paso sayısı : 3



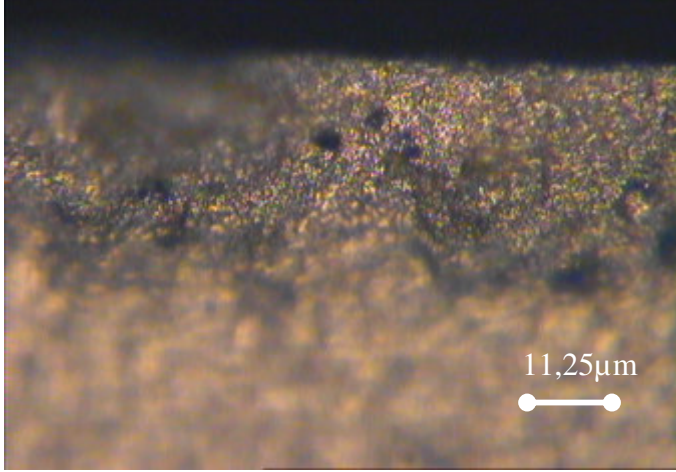
Resim 5.37 Üst katman 400 x 1



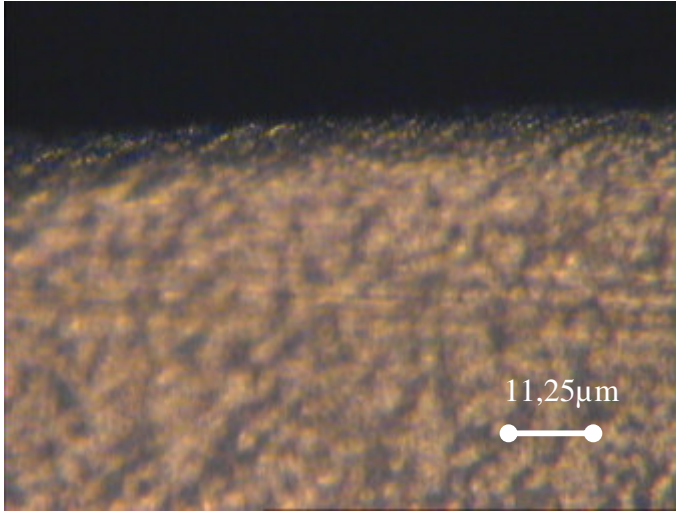
Resim 5.38 Üst katman 400 x 1

Haddeleme sonrası “6” nolu numune için mikro yapı:

Tezgah devri : 200 dev/dak, İlerleme : 0,2 mm/dev, Uygulanan kuvvet : 20 kg, Paso sayısı : 3



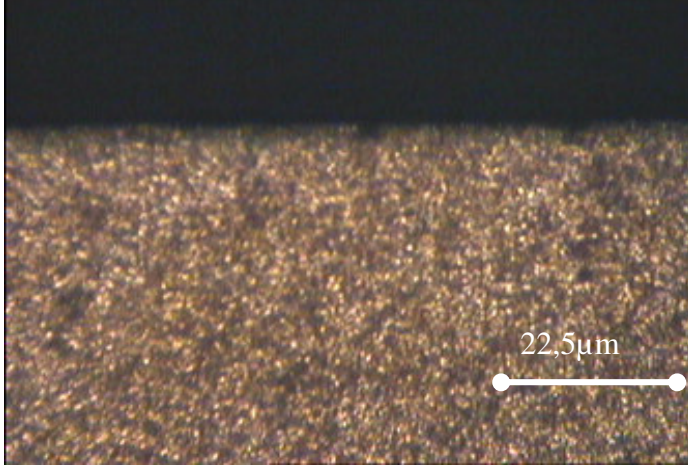
Resim 5.39 Üst katman 400 x 1



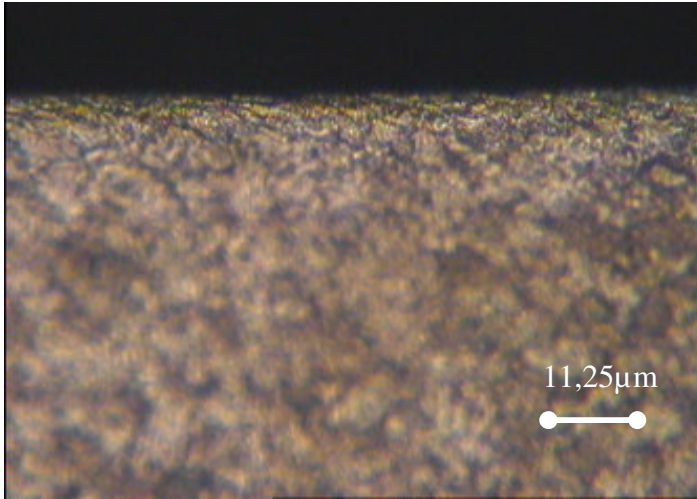
Resim 5.40 Üst katman 400 x 1

Haddeleme sonrası “9” nolu numune için mikro yapı:

Tezgah devri : 100 dev/dak, İlerleme : 0,2 mm/dev, Uygulanan kuvvet : 30 kg, Paso sayısı : 4



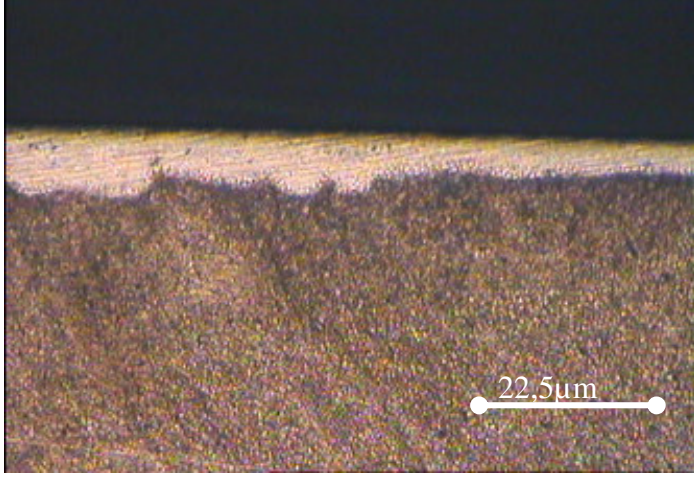
Resim 5.41 Üst katman 100 x 1



Resim 5.42 Üst katman 400 x 1

Haddeleme sonrası “16” nolu numune için mikro yapı:

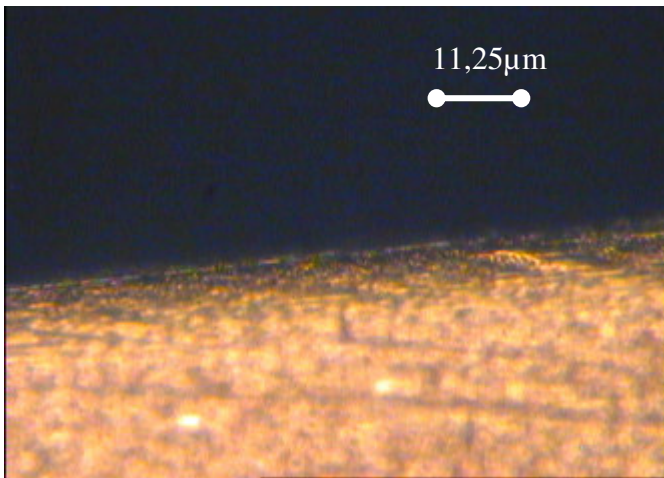
Tezgah devri : 100 dev/dak, İlerleme : 0,05 mm/dev, Uygulanan kuvvet : 40 kg, Paso sayısı : 4



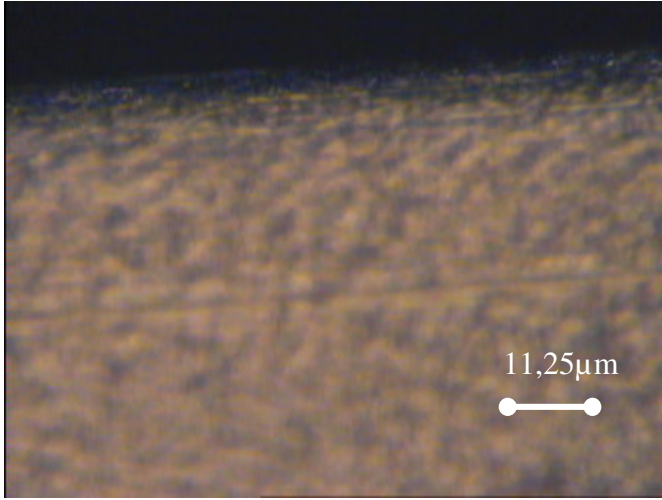
Resim 5.43 Üst katman 100 x 1

Haddeleme sonrası “17” nolu numune için mikro yapı:

Tezgah devri : 200 dev/dak, İlerleme : 0,1 mm/dev, Uygulanan kuvvet : 40 kg, Paso sayısı : 3



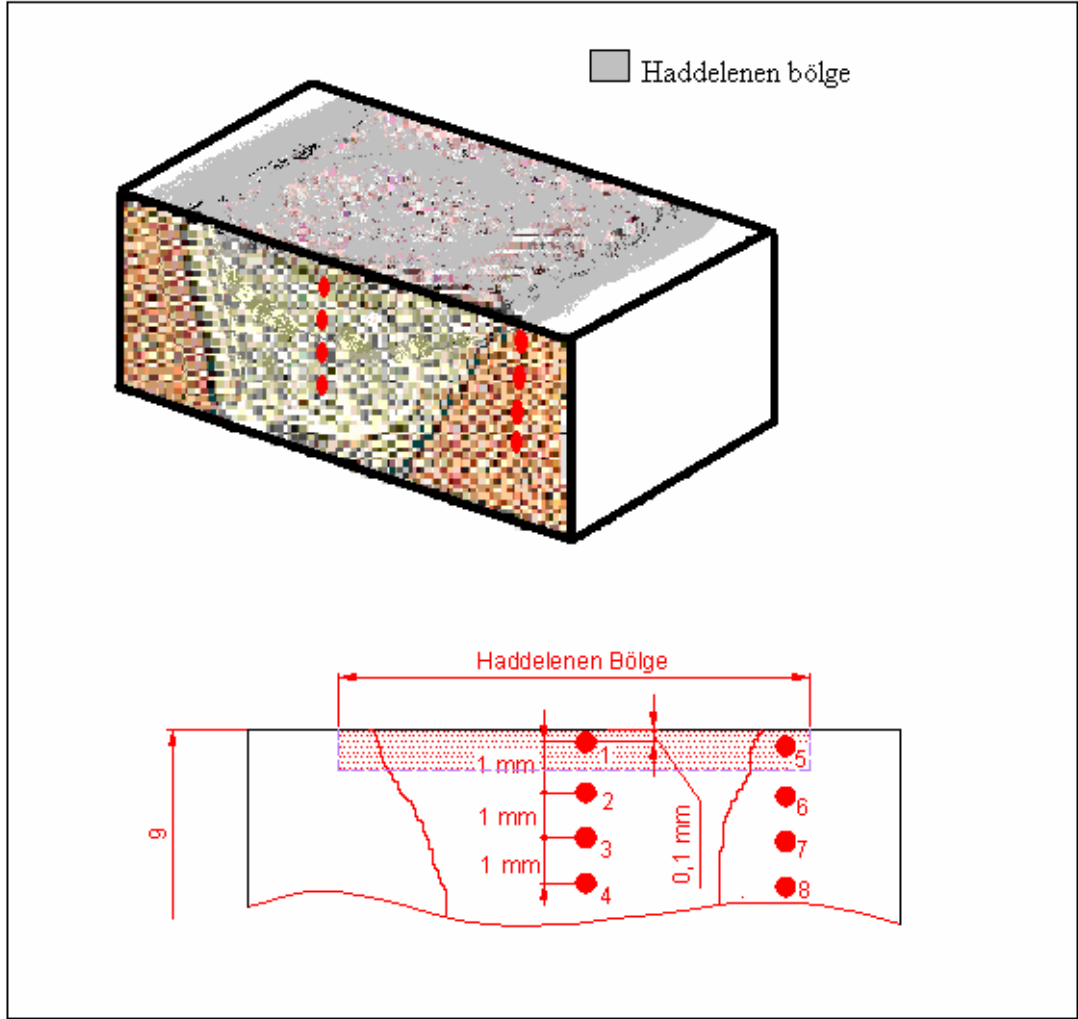
Resim 5.44 Üst katman 400 x 1



Resim 5.45 Üst katman 400 x 1

5.12.5 Mikro sertlik ölçümünün alınması

Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan numuneler üzerine haddeleme işlemi uygulandıktan sonra numunenin orta kısmından aldığımız parçanın, mikro sertliğini almak için daha önce numuneye tabi tutulan işlemler kaynak bölgesine uygulandıktan sonra belirlenen noktasal mesafelerde ölçüm alınmıştır. Kaynak bölgesi ve haddeleme ile sürtünme karıştırma kaynağının sınır bölgesinden aşağıya doğru sırasıyla ölçüm yapılmıştır. Şekil 5.45’de mikro sertlik ölçümünün nasıl yapıldığı gösterilmiştir.

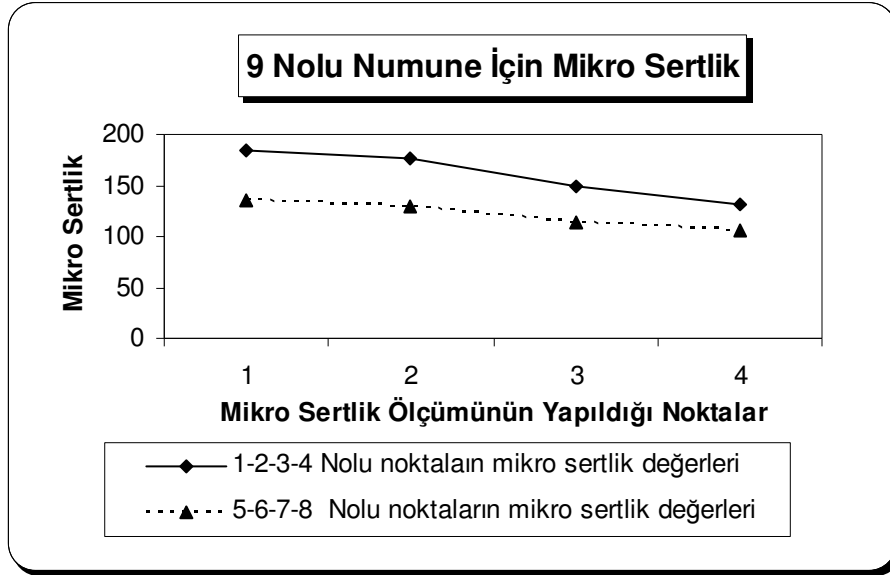


Şekil 5.45 Mikro sertlik ölçümünün alınması

Çizelge 5.19 9 ve 17 nolu numune için mikro sertlik değerleri

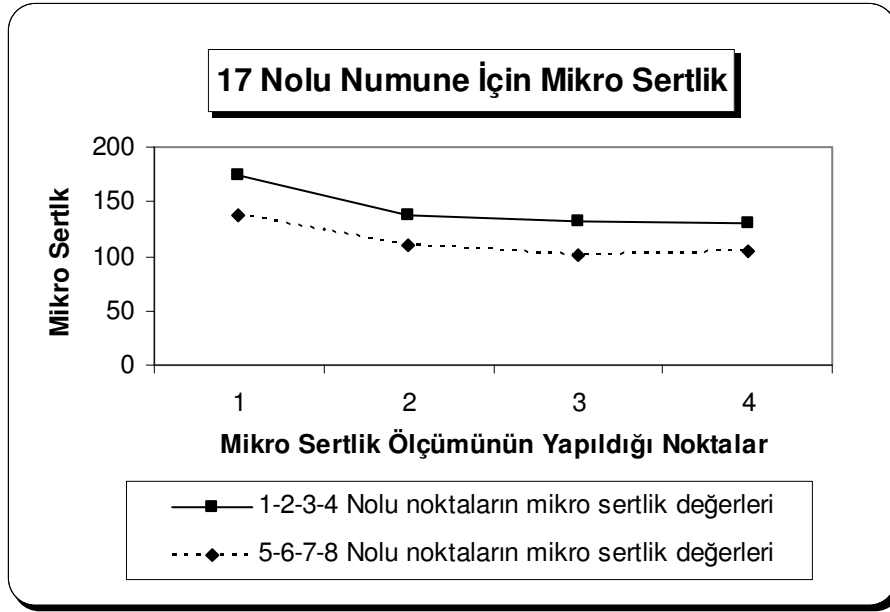
9 nolu numunenin kaynak bölgesi mikro sertliği		9 nolu numunenin kaynak bölgesi ile geçiş bölgesi sınırı mikro sertliği		17 nolu numunenin kaynak bölgesi mikro sertliği		17 nolu numunenin kaynak bölgesi ile geçiş bölgesi sınırı mikro sertliği	
1 nolu bölge:	184 Hv	5 nolu bölge:	135 Hv	1 nolu bölge:	175 Hv	5 nolu bölge:	137 Hv
2 nolu bölge:	176 Hv	6 nolu bölge:	130 Hv	2 nolu bölge:	138 Hv	6 nolu bölge:	110 Hv
3 nolu bölge:	150 Hv	7 nolu bölge:	113 Hv	3 nolu bölge:	133 Hv	7 nolu bölge:	101 Hv
4 nolu bölge:	132 Hv	8 nolu bölge:	105 Hv	4 nolu bölge:	130 Hv	8 nolu bölge:	105 Hv

Haddelenen bölgeden malzemenin içerilerine doğru aralıklı olarak yapılan mikro sertlik ölçümleri göstermiştir ki, haddeleme işlemi numunenin yüzeyinde etkisini göstermekle kalmamış, numunenin içlerine kadar haddelemenin etkisinin devam ettiği görülmüştür. Haddelemenin yüzeyde gerçekleşen bir son operasyon işlemi olmadığı ortaya çıkmıştır. 9 nolu numuneye göre haddelenen yüzeyden 0,1mm aşağıda yapılan 1 nolu bölgede yüzey sertlik ölçümü 185 Hv iken 17 nolu numunede ise yine 1 nolu bölge yüzey sertlik ölçümü 175 Hv olmuştur. Haddeleme yüzeyinde aşağıya doğru azalan bir sertleşme meydana gelmiştir. Haddelemenin malzemeden aşağıya doğru etkisini çizelge 5.19’da verilmiştir.



Şekil 5.46 9 nolu numune için mikro sertlik değerleri

Şekil 5.46 ve Şekil 5.47’de grafiklere bakıldığında 9 ve 17 nolu örnek numuneler için mikro sertliğin aşağıya doğru azaldığı görülmüştür. Haddeleme işlemi gerçekleştirildikten sonra yapılan mikro sertlik ölçümü ile numune yüzeyinden numune içine doğru haddelemenin etkisini yüzey sertliğine etkisini olumlu yönde gösterdiği görülmüştür.



Şekil 5.47 17 nolu numune için mikro sertlik değerleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Diğer kaynak yöntemleri gibi eritme kaynak yöntemi ile kaynatılması güç olan alüminyum alaşımların kendi aralarında ve farklı metallerle kaynağı, sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile kolaylıkla kaynak edilebilme özelliği ve geniş uygulama alanı bulması bu yöntemin kullanılmasını gerekli kılmıştır.

Bir makine veya ürünü meydana getiren parçaların ayrı ayrı ele alınarak yüzeyleri incelenecek olursa, birbirine benzer yüzeylerin çok az olduğu görülür. Bu benzerlik özellikle sertlik, pürüzlülük ve düzgünlük bakımında son derece önemlidir. Gereksiz yere sarf edilen zaman, maliyetin yükselmesine sebep olur. Bu sebeple yüzeyler, gerektiği kadar düz ve pürüzsüz olmalıdır. Ama gerekmez düşüncesiyle, parçaların veya makinelerin estetik özelliklerinde ve kalitelerinde fedakârlık yapılmamalıdır.

Uygulamalarda, farklılıkları ortadan kaldırmak, aynı özellik ve kalitede makine veya ürün üretmek için sertlik ve yüzey kalitelerinin belirlenmesi şarttır. İşte burada karşımıza haddeme işleminin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Yapılan bu çalışmada sürtünme-karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş alüminyum alaşımlı malzemelerin, farklı devir sayısı, ilerleme, baskı kuvveti ve paso miktarı gibi parametrelerle haddeme (galetaj) işlemine tabi tutularak, malzeme yüzeyinde sertlik ve pürüzlülük incelemeleri yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Sürtünme karıştırma kaynağı ile alüminyum alaşımlar başarıyla birleştirilmiştir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı için tezgah devir sayısı kullanılan Al7075 T6 malzemesinde 710-1000 dev/dak aralığında olmalıdır.
- Sürtünme karıştırma kaynaklarında, karıştırıcı ucun eğikliğinden dolayı

kaynak bölgesinde çapak oluşumu azdır.

- Kaynak hızının artmasıyla malzeme kaynak bölgesinde dalgalanma ve deformasyon artmaktadır.
- Karıştırıcı ucun ilerleme hızı arttıkça, uçta kırılmalar meydana gelmektedir. İlerlemenin 40 mm/dev ile 28 mm/dev değerlerde ve devir sayısının 710 dev/dak değerinde tutulması gerekmektedir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı sonrası haddeleme işlemine tabi tutulan parçaların yüzey sertliği artmaktadır.
- Sürtünme karıştırma kaynağı sonrası haddeleme işlemine tabi tutulan parçaların yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.
- Haddeleme işleminde uygulanan baskı kuvveti ve paso sayısının fazla olması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemiştir.
- Haddeleme işleminde uygulanan baskı kuvveti ve paso sayısının fazla olması yüzey sertliğini olumlu etkilemiştir.
- Isıl işleme tabi tutulan numunelerde haddeleme sonrası yüzey sertliği ve yüzey pürüzlülüğünde en iyi sonuçlar alınmıştır.
- Isıl işlem sonrası malzemenin aldığı sertliğe göre haddelemedeki parametrelerde de farklar oluşmuştur. Bu fark sertliğe ve pürüzlülüğe etkisini göstermiştir.
- Haddeleme baskısı 10 kg ile 40 kg arasında belirlenmiş, 40 kg'nın üzerinde uygulanan baskı kuvveti, malzeme yüzeyinde talaş kalkmasına neden olmuştur. Bu yüzden haddeleme işleminden uygulanan baskı kuvveti aralığı, malzeme cinsine göre değişmektedir.
- Mikro sertlik ölçümlerinden elde edilen sonuçlara göre, haddelemenin yüzeysel bir operasyon olmadığı aynı zamanda malzemenin içlerine kadar etkisini gösteren bir işlem olduğu ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak; haddelemenin son şekillendirme işlemi olarak önemli bir yere ve etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada; sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış malzemenin, kaynak bölgesine uygulanan haddeleme işleminin etkileri

araştırılmış ve sonuç olarak haddeleme işleminin malzeme yüzeyi ve iç yapısı üzerinde olumlu etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır. İleride yapılacak çalışmalar da;

- Haddeleme metodunun, farklı malzemelerde de uygulanabilirliği araştırılabilir.
- Alüminyum alaşımların dışında, farklı alaşım ve malzemelerinin sürtünme karıştırma kaynağı yöntemi ile birleştirilebilirliği araştırılabilir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan malzemelerin kaynak bölgesini çekme deneyine tabi tutularak, mukavemetleri araştırılabilir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı yapılan malzemelerin kaynak bölgesine haddeleme işlemi gerçekleştirildikten sonra çekme deneyi yapılarak, haddelemenin çekme mukavemetine etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Thomas, W. N., Nicholas, E.D., "Friction Stir Welding For The Transportation Industries", *Materials and Design*, 18(4): 269-273 (1997).
2. Yılmaz, M., "Farklı Takım Çeliklerinin Sürtünme Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi" Doktora Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-14 (1983).
3. Cederqvist, L. and Reynodls, A.P., "Factors affecting the properties of friction stir welded aluminum lap joints", *Journal of Materials Processing Technology*, 12:2-15 (2000).
4. Kalpakjian, S., "Manufacturing Processes for Engineering Materials", *Addison-Wesley, Reading, MA*, 10:7-12 (1991).
5. Murthy, R.L., Kotiveerachari, B., "Burnishing of metallic surfaces a review", *Prec. Eng.*, 9:172-179 (1981).
6. Yu, G., Shneider, F., "Characteristics of burnished components", *Machines and Tooling*, 6:19-22 (1967).
7. Fattouh, M., El-Axir, M.H., Sorage, S.M., "Investigation into the burnishing of external surface of 70/30 Cu-Zn alloy", *Wear*, 2:123-137 (1988).
8. Nema, M.L., Pandey, P.C., "Investigation of the performance characteristics of cold worked machined surface", *Wear*, 3:157-177 (1980).
9. Hassan, A.M., Al-Basharat, A.S., "Improvements in some properties of non ferrous metals by the application of the ball-burnishing process", *Journal of Materials Processing Technology*, 59:250-256 (1996).
10. Hassan, A.M., "The effect of ball and roller burnishing on the surface roughness and hardness of some non-ferrous metals", *Journal of Materials Processing Technology*, 73:385-391 (1997).
11. Benzing, R. (Eds.), "Friction and wear devices", *USA. Soc. Lubrication Eng.* 25-36 (1967).
12. Hassan, A.M., Al-Basharat, A.S., "Influence of burnishing processes on surface roughness, hardness and microstructure of some non-ferrous metals", *Wear*, 4:1-8 (1996).
13. Hassan, A.M., Sulieman, Z.S. "Improvement in the wear resistance of brass components by the ball burnishing process", *Journal of Materials Processing Technology*, 96: 73-80 (1999).

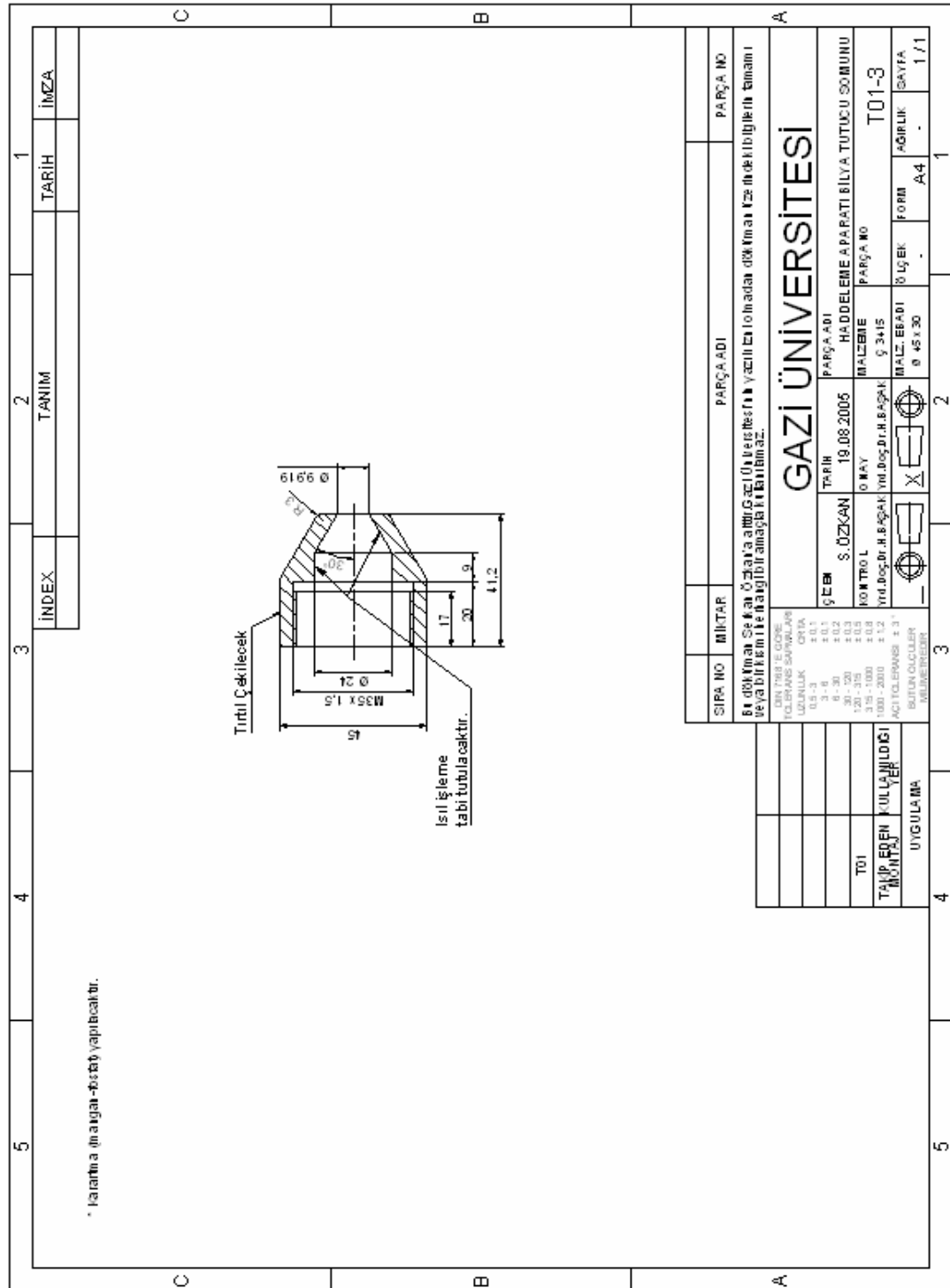
14. Hassan, A.D., Maqableh, A.M., “ The effects of initial burnishing parameters on non-ferrous components”, *Journal of Materials Processing Technology*, 102:115-121 (2000).
15. Axir, M.H., Khabeery, M.H.H., “Influence of orthogonal burnishing parameters on surface characteristics for various materials”, *Journal of Materials Processing Technology*, 132:82–89 (2003).
16. Klocke, F., Lermann, F., “Roller Burnishing of Hard Turned Surfaces”, *Journal of Materials Processing Technology*, 38(5-6):419-423 (1998).
17. Zhang, P., Lindemann, P., “Effect of roller burnishing on the high cycle fatigue performance of the high-strength wrought magnesium alloy AZ80 Scripta Materialia”, in press (2005).
18. Axir, M.H., Ibrahim, A.A., “ Some surface characteristics due to centerrest ball burnishing”, *Journal of Materials Processing Technology*, in pres (2004).
19. El-Axir, M.H., El-Khabeery, M.M.,”Experimental techniques for studying the effects of milling roller-burnishing parameters on surface integrity”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* , 21:6-18 (2001).
20. Luo, H., Wang, L., Zhang, C.,”Study on the aluminum alloy processing and the existence of the outstripping phenomenon”, *Journal of Materials Processing Technology*, 11:1-15 (2001).
21. El-Axir, M.H.,”An investigation into roller burnishing”, *Journal of Materials Processing Technology*, 2:3-6 (2000).
22. Hassan, A.M., Maqableh, A.M.,”The effects of initial burnishing parameters on non-ferrous components”, *Journal of Materials Processing Technology*, 5:5-8 (1998).
23. El-Axir, M.H., El-Khabeery, M.M.,”Influence of orthogonal burnishing parameters on surface characteristics for various materials”, *Journal of Materials Processing Technology*, 3:1-5 (2002).
24. Hassan, A.M.,”An investigation into the surface characteristics of burnished cast Al-Cu alloys”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 4:1-6 (1995).
25. Yu, X., Wang, L.,” Effect of various parameters on the surface roughness of an aluminium alloy burnished with a spherical surfaced polycrystalline diamond tool”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 6:3-7 (1998).

26. Ertuğ, A., “Mühendis ve Makine dergisi”, 21(241):45-54 (1977).
27. Gürleyik, M.Y., “Sürtünme Kaynağı Yapılan Döküm Alaşımları “**II. Kaynak Sempozyumu**, İstanbul, 231-241 (1989)
28. Anık, S., “Kaynak Teknolojisi El Kitabı”, Ergör Matbaası İstanbul, 196-207, 259-269 (1983).
29. Erdmann, H.C., “Metallografie und estigkeitscerhalten von Reibschweißverbindungen an unterschiedlichen Werkstoffen” **Materials, DVS**, Duesseldorf, 3:1-17 (1968).
30. Koruzar, D.L., “Joint Desing for the Friction Welding Process”, **Welding Journal**, June, 6:31-35 (1979).
31. Dawes, C.J., Thomas. W. M., “Friction stir process welds aluminium alloys”, **Welding Journal**, 28 (1):41-45 (1996).
32. Kaluç, E., Bozduman, B., “Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynak Yöntemi”, **Makina Magazin**, Temmuz, 27:54-61 (1998).
33. Nagasawa, T., Otsuka, M., “Structure and mechanical properties of Friction Stir Weld Joints of Magnesium Alloy AZ31”, **Journal of Materials Processing Technology**, 7:2-13 (2003).
34. Çam, G., “Al- Alaşımları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri”, **Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Yıldız Teknik Üniversitesi Oditoryumu**, İstanbul, Ekim, 268-277 (2001).
35. Özsoy, M., Kaluç, E., “Sürtünen Eleman ile Birleştirme Kaynağının Esasları”, **Mühendis ve Makine**, Ekim, 12 (513): 2-26 (2002).
36. Dawes, C.J., Thomas, W.M., “Friction Stir Joining of Aluminium Alloys”, **Bulletin 6, TWI**, November / December, 4 (2):3-57 (1995).
37. Nichoias, E.D., Kailce, S.W., “Friction Stir Welding-A Decade On”, **World Asian Pacific International Congress**, Sydney, 10:45-50 (2000).
38. Brodly, G.R. James, M.N., “Geometry and Microstrcture of metal Inert Gas and Friction Stir Welded Aluminium Alloy”, **Journal of Materials Processing Technology**, 14:5383-H321:7 (2000).
39. Jonhson, R., Kallee S., “Friction Stir Welding”, **Materials World**, 7(12):751-753 (1999).
40. Elliott, S., Vvallah, E.R.. “Joining Aluminum to Steel Part 1-Diffosion Bonding”, **Metal Construction**, March, 12:167-171 (1981).

41. Ertuğ, A., “Sürtünme Kaynağı” *Mühendis ve Makine Dergisi*, 21:241 (1997).
42. Karaman, M., “Sürtünme Kaynağı ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi*, 4-16 (2001).
43. Gürleyik, M.Y., “Döküm Parçaların Sürtünme Kaynağı” *Mühendis ve Makine Dergisi*, Ekim, 30 (357):13-17 (1989).
44. Kurt, A. Özdemir. M., Boz. M., “Alüminyum malzemelerinin sürtünme karıştırma kaynağında kaynak hızının birleşebilirliğe etkisi”, *IV.Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi*, Kocaeli, 89-99 (2003).
45. Kreye, H., Reiners, G., “Mikrostruktur und Mechanische Eigenschaften von Aluminium-Kupfer Reibschweißverbindungen”, *Metallkunde*, 708-713 (1989).
46. James, F., “CNC Machining and Friction Welding in One and the same Machine”, *Schweißtechnik, Information Sheet by KUKA*, Augsburg, No.69 (1985).
47. Contreray, F., Trillo. E.A., Murr. L.E., “Friction-Stir Welding of a Beryllium-Aluminium Powder Metallurgy Alloy”, *Journal of Materials Science*, 11 (370):89-99 (2002).
48. Mendi, F., “Takım Tezgâhları Teori ve Hesapları”, ISBN:975-06008-0-3, Ankara 10-18 (1996).
49. “Kaiser Aluminum Co. Malzeme Katalogu”, *Kaiser Aluminum Co.*, 2-15 (2003).
50. “Aydınlar Makine Malz.Tic.Ltd.Şti. Ürün Katalogu”, *Aydınlar Makine Malzeme*, 1-15 (2006).
51. “FA 3 BTOS Üniversal Freze Makine Kullanma Kılavuzu”, *Taksan A.Ş.*, 2-20 (1995).
52. “Taksan 40T1500 CNC Freze Makine Kullanma Kılavuzu”, *Taksan A.Ş.*, 9-22 (1999).
53. “BULUT Makine Kullanma Kılavuzu”, *BULUT Makine Tic. Ltd.Şti.*, 12-30 (2006).

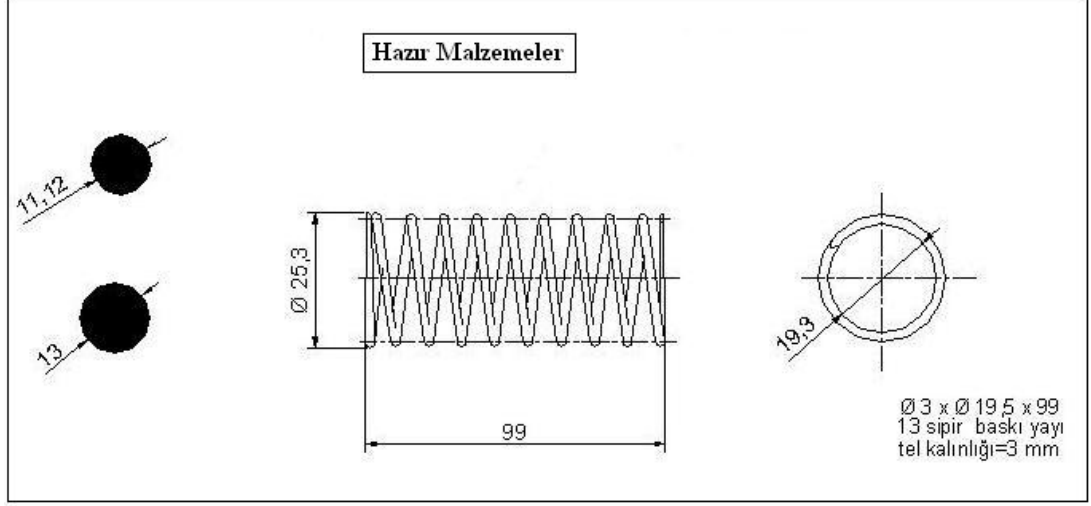
EKLER

EK-1 (Devam) Haddeleme aparatı teknik resim çizimleri



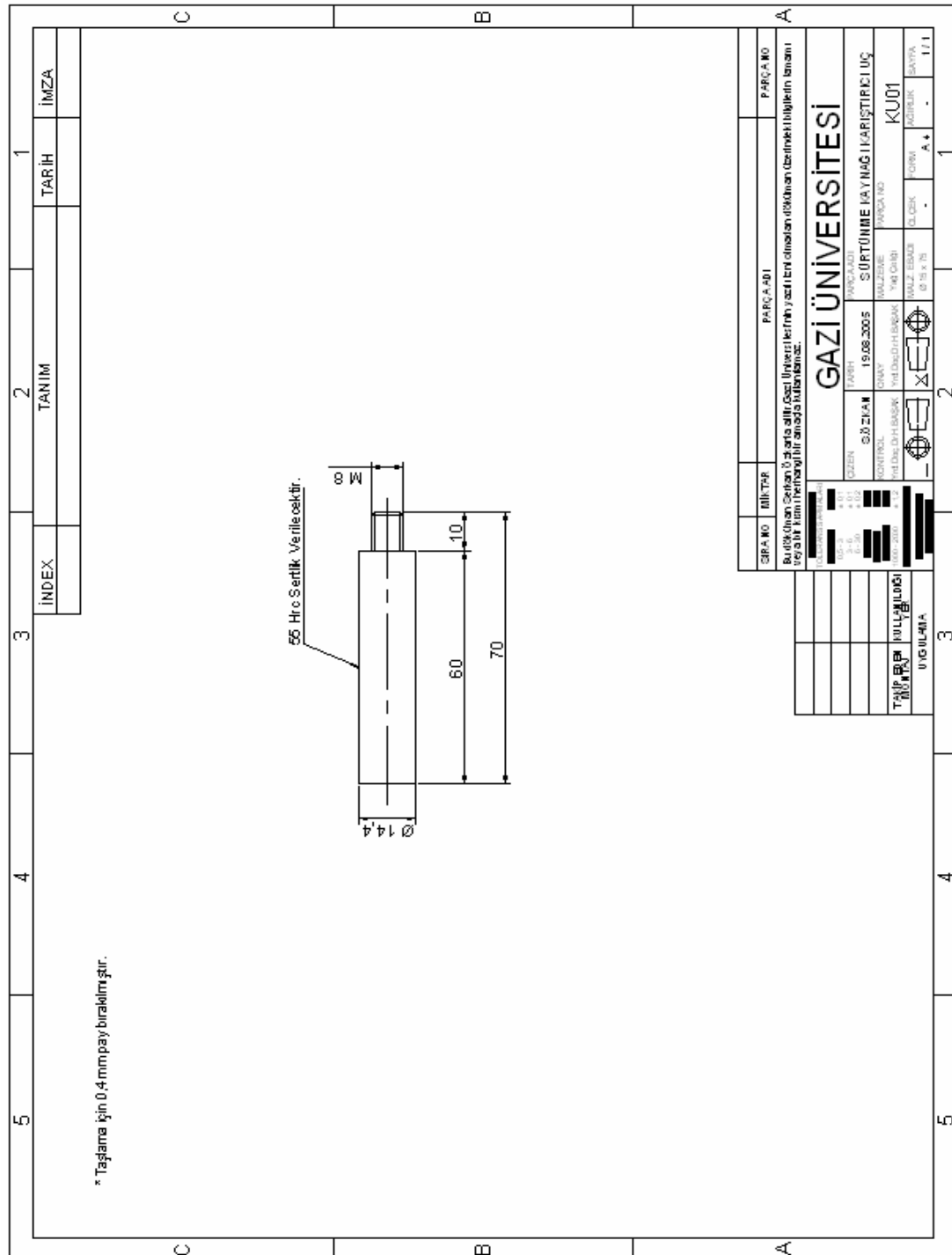
Şekil 1.4. Haddeleme aparatı bilye tutucu somunu

EK-1 (Devam) Haddeleme aparatı teknik resim çizimleri



Şekil 1.8. Haddeleme aparatı hazır malzemeler

EK-2 Karıştırıcı uçların detay resimleri



Şekil 2.1. Yağ çeliğinden yapılmış olan karıştırıcı uç

EK-2 (Devam) Karıştırıcı uçların detay resimleri

[illegible]

Şekil 2.2. Civa çeliğinden yapılmış olan karıştırıcı uç

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZKAN, Serkan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.01.1980 Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 341 58 17
 Faks : -
 e-mail : serkan_ozkan44@mynet.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğitim	2006
Lisans	Marmara Üniversitesi/ Makine Eğitim	2004
Lise	İskitler Teknik E.M.Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2006	Ultra A.Ş.	Ar-Ge Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Kitap okumak, müzik dinlemek, resim yapmak, sinemaya gitmek, internet, sohbet grupları oluşturmak.