

**BİLYALI DÖVME İŞLEMİNİN TANE BOYUTUNA ETKİSİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Okan ÜNAL

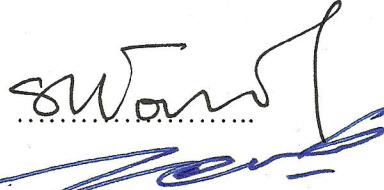
**Bartın Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**BARTIN
Haziran 2011**

KABUL :

OKAN ÜNAL tarafından hazırlanan “BİLYALI DÖVME İŞLEMİNİN TANE BOYUTUNA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliğiyle kabul edilmiştir. 14.06.2011

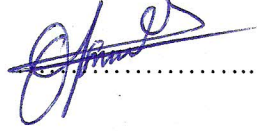
Başkan : Prof. Dr. Remzi VAROL (BÜ)



Üye : Prof. Dr. Galip SAİD (BÜ)



Üye : Doç. Dr. İsmail ÖZDEMİR (BÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ali Naci TANKUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Okan ÜNAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİLYALI DÖVME İŞLEMİNİN TANE BOYUTUNA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Okan ÜNAL

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Remzi VAROL

Haziran 2011, 85 sayfa

Bilyalı dövme, metallerin yorulma ve gerilmeli korozyona karşı mukavemetlerini arttırmak amacı ile uygulanan bir mekanik yüzey işlemidir. Bilyalı dövme işlemi metallerde hem sertlik artışına hem de yüzeyde ve yüzeyin altında basma kalıntı gerilmesine sebep olan soğuk veya ılık olarak uygulanabilen bir işlemdir. Bu çalışma, yüksek dövme şiddetleri uygulanarak bilyalı dövülen metalik malzemelerin aşırı plastik deformasyon sonucu yüzeyde ve yüzeyin hemen altında ince taneli yapıların varlığını ve bu bölgenin mekanik özelliklerinin değişimini kapsamaktadır. AISI 1017 çelik ve ticari saflıkta titanyum malzemeleri yüksek şiddette bilyalı dövülerek yüzeylerinden itibaren nanoindentasyon metodu ile sertlik ölçümleri yapılmış ve iç kısımlardan yüzeye doğru sertlik değerlerinde büyük oranda artış olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte metallerin enine kesitinden alınan optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerinde yüzeyde ve yüzeyin hemen altındaki bölgelerde aşırı plastik deformasyonun ve buna bağlı olarak da ince taneli yapıların varlığına rastlanılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Bilyalı Dövme, İnce Taneli Yapı, Aşırı Plastik Deformasyon, Yüzey Sertliği

Bilim Kodu: 625.02.05

ABSTRACT

MASTER THESIS

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SHOT PEENING
EFFECT ON GRAIN SIZE**

Okan ÜNAL

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Prof. Dr. Remzi VAROL

June 2011 , 85 pages

Shot peening is a type of mechanical surface treatment and applied to enhance mechanical properties against fatigue and stress corrosion cracking failures. Shot peening process can be applied both cold or warm. Shot peening process enhances not only hardness but also strength of materials. This process expose material surface and just below the surface, compressive residual stress. This study, covers formation of ultrafined grain structure of metal surfaces or just below and alteration of mechanical properties due to severe plastic deformation with extra ordinary shot peening onditions. For AISI 1017 mild steel and commercially pure titanium hardness values were measured by nanoindentation tests and observed to be greatly increased from cross-section to surface. Furthermore, existence of ultrafined grain structures on surface and just below the surface is proved with optical and SEM (Scanning Electron Microscope) images.

Keywords: Shot peening, Ultrafined Grain Structure, Severe Plastic Deformation, Surface Hardness

Science Code: 625.02.05

TEŞEKKÜR

Bu tezin, hazırlanmasında danıőmanlıđını üstlenerek baőından sonuna kadar değerli çaba ve yardımlarını esirgemeyen hocam, Prof. Dr. Remzi VAROL başta olmak üzere, tezin deneysel kısmının yürütülmesine, tavsiyeleriyle ışık tutan Doç. Dr. İsmail ÖZDEMİR'e ve tezin deneysel çalışmalarının yapılmasına destek veren Yrd. Doç. Dr. Osman ÇULHA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Araştırmalar sırasında numunelerin hazırlanmasında ve metalografik çalışmalarında eşsiz desteklerini esirgemeyen, Arő. Gör. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI, Arő.Gör. Emre ALP ve Arő.Gör. İbrahim KARADEMİR'e sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmalarını süresince desteklerini hiç eksik etmeyen annem ve babam başta olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET..... | iii |
| ABSTRACT | v |
| TEŞEKKÜR..... | vii |
| İÇİNDEKİLER..... | ix |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xi |
| TABLolar DİZİNİ | xv |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | xvii |
| | |
| BÖLÜM 1 GENEL BİLGİLER | 1 |
| 1.1 GİRİŞ..... | 1 |
| 1.2 ÇALIŞMANIN AMACI..... | 2 |
| 1.3 YÜZEY İŞLEMLERİ..... | 3 |
| 1.3.1 Isıl Yüzey İşlemleri..... | 3 |
| 1.3.2 Mekanik Yüzey İşlemleri | 4 |
| 1.3.2.1 Bilyalı Dövme İşlemi..... | 5 |
| 1.3.2.2 Diğer Mekanik Yüzey İşlemleri..... | 16 |
| 1.3.3 Isıl-Mekanik Yüzey İşlemleri..... | 21 |
| 1.4 AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON İŞLEMLERİ..... | 22 |
| 1.4.1 Aşırı Plastik Deformasyon İşlemlerinin Amacı..... | 22 |
| 1.4.2 Aşırı Plastik Deformasyon İşlemlerinin Çeşitleri..... | 23 |
| 1.4.2.1 Eş Kanallı Açısız Presleme..... | 23 |
| 1.4.2.2 Ekstrüzyon-Basma Çevrimi | 25 |
| 1.4.2.3 Yüksek Basıncılı Burulma | 27 |
| 1.4.2.4 Sınırlandırılmış Yivli Presleme | 27 |
| | |
| BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI..... | 29 |
| 2.1 METALOGRAFİK İNCELEME | 29 |
| 2.2 MEKANİK ÖZELLİKLER..... | 35 |

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.2.1 Sertlik..... | 35 |
| 2.2.2 Dinamik Ultra Mikro Sertlik Ölçme Yöntemi..... | 35 |
| BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... | 41 |
| 3.1 MALZEME SEÇİMİ..... | 41 |
| 3.2 BİLYALI DÖVME ÖNCESİ DENEYSEL İŞLEMLER..... | 43 |
| 3.2.1 Numune Hazırlama ve Isıl İşlemler..... | 43 |
| 3.2.2 Numunelerin İçyapı Görüntülerinin Elde Edilmesi..... | 44 |
| 3.2.3 Numunelerin Tane Boyutu ve Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi..... | 47 |
| 3.3 BİLYALI DÖVME İŞLEMİ PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ..... | 48 |
| 3.4 BİLYALI DÖVME SONRASI DENEYSEL İŞLEMLER..... | 50 |
| 3.4.1 Bilyalı Dövme Sonrası Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi..... | 50 |
| 3.4.2 Bilyalı Dövme Sonrası Optik ve SEM Görüntülerinin Elde Edilmesi | 51 |
| BÖLÜM 4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... | 53 |
| 4.1 DÖVÜLMÜŞ ve DÖVÜLMEMİŞ NUMUNELERİN SERTLİK DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI..... | 53 |
| 4.2 METALOGRAFİK İNCELEME SONUÇLARI..... | 67 |
| BÖLÜM 5 SONUÇ..... | 79 |
| KAYNAKLAR..... | 81 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 85 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>No</u> | | <u>Sayfa</u> |
|-----------|--|--------------|
| 1.1 | İnce taneli yapıların oluşmasına neden olan dislokasyonların tane sınırlarına yönelmesi..... | 2 |
| 1.2 | Bir dişlinin dişlerinin bilyalı dövülmesi | 5 |
| 1.3 | Bilyalı dövme sonucu oluşan artık gerilme profili | 7 |
| 1.4 | Bilyalı dövme sonucu oluşan basma artık gerilmesi | 8 |
| 1.5 | Bilyalı dövme amacıyla kullanılan dönel tablalı ve lineer konveyör sistemleri | 8 |
| 1.6 | Hava püskürtmeli bilyalı dövme cihazı | 9 |
| 1.7 | Pratik uygulamalarda kullanılan farklı tip bilyalar..... | 10 |
| 1.8 | Bilyaların büyüklüklerine göre sınıflandırılması..... | 11 |
| 1.9 | Almen test şeriti ve boyutları | 11 |
| 1.10 | Bilyalı dövme sonrası Almen şeritlerinde meydana gelen eğrilik yüksekliği | 12 |
| 1.11 | Dövme şiddetinin belirlenmesi ve kullanılan ekipman | 13 |
| 1.12 | Bilyalı dövme işlem süresi- Eğrilik yüksekliği ilişkisi..... | 13 |
| 1.13 | Bilyalı dövme ile şekillendirilen parçalara bir örnek | 15 |
| 1.14 | Ses üstü bilyalı dövme cihazı | 15 |
| 1.15 | Ilık dövme işleminde kullanılan nozülün yapısı..... | 17 |
| 1.16 | Derin haddeleme işleminin çeşitleri | 18 |
| 1.17 | Lazerle dövme işleminin esası ve uygulanması..... | 19 |
| 1.18 | Lazerle dövme ile şekillendirilmiş AA7050 levha malzeme | 20 |
| 1.19 | EKAP kalıbında sıralı haddeleme işlemi için kütük dönüş tipleri | 24 |
| 1.20 | Metal sertleşmesi ve yumuşamasına bağlı olarak EKAP'ta kararlı ve bölgesel akışın şematik gösterimi..... | 25 |
| 1.21 | Ekstrüzyon-Basma çevrimi | 25 |
| 1.22 | Ekstrüzyon-Basma işleminde radyal ve aksenal yüklemeler | 26 |
| 1.23 | Sürtünmesiz ve düşük sürtünlü ortamlarda ekstrüzyon-basma da ortaya çıkan kuvvetler ve zımba hareketi..... | 26 |
| 1.24 | Yüksek basınçlı burulmanın şematik olarak gösterimi | 27 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u> | | <u>Sayfa</u> |
|-----------|---|--------------|
| 1.25 | Sınırlandırılmış yivli presleme aşamalarının şematik gösterimi..... | 28 |
| 1.26 | Sınırlandırılmış yivli presleme sonrası ince alt tane yapıları..... | 28 |
| 2.1 | Düşük karbonlu çeliğin bilyalı dövme sonrası kesit bölgesi içyapı görüntüsü..... | 30 |
| 2.2 | Düşük karbonlu çeliğin bilyalı dövme sonrası kesit bölgesi içyapı görüntüsü..... | 30 |
| 2.3 | Düşük karbonlu çeliğin bilyalı dövme sonrası dövülmüş ve tane incelmeye uğramış bölgesinin SEM görüntüsü..... | 31 |
| 2.4 | Düşük karbonlu çeliğin bilyalı dövme sonrası elektron difraksiyonu ile elde edilen TEM görüntüleri..... | 31 |
| 2.5 | Aşırı plastik deformasyon sonrası kesit alanı optik mikroskop görüntüleri | 32 |
| 2.6 | Aşırı plastik deformasyona uğramış nikel alaşımlı C 2000 süper alaşımın yorulma davranışı..... | 33 |
| 2.7 | Elastisite modülünün yüzeyden itibaren değişimi | 34 |
| 2.8 | Alaşımlı çelikte bilyalı dövme sonucu oluşan artık gerilme profili..... | 34 |
| 2.9 | Berkoviç dalıcı uçla sertlik ölçme prensibi (şematik)..... | 35 |
| 2.10 | Yük dalma derinliği grafiği..... | 36 |
| 3.1 | AISI 1017 düşük karbonlu çelik numunesi..... | 43 |
| 3.2 | Ticari saflıkta titanyum numunesi..... | 44 |
| 3.3 | AISI 1017 çelik numunenin mikro yapı görüntüsü (200X)..... | 45 |
| 3.4 | AISI 1017 çelik numunenin mikro yapı görüntüsü (500X)..... | 45 |
| 3.5 | Ticari saf titanyum numunenin (Grade 2) mikro yapı görüntüsü (200X)..... | 46 |
| 3.6 | Ticari saf titanyum numunenin (Grade 2) mikro yapı görüntüsü (500X)..... | 46 |
| 3.7 | Hazırlanan numuneler ve incelenen yüzeyleri | 51 |
| 4.1 | Dövülmemiş ve C8-10 ADŞ'de dövülmüş AISI 1017 çelik numunenin, yüzeyden iç kısımlara doğru Vickers sertlik değerlerinin değişimi | 54 |
| 4.2 | C8-10 ADŞ'de dövülmüş çelik numunenin dinamik sertlik değişimi | 55 |
| 4.3 | Dövülmemiş ve C8-10 ADŞ'de S110 bilya ve % 200 doyum oranında dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren Vickers sertlik değişimi. | 55 |
| 4.4 | C8-10 ADŞ'de S110 bilya ve %200 doyum oranında dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren dinamik sertlik değişimi | 56 |
| 4.5 | Dövülmemiş ve A34-36 ADŞ'de dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren Vickers sertlik değişimi..... | 57 |
| 4.6 | A34-36 ADŞ'de dövülmüş çelik numunenin yüzeyden dinamik sertlik değişimi..... | 57 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u> | | <u>Sayfa</u> |
|-----------|--|--------------|
| 4.7 | Dövülmemiş ve A30-32 ADŞ'de dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren Vickers sertlik değişimi..... | 58 |
| 4.8 | A30-32 ADŞ'de dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren dinamik sertlik değişimi..... | 59 |
| 4.9 | Dövülmemiş ve A30-32 ADŞ'de, S110 bilya ve % 100 doyurma oranı ile dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren sertlik değişimi..... | 60 |
| 4.10 | A30-32 ADŞ'de, S110 bilya ve % 100 doyurma oranı ile dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren dinamik sertlik değişimi. | 60 |
| 4.11 | Dövülmemiş ve C8-10, A34-36 ve A30-32 ADŞ'de dövülmüş çelik numunelerin yüzeyden itibaren sertlik değişimi | 61 |
| 4.12 | Çelik malzemede Almen şiddetinin yüzey sertliği ile olan ilişkisi..... | 62 |
| 4.13 | C8-10 ADŞ'de, S230, %200 doyurma oranı, C8-10 ADŞ'de, S110, % 100 doyurma oranı ile dövülmüş iki çelik numunenin yüzeyden itibaren sertlik değişimi | 63 |
| 4.14 | A30-32 ADŞ'de S110 bilya ile ve % 100 doyurma oranında ve A30-32 ADŞ'de S230 bilya ve % 200 doyurma oranı ile dövülmüş iki çelik numunenin yüzeyden itibaren sertlik değişimi..... | 64 |
| 4.15 | Dövülmemiş ve C8-10 ADŞ'de dövülmüş ticari saflıkta titanyum numunenin yüzeyden itibaren sertlik değişimi. | 65 |
| 4.16 | Ticari saflıkta titanyumda Almen şiddetinin yüzey sertliği ile olan ilişkisi..... | 66 |
| 4.17 | Bilyalı dövülmüş ticari saflıkta titanyum ve AISI 1017 çelik numunelerinin Almen şiddeti ve Vickers yüzey sertlikleri arasındaki ilişki..... | 67 |
| 4.18 | AISI 1017 çeliğin A28-30 ADŞ'de bilyalı dövme sonucu yüzeyde oluşan çukur ve tümsekler | 68 |
| 4.19 | A28-30 ADŞ'de dövülmüş AISI 1017 düşük karbonlu çelik numunelerin iç yapı görüntüleri..... | 69 |
| 4.20 | A24-26 ADŞ'de dövülmüş AISI 1017 düşük karbonlu çelik numunelerin iç yapı görüntüleri..... | 70 |
| 4.21 | A32-34 ADŞ'de dövülmüş AISI 1017 düşük karbonlu çelik numunelerin iç yapı görüntüleri..... | 71 |
| 4.22 | A34-36 ADŞ'de dövülmüş AISI 1017 düşük karbonlu çelik numunelerin iç yapı görüntüleri..... | 72 |
| 4.23 | C4-6 ADŞ'de dövülmüş AISI 1017 çelik numunelerin içyapı görüntüleri | 73 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u> | | <u>Sayfa</u> |
|-----------|---|--------------|
| 4.24 | C8-10 ADŞ'de dövülmüş AISI 1017 düşük karbonlu çelik numunelerin iç yapı görüntüleri..... | 74 |
| 4.25 | A34-36 ADŞ'de dövülen düşük karbonlu çelik numunesi kesitinden alınan SEM görüntüleri..... | 76 |
| 4.26 | Almen 34-36 ADŞ'de dövülen malzemenin yüzeyinde aşırı ince taneli tabaka ve nano mertebesinde tanelerin oluşumu (12kX) | 77 |
| 4.27 | a) Yüzeyde ince taneli tabaka ve orijinal taneli yapıya geçiş bölgesinden alınan sertlik izi b) İç kısımlarda alınan sertlik ölçümleri sonucu oluşan sertlik izleri | 78 |

TABLULAR DİZİNİ

| <u>No</u> | | <u>Sayfa</u> |
|-----------|---|--------------|
| 1.1 | Bilya tipleri ve sınıflandırılması..... | 10 |
| 1.2 | Bilya tiplerinin standartları ve sertlik değerleri..... | 10 |
| 1.3 | Almen Şeritlerinin standartlaştırılmış özellikleri | 12 |
| 1.4 | Isıl işlem ve ısıl-mekanik işlem sonrası mekanik özellikler..... | 21 |
| 3.1 | AISI 1017 düşük karbonlu çeliğin kompozisyonu | 41 |
| 3.2 | AISI 1017 düşük karbonlu çeliğin mekanik özellikleri..... | 42 |
| 3.3 | Ticari saf titanyumun (Grade 2) mekanik özellikleri | 42 |
| 3.4 | ASTM tane boyutu standardı tablosu | 48 |
| 3.5 | AISI 1017 düşük karbonlu çelik numuneler için belirlenen bilyalı dövme şartları | 49 |
| 3.6 | Ticari saflıkta titanyum numuneler için belirlenen bilyalı dövme şartları | 50 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | | |
|------------|---|---|
| A_c | : | kalıcı izin izdüşüm alanı |
| E | : | sertliği ölçülen malzemenin elastisite modülü |
| E_0 | : | dalıcı ucun elastisite modülü |
| E_r | : | indirgenmiş modül veya bileşik modül |
| ETO | : | elastik toparlanma oranı |
| H | : | sertlik değeri |
| h_c | : | maksimum dalma derinliği ile elastik toparlanma sonrası dalma derinliği farkı |
| h_f | : | artık dalma derinliği |
| h_{maks} | : | maksimum dalma derinliği |
| h_{min} | : | minimum dalma derinliği |
| m, B | : | malzemeye has deneysel sabitler |
| P_{maks} | : | uygulanan maksimum yük |
| S | : | malzeme rijitliği |
| ν | : | sertliği ölçülen malzemenin poisson oranı |
| ν_0 | : | dalıcı ucun poisson oranı |

KISALTMALAR

| | | |
|---------|---|--|
| ADŞ | : | Almen dövme şiddeti |
| AISI | : | American Iron and Steel Institute |
| APD | : | aşırı plastik deformasyon |
| ASTM | : | Amerikan Society for Testing and Materials |
| DSD | : | dinamik sertlik değeri |
| EKAP | : | eş kanallı açısız pres |
| GPa | : | gigapaskal |
| HF | : | hidroflorik asit |
| HNO_3 | : | nitrik asit |
| HRC | : | Rockwell C sertliği |
| MIC | : | Metal Improvement Company |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

| | | |
|------|---|---------------------------------|
| mm | : | milimetre |
| mN | : | miliNewton |
| MPa | : | megapaskal |
| nm | : | nanometre |
| s | : | saniye |
| SAE | : | Society of Automative Engineers |
| SEM | : | taramalı elektron mikroskobu |
| SÜBD | : | ses üstü bilyalı dövme |
| TEM | : | transmisyon elektron mikroskobu |

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1 GİRİŞ

Son yıllarda ince taneli yapılar ve hatta 100 nm boyutlarında tanelere sahip malzemeler dikkat çekici araştırma konuları haline gelmişlerdir. Bunun nedeni kompozisyonları sade olmasına rağmen metalik malzemelerde nano boyuttaki tanelerin varlığı sayesinde mekanik özelliklerinin, mikron mertebesinde tanelere sahip metallere nispeten daha iyi olduğu açıktır (Tao vd. 1999).

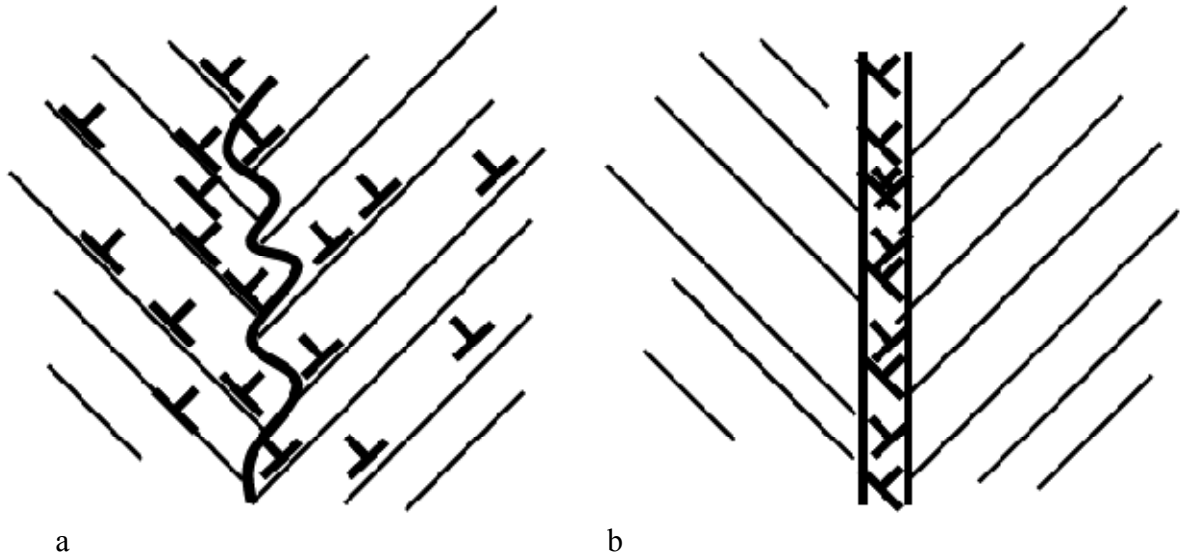
Aslında malzemelerde görülen aşınma, yorulma, korozyon gibi hasarların doğrudan malzemenin yapısı ve yüzey özellikleri ile ilgili olduğu bilinmektedir. Hatta, çoğu durumda malzemede meydana gelen hasarlar, yüzeyden başlayıp iç kısımlara doğru ilerler. Ayrıca malzemenin mekanik özelliklerini yukarıda sayılan hasarlara karşı iyileştirmek için bütün içyapı tanelerini nano boyuta erdirmeye bazı durumlarda gerek duyulmayabilir. Özellikle yorulmaya karşı yüzey bölgesinde oluşacak ince veya nano taneli yapıların, o malzemenin şeklini ve kimyasal kompozisyonunu değiştirmeye gerek kalmadan, yorulma dayanımını kayda değer bir şekilde arttırması beklenir (Tao vd. 1999).

İnce taneli yapıyı elde etmeyi sağlayan birçok yöntemle beraber hem tüm malzemelere uygulanması hem de uygulanabilirliğinin kolay olması açısından aşırı plastik deformasyon (APD) teknikleri en çok dikkati çeken yöntemlerdir. Mikron altı tane oluşumları bu yöntemlerle başarılı bir şekilde elde edilirken, nano taneli yapılar büyük ve homojen olmayan plastik deformasyonlar sonucu elde edilirler.

APD yöntemlerinin temeli, tanelerin üzerindeki serbest enerjiyi arttırarak malzeme içinde veya yüzeyinde hatalar ve yeni tane sınırları oluşturmaya dayanmaktadır. Aşırı plastik deformasyon (APD) yöntemlerine yüksek basınçta burulma, kayma aşınması, bilyalı dövme, ses üstü bilyalı dövme ve basınçlı hava yardımıyla uygulanan bilyalı dövme örnek olarak gösterilebilir (Tao vd. 1999). Malzemenin yüzeyinde aşırı plastik deformasyon sonucu hatalar

ve kusurlar artırılarak metalin orijinal tane büyüklüğü aynı kalmak şartı ile yüzeyde alt tanelerde incelme hatta nano boyutta yeni tanelerin oluşması gözlemlenir. Yeni taneler üç aşamada meydana gelir. İlk aşama, soğuk plastik deformasyon sonucu dislokasyon engellerinin artarak yoğun dislokasyon duvarlarının meydana gelmesidir. İkinci aşama ise yoğun dislokasyon duvarlarının küçük düzensizlikler oluşturarak alt taneleri oluşturmasıyla tamamlanır. Son aşamada alt tanelerin artan plastik deformasyonla birlikte büyük düzensizliklerin oluşmasıyla yeni tane sınırları meydana gelir (Bagherifard 2009).

Şekil 1.1’de gösterildiği gibi tane içinde hali hazırda var olan dislokasyonlar aşırı soğuk plastik deformasyon sebebi ile tane sınırlarına doğru harekete geçerler. Dislokasyonların hareketi ile tane içindeki kristallerin yönlendirmeleri sonucu yeni alt taneler oluşur (Bagherifard ve Guagliano 2009).



Şekil 1.1 İnce taneli yapıların oluşmasına neden olan dislokasyonların tane sınırlarına yönelmesi (Bagherifard ve Guagliano 2009). a. Aşırı plastik deformasyon işlemi esnasında dislokasyonların yapısı, b. Aşırı plastik deformasyon işlemi sonrasında dislokasyonların yapısı ve dengede olmayan yeni tane sınırlarının oluşması.

1.2 ÇALIŞMANIN AMACI

Metalik malzemelerde tane boyutundaki değişim, mekanik ve diğer özellikleri önemli ölçüde değiştirmektedir. Yüzeyde veya yüzeye yakın bölgelerde meydana gelecek olan ince taneli veya nano boyutlu yapılar malzemenin dayanım ve sertlik başta olmak üzere mekanik özelliklerinde büyük iyileşmelere neden olmaktadır. Ayrıca yüzeyde ince taneli yapıların

varlığı metalin yorulma ve gerilmeli korozyona karşı direncini arttırıp bu tür hasarlardan doğan ve yüzeyde başlayıp iç kısımlara doğru ilerleme eğiliminde olan mikro ve makro çatlakların ilerleme hızını düşürür. Tane sınırı sayısının ve uzunluğunun artması dolayısı ile çatlak hareketine engel rolü oynaması, çatlak ilerlemesinin durmasına veya yavaşlamasına neden olmaktadır (Bagherifard 2009).

Mekanik bir yüzey işlemi olan bilyalı dövme soğuk veya ılık olarak uygulanabilen bir yüzey işlemidir. Yüksek dövme şiddeti uygulanarak bilyalı dövülen metalik malzemelerin yüzeyinde aşırı plastik deformasyondan dolayı tane incelmesi meydana gelmektedir. Yüzeyin bilyalı dövülmesi sonrası hem yüzeyde sertlik artışı hem de dövülen iş parçasının enine kesitinde artık gerilme profili oluşmaktadır. Yüzeyde basma gerilmesi şeklinde oluşan artık gerilme profili makina parçalarının yorulma ömrünü arttırmaktadır. Bunun yanı sıra yüzey bölgesinde ince taneli yapının oluşturulması malzemenin en zayıf bölgesi olan yüzey bölgesinde dayanımda ciddi artışlar elde edilmesi sağlanabilmektedir. Çünkü, metalik malzemelerde yüzey dayanımı malzemenin dayanımının yarısı mertebesindedir (Varol 2009).

Metalik malzemelerin bilyalı dövülerek yüzeyde ve yüzeyin hemen altındaki bir tabakada mekanik ve fiziksel özelliklerin iyileştirilmesi beklenmektedir. Bu amaçla AISI 1017 düşük karbonlu çelik ile ticari saflıkta titanyum malzemenin numuneler daha önceden belirlenen Almen şiddetleri, bilya çapları ve doyum oranları ve hava basıncına bağlı olarak halen uygulanan bilyalı dövme işleminden farklı olacak bilyalı dövme şartları ile dövülüp, yüzey bölgesinde oluşacak tane incelmelerinin belirlenmesi öngörülmektedir.

1.3.YÜZEY İŞLEMLERİ

1.3.1 Isıl Yüzey İşlemleri

Pratikte kullanılan makinelerin bazı parçalarının sert ve aşınmaya karşı direnci yüksek bir yüzeye ve aynı zamanda büyük oranda tokluğa sahip olması gerekir. Böyle bir kombinasyon ısıl işlem görmüş bir parçada genellikle mümkün değildir. Eğer maksimum yüzey sertliği vermek üzere ısıl işlem yapılmışsa, çok kırılğan olacaktır veya maksimum tokluk için ısıl işlem yapılmış ise yeterince sert olmayacaktır. Netice olarak yüzey sertleştirme işlemleri söz konusu kombinasyonu sağlamak üzere geliştirilmişlerdir. Özellikle yüzeyleri aşınmaya çalışan parçalarda, söz konusu aşınmanın minimize edilebilmesi için yüzey sertleştirme işlemi uygulanır. Yüzey sertleştirmeden anlaşılan parçanın yüzeyinin belirli bir derinliğe kadar

istenilen büyüklükte sertleştirilmesidir. Parçanın kalan iç kısmı orijinal sertliğinde kalır. Mesela dişli çarklar, burulmaya çalışan miller, sürtünmenin önemli derecede büyük olduğu yerlerde kullanılan parçalar bu yöntemlerle sertleştirilir. Yüzey sertleştirme işlemleri bileşimi değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme işlemi ve bileşimi değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme işlemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Alevle yüzey sertleştirme ve indüksiyonla yüzey sertleştirme işleminde malzemenin bileşimi değişmez. Katı karbürizasyon, siyanürizasyon, gaz karbürizasyon, gaz nitürasyon ve gaz karbo-nitürasyon yüzey işlemleri ise malzemelerin bileşimini değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme işlemlerine örnek gösterilebilir (Varol 1996).

1.3.2 Mekanik Yüzey İşlemleri

Mekanik yüzey işlemlerinin uygulanması çok eski tarihlere dayanmaktadır. Milattan önce 2700 yıllarında Haçlı seferlerindeki askerlerin kılıçlarının dayanımları bu yöntemle arttırılırken, bazı şehirlerde altın kasklara mekanik yüzey işlemleri uygulandığı bilinmektedir. Yakın tarihte ise topçu silahlarının yüzeyleri dövülerek dayanımları arttırılmış, 1800lü yıllarda tren akslarına bu işlemler uygulanmıştır (Schulze 2004).

Günümüzdeki modern teknoloji ile birlikte özellikle askeri sanayi, demiryolu sanayi gibi alanlarda mekanik yüzey işlemlerinin uygulanması kaçınılmaz hale gelmiştir. Özellikle yay imalatını, otomotiv ve uzay endüstrisini, mekanik yüzey işlemleri olmadan düşünmek pek mümkün değildir. 1930'lu yıllarda ise mekanik yüzey işlemlerinin yorulma dayanımına doğrudan etki ettiği, mekanik yüzey işlemi uygulanan bir malzemenin parlatılan bir malzemeye nazaran daha yüksek yorulma dayanımına sahip olduğu sonucundan hareketle belirlenmiştir. Daha sonraları ise mekanik yüzey işlemlerinin korozyonlu yorulmaya da faydalı etkisi gözlemlenmiştir. Bu yıllarda bilyalı dövme ortaya çıkarılmış olup, çelik bilyaların 2-4 metre yükseklikten metallerin yüzeyine bırakılması şekline gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucu yüzeyde hem sertlik değerlerinde bir artış hem de malzemenin yorulma dayanım değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Bilyalı dövme işleminin belirtilen mekanik özellikleri iyileştirici etkisinin ortaya çıkarılmasının ardından 1870'li yıllarda Tilgham tarafından bilyaların basınçlı hava, buhar, su veya merkezkaç kuvveti ile yüzeylere püskürtülebileceği keşfedilmiştir. General Motor'da çalışan John Almen, bilyalı dövme ile motor parçalarının yorulma dayanımlarının arttırılabileceğini göstermiş ve aynı zamanda kendi ismi verilen Almen şeritlerini geliştirerek bilyalı dövme işlemi parametrelerinin uygulama alanlarındaki farklılıklara göre belirlenmesini sağlamıştır. Daha sonraki yıllarda,

bilyalı dövme sonrası değişime uğrayan artık gerilme profilleri, gerek yorulma dayanımının artışında gerekse diğer mekanik özelliklerin yorumlanmasında etkili bir parametre olmaya başlamıştır (Schulze 2004). Günümüzde ise daha modern mekanik yüzey işlemleri geliştirilmiştir. Modern mekanik yüzey işlemleri çekiçle dövme, bilyalı dövme, su jeti ile dövme, ses üstü bilyalı dövme ve lazerle dövme şeklinde sınıflandırılabilir (Varol 2009).

1.3.2.1 Bilyalı Dövme İşlemi

Bilyalı Dövme İşleminin Amacı

Bilyalı dövme işlemi, metallerin yorulmaya ve gerilmeli korozyona karşı mukavemetlerini arttırmak amacıyla soğuk veya ılık olarak uygulanabilen bir mekanik yüzey işlemidir. Bilyalı dövme işlemi metallerin yüzeyine küçük çaplı bilyaların fırlatılması ile gerçekleşen bir yüzey işlemidir. Şekil 1.2 bir dişlinin dişlerinin bilyalı dövülmesini göstermektedir (Schulze 2004).



Şekil 1.2 Bir dişlinin dişlerinin bilyalı dövülmesi (Schulze 2004).

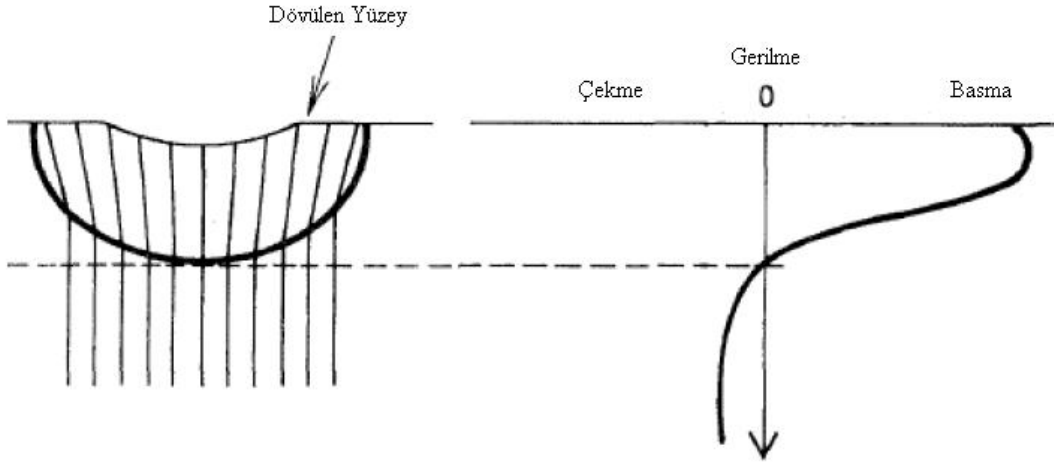
Her bir bilyanın metalin yüzeyine çarpması, ince uçlu bir çekicinin malzemenin yüzeyine vurulması sonucu oluşan etkiye benzer bir etki gösterir, metalik malzemenin yüzeyinde tümsek ve çukurcuklar oluşturur (Varol 1990).

Bilyalı dövme işleminde kullanılan bilyalar genellikle küresel olup malzemeleri dökme demir, çelik, cam, seramik, kesme tel veya paslanmaz çelik olabilir. Malzemeyi dövecek bilyaların hızı, kalıcı plastik deformasyon oluşturacak hızlarda, metalin yüzeyine püskürtülmelidir. Malzemenin yüzeyine fırlatılan bilyaların sayılamayacak kadar çok olması su jeti prensibi ile eşleştirilmekle beraber tek bir bilyanın hareketi incelenecek olursa yüzeye çarpan bilyanın yüzeyde küre takkesine benzer bir çukurcuk oluşturması dolayısıyla malzemede plastik olarak akma gerçekleşmesi söz konusudur (Varol 1990).

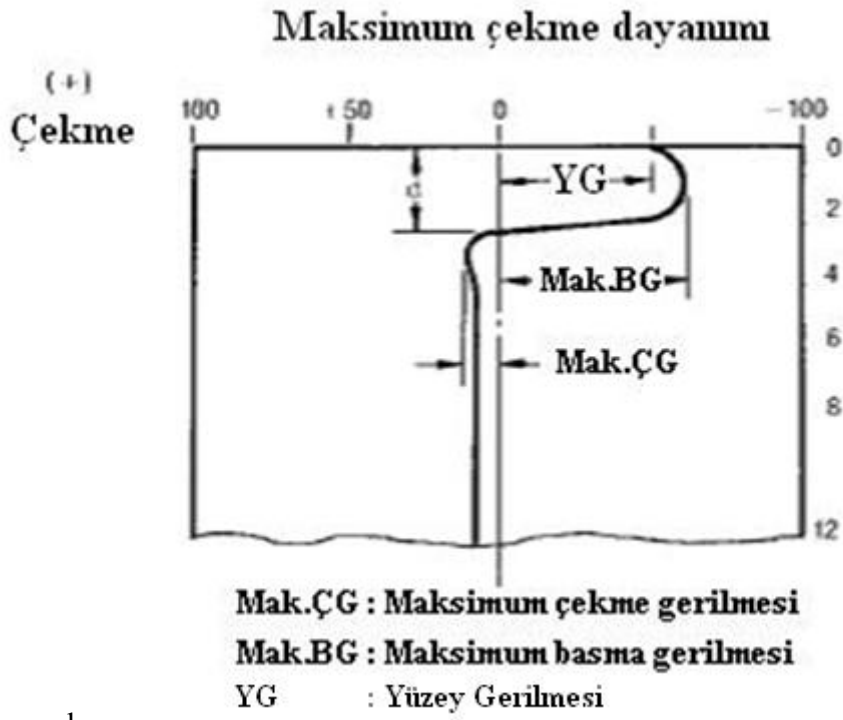
Bilyaların yüzeye şiddetle çarpması ile birlikte deformasyona uğrayan bölgelerin genişlemeye çalışması yüzeyin alt kısımlarında sadece elastik deformasyona maruz kalan bölgelerde engellenmeye çalışılacaktır. Dolayısıyla yüzeyde ve yüzeyin hemen altında bilyalı dövmenin etki ettiği bölgelere kadar basma artık gerilmesi malzemenin iç kesimlerinde genişlemeyi önlemeye çalışan elastik deformasyona maruz kalmış bölgelerde ise çekme gerilmesi meydana gelir. Yüzeyde çukur oluşmasına sebep olan çekme gerilmesi, yüzeyin hemen altında metali eski haline getirmeye çalışan bası gerilmesi tarafından engellenmeye çalışılır. Bu yüzden yüzeyin hemen altında metal yüksek basma gerilmesi ile yüklenir. Birbiri üzerine çakışan çukurcukların altında basma nitelikli kalıntı gerilme profili oluşur. Bilyalı dövülmüş bir parçanın enine kesitinde oluşan artık gerilme profili Şekil 1.3'te gösterilmektedir (Kostilnik 1994).

Artık gerilmeler sadece elastik gerilmeler olarak değerlendirilebilir. O yüzden metallerde bilyalı dövme sonrası oluşan kalıcı gerilmeler elastik limit ve altında oluşan gerilmelerdir. Bir başka ifade ile kalıntı gerilmeler akma dayanım değerinin üzerine çıkmaz, aksi takdirde bir başka plastik deformasyon söz konusudur. Yapılan çalışmalara göre bilyalı dövme işlemi sonrası ortaya çıkan artık gerilmeler yaklaşık olarak minimum akma dayanımının yarısı, maksimum o metalin akma dayanımı mertebelerindedir (Varol 1990; Varol ve Sarıtaş 1996).

Basma artık gerilmesi çatlakların başlamasına ve ilerlemesine engel olur. Tüm yorulma ve gerilmeli korozyon hasarlarının yüzeyden başladığı göz önünde bulundurulduğunda, bilyalı dövme sonucu oluşan basma gerilmesi makina parçalarının ömrünü uzatır. Şekil 1.4 metalik bir numunenin üzerinde şematik olarak basma artık gerilmesini göstermektedir (Champaigne 2001).

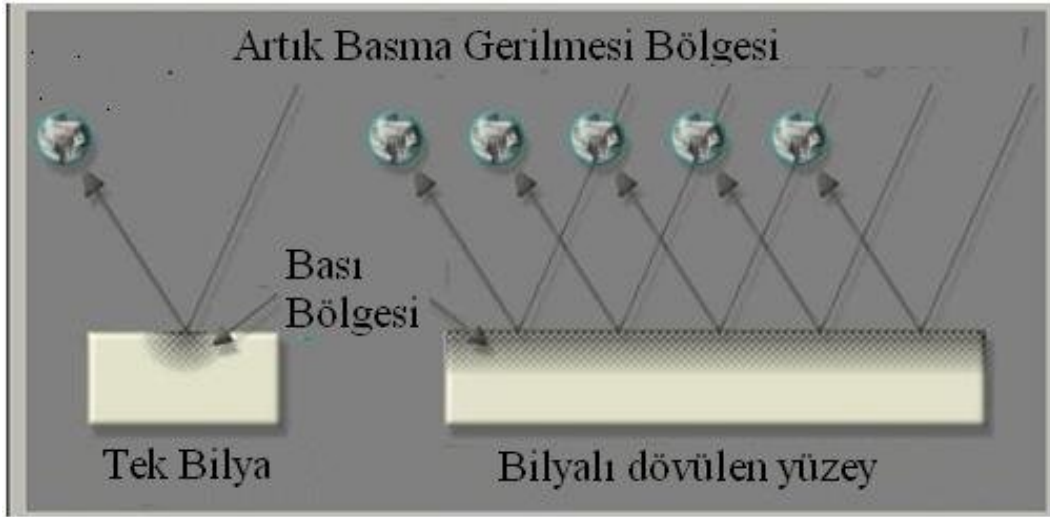


a



b

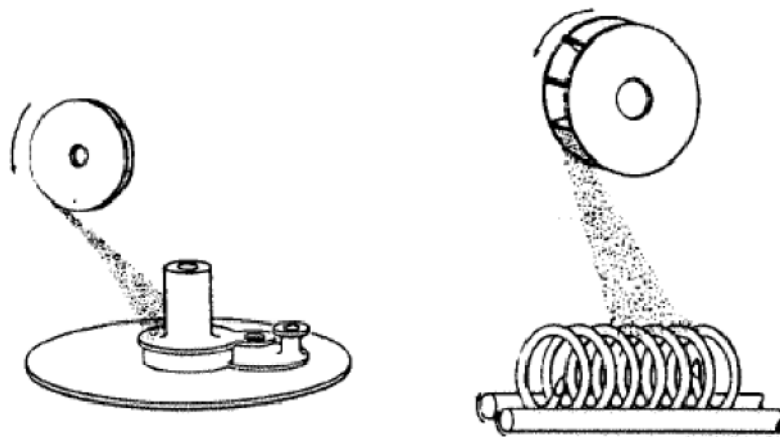
Şekil 1.3. Bilyalı dövme sonucu oluşan artık gerilme profili a. Bilyalı dövme sonrası oluşan yüzey profili b. Bilyalı dövme sonrası yüzeyde oluşan basma gerilmesi (Kostilnik, 1994).



Şekil 1.4. Bilyalı dövme sonucu oluşan basma artık gerilmesi (Champaigne 2001).

Bilyalı Dövme Makinaları

Bilyalı dövme makinaları çok sayıda olmakla birlikte iki kategoride incelemek mümkündür. Bilyalı dövme makinaları bilyaların fırlatılması, hava basıncı gibi işlem parametrelerinin otomatik olup olmamasına bağlı olarak kategorize edilirler. Örnek verilecek olursa kaba malzemeler için davul tipi bilyalı dövme cihazları, helis yayların bilyalı dövülmesi için lineer konveyörlü cihazlar, küçük parçalar için ise dönel tablalı bilyalı dövme makinaları mevcuttur. Şekil 1.5 bilyalı dövme amacıyla kullanılan dönel tablalı ve lineer konveyör sistemlerini göstermektedir (Savas 2010).



Şekil 1.5 Bilyalı dövme amacıyla kullanılan dönel tablalı ve lineer konveyör sistemleri (Savas 2010).

Hava püskürtmeli bilyalı dövme işleminde hava basıncı, yerçekimi kuvvetinin de yardımıyla cihazın haznesinde bulunan bilyaları, bir nozül yardımıyla malzemenin yüzeyine fırlatma işleminde en etkili parametredir. Şekil 1.6 hava püskürtmeli bilyalı dövme makinasını göstermektedir. Kısıtlı sayıda işlem için ekonomik olarak avantajlı olmasının yanı sıra, etkili dövme şiddetlerinin uygulanması, uzun bir nozül sayesinde dişli gibi karmaşık geometriye sahip makine parçası veya makine elemanlarının kolaylıkla dövülebilmesi hava püskürtmeli bilyalı dövme makinalarını klasik bilyalı dövme makinalarından biraz daha üstün kılmaktadır (Savas 2010).



Şekil 1.6 Hava püskürtmeli bilyalı dövme cihazı. (URL-1, 2010)

Bilyalı Dövme İşlem Parametreleri

Bilyalı dövme işlemi için kullanılan bilya malzemeleri çelik, dökme demir, dökme çelik, cam, seramik, paslanmaz çelik ve çelik tellerdir. Şekil 1.7 bazı bilya çeşitlerinin resimlerini göstermektedir. Çelik bilyalar standartlara göre S70 ile S930 arasında değerler alır. Baştaki S harfi bilyanın malzemesinin çelik olduğunu göstermektedir. Bu değerlerin on binde biri inç cinsinden merteye olarak bilya çaplarını belirtmektedir (Başaran 2007). Tablo 1.1 uygulamada kullanılan bilya tiplerini ve malzemelerini, Tablo 1.2 ise bilyaların standartları ve sertlik değerlerini göstermektedir (Bek 2009).



a. Seramik bilya

b. Cam bilya

c. Paslanmaz çelik bilya

Şekil 1.7 Pratik uygulamalarda kullanılan farklı tip bilyalar (URL-2 2010).

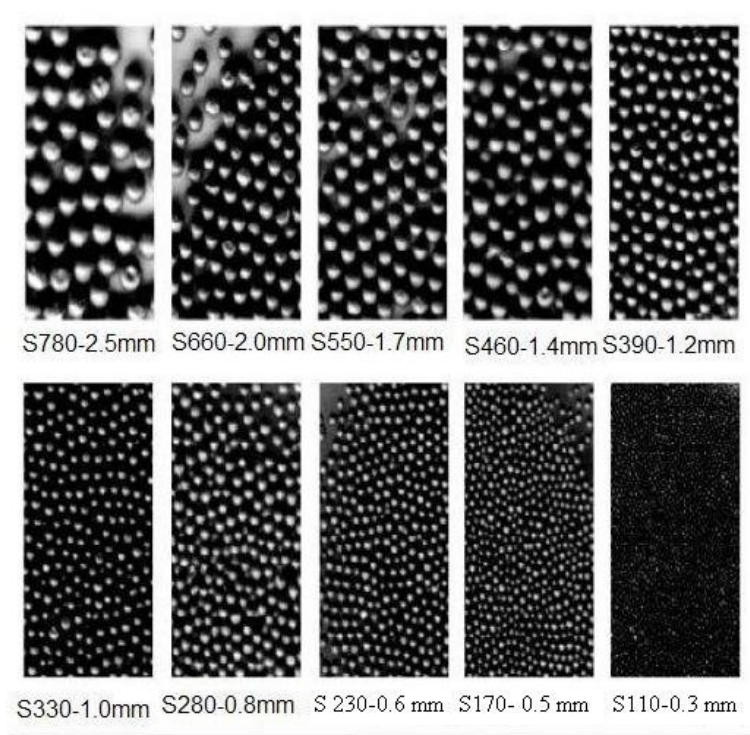
Tablo 1.1 Bilya tipleri ve sınıflandırılması (Bek 2009).

| Bilya Tipleri | | |
|-------------------|---|--------------------------------|
| Demir İçerenler | Çelik Bilya, Yuvarlatılmış Kesme Tel, Paslanmaz Çelik Bilya | |
| Demirdışı Olanlar | Metalik Olanlar | Alüminyum, Çinko, Bakır, Bronz |
| | Metalik Olmayanlar | Cam, Kürecik Seramik Bilya |

Tablo 1.2 Bilya tiplerinin standartları ve sertlik değerleri (Bek 2009).

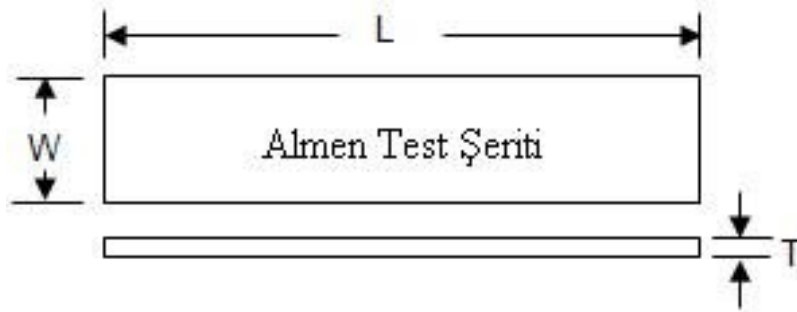
| Bilya Tipi | Standart | Sertlik |
|---------------|----------------------------|--------------------------|
| Çelik Bilya | AMS 2431/1 veya AMS 2431/2 | 45-52 HRC veya 55-62 HRC |
| Tel Kesme | AMS 2431/3 veya AMS 2431/8 | 45-52 HRC veya 55-62 HRC |
| Cam Bilya | AMS 2431/6 | 48-52 HRC |
| Seramik Bilya | AMS 2431/7 | 58-63 HRC |

Bilya büyüklükleri malzemeye uygulanan bilyalı dövmenin şiddeti ile birlikte artmaktadır. Bilyanın hızı doğrultusunda sahip olduğu kinetik enerjisi yüzeye aynen aktarılacağından kütlesi de kinetik enerjisini belirlemede önemli rol oynar. Bilya büyüklükleri çapları ele alınarak standartlaştırılmıştır. Şekil 1.8 bilyaların çaplarının büyüklüklerine göre nasıl sınıflandırıldığını göstermektedir (Savas 2010).



Şekil 1.8 Bilyaların büyüklüklerine göre sınıflandırılması (Savas 2010).

Almen şeritleri, bilyalı dövme işlemi yapılmadan önce işlem sonrası elde edilmek istenen Almen şiddetinin belirlenmesi için geliştirilmiş şeritlerdir. Bilyalı dövme işleminin standart bir şekilde ve belli kalitede uygulanmasını sağlamak için “dövme şiddeti” büyüklüğü geliştirilmiştir. Dövülecek iş parçası dövülmeden önce istenilen dövme şiddetini belirlemek amacı ile Almen şeritleri kullanılmaktadır. Almen şeritleri standartlaştırılmış olup AISI 1070 orta karbonlu çelikten imal edilmiş olup sertlikleri yaklaşık olarak 45 HRC mertebesindedir. Tablo 1.3 Almen Şeritlerinin standartlaştırılmış özelliklerini göstermektedir. Üç çeşit Almen şeriti mevcut olup inceden kalına doğru sırasıyla N, A, C harfleriyle gösterilirler. Şekil 1.9 Almen şeritlerini ve boyutlarını göstermektedir (Savas 2010).

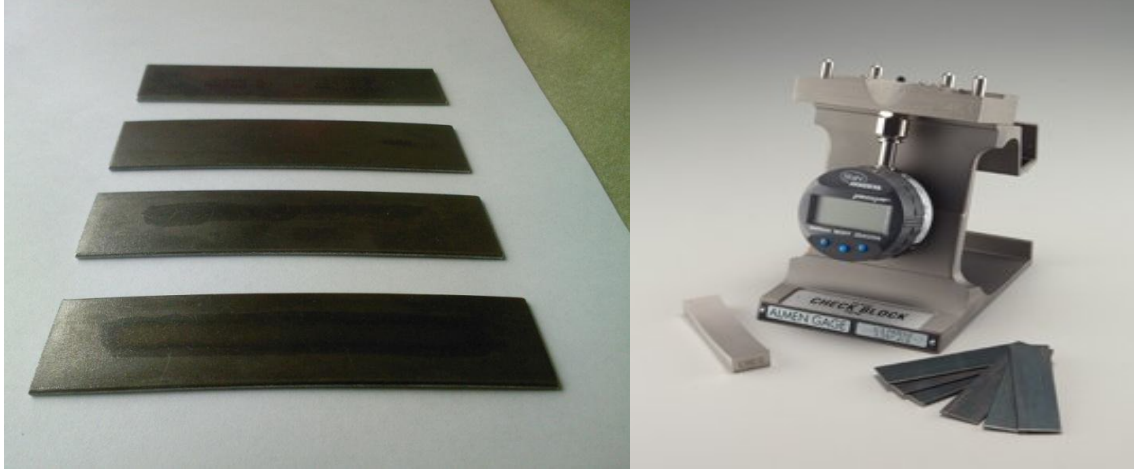


Şekil 1.9 Almen test şeriti ve boyutları (Bek 2009).

Tablo 1.3 Almen Şeritlerinin standartlaştırılmış özellikleri (Bek 2009).

| Şerit Adı | Standart | Düzlemsellik | Sertlik | Kalınlık |
|-----------|--------------|--------------|-----------|----------|
| C | AMS-S 13165 | +/- 0.038 mm | 44-50 HRC | 2.39 mm |
| A | SAE J442 | +/- 0.025 mm | 44-50 HRC | 1.29 mm |
| N | SAE AMS 2432 | +/- 0.013 mm | 45-58 HRC | 0.76 mm |

Dövme şiddetlerinin belirlenmesi maksadıyla şeritler rijit bir bloğa bağlanarak tek taraflı yüzeyine bilyalı dövme işlemi uygulanır. Tutucudan sökülen şeritin bilyalı dövülen kısmı dış bükey olacak şekilde yay parçası şeklini alır. Oluşan eğriliğin sehim miktarı ölçülür. Bu değere eğrilik yüksekliği denir. Dövme sonrası Almen şeritleri ile Almen mastarı sırasıyla Şekil 1.10a ve 1.10b’de gösterilmektedir (URL-3 2010).

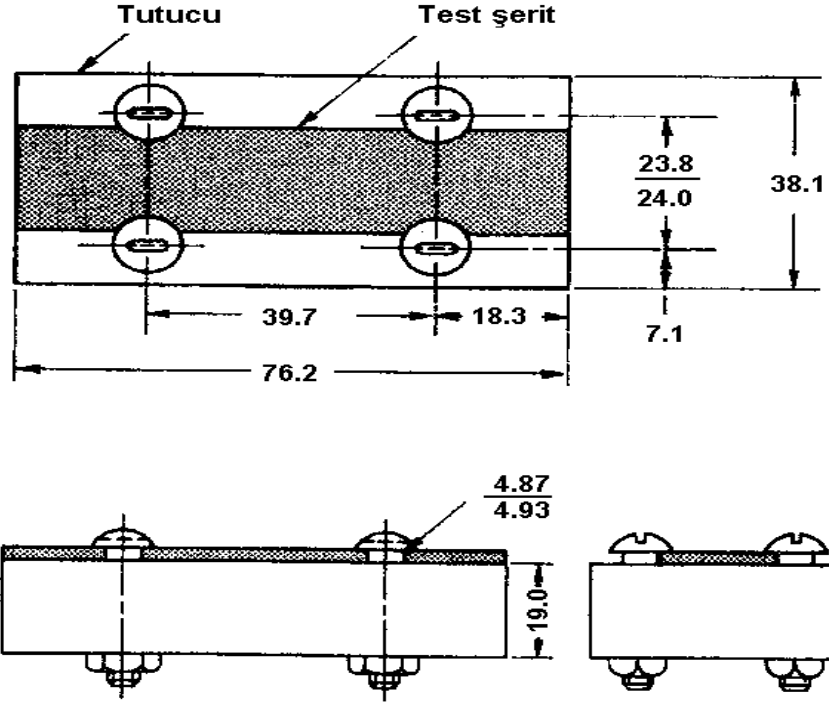


a

b

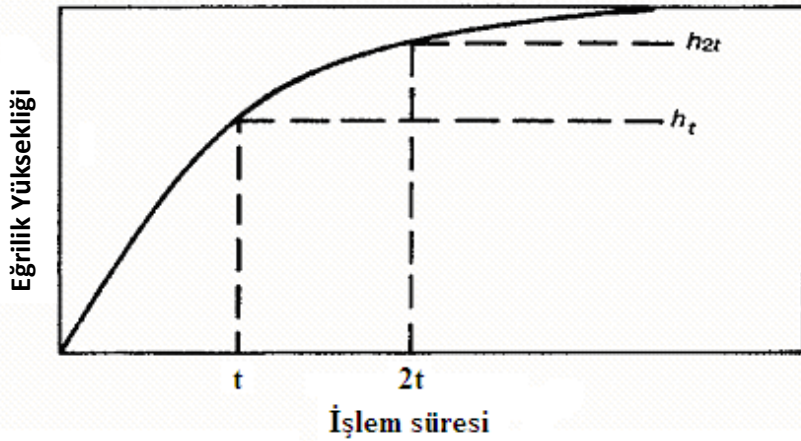
Şekil 1.10 a. Bilyalı dövme sonrası Almen şeritlerinde meydana gelen eğrilik yüksekliği
b. Almen şeritlerinde eğrilik yüksekliğini belirleyen Almen Mastarı (URL-3 2010).

Dövme şiddetinin belirlenmesi esnasında Almen şeritlerinin bağlandığı ekipman Şekil 1.11’de verilmektedir. Dövme şiddeti değeri ölçü aletinden okunan yükseklikle standartlaştırılmıştır. Örnek verilecek olursa, 0,013A test numunesindeki eğrilik yüksekliğinin 0.013 inç (0.33 mm) ve Almen şeriti olarak A şeritinin kullanıldığını belirtir (Kostilnik 1994). Bu değer metrik sistemdeki karşılığı 33A Almen şiddetidir.



Şekil 1.11 Dövme şiddetinin belirlenmesi ve kullanılan ekipman (Başaran 2007).

Doyurma oranı, bilyalı dövmenin yüzeye etkisinin yoğunluğunu belirleyen bir orandır. Bilyalı dövülen iş parçasının yüzeyinin bilyalar ile en az bir defa vurulması işlemi doyurma oranını ortaya çıkarmaktadır. Tüm yüzeyin bilyalar tarafından dövülmesi yani yüzeydeki her noktaya en az bir defa bilyanın çarpması sonucu % 100 doyurma oranı elde edilir. Bir başka ifadeyle dövme süresinin t olduğu durumdan $2t$ oluncaya kadar eğrilik yüksekliğindeki artış miktarı % 10 değerinde veya daha düşükse, elde edilmiş olan doyurma oranı % 100 olarak kabul edilir (Başaran 2007). Bu ilişki Şekil 1.12’de verilmektedir (Kostilnik 1994).



Şekil 1.12 Bilyalı dövme işlem süresi- Eğrilik yüksekliği ilişkisi (Kostilnik 1994).

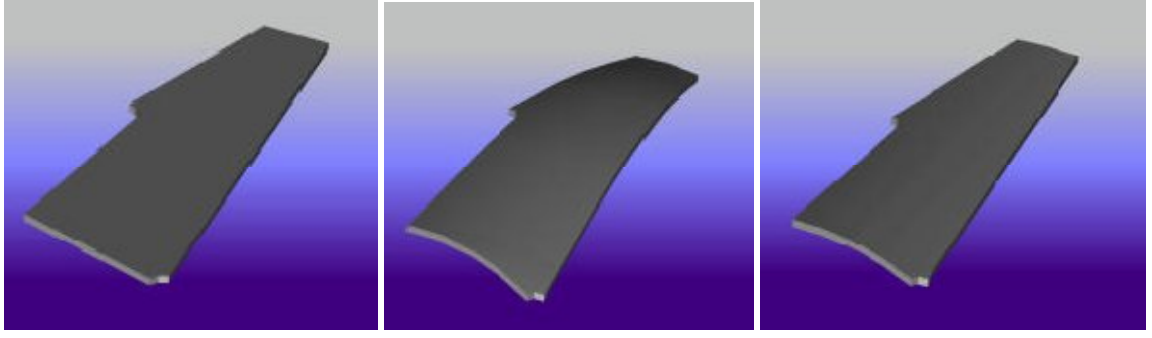
Bilyalı Dövmeye İşleminin Uygulama Alanları

Bilyalı dövmeye işlemi endüstriyel alanda birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bilyalı dövmeye, makine parçalarının yorulma dayanımlarının artırılması, gerilmeli korozyonda hasarın ilerlemesinin yavaşlatılması, çatlak ilerlemesinin yavaşlatılması veya durdurulması, kaviteasyon sonucu meydana gelen hasarların geciktirilmesi ve farklı malzemelerden yapılan parçaları birleştirme amacı ile uygulanmaktadır (Ramati 1999).

Bilyalı dövmeye işleminin en etkili olduğu yorulma dayanımını artırma işlemi artık gerilme profili ile tam anlamıyla izah edilebilir. Talaşlı, talaşsız her türlü imalat yöntemleriyle imal edilen parçalarda mutlaka artık gerilmeler oluşmaktadır. Hatta bu artık gerilmelerin giderilmesi için gerilme giderme tavlama da yapılmaktadır. Oluşan artık gerilme profilleri faydalı ve zararlı olmak üzere iki türden olup; yüzey ve yüzeyin hemen altında oluşan basma gerilmeleri faydalı, yüzey tabakasında oluşan çekme artık gerilmeleri ise zararlı olarak nitelendirilebilir. Makine parçaları üzerine gelen net kuvvetin bulunması için uygulanan dış kuvvet kaynaklı gerilmeler ile artık gerilmeler cebirsel olarak toplanır. Sonuç olarak bulunan gerilmenin değeri o makine parçasının maruz kalabileceği hasarlar hakkında bize önceden bilgi verir (Ramati 1999).

Bilyalı dövmeye mekanik yüzey işlemi oda sıcaklığında kalıpsız yapılan bir şekillendirme işlemi olarak da tanımlanabilir. Yüzeye yüksek hızda ve belli bir basınç değerinin üzerinde fırlatılan küçük bilyalar çekiç etkisi yaparak şekillendirme işlemini gerçekleştirir. Dolayısıyla makine parçasının üzerinde hem elastik hem de plastik şekil değişimleri beraber görülür. Yüzeyde meydana gelen artık basma gerilmesiyle birlikte yüzeyde oluşan kalıcı uzama değerleri bu makine parçasının dış bükey olarak şekil almasına neden olacaktır. Uçak kanadı ve bazı tür kaportaların imal yöntemi olarak bilinen gererek şekillendirmeden farklı olarak, bilyalı dövmeye işlemi saçlara şekil vermede kullanılan bir yöntemdir (Ramati 1999).

Bilyalı dövmeye ile yassı ürünlerin şekillendirilmesi Şekil 1.13'de verilmektedir. Şekil 1.13a'da talaşlı işlenmiş bir uçak kanadı parçasını göstermektedir. Şekil 1.13b'de ise bu uçak kanadının bilyalı dövmeye işlemi ile plastik deformasyona maruz kalmış ve dış bükey şekil almış halini göstermektedir. Şekil 1.13c'de ise parçanın her iki yüzey ve kenarlar bilyalı dövülerek istenilen eğrilik değerine getirilmiş hali gösterilmektedir (Ramati 1999). Bilyalı dövmeye işlemi büyük şekillendirmenin gerekmediği makine parçalarında şekil verme işlemi olarak uygulanmaktadır.



a.

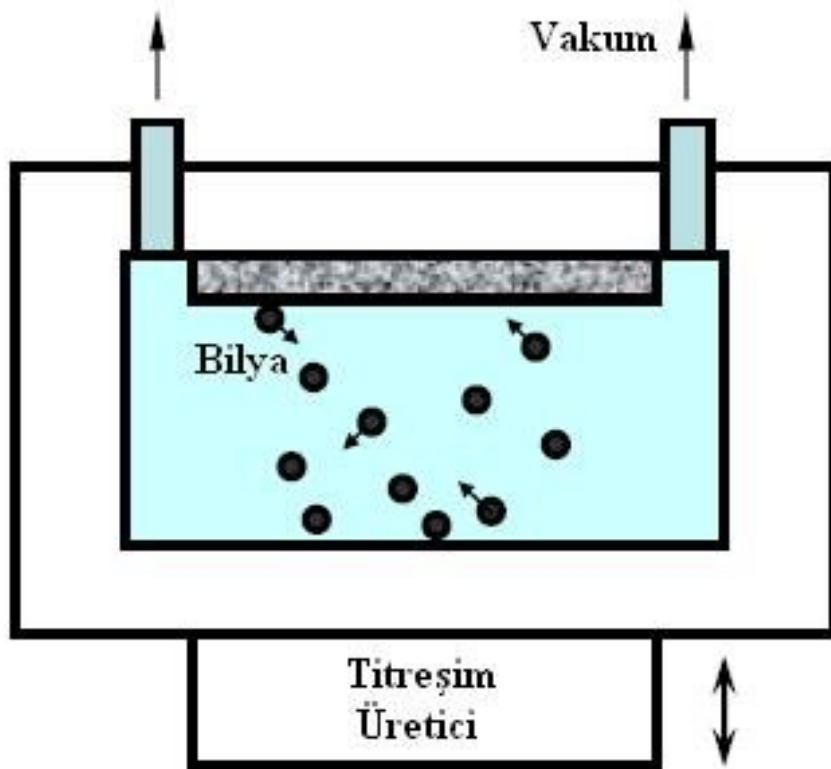
b.

c.

Şekil 1.13 Bilyalı dövme ile şekillendirilen parçalara bir örnek (Ramati 1999). a. Talaşlı işlenmiş bir uçak kanadı b. Tek taraflı bilyalı dövme sonucu oluşan dış bükey c. Çift taraflı bilyalı dövme sonucu istenilen eğrilik yüksekliği.

Diğer Bilyalı Dövme Uygulamaları

Ses üstü (ultrasonik) bilyalı dövme (SÜBD) yönteminde bilyalar titreşim üreten bir cihazla enerji verilerek titreşime tabi tutulur. Bilyaların bulunduğu haznenin üst kısmına dövülecek olan malzeme yerleştirilir. Titreşerek harekete geçen bilyalar malzemenin yüzeyine rastgele çarparlar (Bagherifard ve Guagliano 2009). Şekil 1.14’te ses üstü (ultrasonik) bilyalı dövme cihazı şematik olarak gösterilmektedir (Bagherifard ve Guagliano 2009).



Şekil 1.14 Ses üstü bilyalı dövme cihazı (Bagherifard ve Guagliano 2009).

Sayırsız tekrarlanan çok yönlü çarpmalar büyük deformasyonlar meydana getirir ve plastik deformasyon oluşumuna neden olur. Bunun sonucunda yüzey veya yüzeyin hemen altında ince veya nano taneli yapılar oluşmaktadır. İnce ve nano taneli yapıların iç kısımlardaki daha iri taneli yapılara göre mekanik ve fiziksel özellikleri çok büyük farklılıklar gösterir (Schulze 2004).

1.3.2.2 Diğer Mekanik Yüzey İşlemleri

Gerilmeli Dövme

Gerilmeli dövme mekanik olarak dövme işlemi uygulanmadan önce aşırı basma gerilmesini önlemek amacıyla ön gerilme uygulanan bir çeşit mekanik yüzey işlem yöntemidir. Gerilmeli dövme metodu, uygulanan ön gerilme hariç uygulama yöntemi ve cihazlarıyla klasik bilyalı dövme işlemiyle çok benzer özellikler taşır (Straub ve May 1949; Mattson ve Roberts 1959; Lieurade ve Bignonnet 1987).

Gerilmeli dövme işlemi yaprak yayların, biyel kollarının ve fren yaylarının son dövme işlemlerinde uygulanır. Ayrıca son yıllarda yapılan araştırmalarda bazı millerin üzerinde gerilmeli dövme işlemi yapılmıştır (Potter ve Millard 1976; Robinson ve Smart 1984).

Sistemin teknolojisi açısından ve gereksinimleri bakımından geleneksel bilyalı dövme ile gerilmeli dövme arasında kayda değer bir fark yoktur. Bilyalı dövme işleminde olduğu gibi aynı tür bilyalar kullanılmaktadır. Gerilmeli dövmenin geleneksel bilyalı dövmeden tek farkı makina parçasına ön gerilme uygulayacak gerekli ekipmanların bulunmasıdır. Bu ekipmanlar tezgahın özel bileşenleri olup servis esnasında makine parçasına gelecek yüklemeleri dövme işleminden önce parçaya uygular.

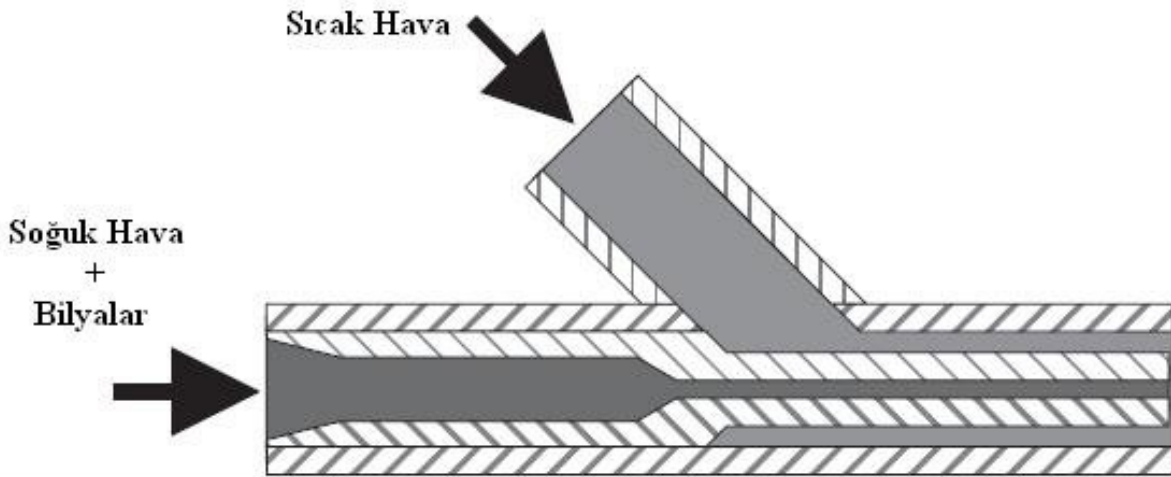
Endüstriyel alanda öngerilme hidrolik ve pnömatik sistemler tarafından vidalı ve civatalı bağlantılara uygulanır. Bu ön gerilme makine parçalarının serviste maruz kalabileceği yüklemelere paralel olarak homojen olmayan tek eksenli çekme gerilmesi, homojen olmayan tek eksenli eğme gerilmesi ve homojen olmayan çift eksenli burulma gerilmesi şeklinde uygulanır (Tange ve Ando 2000).

Ilık Dövme

Ilık dövme bir çeşit bilyalı dövme işlemi olup genellikle çeliklere uygulanır. Dövme işlemi yaklaşık olarak 170°C ile 350°C arasında gerçekleştirilir. Yüksek sıcaklıklarda uygulanmasının göz önünde bulundurulmadığı durumda bu işlem geleneksel bilyalı dövme işlemi ile aynıdır. Dolayısıyla dövme cihazı ve ekipmanları düşünüldüğünde ılık dövme işlemi ile geleneksel bilyalı dövme işlemi aynıdır. Şekil 1.15 ılık dövme işleminde kullanılan nozülün yapısını göstermektedir (Tange ve Ando 2000).

Ilık dövme işlemi için en önemli husus ise sıcaklığın kontrolüdür. Aksi takdirde dövülecek malzemede sertlik düşüşü ve tavlanma etkisine yol açabilir. Bu durum dövmenin etkisini düşürebilir (Wick vd. 2000).

Ilık dövme işlemi teknolojik ve endüstriyel uygulamalarda genellikle çelik yaylara uygulanmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi ılık dövmede parçaya verilen ısı ve aşırı sıcaklık yükselmesinin önlenmesi dışında özel uygulama gereksinimleri mevcut değildir. Endüstriyel işlemlere ılık dövme sıcaklığı ve ısıl işlemler yarar sağlamaktadır. Fakat belirli dövme sürelerinde verilecek ısı miktarını ve parça sıcaklığını sabit tutmak kolay bir adım olmadığından parçanın sıcaklığı nozülden ayrı bir boru ile gelen sıcak hava ve eddy akımları ile sağlanmaktadır (Schulze 2004).

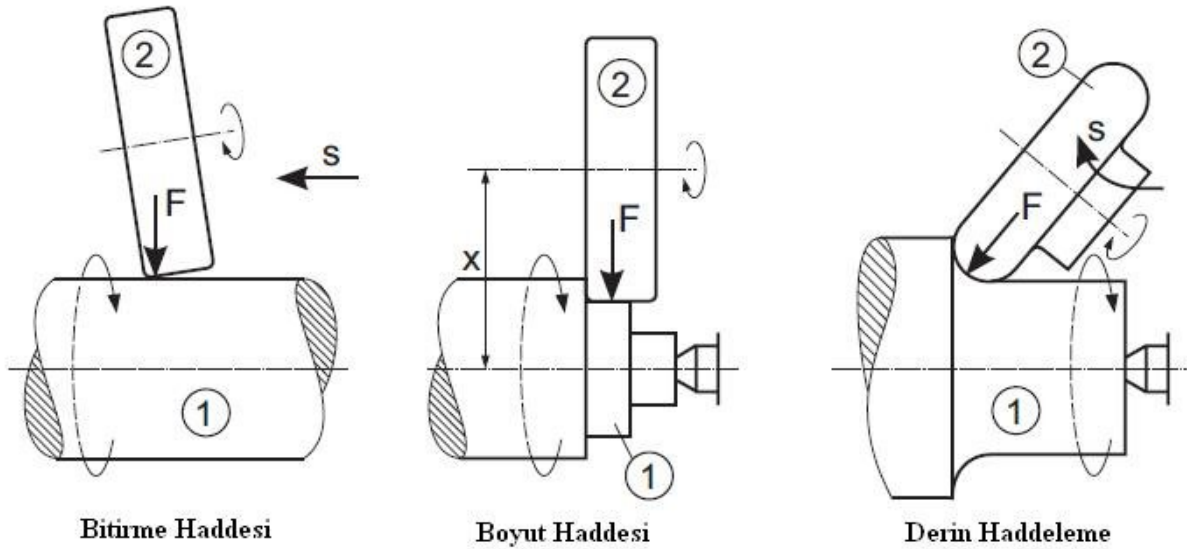


Şekil 1.15 Ilık dövme işleminde kullanılan nozülün yapısı (Schulze 2004).

Derin Haddeme

Derin haddeme, doğasında kesme işlemi olmayan bitirme ve boyutlandırma haddesine benzer, yüzey ve boyut toleransı yüksek, yüzey haddeme işlemidir. Bitirme haddesi işlemi sonrası malzeme yüzeyine düşük yüzey pürüzlülüğü, yüksek boyut hassasiyeti, iyi tribolojik özellikler (yüksek aşınma, düşük sürtünme özellikleri yüksek kayma kabiliyeti vb.) kazandırır. Boyutlandırma haddesi ise çok iyi boyut toleransı ile birbiri ile çalışan makine parçalarında kolaylık sağlar. Bunlara karşılık derin haddeme işlemi yüzeye yakın bölgelerde soğuk deformasyon yani pekleşme ile basma artık gerilmesi yüklemesi dolayısıyla yorulma dayanımının artmasını sağlar. Şekil 1.16 derin haddeme işleminin farklı tiplerini göstermektedir (Schulze 2004).

Derin haddeme işlemi takımın dönerken aynı zamanda da parçaya sabit bir basınç uygulama esasına dayanır. Kuvvetten doğan bu basınç, yüzey bölgesinde devamlı artan plastik deformasyona neden olur (Schulze 2004).



Şekil 1.16 Derin haddeme işleminin çeşitleri (Schulze 2004).

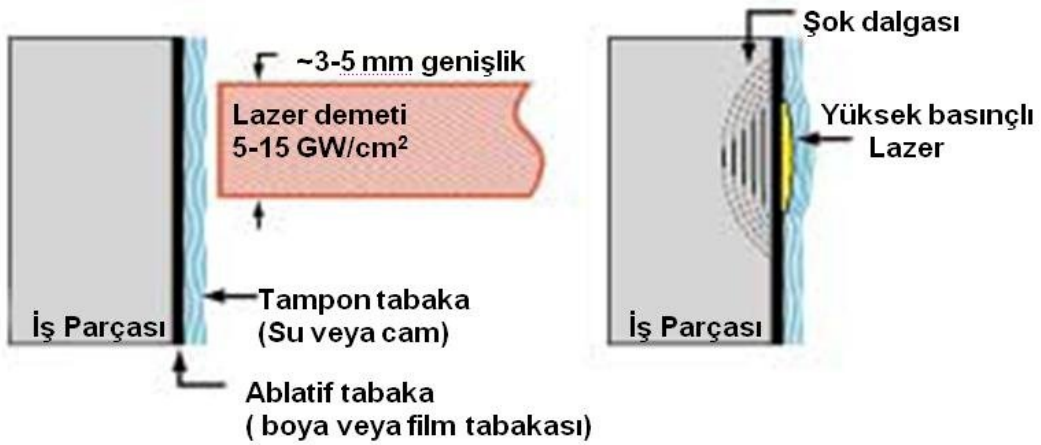
Otomotiv ve uzay endüstrisinde derin haddeme işlemi krank milleri, valf milleri, vidalar ve akslar üzerine uygulanmaktadır. Hem derin haddeme takımlarının hem de parçanın dönel hareket yapması nedeniyle derin haddeme işlemi sadece dönel simetriye sahip parçalara uygulanır. Bazı özel takımlar ise boyuna, kademeli ve kör deliklerin derin haddelenmesini gerçekleştirir. İşlemin kolaylığı ile birlikte, talaşlı işlem tezgahlarına, özellikle torna tezgahına bağlanabilen takımları sayesinde derin haddeme işlemi uygulanabilmektedir (Schulze 2004).

Lazerle Dövme

Lazerle dövme işlemi, lazer dalgası sonucu oluşan lazer demetlerinin malzemenin yüzeyine gönderilmesi sonucu yüzeyinde artık basma gerilmesi oluşturan ve sonuçta yorulma dayanımını artırıcı bir yüzey işlemidir (Hill 2003; Kysar 2008).

Diğer mekanik yüzey işlemlerine nazaran daha etkili olup yüzeyde etki derinliği milimetre mertebelerindedir. Lazerle dövme son yıllarda büyük değişme göstermiş bir yüzey işlemidir. 1965'te ilk defa geliştirilmiş olmasına rağmen 1990'lı yıllarda aktif olarak endüstride yer almaya başlamıştır (Hill 2003; Kysar 2008).

Lazer, enerji kaynağı olarak düşünülse de lazerle dövme işlemi bir mekanik yüzey işlemi olarak kabul edilmelidir. Çünkü yüzeyde artık basma gerilmesine sebep olan lazerin sahip olduğu enerjinin yüzeyde bölgesel sıcaklığı arttırmaktan daha ziyade, lazer demetinin malzeme üzerine gönderilmesi ve bu malzeme üzerinde oluşan şok dalgalarının malzemenin iç kısımlarına hızlı bir şekilde ilerlemesi esasına dayanır. Oluşan düzlemsel şok dalgalarının malzeme içinde ilerlemesi sonucu plastik deformasyon oluşur. Lazerle dövme işleminde plastik deforme olmuş tabaka kalınlığı diğer geleneksel mekanik yüzey işlemlerine nazaran daha fazla olup aynı zamanda basma artık gerilmeleri de o oranda yüksektir (Hill 2003; Kysar 2008). Lazerle dövme işlemi Şekil 1.17'de şematik olarak gösterilmektedir (Hill 2003).



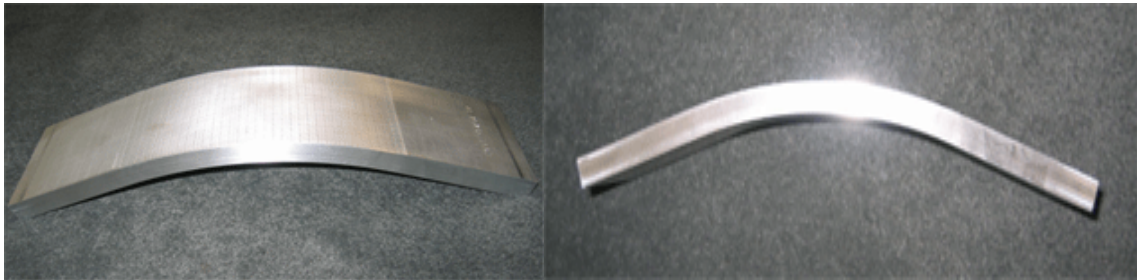
Şekil 1.17 Lazerle dövme işleminin esasları ve uygulanması (Hill 2003).

Lazerle dövme işlemi esnasında iş parçası koruyucu tabaka ile sarılıp cam veya sudan oluşan şok emici tabaka uygulanır (Zou vd. 2008). Lazer demetleri iş parçasının yüzeyinde basınçlı plazma oluşturur. Basınçlı plazma ortaya şok dalgalarının çıkmasına, şok dalgaları da

malzemenin yüzeyinin altında ilerleyerek, plastik deformasyona uğramasına neden olur (Everett 2001).

Lazerle dövme işlemi için malzeme yüzeyi hazırlanması şarttır. Lazer kaynağı iş parçasının hazırlanmış yüzeyine tatbik edilir. Yüzeğe önceden mat boya veya film tabakası uygulanır. Lazer demetleri bu tabaka tarafından emilir ve yüzeyin ısınması önlenir. Bu tabaka üzerinde su tabakası oluşturulur. Lazer demeti içindeki fotonlar su tabakasını geçtikten sonra film tabakası veya mat boya tarafından emilir. Lazer plazma bulutu su tabakası tarafından yüzeye doğru itilir ve belirli basınç ve süre değerlerinde uygulanır. Düzlemsel şok dalgaları yüksek hızda deformasyon oluşturup kimi bölgelerde elastik kimi bölgelerde plastik şekil değişimlerine neden olur. Homojen olmayan bu plastik şekil değişiklikleri artık gerilme oluşumunun başlıca nedenlerindedir (Everett 2001).

Lazerle dövme işlemi son yıllarda endüstriyel uygulamalarda yerini almıştır. Lazerle dövme işlemi klasik mekanik yüzey işlemlere nazaran etki derinliği ve artık gerilme profili daha büyük olduğu için daha kalın malzemelerin dövülmesinde uygulanabilir. Bunun yanında ince levha ve saçlar da rahatlıkla lazerle dövme işlemi tarafından dövülebilirler. Karmaşık yapıda malzemelerin dövülme işlemi daha ekonomik ve az kayıplı olup işlem süresi kısadır. Lazerle dövme işlemi uzay ve havacılık alanında çok geniş uygulama alanlarına sahiptir. Lazerle dövmenin malzemelerin yorulma dayanımlarını arttırmasının yanında jet türbini kanatçıklarına ve kritik parçalarına yabancı maddelerden gelecek zararlara karşı da dayanım kazandırır. Günümüzde medikal uygulamalarda diz protezlerine lazerle dövme işlemi uygulanmaktadır. Uçak kanatlarının ve yırtılmaya karşı fazla dayanıklı olmayan malzemelerin dayanımlarının arttırılmasında; ayrıca nükleer uygulamalarda özellikle kaynaklı birleştirmelerin korozyon yorulma direncini arttırmak amacıyla da lazerle dövme sıkça uygulanan bir işlemdir (Everett, 2001). Şekil 1.18 lazerle dövülen ve uçak malzemesi olarak kullanılan AA7050 alüminyum alaşım parçalarını göstermektedir (URL-4 2010).



Şekil 1.18 Lazerle dövme ile şekillendirilmiş AA7050 levha malzeme (URL-4 2010).

1.3.3 Isıl-Mekanik Yüzey İşlemleri

Çeliklerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile ısıl-mekanik işlemler yaygın olarak kullanılır. Isıl-mekanik işlem, çelik malzemeyi ostenit bölgesine kadar ısıtıp plastik deformasyona maruz bıraktıktan sonra zaman kaybetmeden su verilerek martenzit yapı oluşturma amacını güden bir işlemdir. Su verme işlemi sonrası malzeme düşük sıcaklıklarda temperleme işlemine tabi tutulur. Isıl-mekanik işlem sonrası malzemenin mukavemet ve sertlik değerlerinin yükselmesinin yanı sıra darbe tokluğu süneklik gibi mekanik özelliklerde de iyileşme gözlemlenmektedir. Tablo 1.4 Isıl işlem ve Isıl-Mekanik İşlemler sonrası elde edilen mekanik özellikleri göstermektedir (Askerov vd. 2007).

Tablo 1.4 Isıl işlem ve ısıl-mekanik işlem sonrası mekanik özellikler (Askerov vd. 2007).

| <u>ISIL İŞLEM</u> | MUKAVEMET | PLASTİKLİK | DARBE TOKLUĞU |
|---------------------------|-----------|------------|---------------|
| SU VERME | YÜKSEK | DÜŞÜK | DÜŞÜK |
| TAM YUMUŞATMA | DÜŞÜK | YÜKSEK | YÜKSEK |
| TEMPERLEME | NORMAL | YÜKSEK | YÜKSEK |
| <u>TERMOMEKANİK İŞLEM</u> | YÜKSEK | YÜKSEK | YÜKSEK |

Geleneksel ısıl işlemler ve ısıl-mekanik işlemler karşılaştırıldığında ısıl-mekanik işlem sonucu çeliklerin dayanımında yaklaşık % 40 artışın yanı sıra plastikliğinde ise % 100 e varan iyileşmeler belirlenmiştir.

Isıl-mekanik işlem şartları ısıtma ve soğuma hızı, sıcaklık, deformasyon hızı, malzemenin içeriği gibi parametrelere göre değişiklik göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda haddeleme işlemi sonrası malzeme hemen soğutulmaktadır. Aksi takdirde rekristalizasyon sürecine doğru gidilir, yani pekleşme etkisi ortadan kalkıp ince ostenit tanelerinin oluşumu meydana gelmektedir. Sonuç olarak malzemenin mukavemet değerlerinde ciddi düşüşler görülebilmektedir (Askerov vd. 2007).

Isıl-mekanik işlem sonrası mekanik özelliklerinin beraber iyileşmesinin yani dayanım ile birlikte plastiklik özelliklerinin de iyileşmesine neden olan durum ostenit tane yapılarının uygun poligonizasyonlaşmasıdır. Dolayısıyla su verme ile oluşan martenzit yapısının dislokasyon yoğunluğunun azalmış olmasıdır. Bu yapı düşük gerilme yığılmalarına homojen

dislokasyon dağılımlarının oluşmasına sebep olur. Bu durum ise hem mukavemet hem de plastiklik özelliklerinin iyileşmesini sağlamaktadır (Askerov vd. 2007).

1.4 AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON İŞLEMLERİ

1.4.1 Aşırı Plastik Deformasyon İşlemlerinin Amacı

Aşırı plastik deformasyon yöntemleri metal ve alaşımların mikro boyutta taneli yapılarının ince taneli yapılara dönüştürmeye yarayan işlemlerdir. Elde edilen ince taneli yapıların gelişmiş ve iyileştirilmiş mekanik ve fiziksel özellikleri sayesinde; bu özelliğe sahip olan malzemeler ticari alanlarda geniş yer bulabilmektedirler. Farklı kristal yapılara sahip metaller ve alaşımları, plastik deformasyonun ileri mertebelerinde ince taneli yapıya sahip olurlar. Aşırı plastik deformasyon metodları alt tanelerde mikron veya mikron altı boyutta tanelerin oluşmasını sağlar. Bu etkiyi oluşturan mekanizma araştırılmakta olup, plastik deformasyon sonucu oluşan kayma bantları tanelerin bölünmesinde, bölgesel toparlanma ve rekristalizasyonda ve dolayısıyla tane incelmesinde büyük rol oynarlar. Büyük oranda plastik deformasyon ince tanelerin dislokasyonsuz bir şekilde oluşmasına neden olur (Zrnik vd. 2008).

Son yıllarda nano boyutta taneye sahip malzemeler bilimsel araştırma konusu olarak çok dikkat çekmişlerdir. Nanotaneli yapıların eldesi için uygulanan birçok aşırı plastik deformasyon metodları vardır. Bu yöntemlere örnek olarak, aşırı plastik burma deformasyonu, yüksek basınçlı burulma ve ses üstü bilyalı dövme örnek verilebilir. Aşırı plastik deformasyonlardan sonra, soğuk deformasyona uğramış bölge ile malzemenin iç yapısı arasındaki görüntülerde keskin bir ayrılma mevcuttur. 100 nanometreden daha küçük taneli yapılarda dislokasyonlara rastlanmaz. Bu ince taneli yapılardan ölçülen sertlik değerleri 8 GPa ile 14 GPa arasında değişmektedir (Todaka vd. 2005).

Aşırı plastik deformasyon sonucu oluşan ince taneli yapı, malzemedeki mekanik özelliklerin iyileşmesine neden olur. Aynı zamanda sertlik ve akma dayanımı değerleri de yükselir. İnce tane yapı malzemelerin dezavantajı olarak süneklik değerleri gösterilebilir. Bazı araştırmalar ise bu tür malzemelerin süneklik ve tokluk değerlerinin arttığını göstermiştir (Zrnik vd 2008). Aşırı plastik deformasyon sonucu oluşan ince taneli malzemeler düşük sıcaklık ve yüksek deformasyon oranlarında süper plastik davranış göstermektedir. Günümüzde laboratuvarlarda aşırı plastik deformasyon sonucu oluşan yapıyı inceleme bir araştırma konusu haline

gelmiştir. Bu laboratuvar çalışmalarındaki tüm çaba, malzeme akışı mekaniği ve tane incelleme mekanizması üzerine yoğunlaştırılmıştır. Düşük deformasyonlarda alt tane incelmelerini sağlayacak olan kayma bantları taneler tarafından bastırılırlar. Yüksek deformasyonlarda lamel yapıları yüksek açılı tane sınırları ve nano boyuttaki ince taneler baskındırlar. Aşırı plastik deformasyon sonucu oluşan iç yapı incelenirse; yeni tanelerin görünümünün malzemenin iyileşmiş mekanik özelliklerinden daha önemli olduğu anlaşılır. Deformasyon işlemine bakıldığında, heterojen iç yapı oluşumu deformasyondan bağımsız olarak malzemede açıkça gözlemlenir (Zrnik vd 2008).

1.4.2 Aşırı Plastik Deformasyon İşlemlerinin Çeşitleri

Büyük plastik deformasyon oluşturmak zor bir işlemdir. Çünkü çoğu metal şekillendirme işlemlerinde bu işlem şekillendirilen malzeme hasarıyla veya takım hasarıyla sonlanmak zorunda kalır. Tandem haddeleme ve çok aşamalı tel çekme ürünleri olan metal folyolar ve mikron mertebesi çapında teller aşırı plastik deformasyona maruz bırakarak kütüklere gerek kalmadan elde edilebilmektedir (Zrnik vd. 2008).

Çok kullanılan aşırı plastik deformasyon yöntemlerine;

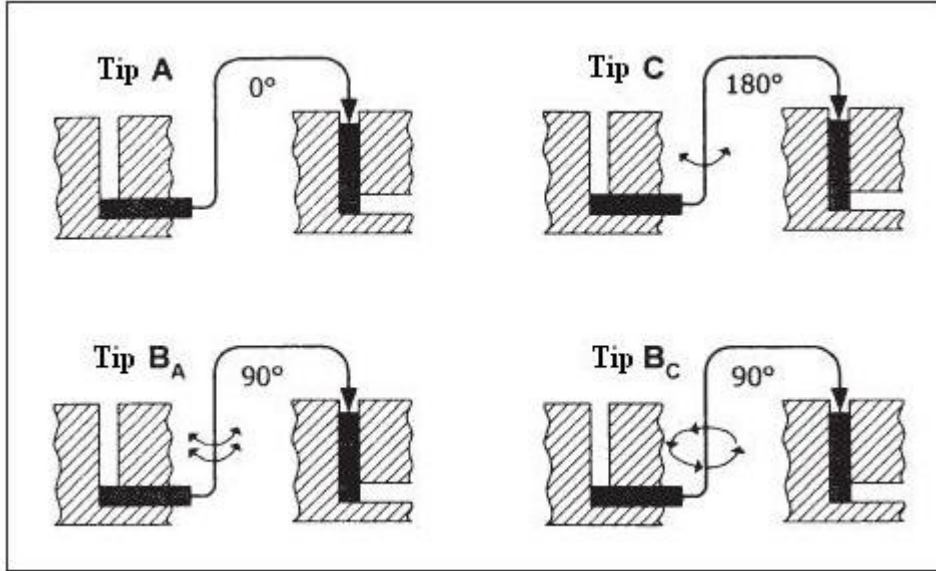
- Eş Kanallı Açısız Presleme
- Yüksek Basıncılı Burulma
- Tandem Haddeleme
- Karşılıklı Ekstrüzyon-Basma
- Kapalı Kalıp Dövme Çevrimi
- Tekrarlı Buruşturma ve Mukavemetlendirme örnek olarak verilebilir.

1.4.2.1 Eş Kanallı Açısız Presleme

Eş kanallı açılı presleme (EKAP) Rusya'da 1977 yılında Segal tarafından bulunmuştur. EKAP ince bir tabakada kesme işine dayalı çok kullanılan bir aşırı plastik deformasyon işlemidir. Yaygın uygulanmasının iki nedeni olarak düşük kuvvet gereksinimleri ve düşük takım basıncı gösterilebilir. Bununla birlikte basit takım geometrisi, laboratuvarlarda işlemin yapılmasına büyük avantaj sağlar. Çoğu laboratuvarlarda araştırmacılar uygulanan deformasyon sonucu yapı değişimlerini bu yolla incelerler. EKAP bir metal şekillendirme işlemi olup amaç metal ve alaşımların içyapılarını ince taneli hale getirebilmek ve Hall-Petch

eşitliğine göre metal ve alaşımlarını dayanımını arttırmaktır. EKAP malzemenin kesit alanını düşürmeden yapılan tek soğuk şekillendirme işlemidir. Geleneksel haddeleme, dövme, ekstrüzyon ve tel çekme gibi metal şekillendirme yöntemlerinde kesit alanının küçülmesi esastır. EKAP kesit daralması oluşturmadan malzemeyi 90° lik bir dirsekten geçirerek büyük deformasyonlar oluşturmayı amaçlamaktadır (Zrnik vd 2008).

Deformasyon dağılımı, sürtünmenin homojen olmasına ve kanal geometrisine bağlıdır. Tersine basınçta küçük de olsa deformasyon dağılımına etki eder. EKAP' taki deformasyon değerlerine ulaşmak için aynı kalıp içinde kütük, tekrarlanan işlemlere tabi tutulur. Her pasoda kütük kendi etrafında döner. Dönel hareketin dört çeşidi Şekil 1.19'da gösterilmiştir. Bu hareket tipleri malzeme yapısı ve tekstürün kontrolü açısından sınıflandırılıp ona göre değerlendirilirler (Zrnik vd 2008).

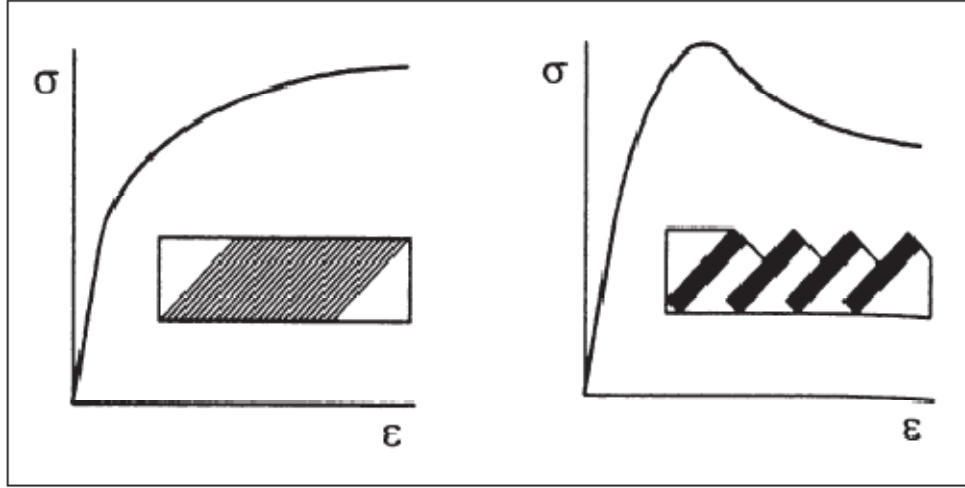


Şekil 1.19 EKAP kalıbında sıralı haddeleme işlemi için kütük dönüş tipleri (Zrnik vd. 2008).

Yapılan bazı deneyler elde edilen eş eksenli yüksek açılı homojen tanelerin oluşumu sonucu en uygun işlemin Şekil 1.19'da tip B_C olduğunu göstermiştir (Zrnik vd. 2008).

EKAP işleminde yüksek basınç uygulanmadığı için takımlar ve kalıp düşünüldüğünde avantaj olarak görülebilir. Fakat malzeme olarak kırılğan malzemeler seçildiğinde avantaj dezavantaja dönüşür. Metal şekillendirme operasyonlarında sünek malzemeler için daha fazla basınç değerlerine ihtiyaç duyulabilir çünkü bu basınç değerleri hasarın artmasını ve sünekliğin azalmasını engelleyici rol oynar. Kırılğan malzemelerin şekillendirilmesi ancak sıcaklığın artmasıyla düşük basınçta mümkün olmaktadır. Sıcaklığın artırılmasının nedeni malzeme

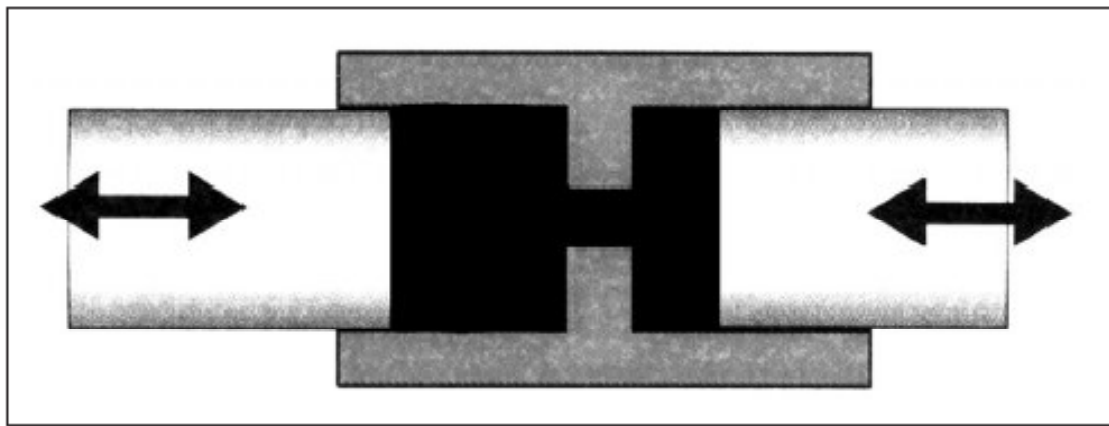
akışının kararlı olmasını sağlamak, hasar ve kırılma olmasını engellemektir. EKAP'ta da aynı talaşlı imalata benzer kararlı akış ve bölgesel akış sonucu ortaya çıkan testere dişi şeklinde talaş oluşumu Şekil 1.20'de gösterilmiştir (Zrnik vd. 2008).



Şekil 1.20 Metal sertleşmesi ve yumuşamasına bağlı olarak EKAP'ta kararlı ve bölgesel akışın şematik gösterimi (Zrnik vd. 2008).

1.4.2.2 Ekstrüzyon-Basma Çevrimi

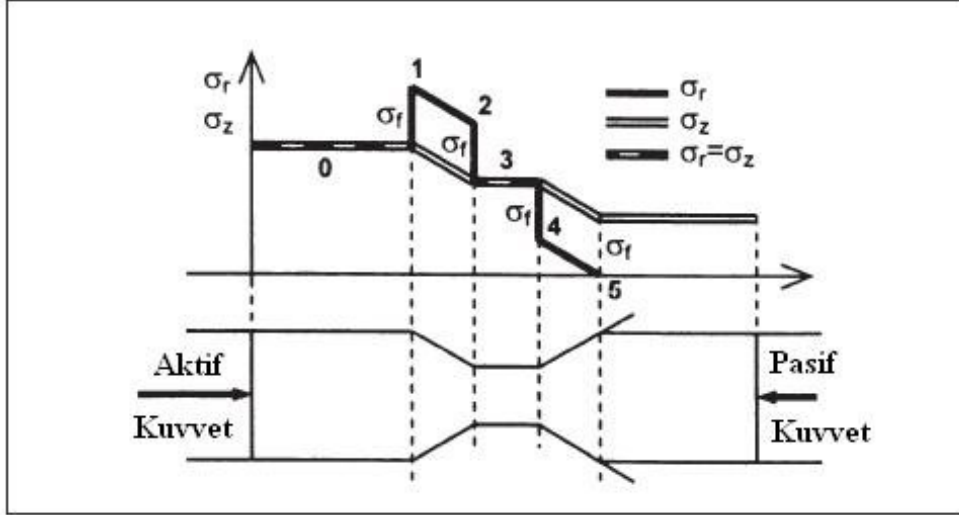
J.Richert tarafından ortaya atılmıştır. Metal akışı ekstrüzyon ve basma çemberinde gerçekleşir. Şekil 1.21'de görüldüğü gibi kalıp hareketsiz, zımba ekstrüzyon ve basma yapacak tarzda tasarlanmış şekilde hareket ederek malzemede büyük deformasyonlar oluşturmaktadır.



Şekil 1.21 Ekstrüzyon-Basma çevrimi (Zrnik vd. 2008).

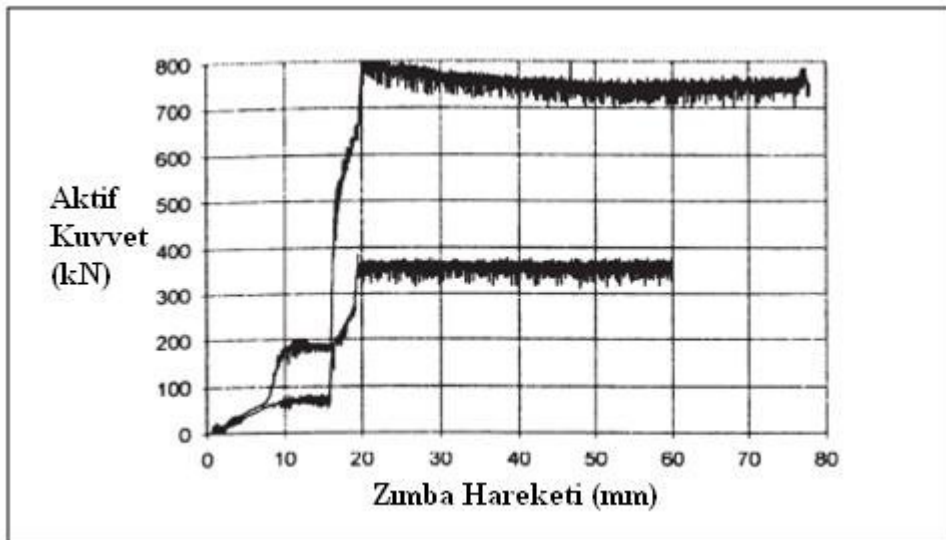
Şekil 1.21 esas alındığında hidrostatik gerilmeler ekstrüzyon ve basmanın başladığı bölgelerde oluşmakta geçiş bölgesinde ise gerilme değeri akma dayanımının üzerine

çıkılmaktadır. Dolayısıyla plastik deformasyon meydana gelmektedir. Şekil 1.22 ekstrüzyon basma işleminde oluşan radyal ve aksenal yüklerin dağılımını göstermektedir (Zrnik vd. 2008).



Şekil 1.22 Ekstrüzyon-Basma işleminde radyal ve aksenal yüklemeler (Zrnik vd. 2008).

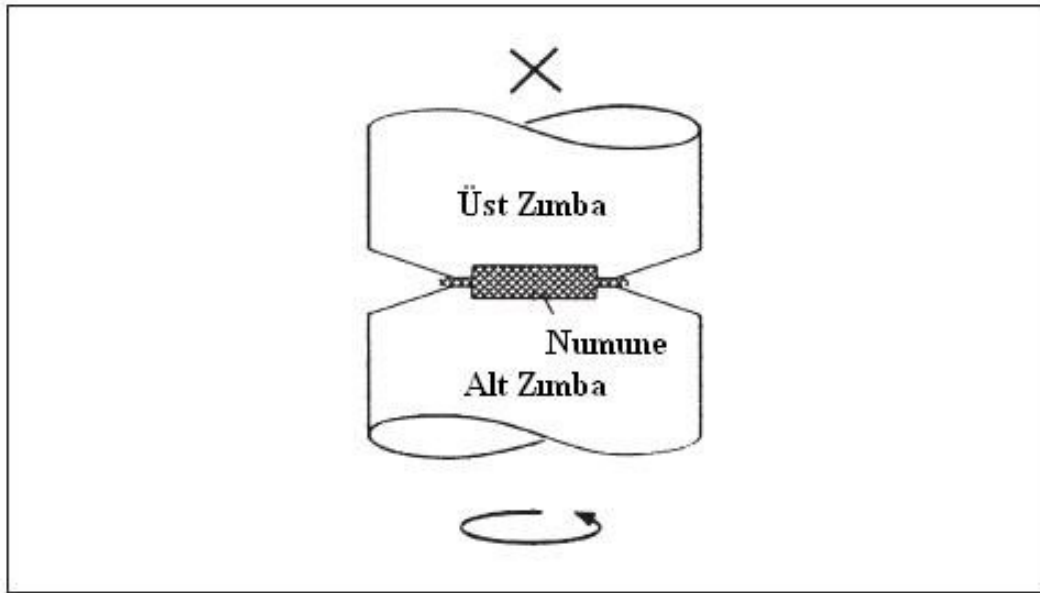
Aşırı plastik deformasyon işlemlerinde en büyük problemlerden biri de sürtünmedir. Şekil 1.23 sürtünmesiz ve düşük sürtümlü ortamlarda ortaya çıkan kuvvetler gösterilmektedir. Takım ve kalıp için sürtünme bu tür işlemlerde çok büyük öneme sahiptir. Bu yüzden kalıp malzemeleri ile takımlar tasarlanırken ve seçilirken sürtünme dikkate alınmalıdır (Zrnik vd. 2008).



Şekil 1.23 Sürtünmesiz ve düşük sürtümlü ortamlarda ekstrüzyon-basma da ortaya çıkan kuvvetler ve zımba hareketi (Zrnik vd. 2008).

1.4.2.3 Yüksek Basıncılı Burulma

Bridgman tarafından ortaya atılmış olup aşırı deformasyona uğramış metallerin iç yapıları hakkında pek fazla ışık tutmamıştır. Farklı yönlenmeli ve mikron altı tane boyutlu yapılar bu çalışmada incelenmeye çalışılmış, mekanik özelliklerinde artışlar elde edilmiştir. Bu işlemde madeni para büyüklüğündeki metal, hidrostatik basınçla preslenmiştir. Bu metalin kenar kısımlarında çapak oluşmuştur. Bir zımba sabitken diğeri yüksek hızlarla dönerek malzemeyi kayma gerilmesine maruz bırakır. Oluşan çapak hidrostatik basıncın düşmesini engellemekle beraber iki zımbanın birbirlerine temas etmesini de engeller. Yüksek basınçtan dolayı çoğu metalde çatlak oluşumu engellenir ve hasar oluşmadan çok yüksek deformasyonlar oluşur. Şekil 1.24 yüksek basınçlı burulma şematik olarak göstermektedir (Zrnik vd 2008).



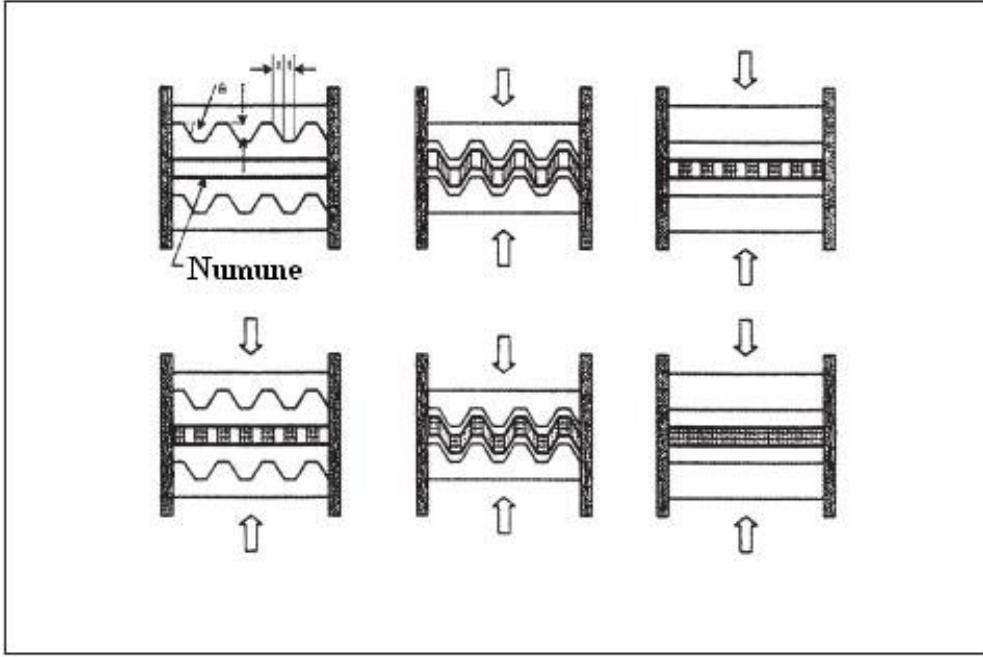
Şekil 1.24 Yüksek basınçlı burulmanın şematik olarak gösterimi (Zrnik vd. 2008).

Saf metallerin yüksek basınçlı burulmadan sonra tanelerinde incelmeye meydana gelir. Tane incelmeye paralel olarak mekanik dayanım da artar. Çekme dayanımı saf demir için 1500 MPa saf bakır için 500 MPa ve Nikel için de 1300 MPa mertebelerindedir (Zrnik vd. 2008).

1.4.2.4 Sınırlandırılmış Yivli Presleme

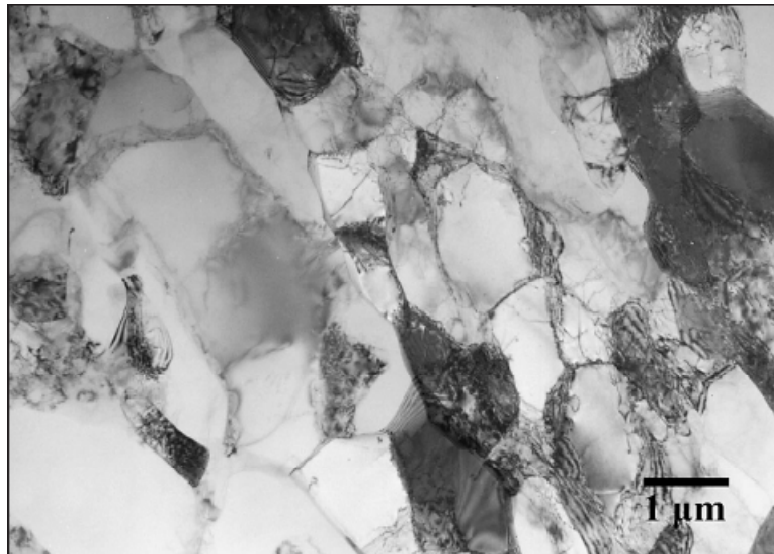
Aşırı plastik deformasyon yöntemlerinden birisi olup ilk defa 2001 yılında Zhu tarafından uygulanmıştır. Tekrarlanan buruşturma ve düzleştirme sonrası mukavemetlendirme amacını güder. Bu yöntem düz bir kütüğe yivli kalıplarla şekil verip tekrar yivli numuneyi düz hale

getirmek maksadıyla yapılır (Zrnik vd. 2008). Şekil 1.25 sınırlandırılmış yivli presleme işlemini şematik olarak göstermektedir (Zrnik vd. 2008).



Şekil 1.25 Sınırlandırılmış yivli presleme aşamalarının şematik gösterimi (Zrnik vd. 2008).

Saf alüminyum sınırlandırılmış yivli presleme sonucu aşırı plastik deformasyona maruz bırakılmış olup yüksek deformasyon oranlarında eş eksenli yüksek açılı tane sınırlarının olduğu gözlemlenmiştir. İşlemin heterojen olması dolayısıyla düşük açılı tane sınırlarının varlığına da mikro yapılarda rastlanılmıştır. Şekil 1.26 sınırlandırılmış yivli presleme sonrası malzemelerin ince alt tane yapılarını göstermektedir (Zrnik vd. 2008).



Şekil 1.26 Sınırlandırılmış yivli presleme sonrası ince alt tane yapıları (Zrnik vd. 2008).

BÖLÜM 2

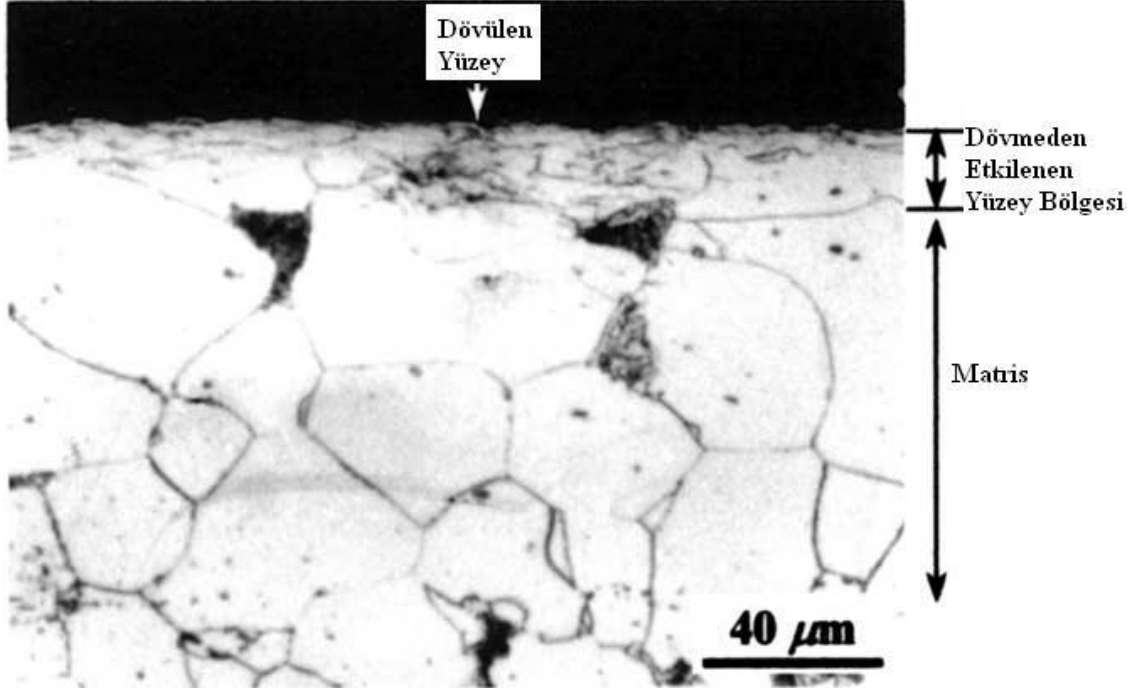
LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 METALOGRAFİK İNCELEME

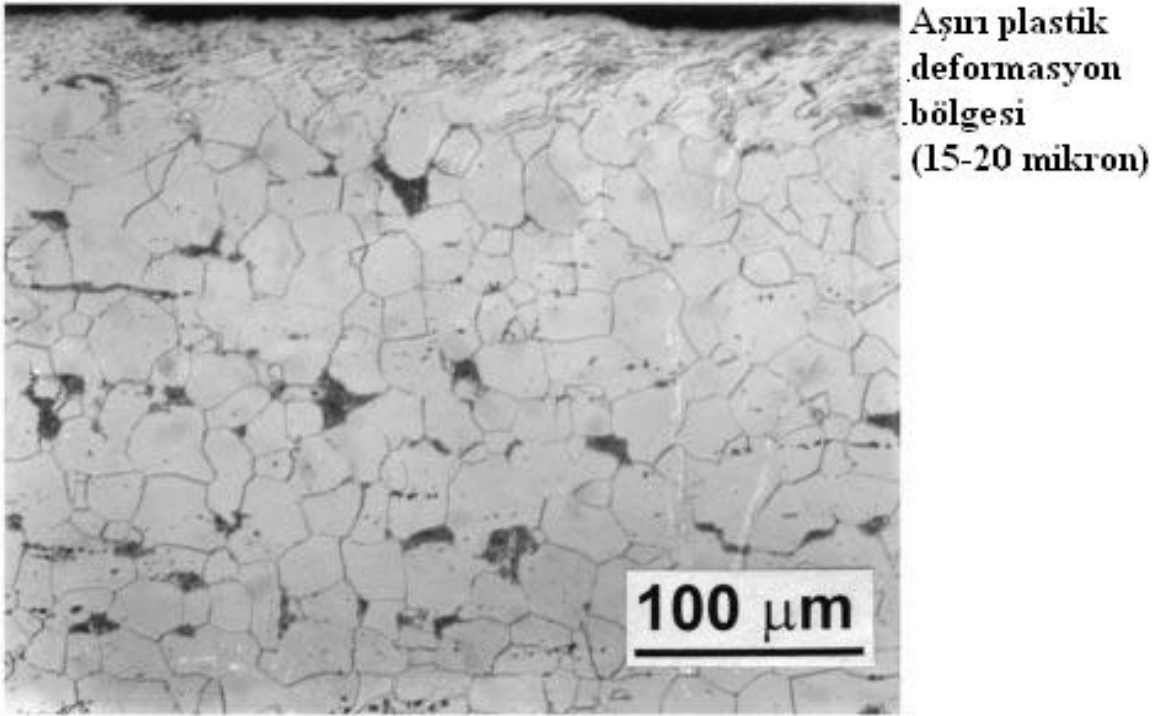
İnce taneli yapıya sahip malzemeler (100 nm altı) tane sınırlarının aşırı plastik deformasyonu sonucu hacimsel olarak hasara uğraması ile oluşmaktadır. İnce taneli yapılar son yıllarda bilimsel araştırma konusu olarak dikkat çekmişlerdir. Çok sayıda deneysel çalışmalar sonucunda ince taneli yapıya sahip malzemelerin kaba taneli geleneksel malzemelerden farklı olarak çok daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Mikron mertebeli tane yapılarının kimyasal kompozisyonlarını değiştirmeksizin ince taneli yapılara dönüştürmek ve mekanik özellikleri bu yöntemle iyileştirmek yeni bir yaklaşımdır. Bu yüzden ince taneli yapıların ve nano kristalli yapıların doğası hakkında araştırmalar devam etmektedir (Tao vd. 1999).

İnce taneli yapı malzemeler, yüksek basınçlı burulma ve bilyalı dövme gibi metotlarla elde edilebilirler. Yüksek basınçlı burulma ve diğer amaçlarla uygulanan bilyalı dövme karşılaştırıldığında hava basıncı, bilya hızı ve dövme şiddeti bakımından daha yüksek şartlarda uygulanan bilyalı dövme sonucu elde edilen ince taneli yapılar eş eksenli tanelerden oluşup boyutları yaklaşık 200 nm mertebelerindedir. Bu taneler çok yüksek sertliğe sahip olup ana malzemedan belirgin hatlarla ayrılır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 aşırı bilyalı dövme sonucu oluşan ince taneli yapı bölgesini göstermektedir (Wang vd. 2003; Liu vd. 2001).

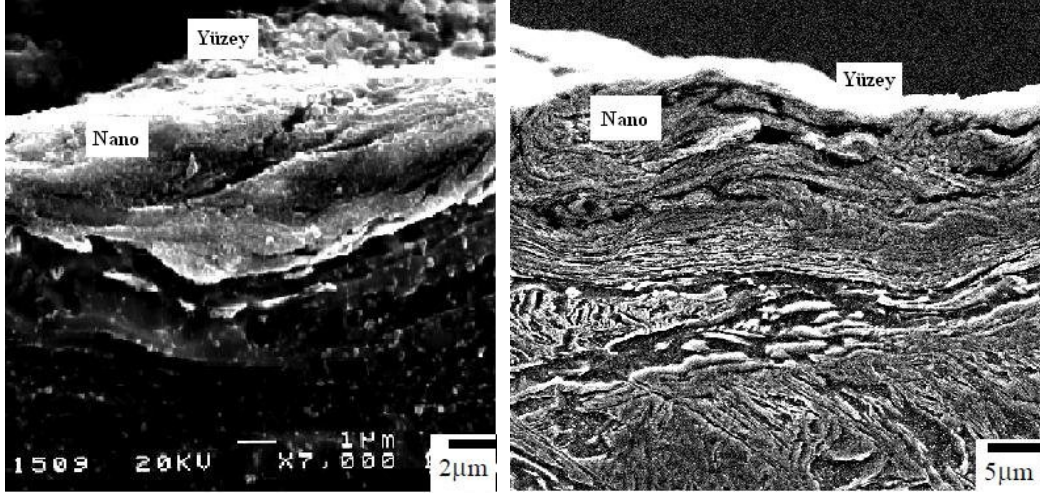
Bu ince taneli bölgelerin nano boyut mertebelerinde olduğu da Şekil 2.3'te SEM fotoğraflarında gösterilmektedir (Bagherifard 2009).



Şekil 2.1 Düşük karbonlu çeliğin bilyalı dövme sonrası kesit bölgesi içyapı görüntüsü (Wang vd. 2003).

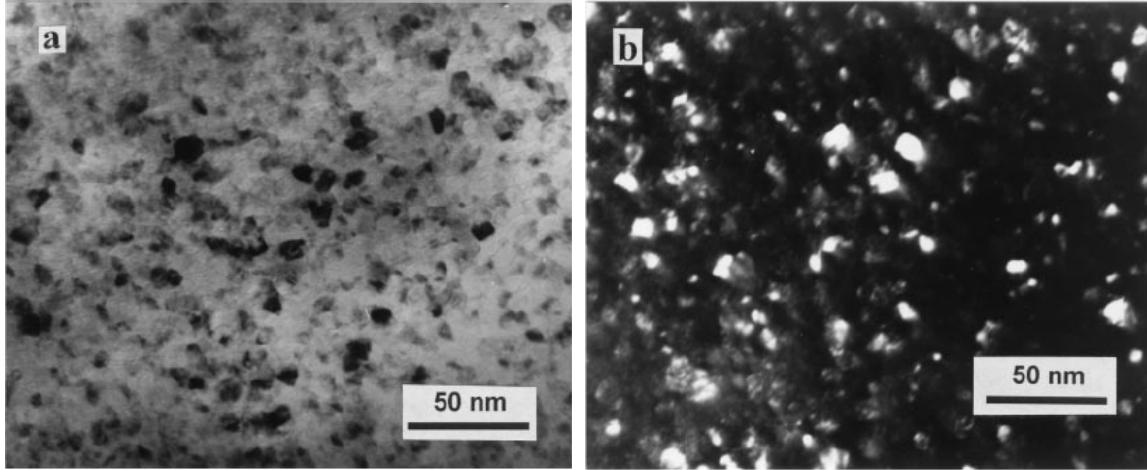


Şekil 2.2 Düşük karbonlu çeliğin bilyalı dövme sonrası kesit bölgesi içyapı görüntüsü (Liu vd. 2003).



Şekil 2.3 Düşük karbonlu çeliğin bilyalı dövme sonrası dövülmüş ve tane incelmesi oluşmuş bölgesinin SEM görüntüsü (Bagherifard 2009).

Şekil 2.4'te ise elektron difraksiyonu ile elde edilen TEM görüntüleri, sesüstü bilyalı dövme sonrası yüzey ve yüzeyin hemen altında oluşan 20-25 nm boyut mertebelerindeki tanelerin varlığını ispatlamaktadır (Tao vd. 1999).

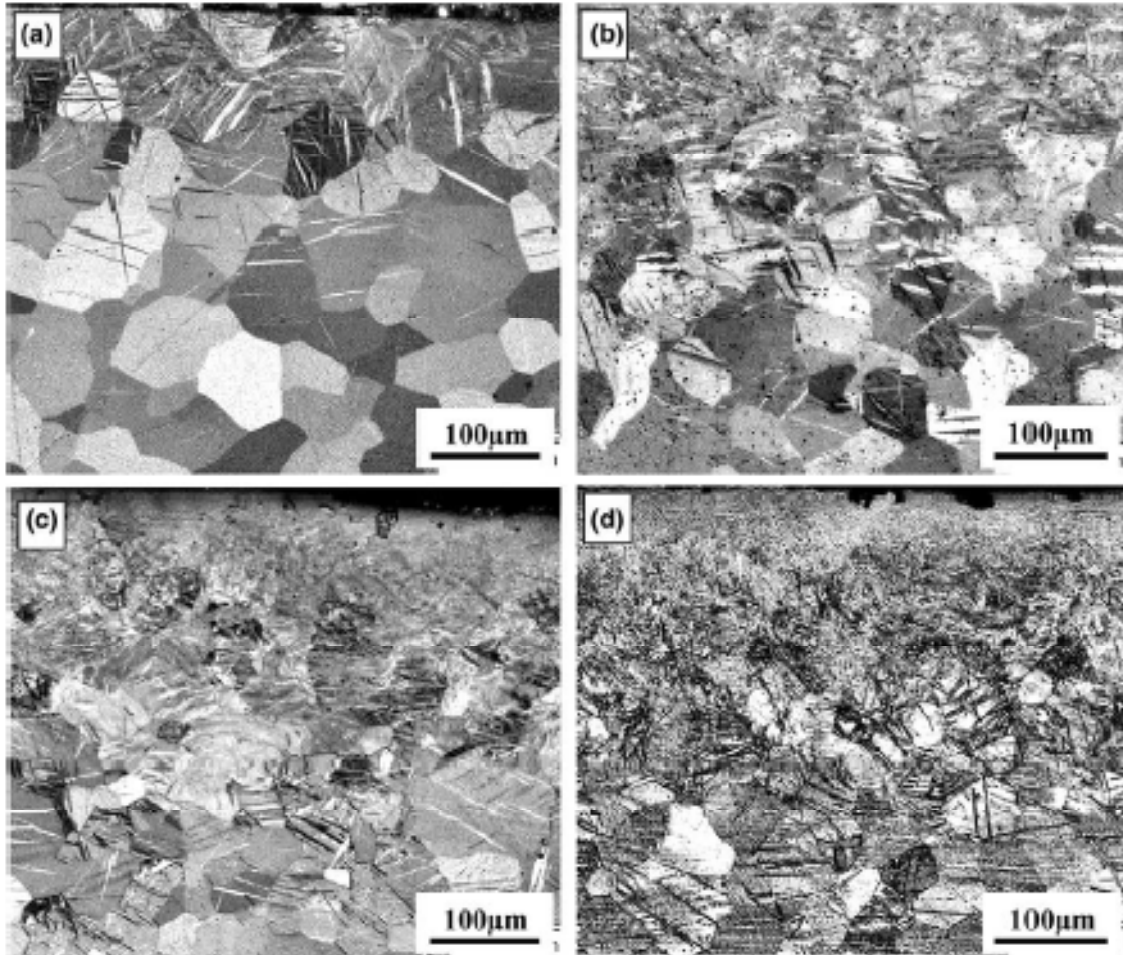


Şekil 2.4 Düşük karbonlu çeliğin bilyalı dövme sonrası elektron difraksiyonu ile elde edilen TEM görüntüleri (Tao vd. 1999).

Makine parçalarının büyük bir kısmı yorulma, aşınma ve korozyon gibi nedenlerden dolayı hasara uğramaktadır. Bu hasarlar dış etkilere bağlı olmakla birlikte malzemenin iç yapısı ve yüzeyine de bağlı olarak gelişebilir. Hatta yorulma hasarları genellikle yüzeyden başlayıp iç kısımlara doğru ilerlemektedir. Çoğu uygulamada yukarıda bahsedilen aşırı plastik deformasyon metotları ile malzemenin tamamının aşırı ince taneli yapı olmasına gerek olmayabilir. Özellikle yorulmaya maruz kalacak parçaların yüzeylerinin yapı ve özelliklerinin iyileştirilmesi o malzemenin çalışma ömrünü arttıracaktır. Bu nedenle, yüzeyde aşırı ince tane

yapı eldesi, malzemenin şeklini ve yüzeyinin kimyasal kompozisyonunu değiştirmeden mekanik özelliklerini arttırdığı belirlenmiştir (Bagherifard 2009).

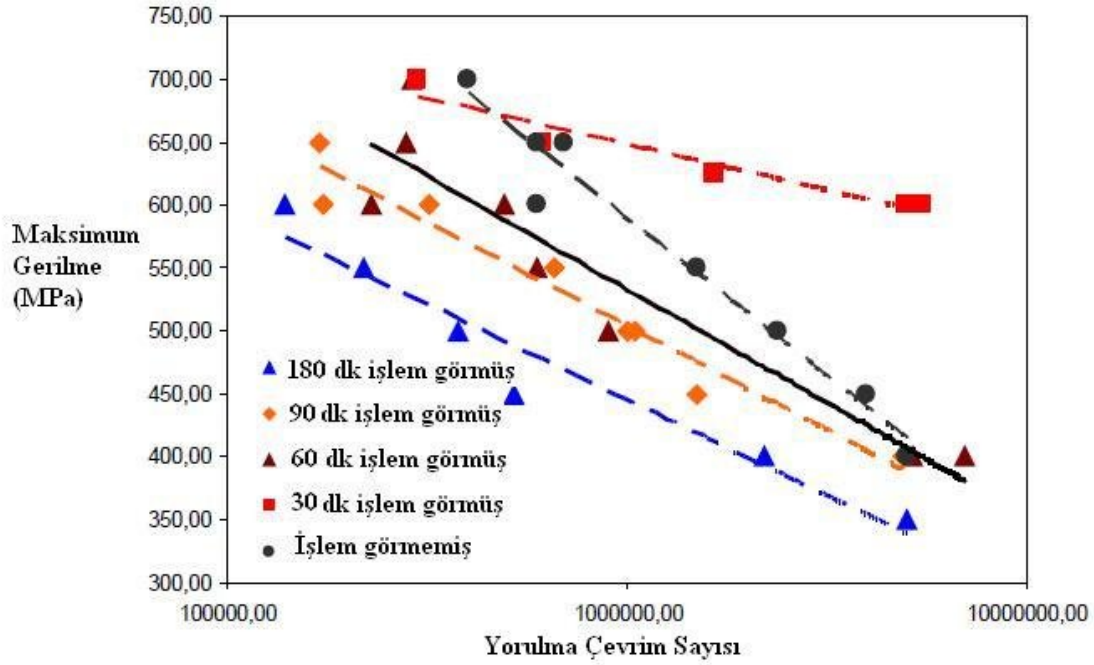
Bu çalışmada ise ince taneli yapı elde etme amacıyla uygulanan bilyalı dövme işlemine odaklanılmıştır. Ana malzemeye uygulanan büyük deformasyonlar sonucu tanelerde hatalar ve ara yüzey tabakaları oluşurken kaba taneli matris değişmeden kalır. Aşırı plastik deformasyon sonucu dislokasyonların hareketi incelenecek olursa, tane içlerinden tane sınırlarına doğru hareket ettiği bilinmektedir. Aşırı plastik deformasyon sonucu yüzey veya yüzeyin hemen altında meydana gelen deformasyon ve tane yapılarındaki değişim Şekil 2.5'te saf ticari titanyum için gösterilmektedir (Bagherifard 2009).



Şekil 2.5 Aşırı plastik deformasyon sonrası kesit alanı optik mikroskop görüntüleri (Bagherifard 2009). a. Titreşim genliği %50, işlem süresi 10s, b. Titreşim genliği %50, işlem süresi 16s, c. Titreşim genliği %100, işlem süresi 30s, d. Titreşim genliği %100, işlem süresi 60s.

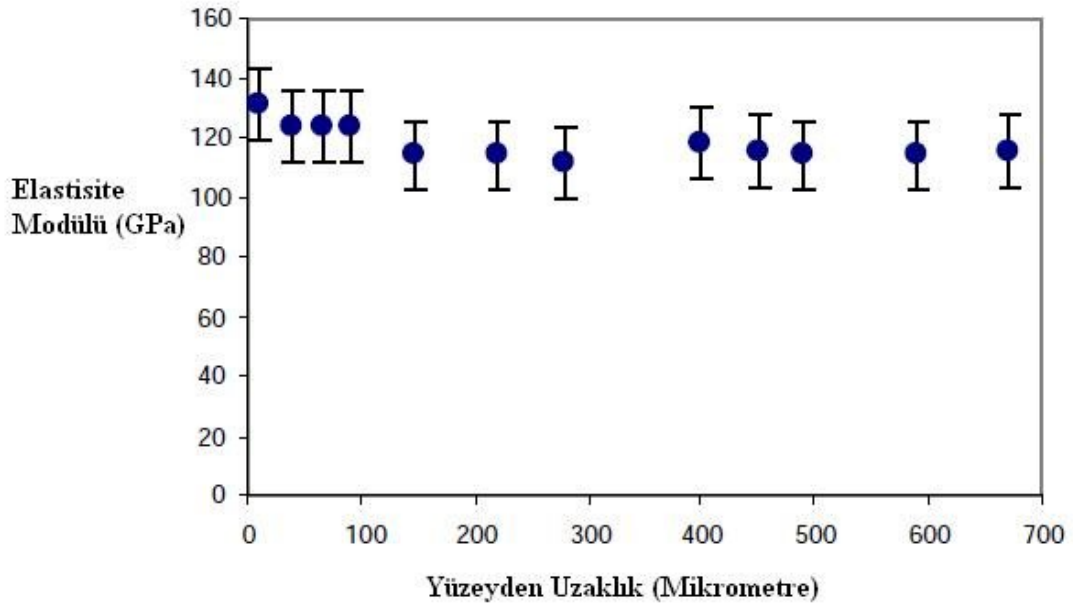
İnce taneli tabakaların bilyalı dövme ile oluşturulması saf metaller dahil olmak üzere tüm metal ve alaşımları için geçerlidir. İnce taneli yapılar başta mikro yapı karakterizasyonu

olmak üzere SEM, TEM, mikro, nano sertlik ölçümleri ve diğer testlerle belirlenebilmektedir (Bagherifard 2009). Çoğu yorulma hasarlarının yüzeyden başlaması göz önünde bulundurulursa, aşırı plastik deformasyon sonucu yüzeyde oluşan ince taneli yapıların mukavemetinin kaba taneli yapıya göre çok yüksek olması ve tane sınırlarının çok olması ve çatlak ilerlemesine engel teşkil edileceği düşünülürse aşırı plastik deformasyona maruz kalan metallerin yorulma dayanımlarında ciddi artışlar beklenmektedir. Aynı zamanda yüzeyde basma gerilmesinin oluşacak olması çatlak olumunu geciktirir veya tamamen engeller. Ancak aşırı bilyalı dövme sonucu yüzeyde oluşabilecek mikro çatlakların ve yüzey kontaminasyonlarının yorulma dayanımını düşürdüğü Şekil 2.6'da gösterilmiştir (Bagherifard 2009).



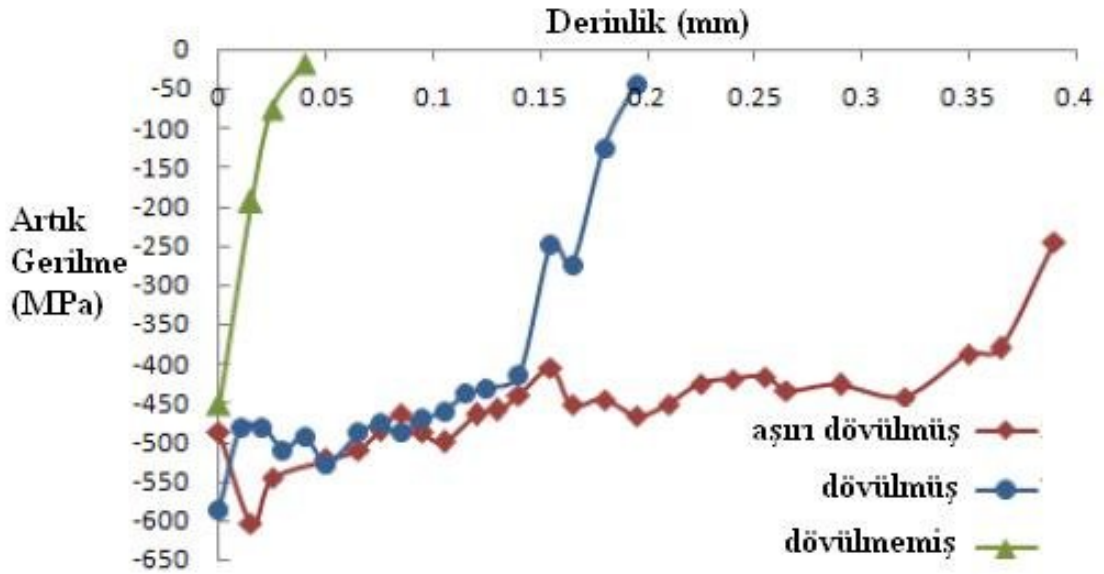
Şekil 2.6 Aşırı plastik deformasyona uğramış nikel alaşımlı C 2000 süper alaşımın yorulma davranışı (Bagherifard 2009).

Bilyalı dövülen yüzeyde ve yüzeyin hemen altındaki ince taneli yapıya sahip malzemenin elastik modülü karakteristiği de çalışma konusu olmuştur. Bilyalı dövme sonrası ticari saflıkta titanyum malzemenin yüzeyden itibaren elastisite modülü incelendiğinde yüzeyde kaydedilen elastisite modülünün iç kısımlardan yaklaşık % 16 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.7 yüzeyden iç kısımlara doğru gidildikçe elastisite modülünün nasıl değiştiğini göstermektedir (Bagherifard 2009).



Şekil 2.7 Elastisite modülünün yüzeyden itibaren değişimi (Bagherifard 2009).

Bilyalı dövme işlemi sonrası yüzeyde ve yüzeyin hemen altında basma kalıntı gerilmesi oluşur. Aşırı plastik deformasyon sonucu oluşan artık gerilme profili de geleneksel bilyalı dövme sonucu oluşan gerilme profilinden farklıdır. Şekil 2.8’de dövülmemiş, geleneksel bilyalı dövme şartları ile dövülmüş ve aşırı dövülmüş alaşımli çelik numunelerin artık gerilme profilleri gösterilmektedir (Bagherifard vd. 2010).



Şekil 2.8 Alaşımli çelikte bilyalı dövme sonucu oluşan artık gerilme profili (Bagherifard vd. 2010).

2.2 MEKANİK ÖZELLİKLER

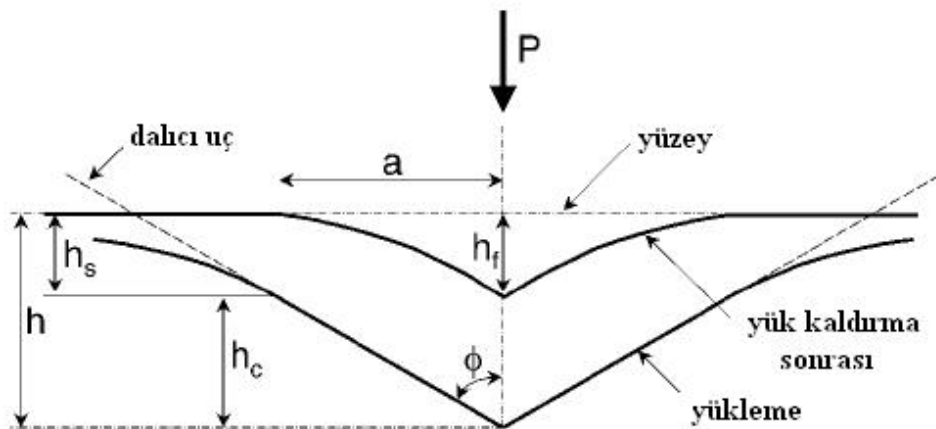
2.2.1 Sertlik

Sertlik, çoğunlukla bir maddenin, bir başka cismin batırılmasına karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Batırılan dalıcı ucun biçim ve sertliği ile uygulanan yükün türü ve büyüklüğü dalma olayını etkilediğinden, sertlik değeri verilirken yapılan deneyin adının belirtilmesi zorunludur. Sertlik ölçümünde, parçanın yüzeyinin çizilmesi, parçaya bir cismin statik yükü batırılması, parçaya bir cismin darbeli yükü batırılması, parçanın yüzeyine düşürülen bir cismin geriye sıçraması gibi yöntemler kullanılabilir. Sertlik deneyleri statik sertlik deneyleri ve dinamik sertlik deneyleri olmak üzere ikiye ayrılır. Brinell, Vickers, Rockwell sertlik ölçme yöntemleri sık kullanılan sertlik ölçme yöntemleridir (Güleç ve Aran 1993).

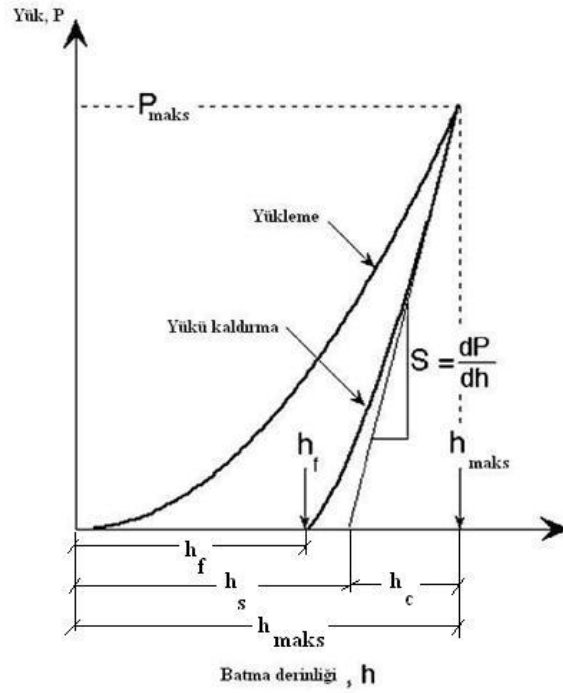
2.2.2 Dinamik Ultra Mikro Sertlik Ölçme Yöntemi

Dinamik ultra mikro sertlik ölçüm yöntemi, malzemenin sertlik ve elastisite modülünü elde etmek amacıyla uygulanmaktadır. Dalma yükü ve dalma derinliği esas alınarak, yükleme ve yüklemeden sonra yükü kaldırma safhaları ile işlem tamamlanmaktadır. Dalıcı uçlar, Berkoviç uç gibi yarı simetrik olmakla birlikte farklı uygulama alanları için Vickers ve küresel dalıcı uçlar da kullanılmaktadır (Oliver ve Pharr 2003).

Şekil 2.9'da Berkoviç dalıcı uç kullanılarak yapılan sertlik ölçümü şematik olarak Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Yük tedrici olarak uygulanıp dalıcı ucun sertliği ölçülecek parçaya batması sağlanır. Şekil 2.10'da yükün dalma derinliği ile değişimi ve yük kaldırıldıktan sonra dalıcı ucun geri dönüşü gösterilmektedir (Oliver ve Pharr 2003).



Şekil 2.9 Berkoviç dalıcı uçla sertlik ölçme prensibi (şematik) (Oliver ve Pharr 2003).



Şekil 2.10 Yük dalma derinliği grafiği (Oliver ve Pharr 2003).

Yükleme esnasındaki deformasyon dinamik mikro sertlik ölçme yöntemini modellemek amacıyla hem elastik hem de plastik deformasyon olarak iki kademedeki incelenmektedir. Bu durumun nedeni ele alındığında kalıcı sertlik izi veya etkisi belirleyici rol oynamaktadır. Yükü boşaltma sırasında elastik toparlanmanın meydana gelmesi Şekil 2.10'da görülmektedir. Bu yöntemde uygulanan maksimum yük (P_{maks}), maksimum dalma derinliği (h_{maks}) ve rijitlik en önemli parametrelerdir (Oliver ve Pharr 2003).

Sertlik malzemelerin dayanım ve plastik şekil değiştirme dirençleri hakkında bilgi veren bir mekanik özelliktir. Sertlik doğrudan malzemelerin dayanım ve kimyasal kompozisyonlarına bağlıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda sertlik ölçümü yöntemlerinin uygulanması sonucu yalnız sertlik değerleri değil bazı mekanik özelliklerin de belirlenmesi mümkün olabilmektedir (Giannakopoulos ve Suresh 1999).

Malzemenin dalıcı ucun batmasına karşı gösterdiği direnç sertlik olarak tanımlanmaktadır. Geleneksel sertlik ölçme yöntemlerinde sertlik değeri, yük kaldırıldıktan sonra oluşan izin boyutları ölçülerek veya dalma derinliği ölçülerek belirlenmektedir. Son yıllarda ise ölçülen sertlik değerine bağlı olarak sertlik değerinin yanı sıra elastisite modülü gibi mekanik özellikler de elde edilmiştir. Derinlik duyarlı dalma yöntemlerinin geleneksel sertlik ölçme

yöntemlerinden farklı olarak sertliğin yanısıra bazı mekanik özelliklerin de belirlenmesi ve geleneksel yöntemlerde dalıcı ucun oluşturduğu kalıcı izlerin boyutlarının yüksek hassasiyetle belirlenememesi bu yöntemin avantajları arasında sayılabilir (Uzun vd 2005).

Sertlik derinliğinin elde edilmesi sonucu sertlik değeri ve elastisite modülü hesaplanabilir. Dalıcı ucun batması esnasında malzeme hem elastik hem de plastik deformasyona maruz kalmaktadır. Burada sertliği belirleyecek olan, maksimum uygulanan yükün dalıcı ucun bıraktığı kalıcı izin iz düşüm alanına oranıdır. Ölçülen izdüşüm kesit alanından yararlanarak sertlik değeri (2.1) eşitliği yardımıyla bulunmaktadır (Uzun vd 2005).

$$H(\text{MPa}) = \frac{P_{\text{maks}}}{A_c} \quad (2.1)$$

Burada;

- H : Sertlik Değeri (GPa)
- P_{maks} : Uygulanan maksimum yük (mN)
- A_c : Kalıcı izin izdüşüm alanı (μm)²

(2.1) eşitliğinin yerine Şekil 2.10'da gösterilen h_c büyüklüğü esas alınarak çıkarılan (2.2) eşitliği kullanılarak A_c 'nin ölçülebilir zorluğu ortadan kaldırılmakta ve daha doğru sonuçlar alınabilmektedir (Oliver ve Pharr 2003).

$$H(\text{MPa}) = \frac{P_{\text{maks}}}{A_c} = \frac{P_{\text{maks}}}{26.43h_c^2} \quad (2.2)$$

Burada ;

- H : Sertlik Değeri (GPa)
- P_{mak} : Uygulanan maksimum yük (mN)
- h_c : Maksimum dalma derinliği ile elastik toparlanma sonrası dalma derinliği farkı (μm)

Ultra mikro sertlik yöntemi kullanılarak malzemenin rijitliğinin belirlenmesinde (2.3) eşitliği kullanılmaktadır (Oliver ve Pharr 2003).

$$S = \frac{dP}{dh} = 2E_r \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2.3)$$

Burada ;

- S : Malzeme rijitliği (GPa)
 E_r : İndirgenmiş modül veya bileşik modül (GPa)
 A_c : Kalıcı izin izdüşüm alanı (µm)²

İndirgenmiş modül veya bileşik modül (E_r) ise (2.4) eşitliğinden elde edilmektedir (Oliver ve Pharr 2003).

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1-\nu^2}{E} + \frac{1-\nu_0^2}{E_0} \quad (2.4)$$

Burada ;

- E : Sertliği ölçülen malzemenin elastisite modülü
 E₀ : Dalıcı ucun elastisite modülü
 ν : Sertliği ölçülen malzemenin poisson oranı
 ν₀ : Dalıcı ucun poisson oranı

Dalıcı ucun Elastisite modülü E₀ ∞ olarak kabul edildiğinde ve (2.4) eşitliğinde yerine yazıldığında (2.5) eşitliği elde edilmiş olur (Oliver ve Pharr 2003).

$$E_r = \frac{E}{1-\nu^2} \quad (2.5)$$

Yük, dalma derinliğinden elde edilen grafikler yardımıyla Oliver ve Pharr (2.6) eşitliğini önermektedir.

$$P = B(h_{maks} - h_f)^m \quad (2.6)$$

Eşitlik (2.6) da P dalma yükünü, h₀ dalma derinliğini, B ve m ise malzemeye göre farklılık gösteren deneyler sonucu elde edilmiş malzeme sabitlerini göstermektedir. Eşitlik (2.6) nın türevi alındığında eşitlik (2.7) elde edilmektedir (Oliver ve Pharr 2003).

$$S = \frac{dP}{dh} = mB(h_{maks} - h_f)^{m-1} \quad (2.7)$$

Burada ;

- S : Malzeme rijitliği (GPa)
 m, B : Malzemeye has deneysel sabitler
 h_f : Artık dalma derinliği
 h_{maks} : Maksimum dalma derinliği

Dinamik ultra mikro sertlik ölçüm yöntemi ile sertliği ölçülen metallerin elastik toparlanma oranları da elde edilebilir. Elastik toparlanma oranı (2.8) eşitliği yardımı ile belirlenmektedir (Oliver ve Pharr 2003).

$$\%ETO = \left(\frac{h_{maks} - h_{min}}{h_{maks}} \right) \times 100 \quad (2.8)$$

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 MALZEME SEÇİMİ

Bu çalışmada, bilyalı dövme sonrası metallerin yüzeyinde ve yüzeyinin hemen altındaki bir tabakada tane incelmesini belirlemek ve gözlemlenmek amacıyla AISI 1017 düşük karbonlu çelik ve ticari saflıkta titanyum (Grade 2) seçilmiştir. Bilyalı dövme işleminin bir soğuk plastik deformasyon işlemi olduğu göz önüne alınarak düşük karbonlu çelik ve tek fazlı titanyum seçilmiştir.

Çelikler için alaşım elemanı olarak karbon miktarı arttıkça plastik şekil verme kabiliyeti o oranda azalmaktadır. Dolayısıyla pekleşme kabiliyetinin bir göstergesi olan pekleşme katsayısı çelik yapısındaki karbon miktarı arttıkça azalır. Bu sebepler göz önünde bulundurularak düşük karbonlu çelik (AISI 1017) ve ticari saflıkta titanyum (Grade 2) malzemeleri seçilmiştir. Tablo 3.1 AISI 1017 düşük karbonlu çeliğin kompozisyonunu ve Tablo 3.2 ise aynı malzemenin mekanik özelliklerini göstermektedir (URL-5 2011).

Tablo 3.1 AISI 1017 düşük karbonlu çeliğin kompozisyonu (URL-5 2011).

| Element | % Ağırlık |
|---------|-----------------|
| C | 0.15-0.20 |
| Mn | 0.30-0.60 |
| P | 0.04 (maksimum) |
| S | 0.05 (maksimum) |

Tablo 3.2 AISI 1017 düşük karbonlu çeliğin mekanik özellikleri (URL-5 2011).

| Özellikler | | Şartlar | |
|---|-----------|---------|---|
| | | T (°C) | İşlemler |
| Yoğunluk ($\times 1000 \text{ kg/m}^3$) | 7.7-8.03 | 25 | |
| Poison Oranı | 0.27-0.30 | 25 | |
| Elastisite Modülü (GPa) | 190-210 | 25 | |
| Çekme Dayanımı (Mpa) | 405 | 25 | Soğuk çekilmiş (yuvarlak dolu (19-32 mm)) |
| Akma Dayanımı (Mpa) | 340 | | |
| Yüzde Uzama (% A_5) | 18 | | |
| Sertlik (HB) | 116 | | |
| Pekleşme Üsteli (n) | 0.21 | | K = 600 MPa |

Saf ticari titanyum (Grade 2) çok iyi korozyon direnci ve kaynak edilebilirliğinin yanında mukavemeti, plastiklik özellikleri ve şekil verilebilirliği de iyidir. Kimyasal işlemlerde, denizaltı ve hava araçlarında yaygın olarak kullanılır. Titanyumun talaşlı işlenebilme kabiliyeti kötüdür. Tablo 3.3 ticari saf titanyumun mekanik özelliklerini göstermektedir (URL-5 2011).

Tablo 3.3 Ticari saf titanyumun (Grade 2) mekanik özellikleri (URL-5 2011).

| Mekanik Özellikler | | Şartlar | |
|---|-------|---------|-----------|
| | | T (°C) | İşlem |
| Yoğunluk ($\times 1000 \text{ kg/m}^3$) | 4.51 | 25 | |
| Poison Oranı | 0.34 | 25 | |
| Elastisite Modülü (GPa) | 102.7 | 25 | |
| Çekme Dayanımı (Mpa) | 193 | 315 | tavlanmış |
| Akma Dayanımı (Mpa) | 117 | | |
| Yüzde Uzama (% A_5) | 35 | | |
| Sertlik (HB) | 200 | | |
| Pekleşme Üsteli (n) | 0.1 | | |

3.2 BİLYALI DÖVME ÖNCESİ DENEYSEL İŞLEMLER

3.2.1 Numune Hazırlama ve Isıl İşlemler

Seçilen AISI 1017 düşük karbonlu çelikten 30x30x10 mm boyutlarında 28 adet numune, ticari saflıkta titanyumdan (Grade 2) 30x20x10 mm boyutlarında 14 adet numune freze tezgahında kesilerek hazırlanmıştır. Toplam 42 adet numune bilyalı dövme işlemine tabi tutulacağından, daha önceki işlemlerden ortaya çıkan etkileri ortadan kaldırmak amacı ile dövme işlemi öncesi yumuşatma tavı uygulanmıştır. 28 adet AISI 1017 çelik numune 870⁰C sıcaklığa kadar ısıtılıp 700⁰C ye kadar fırında bekletilip daha sonra havada soğumaya bırakılmıştır. 14 adet ticari saflıkta titanyum numune ise 810⁰C ye kadar ısıtılıp fırında 2 saat bekletildikten sonra havada soğumaya bırakılmıştır.

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 sırasıyla AISI 1017 ve saf ticari titanyum numuneleri göstermektedir. Numunelere uygulanan ısıl işlemler için Protherm PLF 130/45 ısıl işlem fırını kullanılmıştır. Fırının sıcaklığı 1200⁰C ye kadar çıkabilmekte olup her sıcaklık kademesinde bekletme yapılabilir. Maksimum sıcaklığa 90 dakika içinde çıkabilmektedir. İç hacmi 45 litre olup boyutları 30x30x50 cm'dir. Fırının tüm boyutları ise 77x66x72 cm'dir.



Şekil 3.1 AISI 1017 düşük karbonlu çelik numunesi.

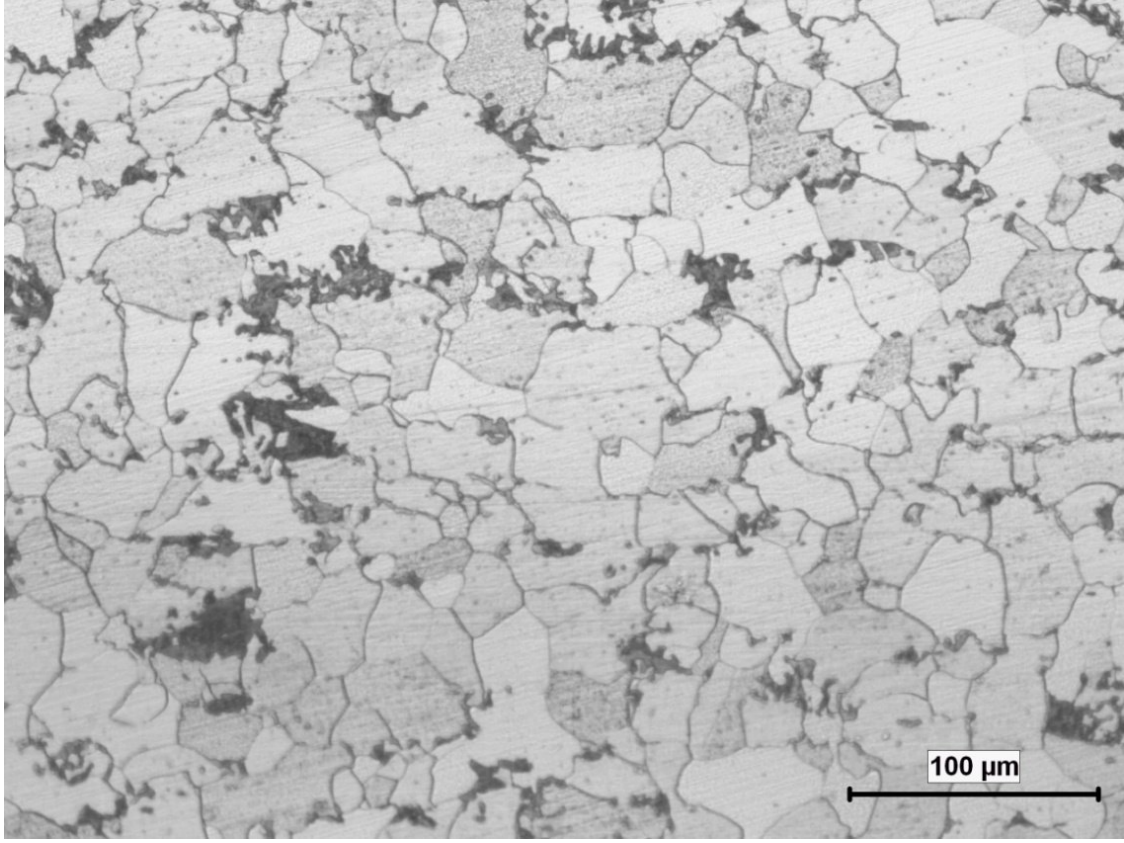


Şekil 3.2 Ticari saflıkta titanyum numunesi.

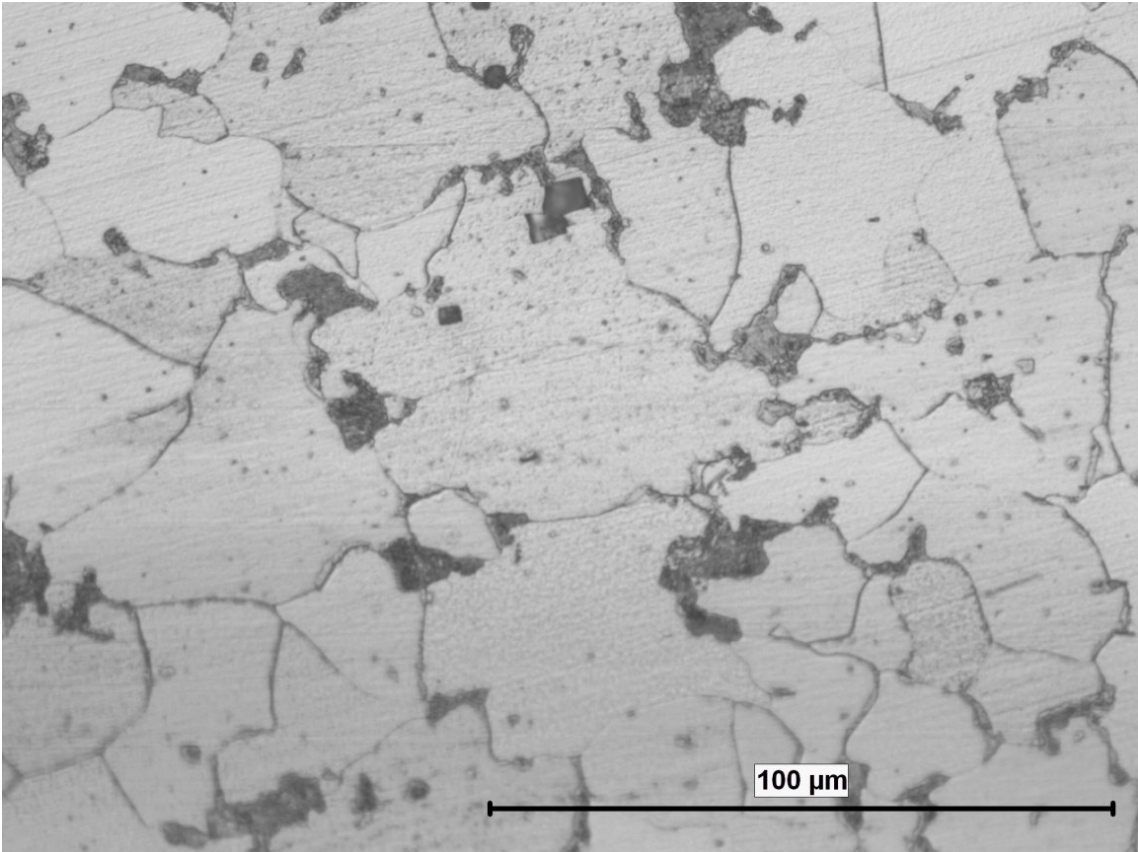
3.2.2 Numunelerin İçyapı Görüntülerinin Elde Edilmesi

Bu çalışmada esas amaç yüzey ve yüzeyin hemen altındaki tabakada tane incelmesini belirlemektir. Bu nedenle AISI 1017 düşük karbonlu çelik ve ticari saflıkta titanyum malzemelerin bilyalı dövme öncesi tane yapısı metalografik işlemler sonucu optik mikroskopla belirlenmiştir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 AISI 1017 çelik numunenin iç yapısını Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 ticari saflıkta titanyum numunesinin iç yapısını göstermektedir. Mikro yapı görüntüleri Nikon marka ışık mikroskobunda alınmıştır. Mikroskopta 10X, 20X, 50X,100X büyütmede mikro yapı görüntüleri alınabilmektedir.

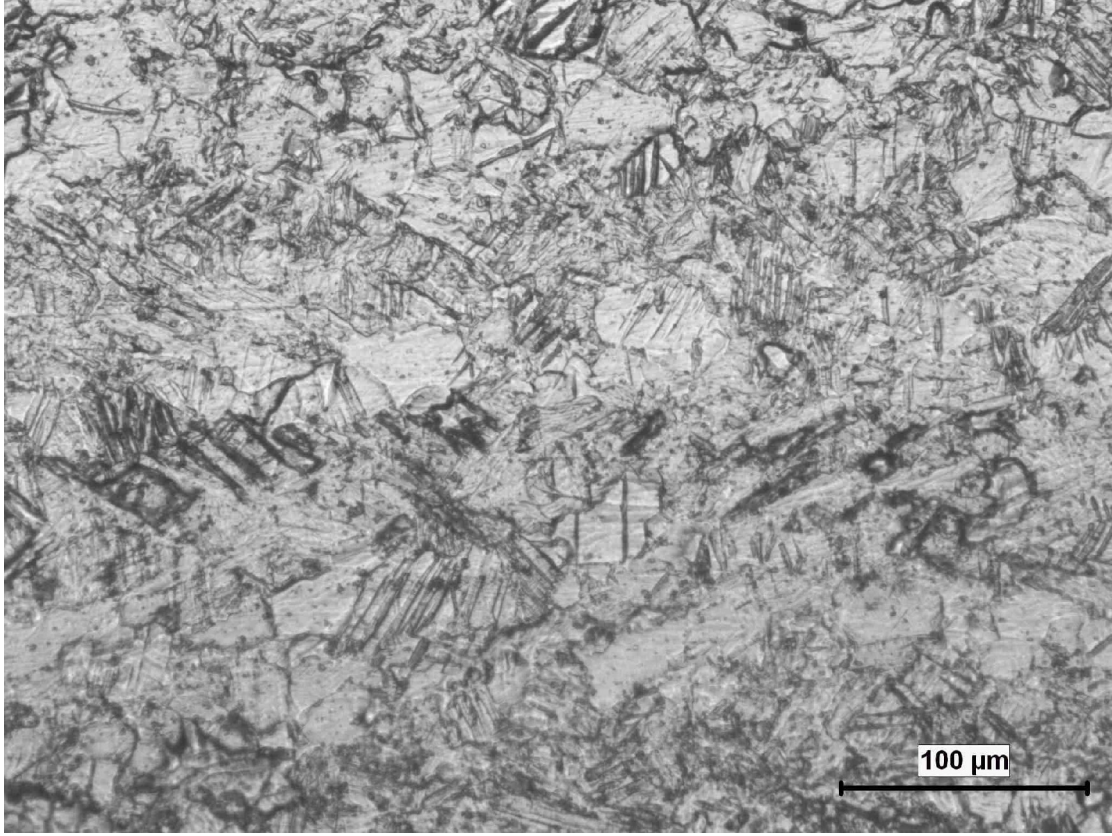
Numuneler freze tezgahında istenilen ölçülere getirildikten sonra zımparalama ve parlatma cihazında 180 numaralı su zımparası ile başlanıp 1000 numaralı zımpara ile mikroskop altında incelenecek yüzey zımparalanmıştır. Sonrasında sırasıyla 6 mikronluk ve 1 mikronluk elmas pastalar kullanılarak yüzey parlatılmıştır. Düşük karbonlu çelik için % 2 nital dağlama çözeltisi, ticari saflıkta titanyum için 85 ml saf su, 10 ml HF (hidroflorik asit) ve 5 ml HNO₃ (nitrik asit) den oluşan 100 ml lik bir çözelti hazırlanmıştır.



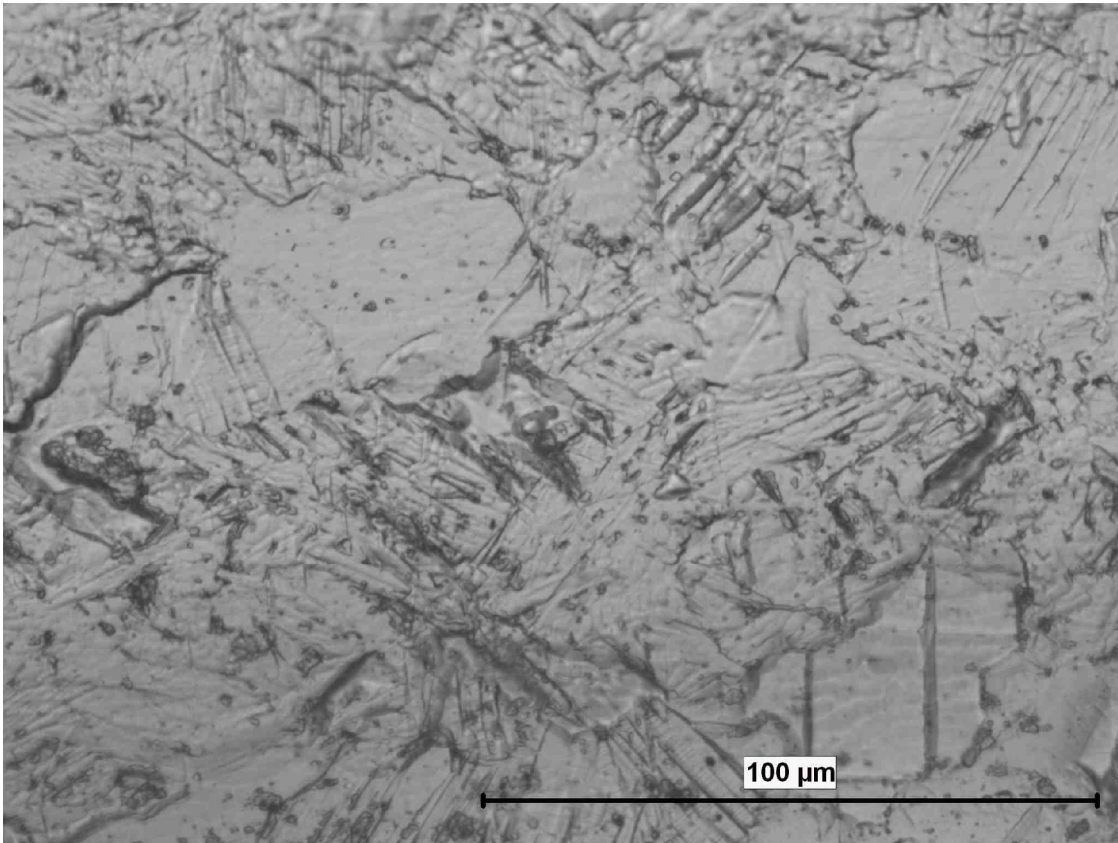
Şekil 3.3 AISI 1017 çelik numunenin mikro yapı görüntüsü (200X).



Şekil 3.4 AISI 1017 çelik numunenin mikro yapı görüntüsü (500X).



Şekil 3.5 Ticari saf titanyum numunenin (Grade 2) mikro yapı görüntüsü (200X).



Şekil 3.6 Ticari saf titanyum numunenin (Grade 2) mikro yapı görüntüsü (500X).

3.2.3 Numunelerin Tane Boyutu ve Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi

Bilyalı dövme işlemi için hazırlanan AISI 1017 ve ticari saflıkta titanyum numunelerinin tam yumuşatma sonrası tane boyutunun hesaplanması ASTM standartlarına göre yapılmıştır. Tablo 3.4 ASTM tane boyutu değerlerini vermektedir (Kalpakjian ve Schmid 2006). Numunelerden alınan 200X büyütme metalografik iç yapı görüntülerinden alınan 1 inch² lik bölgelerde, sayılan tanelerin ortalaması ASTM standardı formülünde kullanıldığında;

$$2^{n-1} = \frac{100 \text{ tane}}{\text{inç}^2} = \left(\frac{\text{BüyütmeX}}{100} \right)^2 \times \text{Sayılan Tane} \quad (3.1)$$

AISI 1017 düşük karbonlu çelik malzeme için ASTM numarası;

$$2^{n-1} = \frac{100 \text{ tane}}{\text{inç}^2} = \left(\frac{\text{BüyütmeX}}{100} \right)^2 \times \text{Sayılan Tane}$$

$$2^{n-1} = \frac{100 \text{ tane}}{\text{inç}^2} = \left(\frac{200}{100} \right)^2 \times 8 = 32$$

$$n = 6$$

Ticari saflıkta titanyum malzeme için ASTM numarası;

$$2^{n-1} = \frac{100 \text{ tane}}{\text{inç}^2} = \left(\frac{\text{BüyütmeX}}{100} \right)^2 \times \text{Sayılan Tane}$$

$$2^{n-1} = \frac{100 \text{ tane}}{\text{inç}^2} = \left(\frac{200}{100} \right)^2 \times 9$$

$$n = 6.17$$

ASTM tane boyutu hesaplamasına göre AISI 1017 tam yumuşatılmış düşük karbonlu çeliğin tane boyutu numarası 6 olup mm² başına düşen tane sayısı yaklaşık 512 dir. Tam yumuşatılmış ticari saf titanyum için n değeri 6.17 bulunmuş olup mm² başına düşen tane sayısı yaklaşık olarak 700-750 mertebelerindedir. Buradan hareketle seçilen ve üzerinde çalışılan malzemelerin bilyalı dövme işlemi öncesi tane büyüklükleri birbirine oldukça yakın olduğu gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra bilyalı dövme şartları aynı tutulduğunda tane inceliği etkisi karşılaştırılabilir durumda olabilecektir.

Tablo 3.4 ASTM tane boyutu standardı tablosu (Kalpakjian ve Schmid 2006).

| ASTM NO | Tane Sayısı /mm ² | Tane Sayısı /mm ³ |
|---------|------------------------------|------------------------------|
| -3 | 1 | 0.7 |
| -2 | 2 | 2 |
| -1 | 4 | 5.6 |
| 0 | 8 | 16 |
| 1 | 16 | 45 |
| 2 | 32 | 128 |
| 3 | 64 | 360 |
| 4 | 128 | 1020 |
| 5 | 256 | 2900 |
| 6 | 512 | 8200 |
| 7 | 1024 | 23000 |
| 8 | 2048 | 65000 |
| 9 | 4096 | 185000 |
| 10 | 8200 | 520000 |
| 11 | 16400 | 1500000 |
| 12 | 32800 | 4200000 |

3.3 BİLYALI DÖVME İŞLEMİ PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Bilyalı dövme işleminde yüzey bölgesinde ince taneli yapıyı elde etmek amacıyla geleneksel bilyalı dövme şartları yerine aşırı bilyalı dövme şartları belirlenmeye çalışılmıştır. Bilyalı dövme şartları, bilya boyutu, hava basıncı, bilya hızı, doyum oranı ve dövme süresi esas alınarak şeritlerin eğrilik yüksekliği belirlenerek, “Almen Dövme Şiddeti” (ADŞ) değerleri bulunmuştur. Tablo 3.5 ve Tablo 3.6 sırasıyla AISI 1017 ve ticari saf titanyum numuneler için belirlenen bilyalı dövme şartlarını göstermektedir. Bilyalı dövme işlemi Eskişehir 1.HİBK Jet Revizyon Üssü Bilyalı Dövme Atelyesi’nde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.5 AISI 1017 düşük karbonlu çelik numuneler için belirlenen bilyalı dövme şartları.

| NUMUNE NO | ALMEN ŞİDDETİ | BİLYA TİPİ | DOYURMA ORANI | DÖVME SÜRESİ (sn) | BASINÇ kPa(psi) | EĞRİLİK YÜKSEKLİĞİ (mm) |
|-----------|---------------|------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------------|
| 1 | A28-30 | S110 | 100% | 45 | 620(90) | 0.29 |
| 2 | A28-30 | S110 | 200% | 45 | 620(90) | 0.29 |
| 3 | A28-30 | S230 | 100% | 25 | 380(55) | 0.25 |
| 4 | A28-30 | S230 | 200% | 25 | 380(55) | 0.25 |
| 5 | A30-32 | S110 | 100% | 45 | 690(100) | 0.31 |
| 6 | A30-32 | S110 | 200% | 45 | 690(100) | 0.31 |
| 7 | A30-32 | S230 | 100% | 25 | 413(60) | 0.31 |
| 8 | A30-32 | S230 | 200% | 25 | 413(60) | 0.31 |
| 9 | A32-34 | S110 | 100% | 50 | 690(100) | 0.33 |
| 10 | A32-34 | S110 | 200% | 50 | 690(100) | 0.33 |
| 11 | A32-34 | S230 | 100% | 25 | 448(65) | 0.33 |
| 12 | A32-34 | S230 | 200% | 25 | 448(65) | 0.33 |
| 13 | A34-36 | S110 | 100% | 50 | 723(105) | 0.35 |
| 14 | A34-36 | S110 | 200% | 50 | 723(105) | 0.35 |
| 15 | A34-36 | S230 | 100% | 20 | 482(70) | 0.36 |
| 16 | A34-36 | S230 | 200% | 20 | 482(70) | 0.36 |
| 17 | C4-6 | S110 | 100% | 30 | 482(70) | 0.05 |
| 18 | C4-6 | S110 | 200% | 30 | 482(70) | 0.05 |
| 19 | C4-6 | S230 | 100% | 20 | 345(50) | 0.05 |
| 20 | C4-6 | S230 | 200% | 20 | 345(50) | 0.05 |
| 21 | C6-8 | S110 | 100% | 40 | 482(70) | 0.07 |
| 22 | C6-8 | S110 | 200% | 40 | 482(70) | 0.07 |
| 23 | C6-8 | S230 | 100% | 30 | 345(50) | 0.07 |
| 24 | C6-8 | S230 | 200% | 30 | 345(50) | 0.07 |
| 25 | C8-10 | S110 | 100% | 45 | 690(100) | 0.09 |
| 26 | C8-10 | S110 | 200% | 45 | 690(100) | 0.09 |
| 27 | C8-10 | S230 | 100% | 40 | 345(50) | 0.1 |
| 28 | C8-10 | S230 | 200% | 40 | 345(50) | 0.1 |

Tablo 3.6 Ticari saflıkta titanyum numuneler için belirlenen bilyalı dövme şartları.

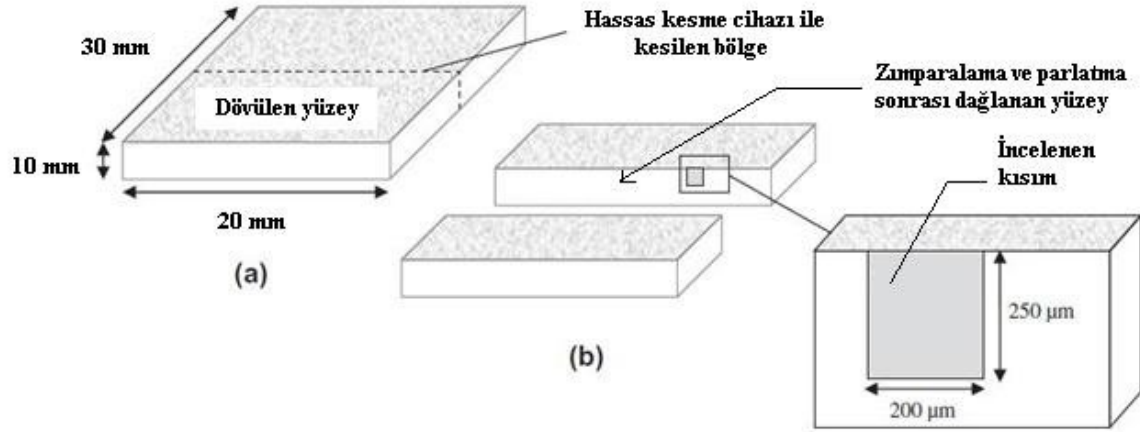
| NUMUNE NO | ALMEN ŞİDDETİ | BİLYA TİPİ | DOYURMA ORANI | DÖVME SÜRESİ (sn) | BASINÇ (psi) | EĞRİLİK YÜKSEKLİĞİ (mm) |
|-----------|---------------|------------|---------------|-------------------|--------------|-------------------------|
| 1 | A28-30 | S230 | 100% | 25 | 380(55) | 0.25 |
| 2 | A28-30 | S230 | 200% | 25 | 380(55) | 0.25 |
| 3 | A30-32 | S230 | 100% | 25 | 413(60) | 0.31 |
| 4 | A30-32 | S230 | 200% | 25 | 413(60) | 0.31 |
| 5 | A32-34 | S230 | 100% | 25 | 448(65) | 0.33 |
| 6 | A32-34 | S230 | 200% | 25 | 448(65) | 0.33 |
| 7 | A34-36 | S230 | 100% | 20 | 482(70) | 0.36 |
| 8 | A34-36 | S230 | 200% | 20 | 482(70) | 0.36 |
| 9 | C4-6 | S230 | 100% | 20 | 345(50) | 0.05 |
| 10 | C4-6 | S230 | 200% | 20 | 345(50) | 0.05 |
| 11 | C6-8 | S230 | 100% | 30 | 345(50) | 0.07 |
| 12 | C6-8 | S230 | 200% | 30 | 345(50) | 0.07 |
| 13 | C8-10 | S230 | 100% | 40 | 345(50) | 0.1 |
| 14 | C8-10 | S230 | 200% | 40 | 345(50) | 0.1 |

Numunelerin bilyalı dövülmesi için Peenmatic 2000S bilyalı dövme cihazı kullanılmıştır. Cihazda döner tablalı otomatik bilyalı dövme işlemlerinin yanı sıra, manuel olarakta bilyalı dövme işlemi yapılabilmektedir. Farklı bilya tipleri bu cihazda kullanılmakta olup hava basıncı cihaz konsolundan ayarlanabilmektedir.

3.4 BİLYALI DÖVME SONRASI DENEYSEL İŞLEMLER

3.4.1 Dövme Sonrası Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi

Dövülmüş düşük karbonlu çelik ve ticari saflıkta titanyum malzemelerin dövülmüş yüzey bölgelerine dik kesit bölgelerden, yüzeyden itibaren 20 µm aralıklarla, aynı bölgede en az üçer adet sertlik ölçümü yapılmak kaydı ile yüzeyden 3 mm uzaklığa kadar sertlik ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.7 hazırlanan numuneler ve incelenen yüzeyleri şematik olarak gösterilmiştir (Child vd. 2011).



Şekil 3.7 Hazırlanan numuneler ve incelenen yüzeyleri (Child vd. 2011).

Sertlik ölçümleri dinamik ultra mikro sertlik değerlerini ölçebilen Shimadzu DUH – W201S marka cihazda yapılmıştır. Sertlik ölçümleri Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Yalnız bir numunede minimum 27 adet sertlik ölçümü yapılmış olup toplam 20 farklı şiddette dövülmüş çelik ve titanyum malzemeden sertlik ölçümleri alınmıştır. Sertlik ölçüm sayısının fazla olmasında, sertlik izlerinin, Vickers dalıcı uç köşegenlerinin ve sertlik derinliklerinin mikrometre boyutlarında olması sebebiyle doğruluk hassasiyetini o oranda yüksek tutma gereksiniminden kaynaklanmıştır. Sertlik ölçümleri uygulanması istenilen yük değerine ulaşıldığında bekleme ve sonrasında yükü boşaltma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Deney yükü 50 mN, yükü uygulama süresi 10 saniye, yükü uygulama hızı 1.471 mN / s olarak belirlenmiştir. Dalıcı uç Vickers uçtur. Sertlik ölçümleri ses ve titreşimden uzak, nem, hava vb. dış etkilerden arındırılmış bir ortamda yapılmıştır. Derinlik duyarlı sertlik ölçüm sonuçları bilgisayar programı yardımıyla yük- dalma derinliği esas alınarak çizilmiş, ortaya çıkan eğriler yardımıyla malzemenin sertlik ölçümü yapılan bölgesinin, sertlik derinlikleri, bu sertlik derinliklerine bağlı olarak ortaya çıkan dinamik sertlik değerleri ve elastisite modülü elde edilmiştir.

3.4.2 Dövme Sonrası İçyapı Optik ve SEM Görüntülerinin Elde Edilmesi

Aşırı bilyalı dövme sonucu düşük karbonlu çelik ve ticari saflıkta titanyum malzemenin yüzeyinde ve yüzeyin hemen altındaki bir tabakada, içyapıdaki orijinal tanelere kıyasla bir incelme beklenmektedir. Optik mikroskoptan alınan mikro yapı görüntüleri ile tanelerin aşırı soğuk plastik deformasyona uğramış tabaka belirlenmeye çalışılmış SEM görüntüleri ile bu tabakanın ince taneli yapılardan oluştuğu gözlemlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1 DÖVÜLMÜŞ VE DÖVÜLMEMİŞ NUMUNELERİN SERTLİK DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

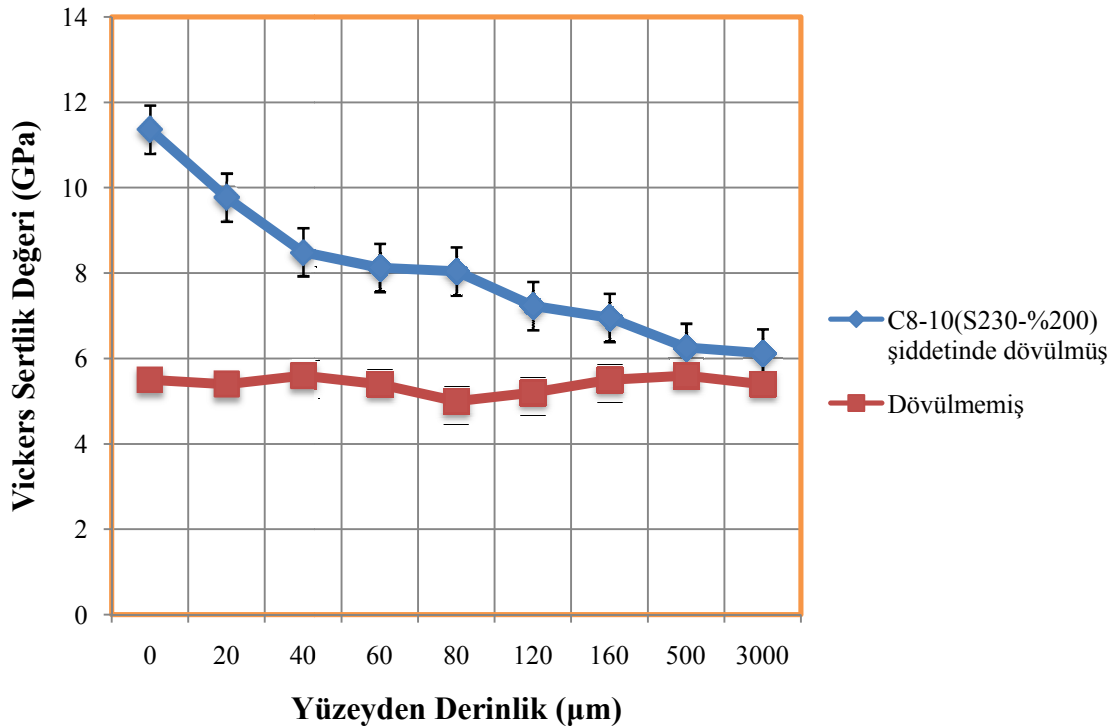
Farklı Almen dövme şiddetleri ile bilyalı dövülen düşük karbonlu çelik ve ticari saflıkta titanyum numunelerin dinamik sertlik ve Vickers sertlik değeri-yüzeyden uzaklık, Almen şiddeti-yüzey sertlik değeri grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.1 C8-10 ADŞ'de, S230 bilya ve % 200 doyurma oranı ile dövülen ve dövülmemiş çelik numunelerin yüzeyden itibaren iç kısımlara doğru ölçülen Vickers sertlik değişimlerini göstermektedir. Şekil 4.2 ise aynı şartlar için çelik numunenin dinamik sertlik değerlerinin değişimlerini göstermektedir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 aynı dövme şartında fakat S110 bilya ile dövülmüş numunelerin sırasıyla Vickers ve dinamik sertlik değerlerinin değişimini göstermektedir.

Dinamik sertlik değerleri iki çeşit olup, birincisi dalıcı ucun battıktan sonra elastik toparlanmanın gerçekleşmesi sonucu oluşan izin derinliğine bağlı olarak hesaplanmakta ve ikincisi ise dalıcı ucun bıraktığı maksimum derinlik değerine bağlı olarak hesaplanan sertlik değeridir. Uygulanan yük çok küçük olduğundan elde edilen sertlik izininin küçük olması sertlik izininin dolayısıyla izin izdüşüm alanının belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle dalıcı ucun bıraktığı kalıcı izin derinliği esas alınarak dinamik sertlik değerleri bulunmuş ve nanoindentasyon eşitliklerinden de Vickers sertlik değerleri elde edilmiştir. C8-10 ADŞ ile dövülmüş düşük karbonlu çeliğin yüzeye en yakın bölgelerde elde edilen sertlik değeri yaklaşık 12 GPa mertebesindedir. Ölçülen sertlik değerleri literatürde yapılan çalışmalarda elde edilen sertlik değerleri ile örtüşmektedir (Todaka vd. 2005).

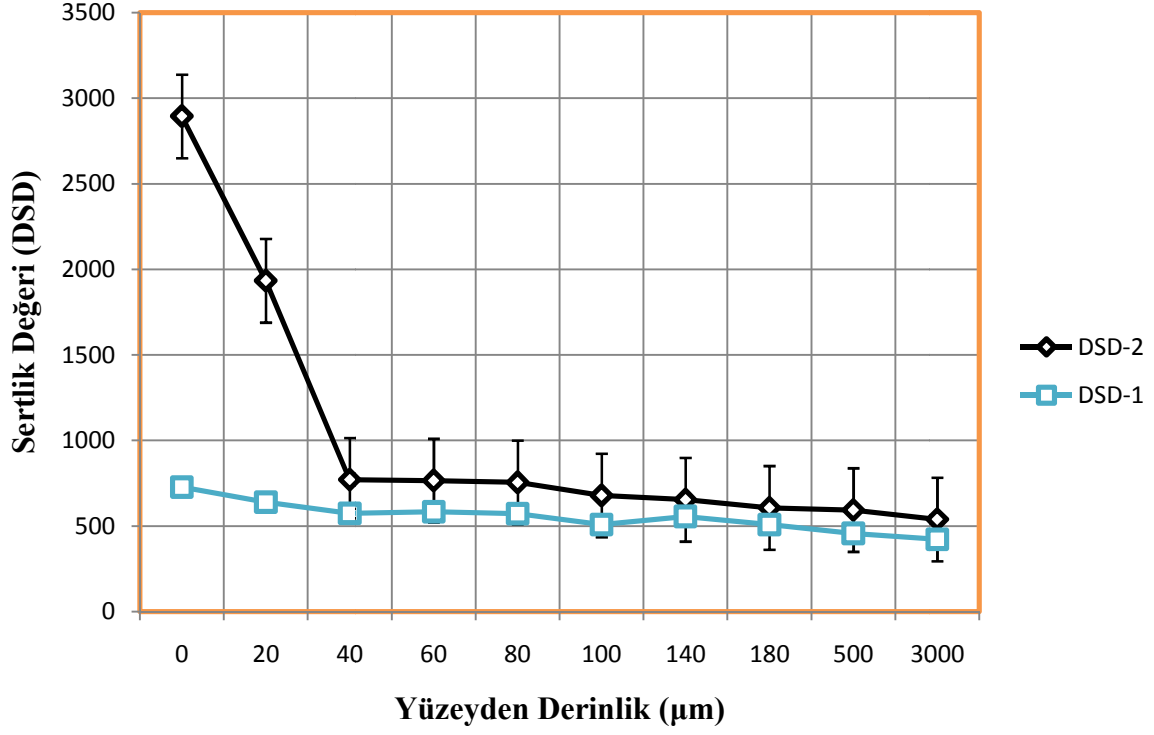
Dövülmemiş numunenin sertliği 5.5 GPa bulmuştur. Ölçülen sertliklerde kayda değer bir artış elde edilmiştir. Bu durum aşırı bilyalı dövme sonucu düşük karbonlu çelik numunenin soğuk plastik deformasyona maruz kalarak yüzeyde sertlik ve dolayısıyla dayanım değerlerinin arttığını göstermektedir. Yüzey bölgesinden iç kısımlara doğru ilerledikçe bilyalı

dövmenin dolayısıyla soğuk plastik deformasyonun etkisi azalmakta buna bağlı olarak sertlik değerleri düşerek dövmenin etkili olmadığı iç kısmın sertlik değerlerine eşitlenmektedir. Yaklaşık 200 μm derinlikten sonra bilyalı dövmenin etkisi ciddi oranda kaybolmakta ve dövülerek sertleşen tabakanın sertliği ile işlem görmemiş numunenin sertliği birbirine çok yaklaşmaktadır. Dinamik sertlik değerleri incelenecek olursa, yüzeyde 2700 mertebelerinde olan sertlik değeri iç kısımlara doğru gidildikçe düşmekte ve yaklaşık 500 mertebelerine inmektedir.

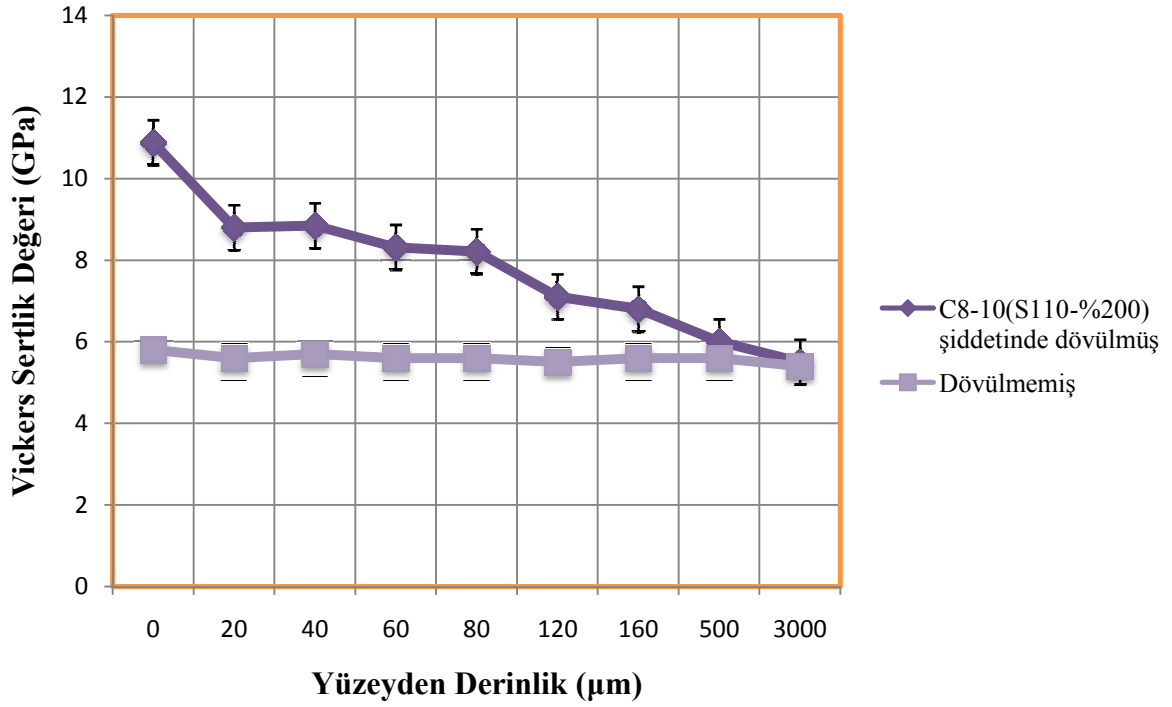
Düşük karbonlu çelik için yapılan sertlik ölçümlerinde deneysel olarak dinamik sertlik değerinin (DSD-2) üçte biri ile yarısı arasında bir değer yaklaşık olarak mikrovickers sertlik değerine eşittir. Dinamik sertlik değerinin (DSD-1) düşük olması ise malzemenin elastik toparlanabilme kabiliyetinin iyi olduğunu göstermektedir. Uygulanan gerilmeler sonucu oluşan şekil değişimleri elastik şekil değiştirme ve plastik şekil değiştirmenin toplamına eşit olmaktadır. Elastik şekil değiştirmenin fazla olduğu durumlar geri yaylanmanın (hiper rezilyans) yüksek olduğu durumlar için geçerlidir.



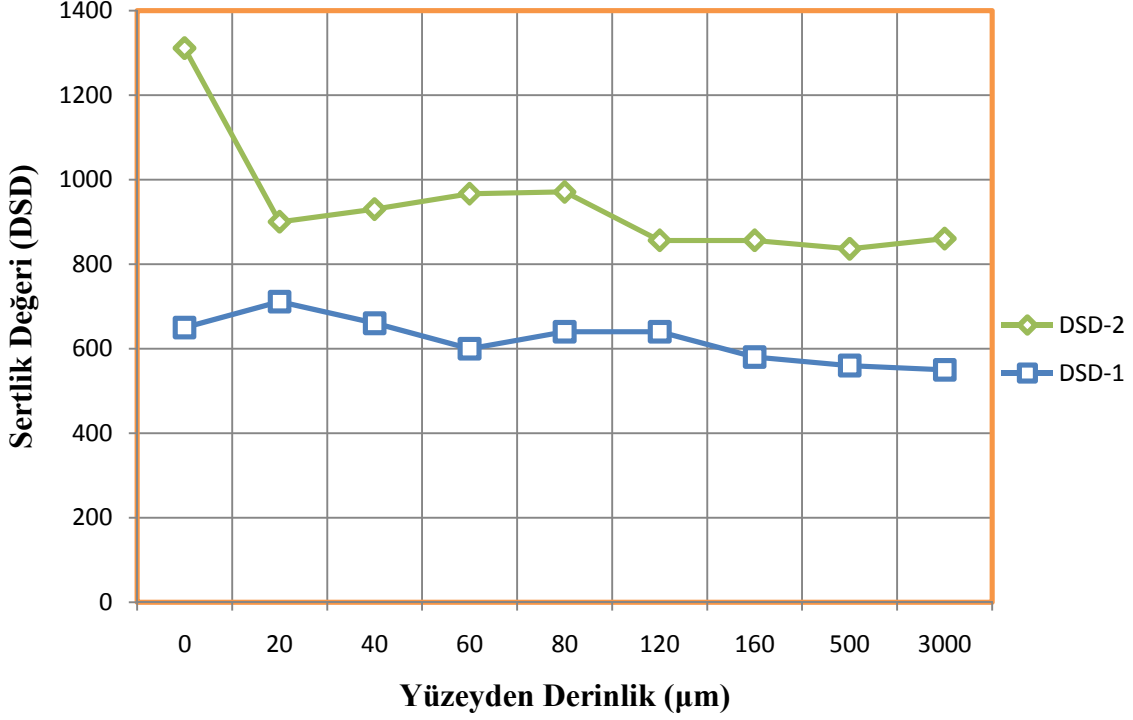
Şekil 4.1 Dövülmemiş ve C8-10 ADŞ’de dövülmüş AISI 1017 çelik numunenin, yüzeyden iç kısımlara doğru Vickers sertlik değerlerinin değişimi.



Şekil 4.2 C8-10 ADŞ’de dövülmüş çelik numunenin dinamik sertlik değişimi.



Şekil 4.3 Dövülmemiş ve C8-10 ADŞ’de S110 bilya ve % 200 doyum oranında dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren Vickers sertlik değişimi.

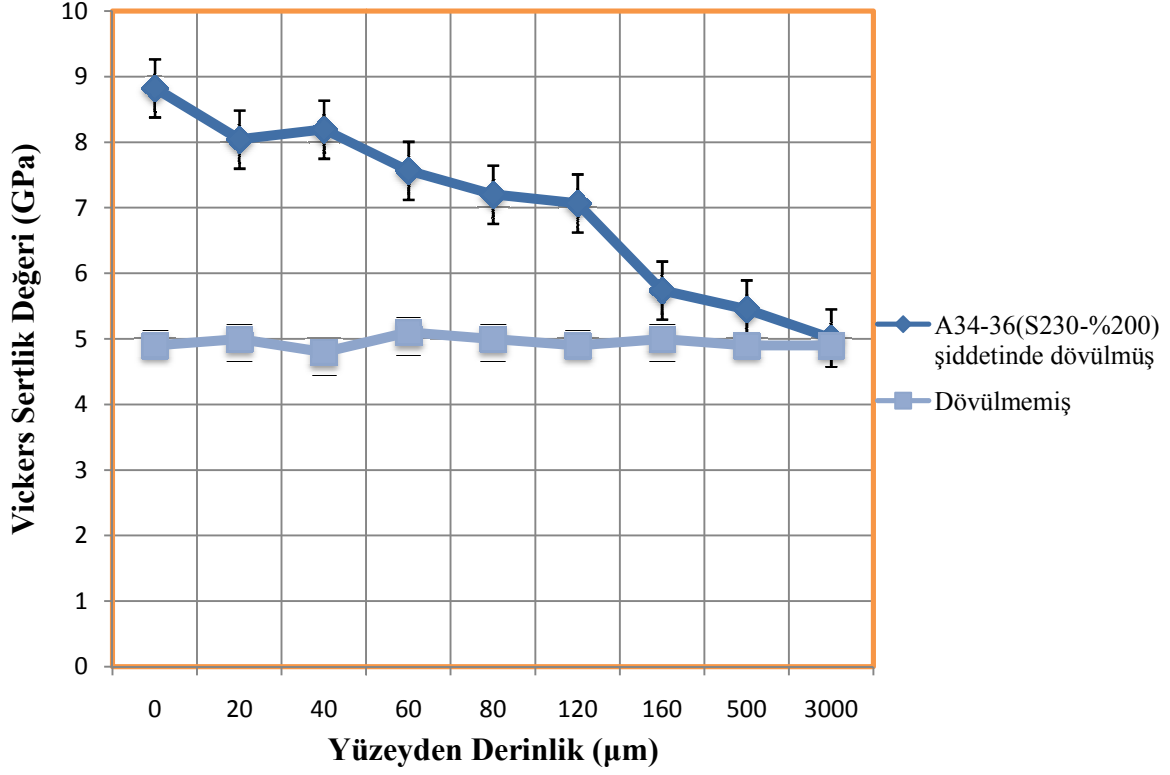


Şekil 4.4 C8-10 ADŞ’de S110 bilya ve %200 doyum oranında dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren dinamik sertlik değişimi.

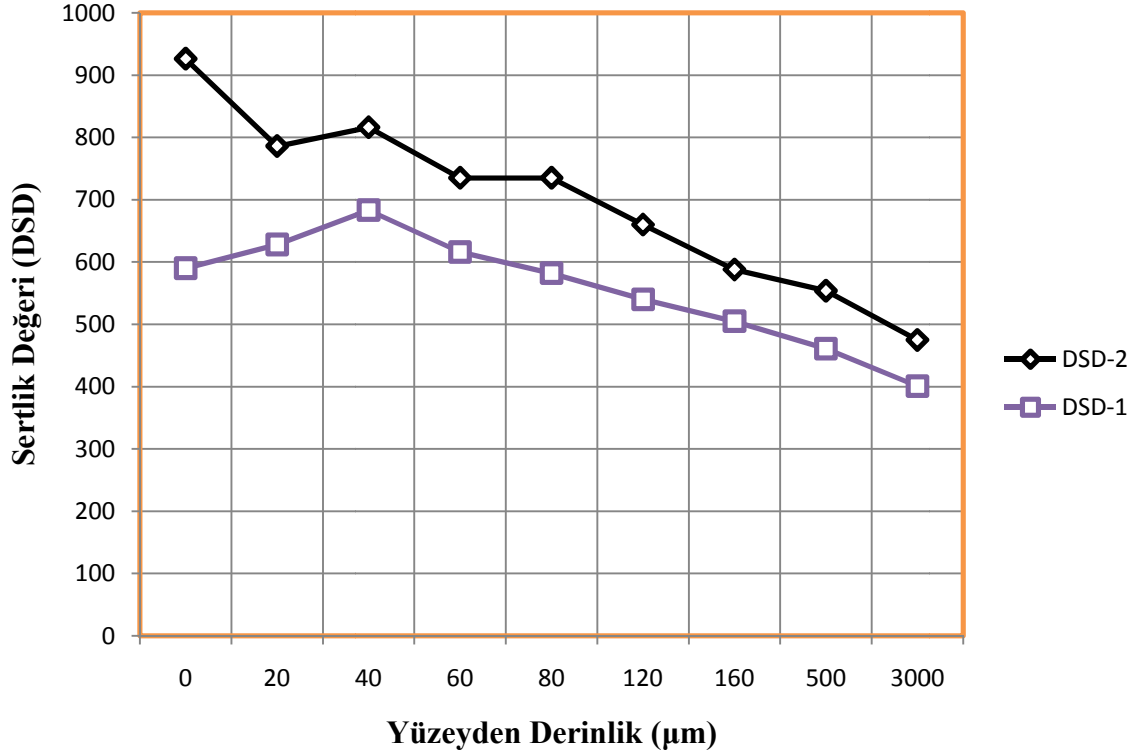
Şekil 4.5 dövülmemiş ve C8-10 ADŞ’den daha düşük olan A34-36 ADŞ’de, S230 bilya ve %200 doyum oranı ile dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren sertlik değişimini göstermektedir.

Şekil 4.6 ise A34-36 ADŞ’de, S230 bilya ve %200 doyum oranı ile dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren dinamik sertlik değişimini göstermektedir. C8-10 ADŞ’de dövülen çelik numunede yüzey sertlik değeri 12 GPa iken A34-36 ADŞ’de dövülen numunede 9 GPa mertebelerindedir. Yüzey bölgesinde Almen şiddetinin düşüşü ile paralel olarak sertlik değerlerinde de düşüşler görülmektedir. Bu durum Almen şiddetinin azalması ile birlikte plastik deformasyon oranının da azaldığının bir göstergesi niteliğindedir.

Şekil 4.7 dövülmemiş ve A30-32 ADŞ’de, S230 bilya ve % 200 doyum oranı ile dövülmüş iki çelik numunenin yüzeyden itibaren Vickers sertlik değişimini göstermektedir.



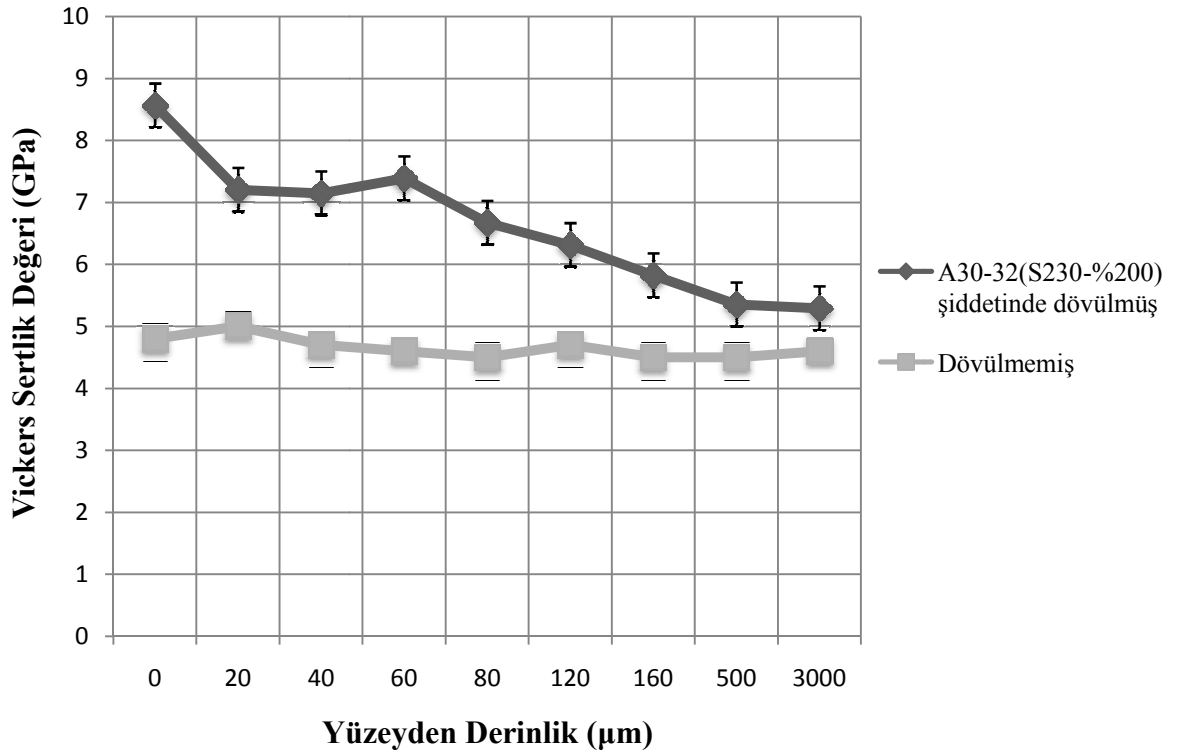
Şekil 4.5 Dövülmemiş ve A34-36 ADŞ’de dövülmüş çelik numunenin yüzeiden itibaren Vickers sertlik değişimi.



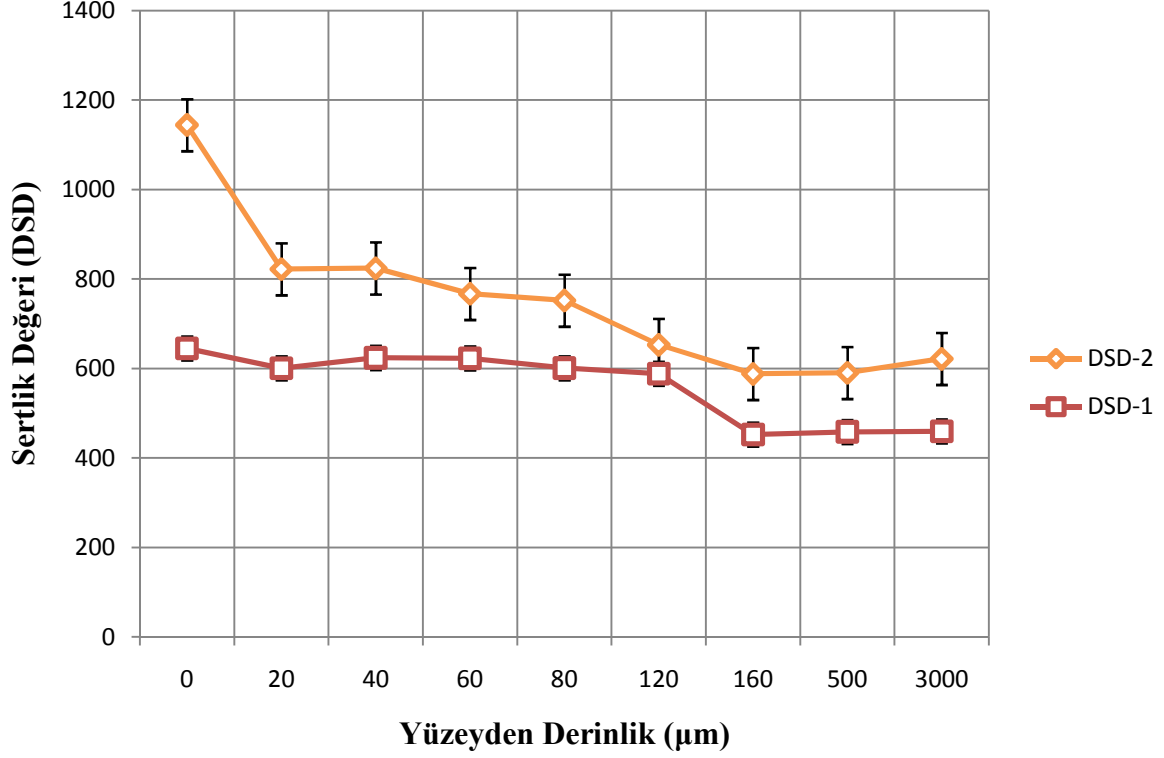
Şekil 4.6 A34-36 ADŞ’de dövülmüş çelik numunenin yüzeiden itibaren dinamik sertlik değişimi.

Şekil 4.8 ise A30-32 ADŞ'de dövülmüş numunenin yüzeyden itibaren dinamik sertlik değişimini göstermektedir.

Aşırı bilyalı dövme sonucu oluşması beklenen yaklaşık 50 mikronluk bölgede sertlik değerleri yüksek iken 50 mikrometreden daha derin iç bölgelerde sertlik değerlerinde düşüşler gözlemlenmektedir. Aşırı plastik deformasyon sonucu 50 mikrometre kalınlığındaki tabakayı geçtikten sonra da bilyalı dövmenin sertlik artışı etkisi gözlemlenmesine rağmen yüzey ve yüzeyin hemen altındaki sertleştirme etkisini yavaş yavaş kaybettiği belirlenmiştir.



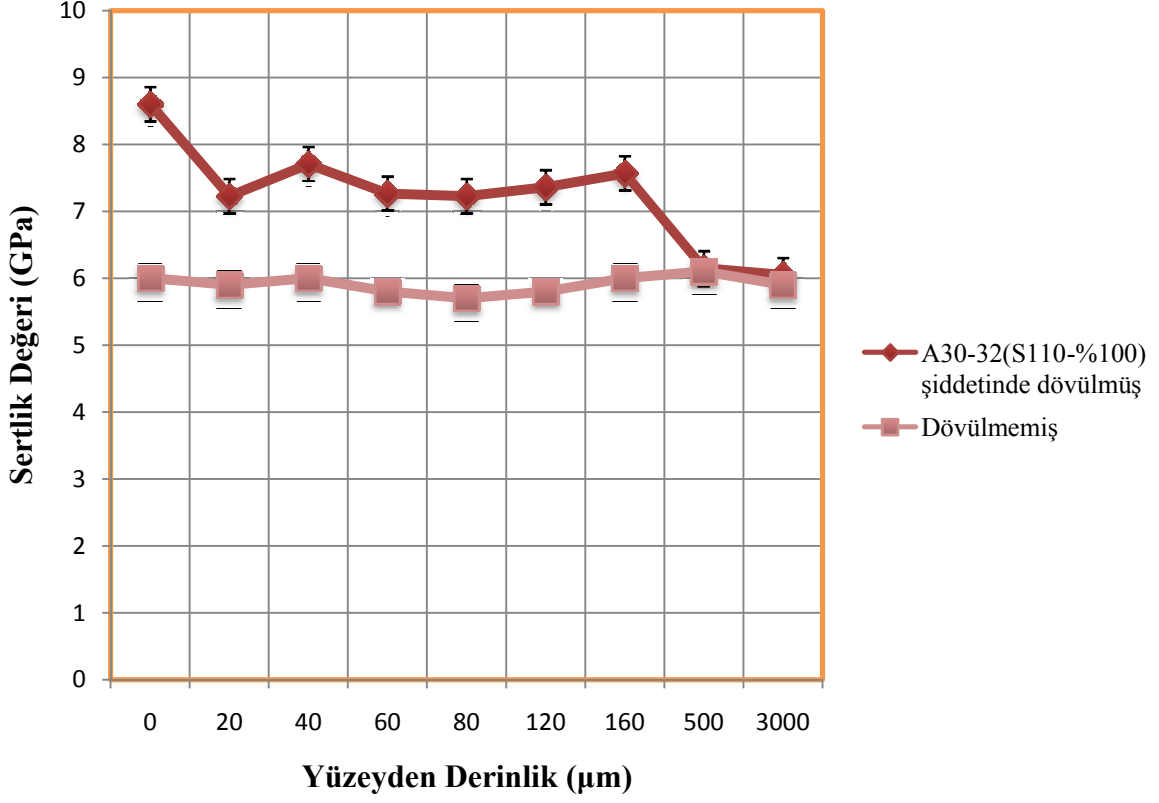
Şekil 4.7 Dövülmemiş ve A30-32 ADŞ'de dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren Vickers sertlik değişimi.



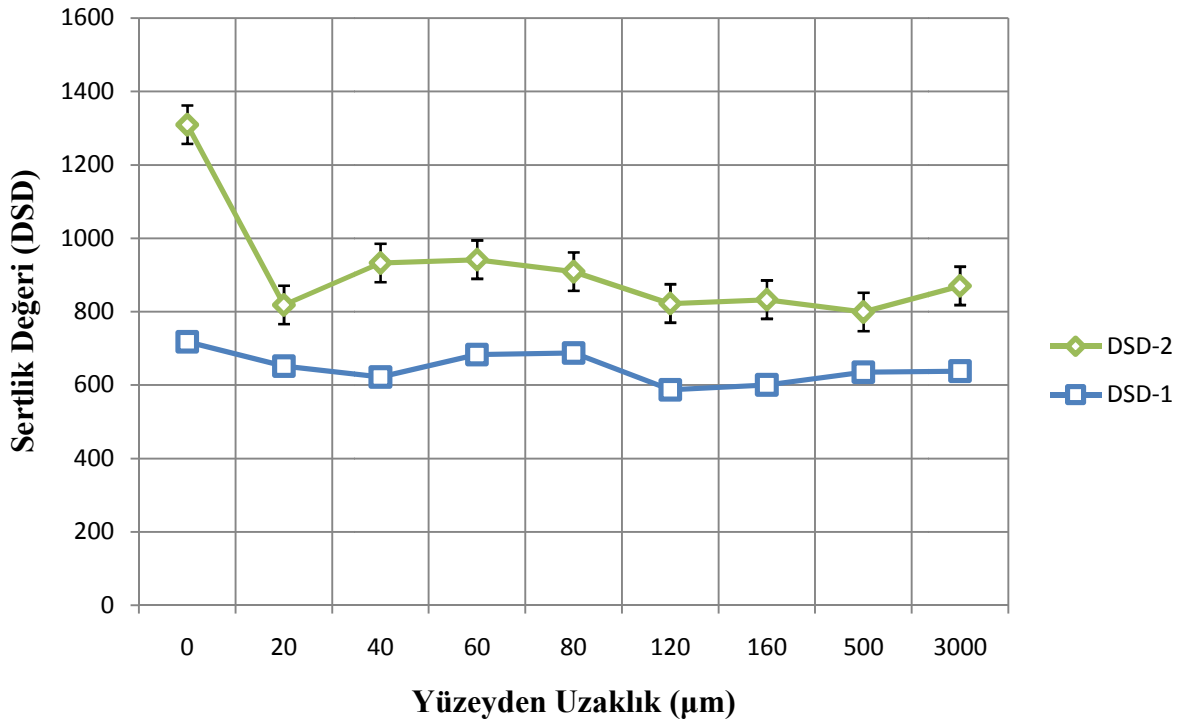
Şekil 4.8 A30-32 ADŞ’de dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren dinamik sertlik değişimi.

Şekil 4.9 dövülmemiş ve A30-32 ADŞ’de, S110 bilya ve % 100 doyum oranı ile dövülmüş iki çelik numunenin yüzeyden itibaren Vickers sertlik değişimini göstermektedir. Şekil 4.10 ise A30-32 ADŞ’de dövülmüş numunenin yüzeyden itibaren dinamik sertlik değişimini göstermektedir.

Bilyalı dövmenin etkisi 20-30 mikrometre kalınlığında yüzeyin altındaki bir tabakada etkisini ciddi şekilde gösterirken bu tabakadan sonra etkisi azalmakla birlikte halen devam etmektedir. Yüzeyden 500 µm derinlikten sonra da bilyalı dövme etkisi kaybolmakta, dövülmüş ve dövülmemiş numunelerin sertlik değerleri birbirine eşitlenmektedir. Bu durum diğer bazı bilyalı dövme çalışmalarında verilen değerlerle de uyuşmaktadır (Child 2011).



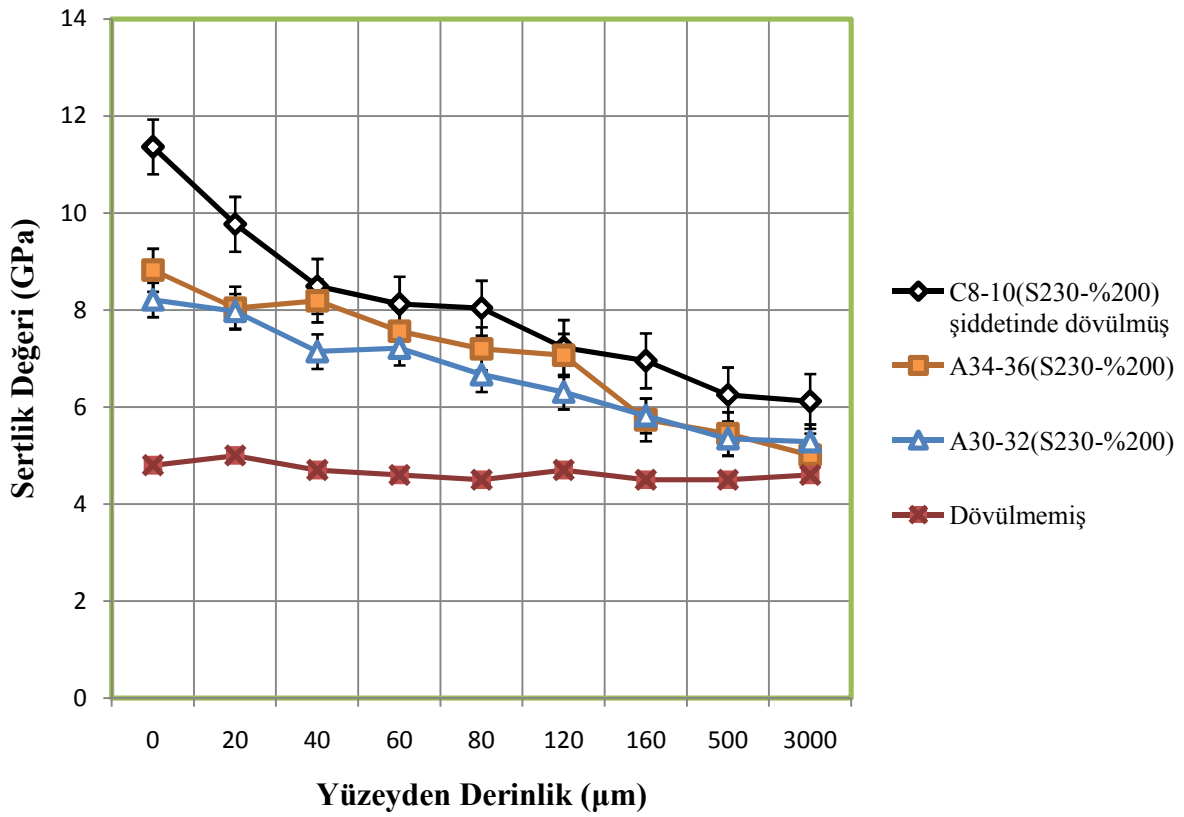
Şekil 4.9 Dövülmemiş ve A30-32 ADŞ’de, S110 bilya ve % 100 doyurma oranı ile dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren sertlik değişimi.



Şekil 4.10 A30-32 ADŞ’de, S110 bilya ve % 100 doyurma oranı ile dövülmüş çelik numunenin yüzeyden itibaren dinamik sertlik değişimi.

Şekil 4.11 dövülmemiş ve C8-10, A34-36, A30-32 ADŞ'de dövülmüş çelik numunelerin yüzeyden itibaren sertlik değişimini göstermektedir. Bilyalı dövmenin sertlik değerleri üzerinde etkisinin tam olarak belirlenebilmesi için bilya tipi ve doyum oranı her bir numune için aynı seçilmiştir.

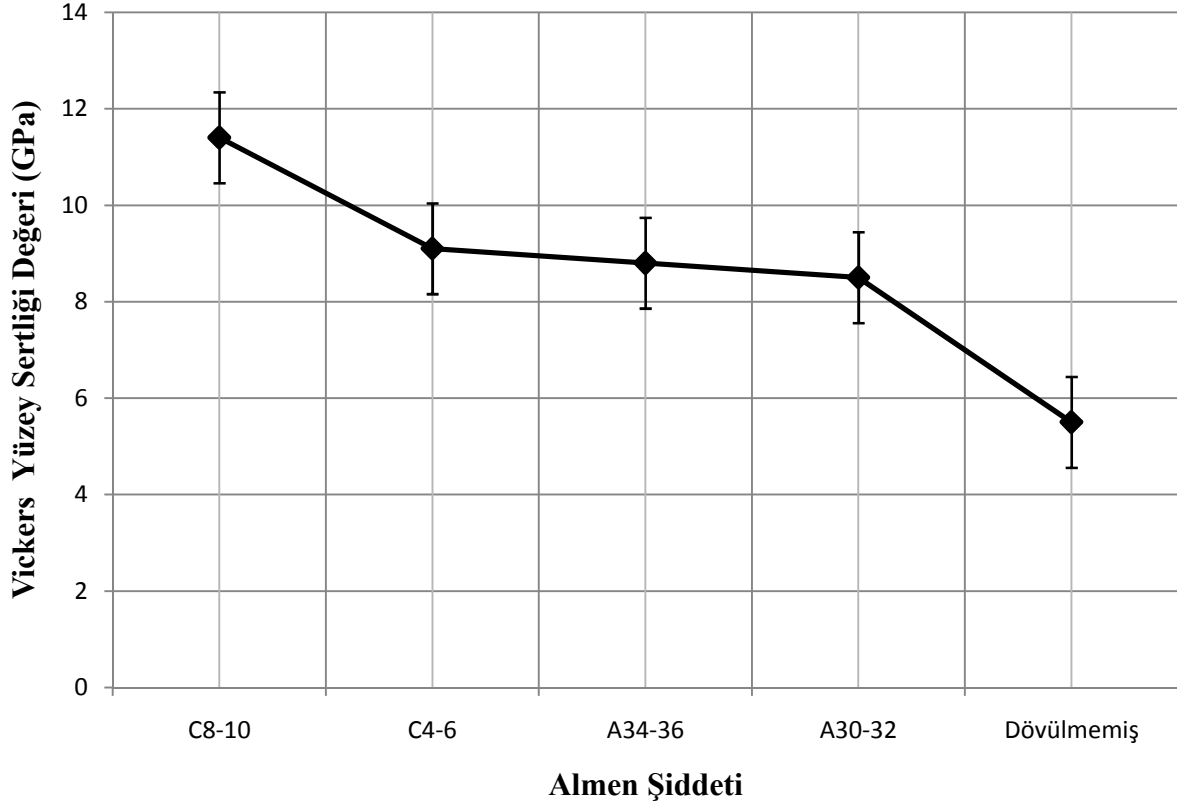
Şekil 4.11'de bilyalı dövme işlemi yüzey ve yüzeyin altında kalan bölgelerde plastik deformasyon sertlik değerlerinin artışına neden olmuştur. ADŞ'nin düşüşü ile birlikte özellikle yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde sertlik değerlerinde ciddi düşüşler meydana gelmiştir. Yaklaşık 160 µm den sonra değerler birbirine hemen hemen eşitlenmektedir.



Şekil 4.11 Dövülmemiş ve C8-10, A34-36, A30-32 ADŞ'de dövülmüş çelik numunelerin yüzeyden itibaren sertlik değişimi.

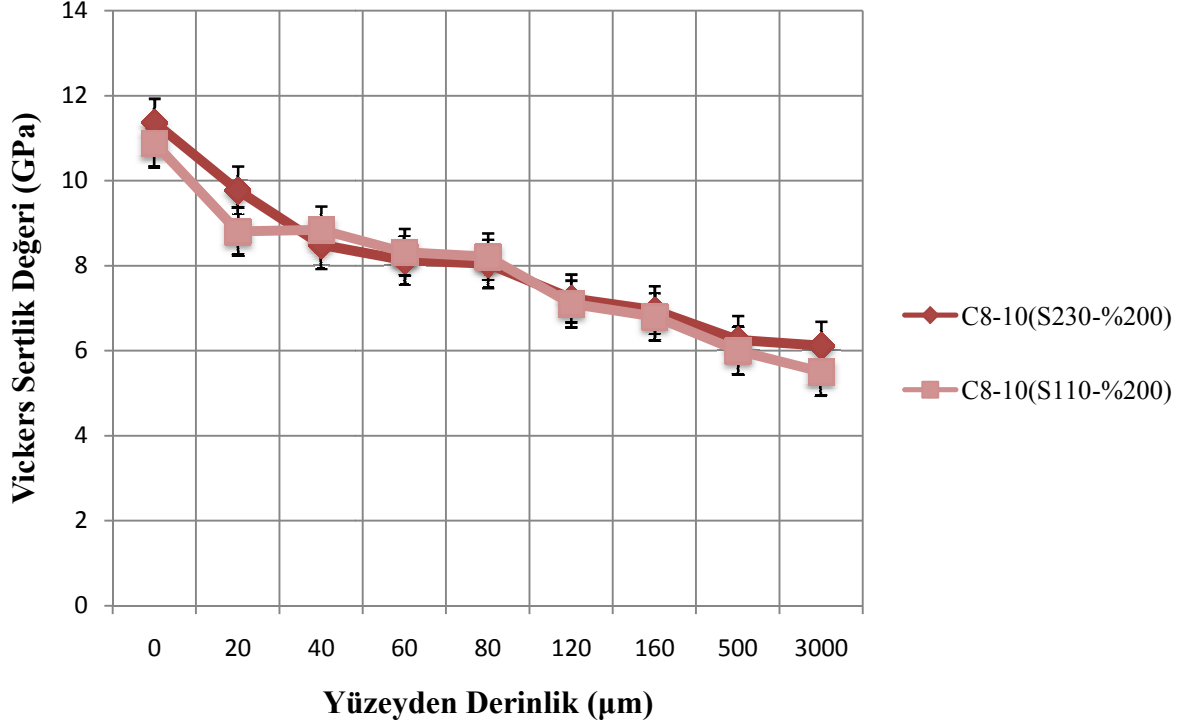
Şekil 4.12 ise bilyalı dövmenin, yüzeyde aşırı soğuk plastik deformasyonun etkisiyle oluşması beklenen ince taneli tabakanın sertliği üzerinde etkisini görmek amacıyla ADŞ değerlerinin yüzey sertlik değerlerine olan etkisini göstermektedir. ADŞ arttıkça bilyalı dövmenin şiddeti artacak ve malzemenin üzerinde etkili olan soğuk plastik deformasyon miktarı artmış olacaktır. Malzemelerin pekleşme kabiliyetleri dikkate alınarak ADŞ arttıkça yüzey sertlik değerlerinde bir artış oluşmaktadır. Şekil 4.12'de ADŞ'nin C8-10 şiddetinden A30-32 şiddetine düşmesi

ile birlikte yüzey sertliği değeri yaklaşık 12 GPa'dan 8 GPa'ya kadar düşmüştür. Yüzeyden yaklaşık 50 µm derinlikten sonra bilyalı dövmenin etkisinin azalması ile birlikte sertlik değerlerinin yüzey bölgesine nazaran birbirlerine yaklaştığı ve aynı oranda azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.12 Çelik malzemede Almen şiddetinin yüzey sertliği ile olan ilişkisi.

S110 ve S230 bilyalar ile % 200 doyum oranında elde edilen C8-10 ADŞ'nin yüzeyden iç kısma doğru Vickers sertlik değeri değişimleri Şekil 4.13'te verilmektedir. Aynı malzeme için ADŞ'nin aynı olması bilya çapının etkisini ortadan kaldırdığını bir başka ifade ile farklı büyüklükte bilyalar kullanılsa bile aynı ADŞ değerlerinin elde edilebildiğini göstermektedir. ADŞ değerinin bu kadar yüksek olması dolayısıyla % 200 doyum oranının malzemenin sertliğinin artmasına etki gösterememiştir. Pekleşme sonrası fazladan yapılan dövme, başka bir ifadeyle numunenin t yerine 2t sürede dövülmesi ilk pekleşmede elde edilen sertlik ve dayanım değerlerinden daha yüksek değerler elde edilmesinde yeterli olamamıştır. Bunun nedeni olarak numunenin yüzeyinde oluşan sertlik değerlerinin bilyanın sertlik değerlerinden daha yüksek sertliklere ulaşması gösterilebilir.



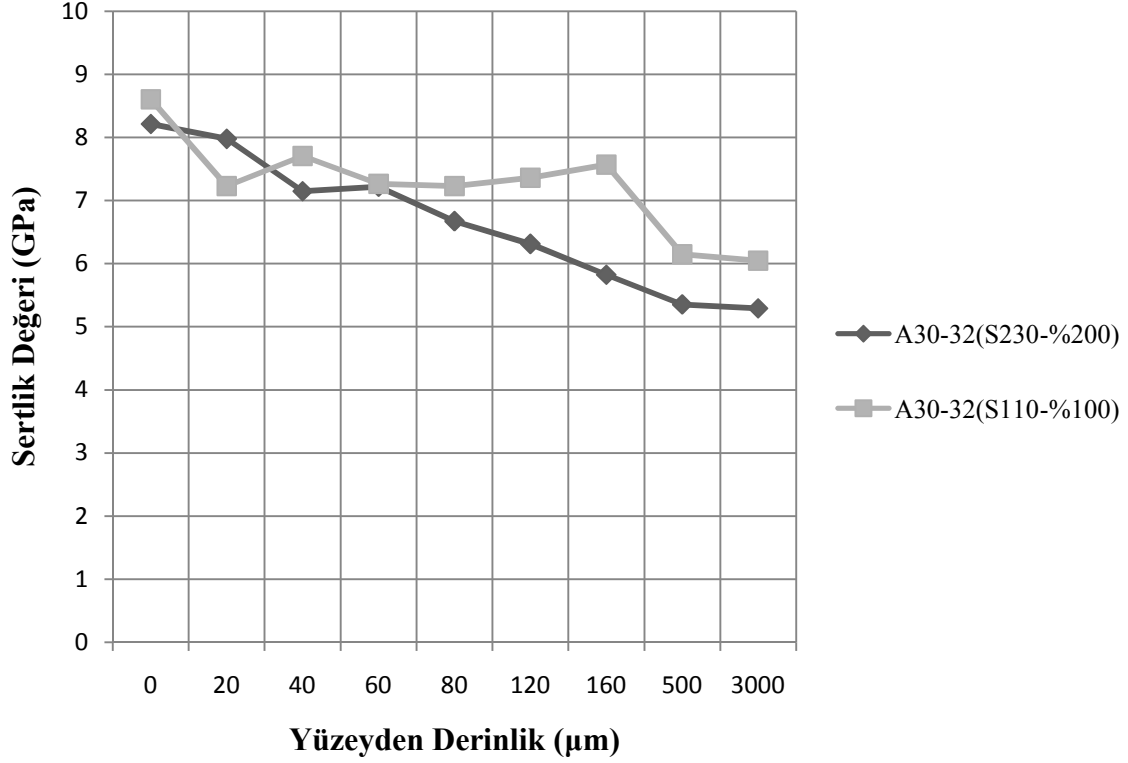
Şekil 4.13 C8-10 ADŞ’de, S230, %200 doyum oranı ile C8-10 ADŞ’de, S110, %100 doyum oranı ile dövülmüş iki çelik numunenin yüzeyden itibaren sertlik değişimi.

Şekil 4.14 A30-32 ADŞ’de S230 ve %200 doyum oranı ve ayrıca S110 ve % 100 doyum oranı ile dövülen iki farklı çelik numunesinin yüzeyden itibaren iç kısımlara doğru Vickers sertlik değişimlerini göstermektedir. Şekil 4.13 sadece bilya büyüklüğünün sertlik değeri üzerinde etkisini gösterirken Şekil 4.14’te bilya büyüklüğünün yanı sıra % doyum oranının etkisi incelenecektir.

A30-32 ADŞ’de, S230 ve % 200 doyum oranı ile dövülen malzemenin 30 µm lik tabakada sertlik değerleri birbirine çok yakın iken bu tabakayı geçtikten sonra iç bölgelere kadar sertlik düşüşü gözlemlenmiştir. A30-32 ADŞ’de, S110 ve % 100 doyum oranı ile dövülen malzemede yüzeyden 20 µm lik tabakaya kadar sertlik düşüşü gerçekleşmiş bu tabakadan sonra 160 µm ye kadar sertlik değerleri birbirine eşit seyrederken 160 µm den sonra dövülmemiş numunenin sertlik değerine kadar düşüş göstermiştir.

A30-32 ADŞ’de, S230 ve % 200 doyum oranı ile dövülen malzemede bilya büyüklüğü ve doyum oranının sertlik ve dayanım üzerinde daha etkili bir plastik deformasyon gösterdiği ancak iç kısımlara doğru gidildikçe bu etkinin kaybolduğu belirlenmiştir. A30-32 ADŞ, S110 ve % 100 doyum oranı ile dövülen malzemede 20 µm lik tabakadan sonra sertlik değerleri birbirine eşit seyretmekte yani plastik deformasyonun bu bölgeden sonra daha etkili olduğu

görülmektedir. S230 ve % 200 doyum oranı ile dövülen numunede kullanılan hava basıncı ve dövme süresi değerlerinin diğerine oranla çok daha düşük olması sertlik değerinin beklenilenden daha düşük olmasına neden olduğu muhtemeldir.

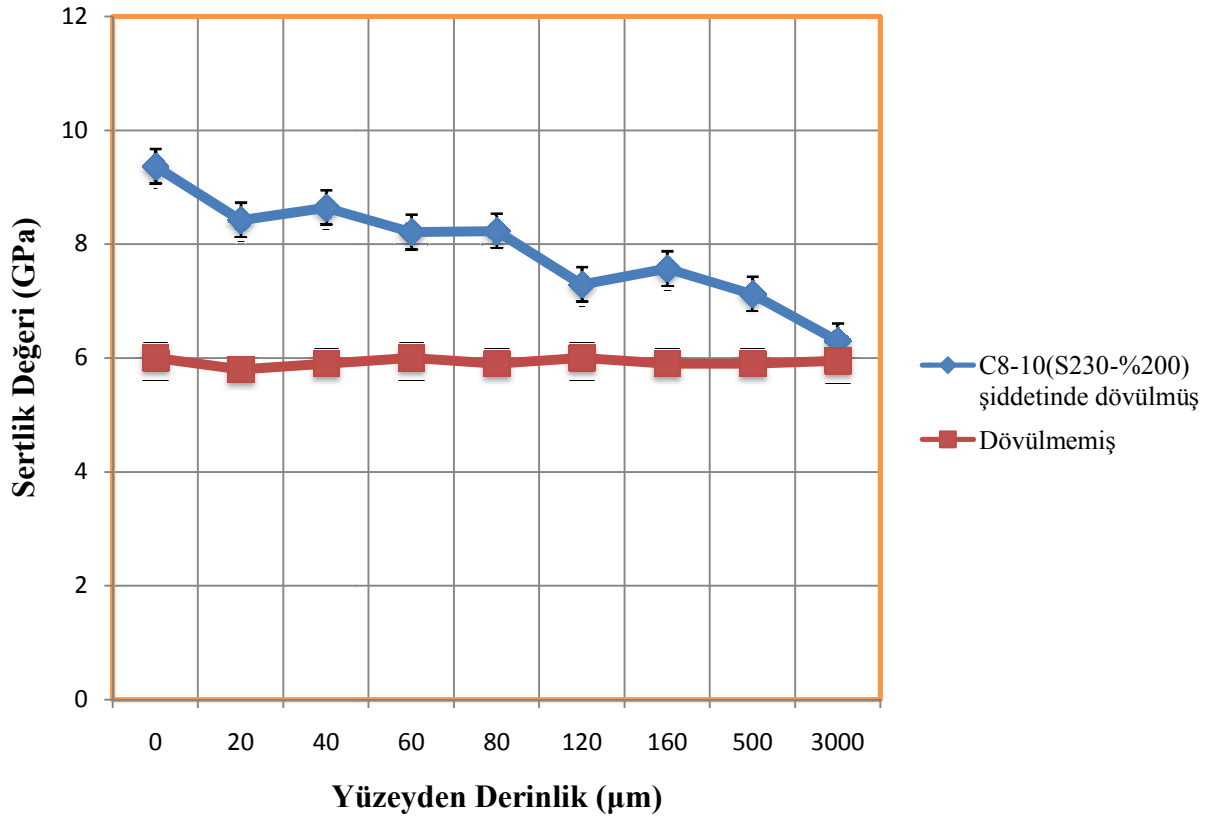


Şekil 4.14 A30-32 ADŞ'de S110 bilya ile ve % 100 doyum oranında ve A30-32 ADŞ'de S230 bilya ve % 200 doyum oranı ile dövülmüş iki çelik numunenin yüzeyden itibaren sertlik değişimi.

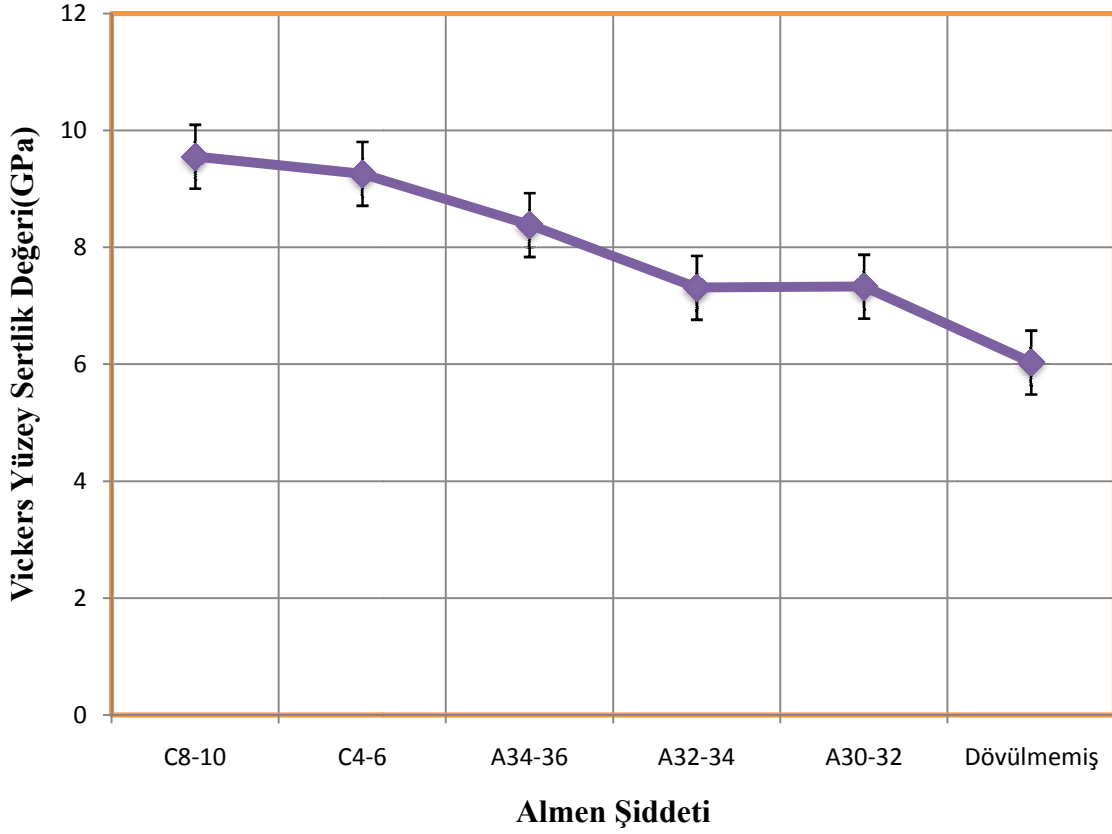
Şekil 4.15 dövülmemiş ve C8-10 ADŞ'de dövülmüş ticari saflıkta titanyum numunesinin yüzeyden itibaren sertlik değişimini göstermektedir. Ticari saf titanyumun soğuk plastik deformasyon kabiliyetinin bir göstergesi olan pekleşme üsteli çeliğe nazaran daha düşüktür ($n=0.1$ mertebesinde). Bu durum malzeme için dövme sonrası elde edilen sertlik değerinin daha düşük kalmasına neden olacaktır. En yüksek dövme şartı olan C8-10 ADŞ'de dövülen ticari saflıkta titanyum numunenin yüzeyinde ölçülen sertlik değerleri 9.3 GPa mertebesinde. Bilyalı dövülmemiş numuneden ölçülen sertlik değeri ise 6 GPa mertebesinde. Aşırı bilyalı dövme ile meydana gelen plastik deformasyon sonucu yüzey bölgesindeki sertlik değerlerinde yaklaşık % 50 artış meydana gelmiştir. Düşük karbonlu çeliğin pekleşme üsteli değerinin 0.21 mertebesinde olduğu dikkate alınırsa yüzey bölgesinde meydana gelen % 100 ün üzerindeki sertlik artışının ticari saflıkta titanyuma göre fazla olması

düşük karbonlu çeliğin pekleşme kabiliyetinin saf titanyum malzemeye göre daha iyi olduğunun bir göstergesidir.

Şekil 4.16 ise ticari saflıkta titanyum malzeme için Almen dövme şiddetlerinin yüzey sertliğine etkisi gösterilmektedir. Almen dövme şiddeti azaldıkça çelik malzemede olduğu gibi saf titanyum için de plastik deformasyon oranı azaldığından yüzey sertliği değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Ticari saf titanyum (Grade 2) malzemesinin pekleşme üstelinin daha düşük olmasından dolayı yüzey bölgesindeki sertlik değerleri ile iç kısımda ölçülen sertlik değerleri arasında çok büyük fark olmamakla birlikte düşük karbonlu çeliğe oranla da daha düşük sertlik değerleri ölçülmüştür.



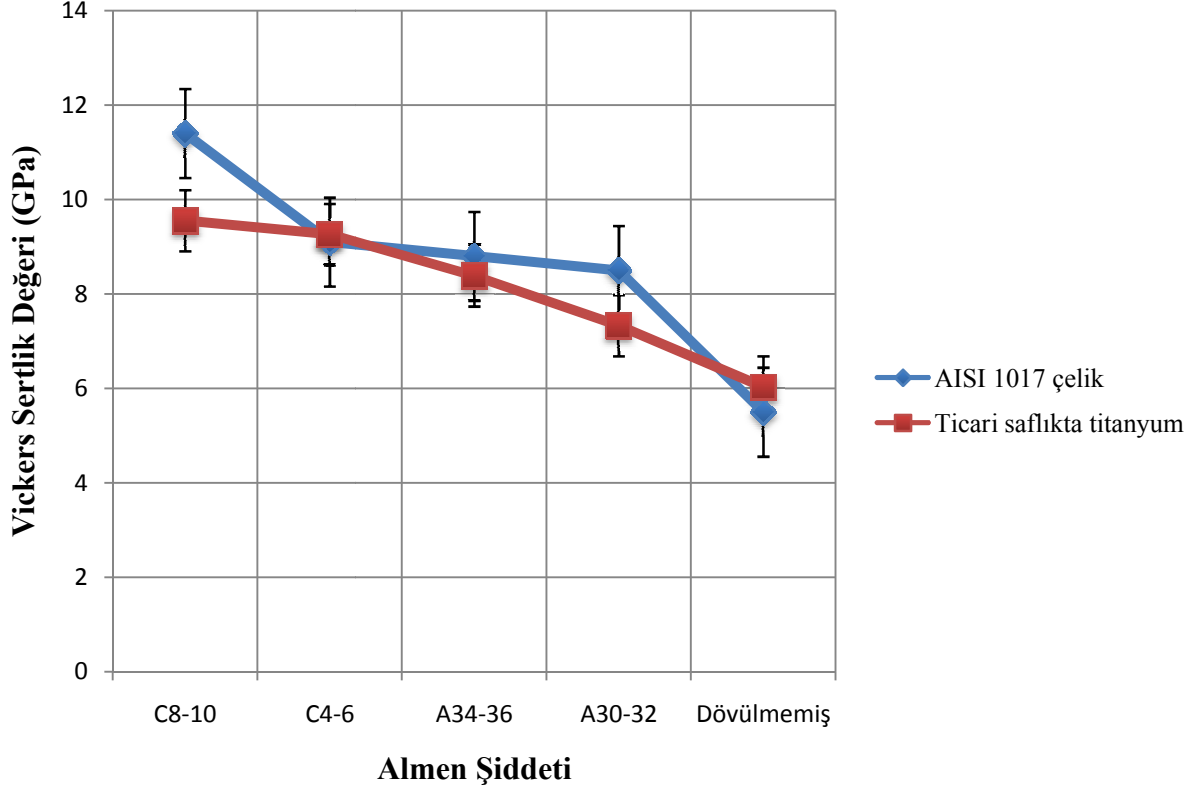
Şekil 4.15 Dövülmemiş ve C8-10 ADŞ’de dövülmüş ticari saflıkta titanyum numunenin yüzeyden itibaren sertlik değişimi.



Şekil 4.16 Ticari saflıkta titanyum malzemedeki Almen şiddetinin yüzey sertliği ile olan ilişkisi.

Şekil 4.17’de bilyalı dövülmüş ticari saflıkta titanyum ve AISI 1017 çelik numunelerinin Almen şiddeti ve yüzey sertlikleri arasındaki ilişki gösterilmektedir. Ticari saflıkta titanyum numunenin pekleşme üstelinin daha düşük olması sebebiyle yüzeyde elde edilen sertlik değerleri çelik numuneye göre daha düşüktür. Çelik numunede pekleşmenin sertlik üzerindeki etkisi C4-6 ADŞ’ye kadar düşüş gösterse de A30-32 ADŞ’ye kadar etkisini kaybetmeden sürdürmektedir.

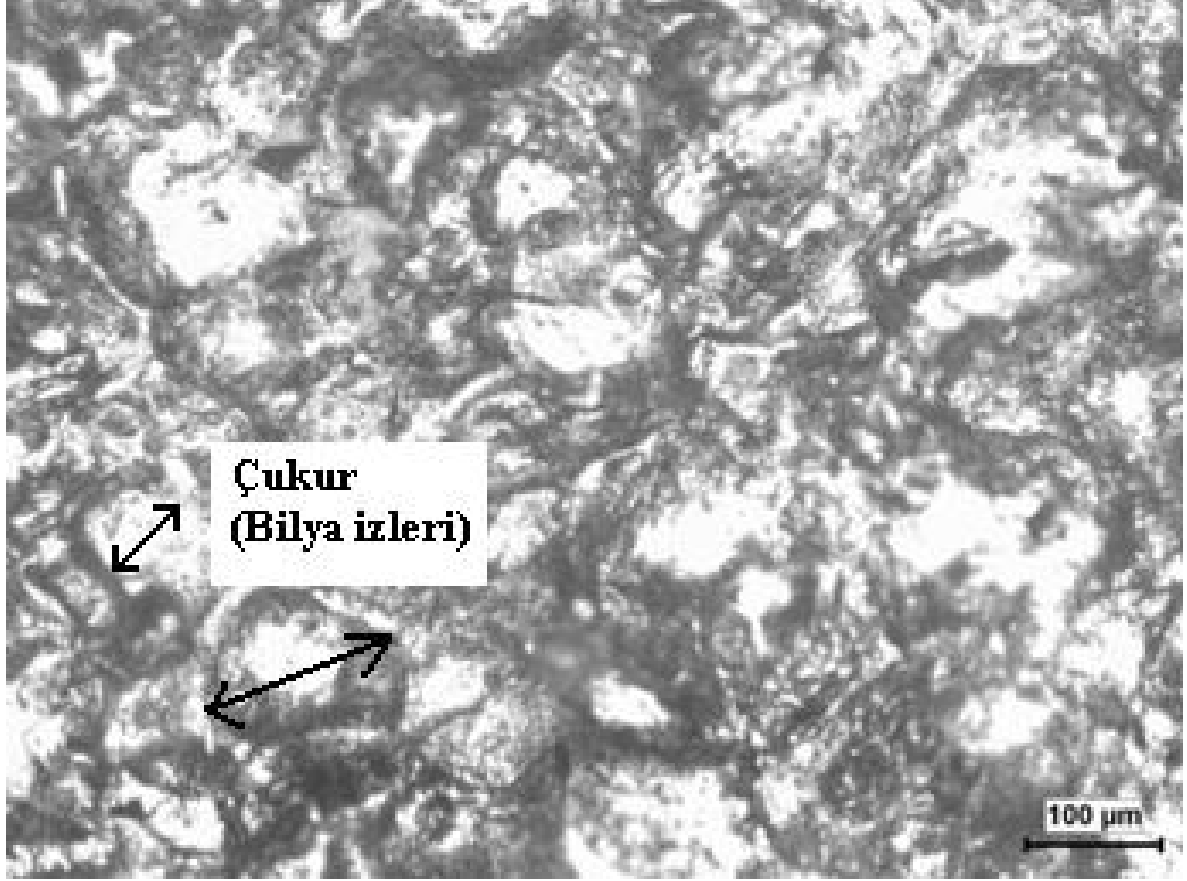
Ancak ticari saflıkta titanyum numunede ADŞ’nin düşmesi ile birlikte sertlik düşüşleri de belirlenmiş, özellikle C4-6 ve A30-32 ADŞ arasında sertlik düşüşleri devam etmiştir. Bu durum AISI 1017 düşük karbonlu çelikte sertliğin yüksek olduğu 50 µm lik tabakadan sonra da plastik deformasyon sonucu pekleşmenin etkili olmasından dolayı sertlik değerleri aynı ölçülürken ticari saflıkta titanyum numune de ise bu bölgelerde pekleşmenin yetersiz olduğu görülmektedir.



Şekil 4.17 Bilyalı dövülmüş ticari saflıkta titanyum ve AISI 1017 çelik numunelerinin Almen şiddeti ve Vickers yüzey sertlikleri arasındaki ilişki.

4.2 METALOGRAFİK İNCELEME SONUÇLARI

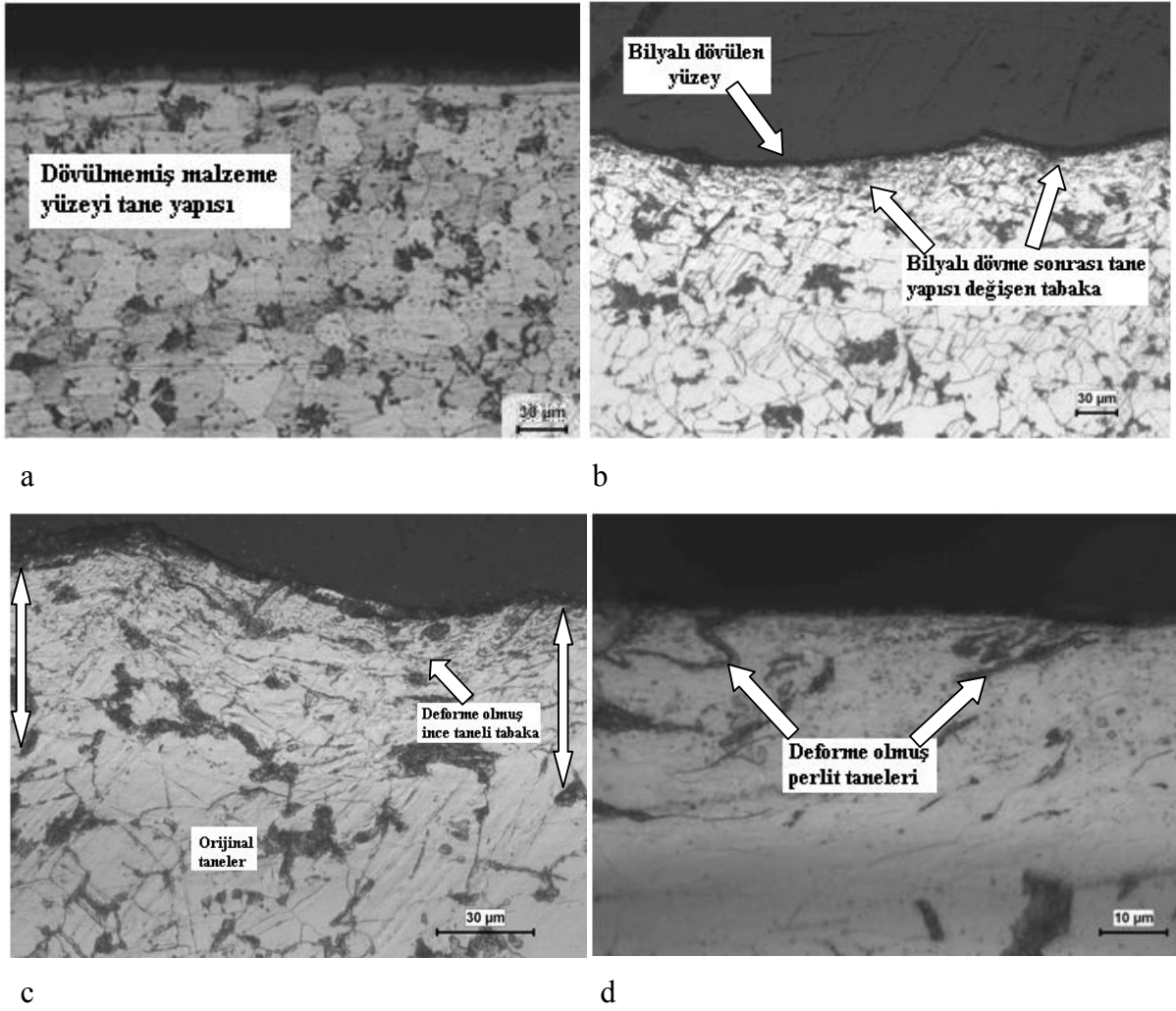
Belirlenen farklı aşırı bilyalı dövme şartlarında dövülen AISI 1017 düşük karbonlu çelik numunelerinin yüzeyinde ve yüzeye yakın bölgelerde içyapı değişimleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.18 A34-36 şiddetinde dövülmüş AISI 1017 çelik numunenin dövülen yüzeyinin yüzey topoğrafyasını göstermektedir. Şekil 4.19 A28-30 ADŞ'de dövülmüş çelik numunenin optik mikroskop görüntülerini göstermektedir. Bilyalı dövülen düşük karbonlu çelik malzemenin yüzeyinde bilyaların çarpması sonucu çukur ve tümsek yapılar oluşmaktadır. Bu yapılar Şekil 4.18'de gösterilmektedir. Dövülen yüzeye dik kesitte inceleme yapılarak, yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde meydana gelen değişiklikler incelenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.18 AISI 1017 çeliğin A28-30 ADŞ'de bilyalı dövme sonucu yüzeyde oluşan çukur ve tümsekler.

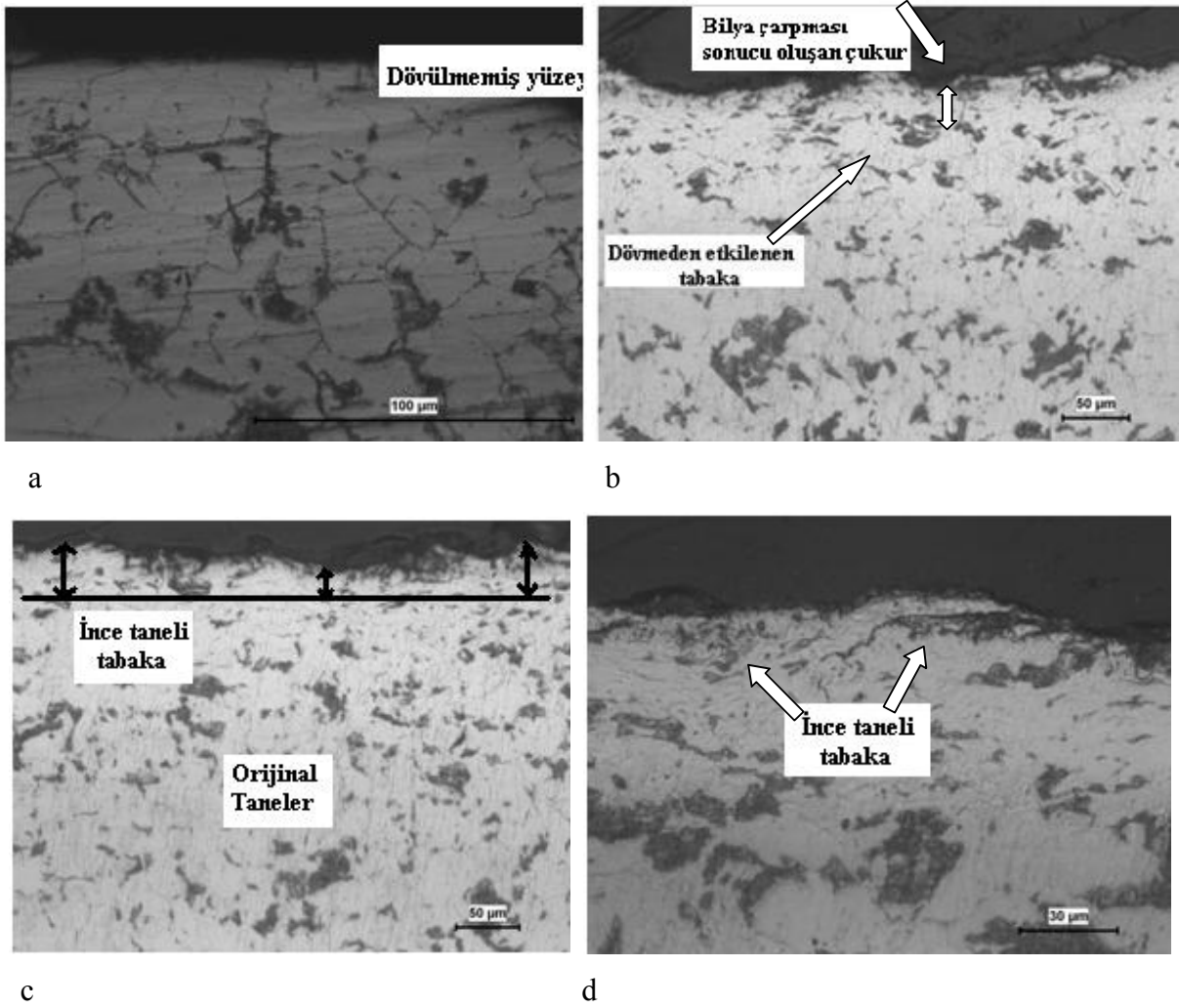
Şekil 4.19'da A28-30 ADŞ'de S110 ve % 100 doyum oranında dövülmüş çelik numunenin kesitinden alınmış optik mikroskop görüntüleri gösterilmektedir. Yüzeyden yaklaşık 30 µm derinliğe kadar olan tabakada tanelerin iç kısımdaki orijinal tanelerden daha farklı bir yapıda olduğu ve tanelerin plastik deformasyona maruz kalmasından dolayı tane sınırlarının kaybolduğu ve normal yapının değiştiği gözlemlenmiştir.

Şekil 4.19a'da dövülmemiş malzeme yüzeyinde hem plastik deformasyona maruz kalınmadığından hem de yüzey bölgesinde bilya çarpmasından dolayı belirli çukur ve tümseklerin varlığı söz konusu olmadığından yüzey ve hemen altındaki tanelerin yapısı iç kısımdaki orijinal taneler ile aynı görünümündedir. Malzeme yüzeyinde aşırı plastik deformasyon sonucu ince taneli yapıların varlığı ve deforme olmuş taneler farklı büyütme oranlarında gösterilmiştir (Şekil 4.19b,c,d). Yüzey ve yüzeyin hemen altında oluşan ince taneli tabaka kalınlığı 30 µm'dir.



Şekil 4.19 A28-30 ADŞ’de dövülmüş düşük karbonlu çelik numunelerin iç yapı görüntüleri a) Dövülmemiş malzemenin yüzey ve iç kısımlardaki tane yapıları b)28-30A şiddetinde dövülen malzemenin yüzey bölgesinde tane yapılarının değişimi ve iç kısımlardaki orijinal taneler c) Deforme olmuş ince taneli tabaka ve iç kısımlardaki orijinal taneler d) Yüzey bölgesinde ince taneli tabakada deforme olmuş yeni perlit taneleri.

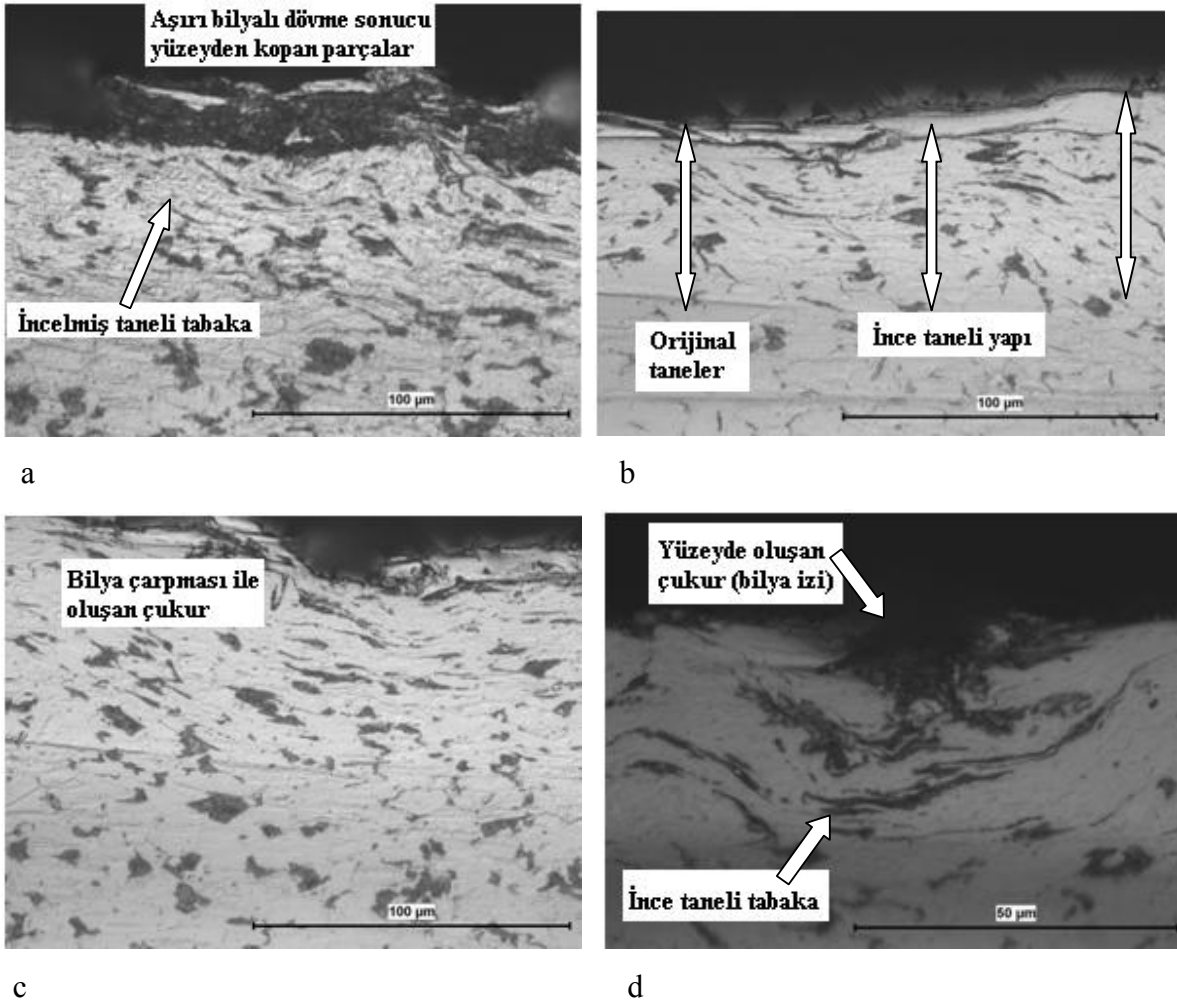
Şekil 4.20 A24-26 ADŞ’de dövülmüş çelik numunenin enine kesit bölgesinden alınan optik mikroskop görüntülerini göstermektedir. Bu çalışmada belirlenen en düşük Almen dövme şiddeti A24-26’dır. İnce taneli tabaka kalınlığı yaklaşık 25-30 μm mertebesinde. Şekil 4.20a’da dövülmemiş numunenin tane yapıları gösterilmektedir. Yüzey bakalit sınırında kalan tanelerin boyutları iç kısımlardaki tanelerin boyutları ile hemen hemen aynı olmakla birlikte bir homojen yapı göstermektedir. Fakat Şekil 4.20b’de yüzeyin hemen altında 30 μm lik ince bir tabakada deformasyonun etkisini ve iç kısımlara göre homojen olmayan yeni tane yapılarının varlığı dikkat çekmektedir.



Şekil 4.20 A24-26 ADŞ’de dövülmüş düşük karbonlu çelik numunelerin iç yapı görüntüleri a) Dövülmemiş yüzey b) A24-26 ADŞ ile bilyaların yüzeye çarpması sonucu oluşan çukurlar ve dövmeden etkilenen ince taneli tabaka c,d) İnce taneli tabakada tanelerin deformasyon sonucu kırılması sonucu yeni tane yapıları ve iç kısımlarda orijinal taneler.

Şekil 4.21’de A32-34 ADŞ’de şiddetinde S110 bilya ve % 200 doyum oranı ile dövülen çelik malzemeden numunenin enine kesitinden alınan optik mikroskop görüntülerini göstermektedir. Dövme şiddetinin artmasıyla, yüzeyde meydana gelen plastik deformasyonun miktarına bağlı olarak tane yapılarında ve yüzey bölgesindeki değişim gösterilmektedir. A32-34 ADŞ’de dövülmüş numunede plastik deformasyon miktarının artışına paralel olarak yüzeyde kopan parçalar, aşırı deforme olmuş bölgeler, hatta yer yer çatlakların varlığına rastlanılmıştır. Bu durum Şekil 4.21a’da gösterilmiştir. Oluşan ince taneli tabaka kalınlığı 45-50 µm mertebesindedir. Önceki dövme şiddetlerinden farklı olarak bu dövme şiddetinde yüzeye yakın bölgelerde olan tanelerin daha fazla deforme olduğu gözlemlenmiştir. Bilyanın

yüzeyle çarpması sonucu oluşturduğu plastik deformasyon etkisi çukurun etrafında var olan deformasyon ve kırılma sonucu oluşan yeni tanelerde görülmektedir.



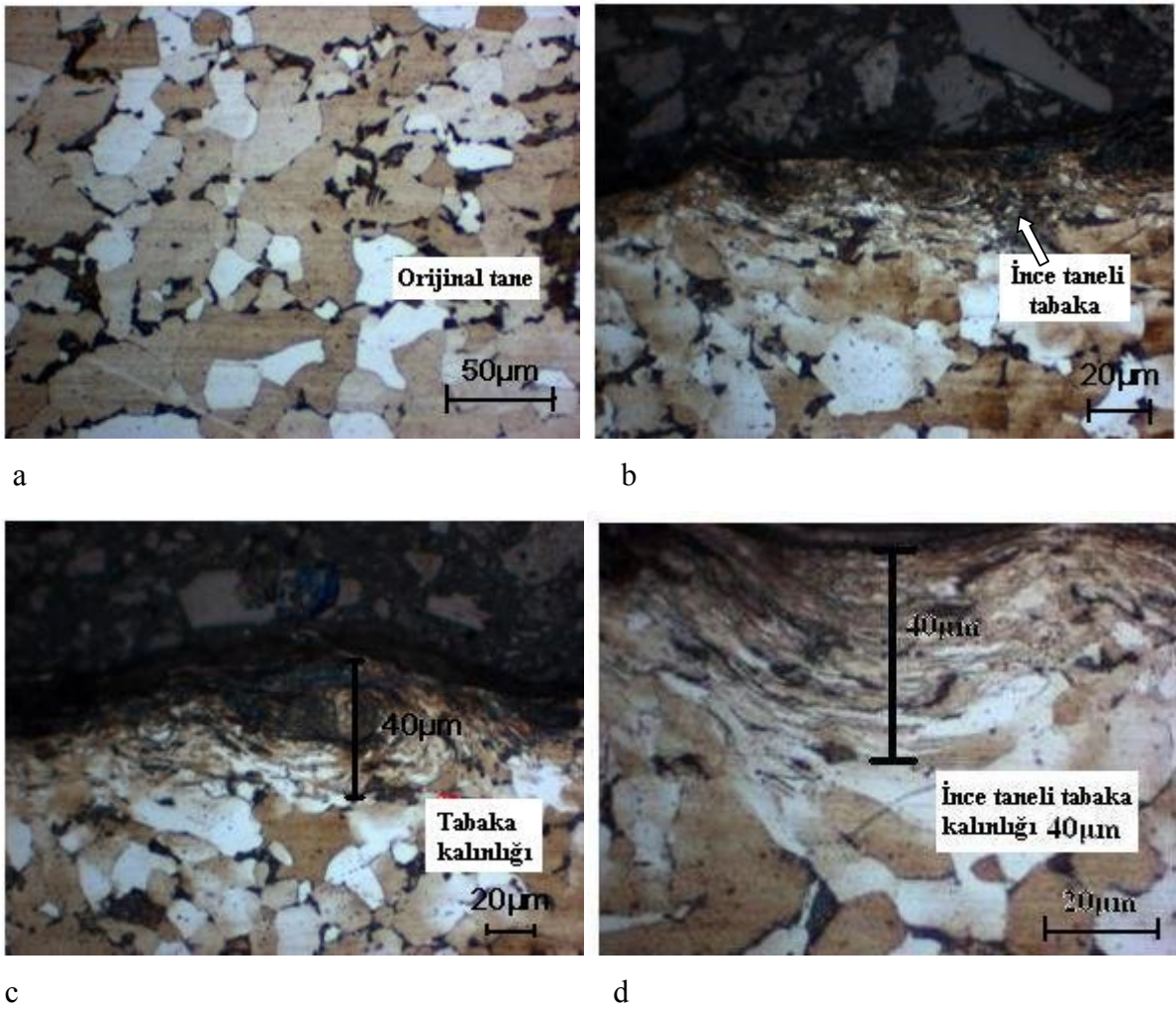
Şekil 4.21 A32-34 ADŞ’de dövülmüş düşük karbonlu çelik numunelerin iç yapı görüntüleri a) A32-34 ADŞ sonrası yüzey bölgesinden kopan metal parçaları b) Aşırı plastik deformasyonun artışı ile orijinal tane sınırlarının ortadan kalkması c) Bilyalı dövme sonucu yüzeyde oluşan derin çukur d) Dövme sonrası oluşan çukur ve çevresinde plastik deformasyon sonucu yeni tane oluşumu.

Şekil 4.22 A34-36 ADŞ’de, S230 bilya ve % 200 doyurma oranı ile dövülmüş çelik numunenin yüzey ve yüzey bölgesinin hemen altındaki bölgelerden alınmış farklı büyütmelelerdeki optik mikroskop görüntülerini ve iç kısımlardaki orijinal taneleri göstermektedir. Bilyalı dövme şiddetinin artması ile beraber ince taneli tabakanın yoğunluğu arttığı gözlemlenmektedir. A34-36 ADŞ’de ince taneli tabakanın kalınlığı yaklaşık 50 µm dir.

Bu çalışmada, en düşük ADŞ olarak belirlenen 24-26A’da ince taneli tabakanın varlığı 25 ile 30 µm arasında değişirken A30-32 ADŞ’de 30 µm mertebesindedir. Bu durum Şekil 4.11’de söz konusu ADŞ’de uygulanan numunelerde ölçülen sertlik değerleri ile uyumaktadır.

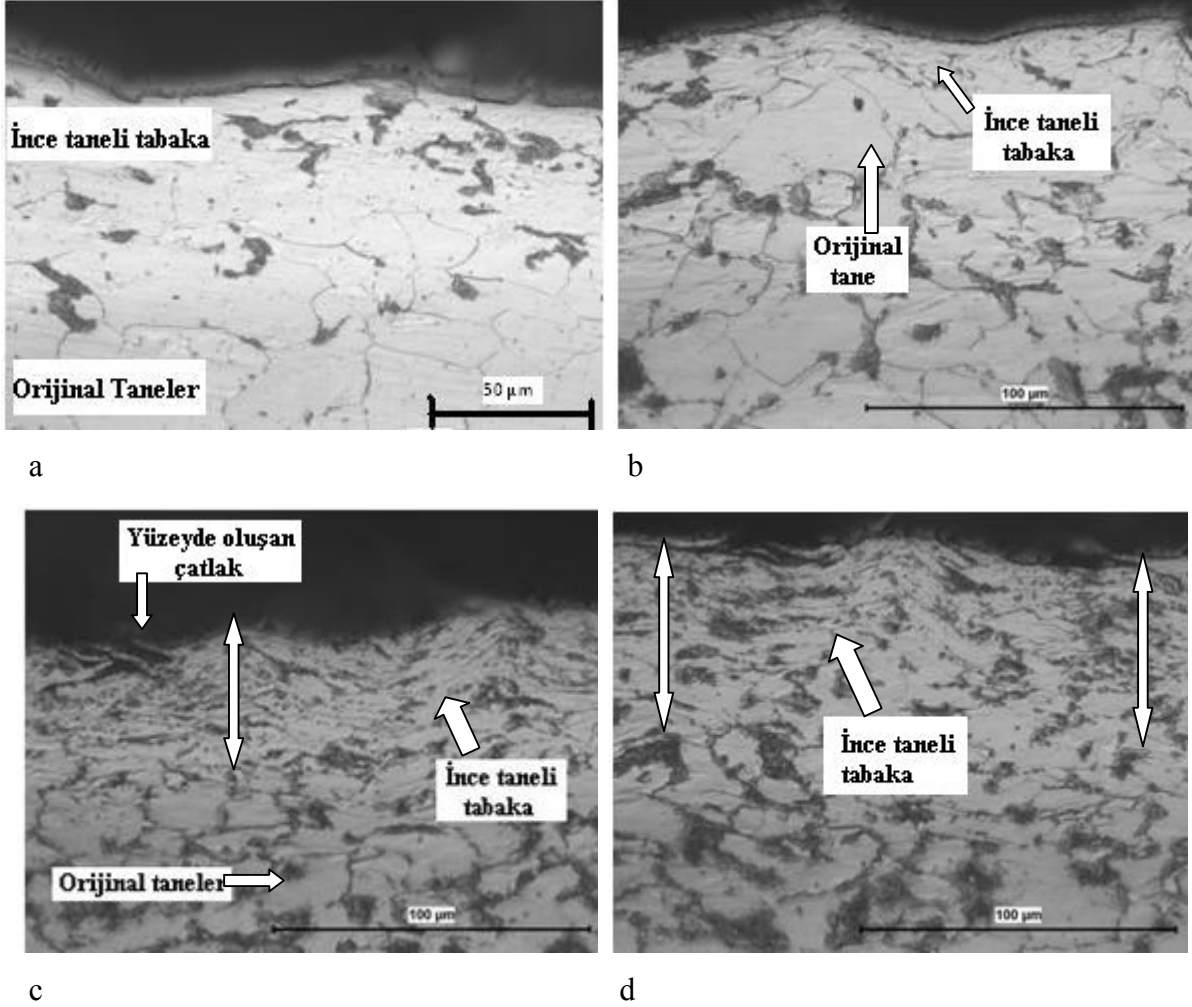
A34-36 ADŞ ile dövülmüş numunenin sertliği yüzeyden sonra 50 µm ye kadar azalmadan sabit bir şekilde devam ederken A30-32 ADŞ'de 30 µm den sonra sertlik değerinde ciddi bir düşüş gözlemlenmektedir.

Şekil 4.22d'de orijinal tanelerin aşırı plastik deformasyon sonucu alt tanelerinin oluşması sonrasında alt tanelerin yeni tane sınırlarına dönüşerek yeni taneleri oluşturması ile yeni tanelerin daha yoğun ve etkili olduğu belirlenmiştir. Yoğunluk ve etkinin artması sertlik ve dayanım artışına sebep olmaktadır. Şekil 4.11'de A34-36 ve A30-32 ADŞ sonrası oluşan ince taneli tabakada ölçülen sertlik farkları da bu durumu destekleyici niteliktedir.



Şekil 4.22 A34-36 ADŞ'de dövülmüş düşük karbonlu çelik numunelerin iç yapı görüntüleri a) İç kısımlarda orijinal taneli yapı b) A34-36 ADŞ ile dövülen malzemede yüzeyin hemen altında ince taneli tabaka varlığı c,d) plastik deformasyon sonucu oluşan ince taneli tabakalar.

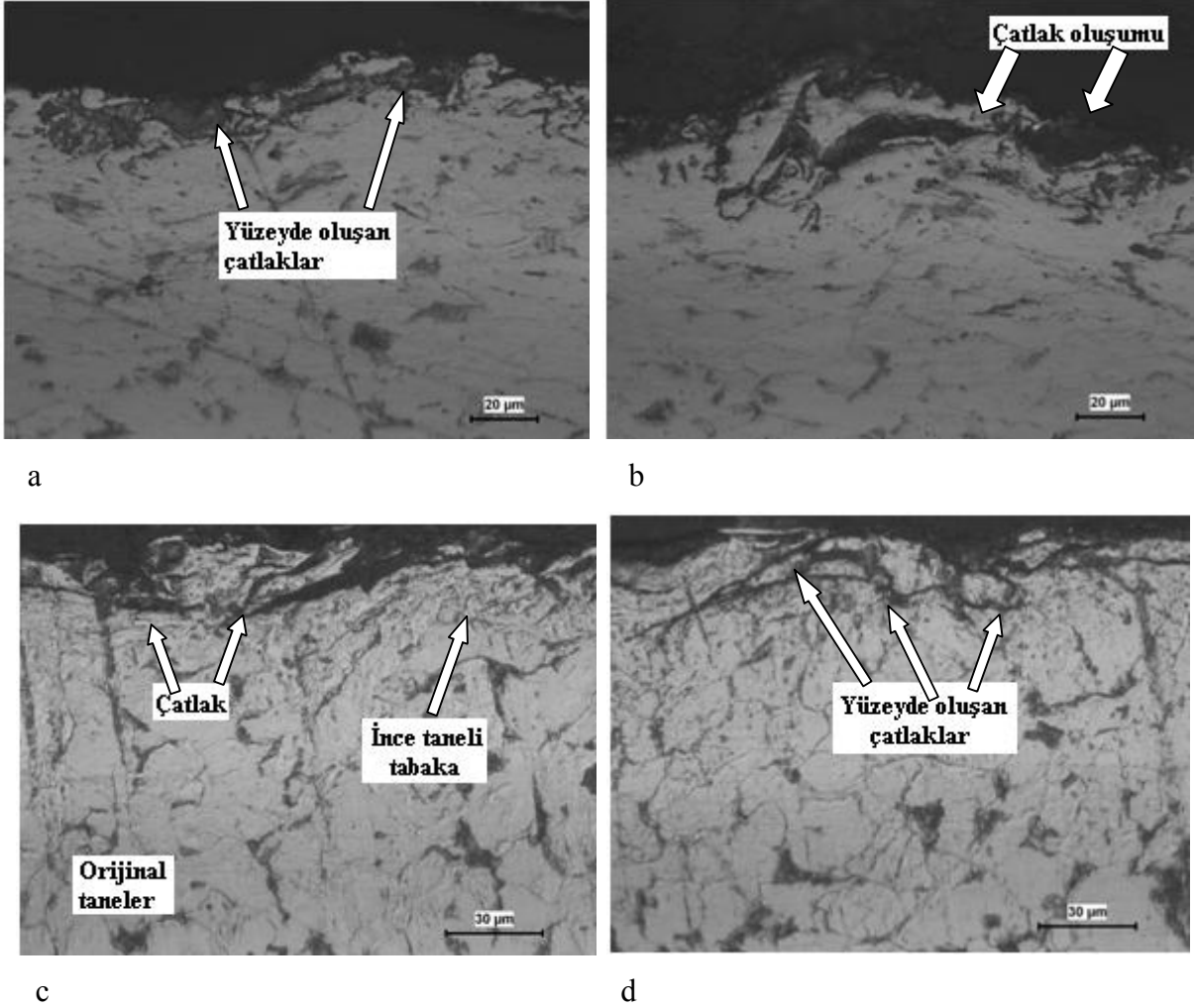
Şekil 4.23'te C4-6 ADŞ'de S110 bilya ve % 100 doyum oranı ile dövülmüş çelik numunenin optik mikroskoptaki görüntülerinde ince yüzey ve yüzeyin hemen altındaki ince taneli tabaka ve iç kısımlardaki orijinal taneler gösterilmektedir.



Şekil 4.23 C4-6 ADŞ'de dövülmüş düşük karbonlu çelik numunelerin içyapı görüntüleri a,b) Dövme sonrası oluşan ince taneli tabakalar ve iç kısımlardaki orijinal taneler c,d) C4-6 Almen şiddeti ve %200 doyum oranında dövülen malzemenin ince taneli yapıları.

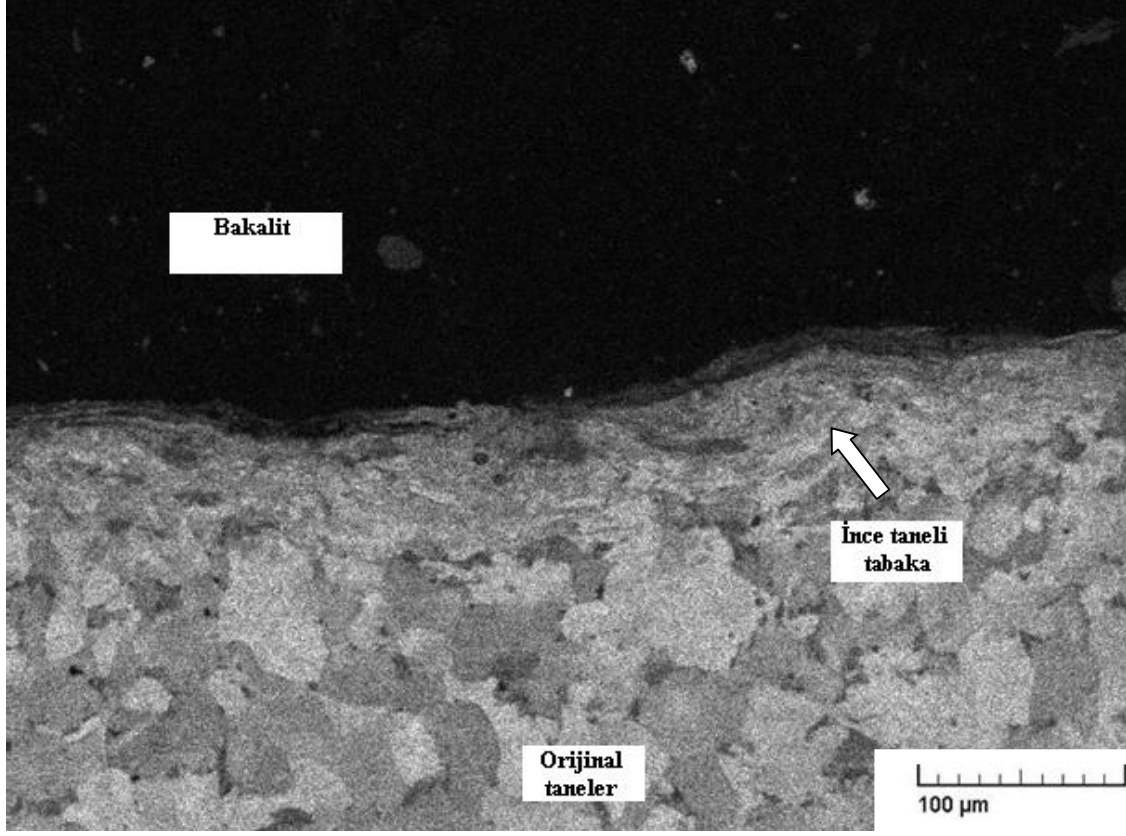
Şekil 4.24 C8-10 ADŞ'de S230 ve % 200 doyum oranı ile dövülen çelik malzemenin yüzeyinde oluşan çatlak yapılarını göstermektedir. Çatlak bölge çevresinde plastik deformasyon sonucu oluşan, homojen olmayan uzamış ince taneli yapıların varlığı dikkat çekmektedir. C4-6 ADŞ ile birlikte hem yüzey veya yüzeyin altında aşırı bir plastik deformasyon hem de yüzeyin çoğu bölgesinde çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Çatlak oluşumunun nedeni malzemenin plastik deformasyona uğraması için gerekli kritik kayma gerilmesinden daha yüksek gerilmeler uygulayıp malzemeyi plastik deformasyona uğratmadan ayrılma kırılması gerilme değerini de aşarak hasar oluşturma diye açıklanabilir.

Önceki dövme şartlarında olduğu gibi çukur, çatlak gibi istenmeyen bölgelerin etrafında yığılmış, yoğun, uzamış ince taneli yapıların varlığı belirlenmiştir.

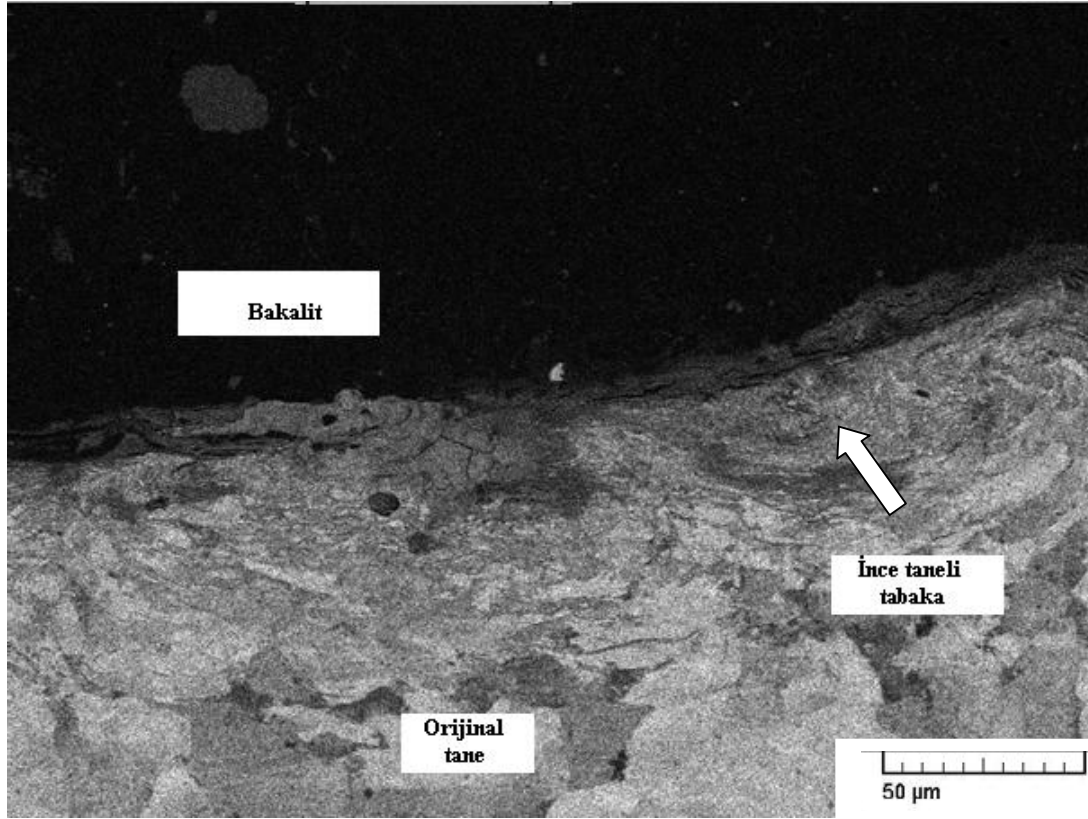


Şekil 4.24 C8-10 ADŞ'de dövülmüş düşük karbonlu çelik numunelerin iç yapı görüntüleri a,b) C8-10 Almen şiddetinde dövülmüş numunenin yüzeyinde meydana gelen çatlaklar c,d) Oluşan çatlakların çevresinde ince taneli tabakalar.

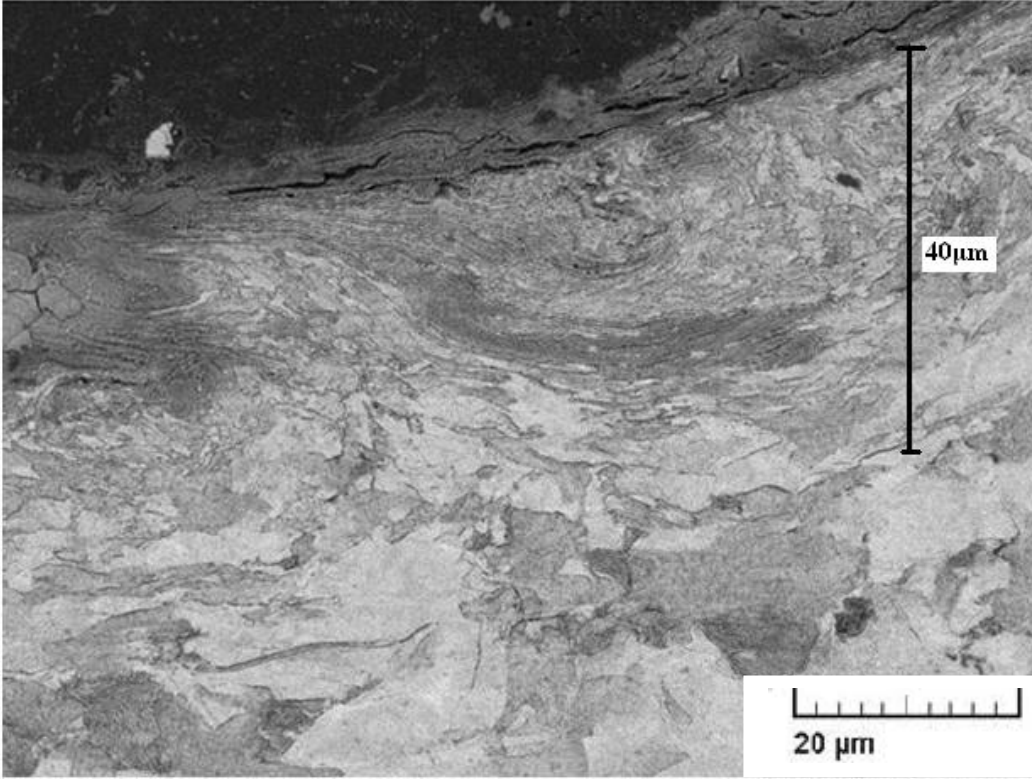
Şekil 4.25a'da A34-36 ADŞ'de, S230 ve % 200 doyurma oranı ile dövülen düşük karbonlu çelik numunenin 500X, Şekil 4.25b'de 1000X ve Şekil 4.25c'de 2000X, Şekil 4.25d'de 4000X büyütme SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüsünü göstermektedir. Taramalı elektron mikroskobu ile alınan görüntülerin düşük büyütme oranlarından başlanılmasının nedeni aşırı bilyalı dövmenin dolayısıyla aşırı plastik deformasyon sonucu malzeme yüzeyinde ve yüzeyinin hemen altında ince taneli tabakanın varlığını tam olarak belirlemektir.



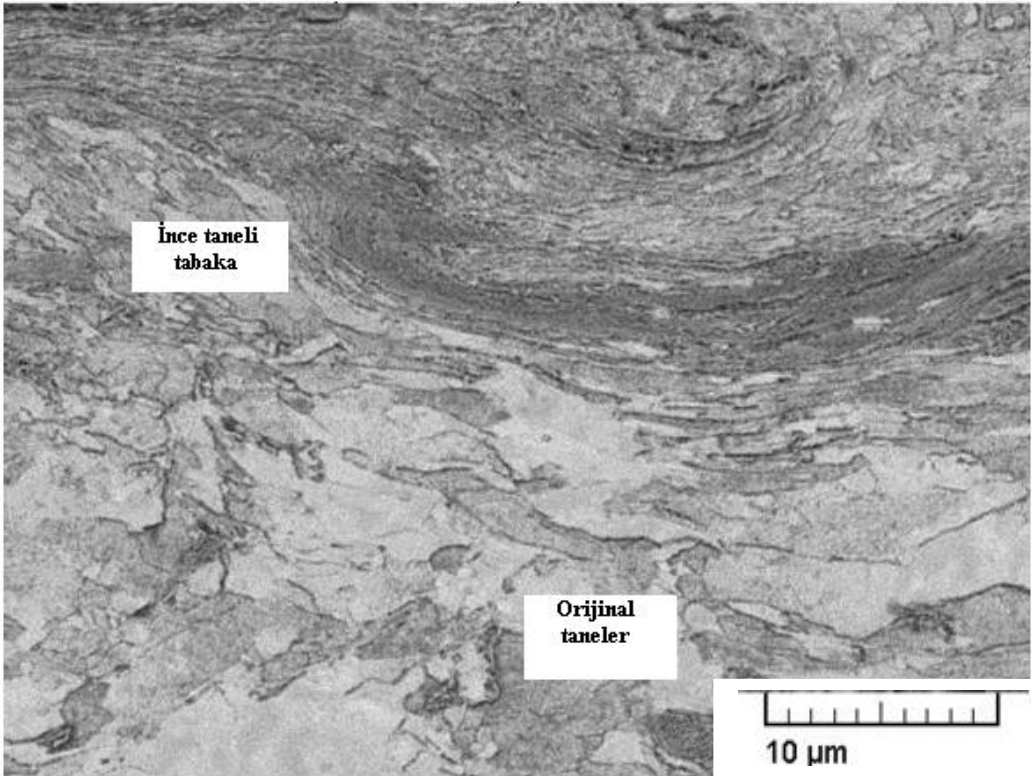
a) A34-36 ADŞ'de dövülmüş numunenin 500X SEM görüntüsü.



b) A34-36 ADŞ'de dövülmüş numunenin 1000X SEM görüntüsü.



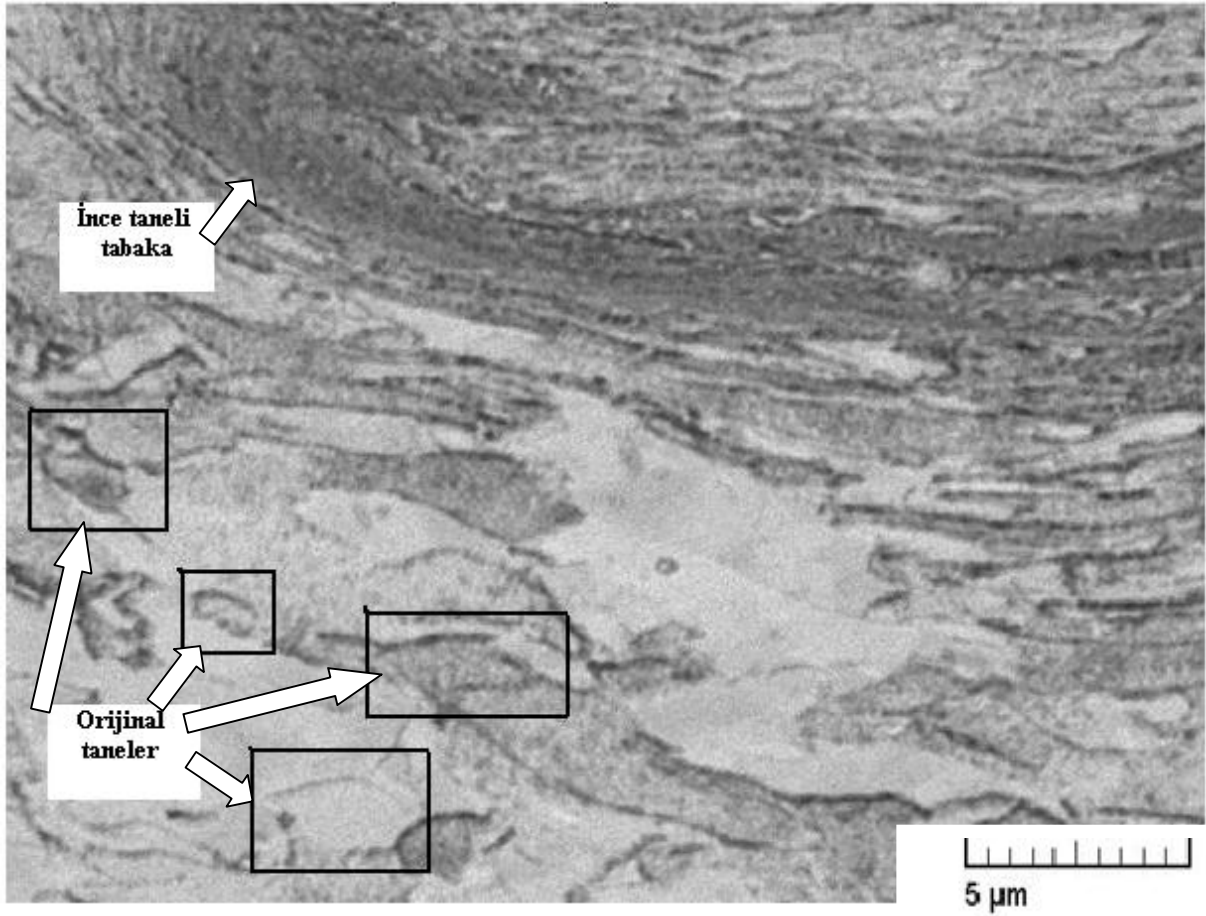
c) A34-36 ADŞ'de dövülmüş numunenin 2000X SEM görüntüsü.



d) A34-36 ADŞ'de dövülmüş numunenin 4000X SEM görüntüsü.

Şekil 4.25 A34-36 ADŞ'de dövülen düşük karbonlu çelik numunesinin kesitinden alınan SEM görüntüleri.

Şekil 4.26 A34-36 ADŞ'de dövülmüş malzemenin yüzey bölgesinin hemen altında plastik deformasyon sonucu oluşan ince taneleri göstermektedir. Belirtilen taneler aşırı ince taneler olup her birinin boyutu bir kaç mikron mertebesindedir. Uzamış taneler olarak görülebilen tabakanın ise tanelerinin sınırları dolayısıyla boyutları ancak çok daha fazla büyütmelerde mümkün olabilmektedir. Ancak bu fotoğrafta aşırı bilyalı dövme dolayısıyla aşırı plastik deformasyon sonucu yüzey veya yüzeyin hemen altında nanometre mertebesinde tanelerden oluşan tabakanın varlığı görülmektedir.

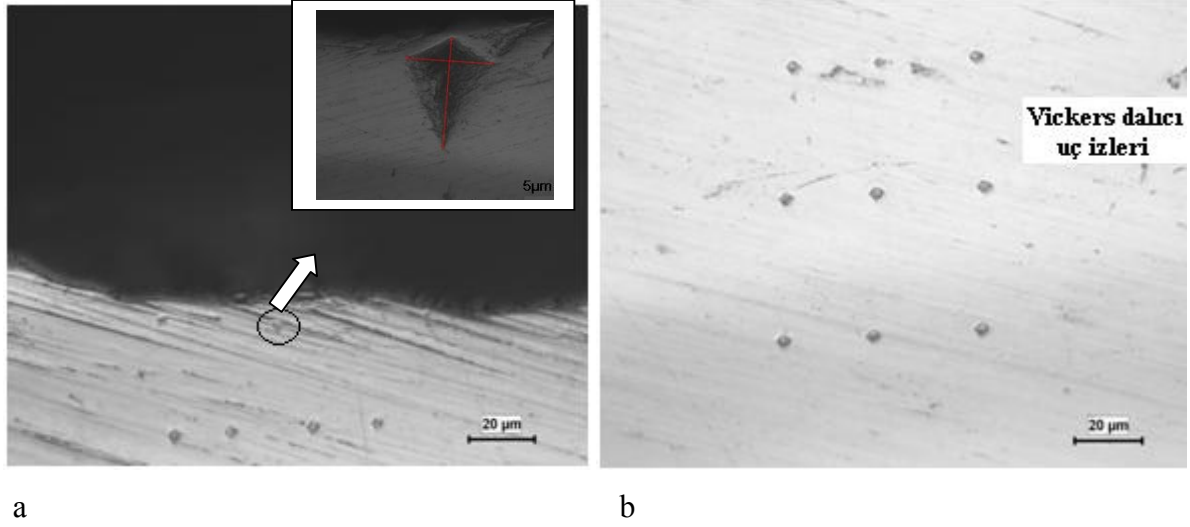


Şekil 4.26 A34-36 ADŞ'de dövülen malzemenin yüzeyinde aşırı ince taneli tabaka ve nano mertebesinde tanelerin oluşumu (12kX).

Şekil 4.27a'da düşük karbonlu çelik üzerinde yüzey ve yüzey sonrası 20 µm aralıklarla, yüzeye her bir mesafede üç sertlik ölçümünün yapılması ile oluşan sertlik izlerini göstermektedir. İç kısımlara doğru gidildikçe Vickers dalıcı ucun köşegen uzunlukları hemen hemen eşit değerlere sahip iken yüzeyde alınan bazı sertlik izlerinde dikey köşegenin, yatay köşegenle karşılaştırıldığında neredeyse iki katı olduğu görülür. Bunun nedeni, sertlik ölçümü yapılan bölgenin tam olarak ince taneli tabaka ile orijinal tanelerin geçiş bölgesi olmasından kaynaklanır. Yüzeyden her bir uzaklıkta üç farklı sertlik ölçümünün yapılması bu şekilde

geçiş bölgesine denk gelen sertlik ölçümlerinin dikkate alınmamasını sağlamıştır. Geçiş bölgesine karşılık gelen sertlik değerleri yaklaşık olarak iç bölgelerin sertlikleri ile eşdeğerdedir.

Şekil 4.27b’de ise iç kısımlarda yüzeyden her bir uzaklıkta ölçülen sertlik sonucu oluşan dalıncı uç izlerini göstermektedir. Yüzeyden uzaklaştıkça köşegenlerin uzunlukları ve sertlik izlerinin iz düşüm alanları birbirlerine yaklaşmaktadır.



Şekil 4.27 a) Yüzeyde ince taneli tabaka ve orijinal taneli yapıya geçiş bölgesinden alınan sertlik izi b) İç kısımlarda alınan sertlik ölçümleri sonucu oluşan sertlik izleri.

BÖLÜM 5

SONUÇ

Bu çalışmada, AISI 1017 düşük karbonlu çelik ve ticari saflıkta titanyum malzemelere uygulanan aşırı bilyalı dövme işlemi sonucu yüzey veya yüzeye yakın bölgelerde tane boyutu ve sertlik değişimi araştırılmıştır. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

AISI 1017 düşük karbonlu çelik numunenin en yüksek dövme şartı olan C8-10 ADŞ'de bilyalı dövme sonucu yüzeyde ölçülen Vickers sertliği değeri yaklaşık 12 GPa mertebelerindedir. Dövülmemiş numuneden alınan sertlik değeri 5.5 GPa olup yüzey sertliği değerinde elde edilen artış % 100 ün üzerindedir. Sertlik değerinde elde edilen bu artış bir anlamda düşük karbonlu çelik numunesinin plastik deforme edilebilme kabiliyetinin iyi olduğunu göstermektedir.

Aşırı bilyalı dövme sonrası kesit bölgeden alınan sertlik değerlerinde yüzeyden itibaren iç kısımlara doğru gidildikçe bilyalı dövmenin etkisi azalarak sertlik düşüşü gerçekleşmektedir. Yaklaşık 200 µm mertebelerinden sonra kısmen bilyalı dövmenin etkisinin devam etmesi ile birlikte sertlik değerleri işlem görmemiş numunenin sertlik değerine oldukça yaklaşmaktadır.

Ticari saflıkta titanyum (Grade 2) numunenin en yüksek dövme şartı olan C8-10 ADŞ'de bilyalı dövme sonucu yüzeyde ölçülen Vickers sertliği değeri yaklaşık 9 GPa mertebelerindedir. Dövülmemiş numuneden alınan sertlik değeri 5.5 GPa olup yüzey sertliği değerinde elde edilen artış % 50 mertebelerindedir. Bunun nedeni düşük karbonlu çelik numunenin pekleşme üsteli 0.21 iken ticari saflıkta titanyum numunenin pekleşme üsteli maksimum 0.1 mertebelerindedir. Dolayısıyla düşük karbonlu çeliğin soğuk plastik deforme edilebilme kabiliyeti ticari saflıkta titanyumdan daha iyi seviyededir.

C8-10 ADŞ'de aynı doyum oranında farklı bilya ile dövülmüş iki farklı numune için bilya çapı büyük olan numunenin yüzey bölgesinde ölçülen sertlik değerleri daha yüksektir. Ancak A30-32 ADŞ'de ise bir malzeme için S230 ve %200 diğeri için S110 ve %100 bilyalı dövme şartları uygulanmış olup S110 ve %100 dövme şartları olan malzemenin sertlik değerleri

diğerine oranla daha yüksek çıkmıştır. Bunun sonucunda ise bilyalı dövme işleminin sonrası mekanik özelliklerin belirlenmesinde sadece Almen dövme şiddeti, doyurma oranı ve bilya çapı değil, dövme süresi, hava basıncı gibi çok önemli iki parametre dikkate alınmalıdır.

Düşük karbonlu çelik ve ticari saflıkta titanyum için Almen dövme şiddeti azaldıkça yüzey sertlik değerlerinde de azalma gerçekleşmektedir. Almen dövme şiddeti azaldıkça malzemelerin yüzeyine uygulanan plastik deformasyon o oranda azalmaktadır.

Aşırı bilyalı dövme ile aşırı plastik deformasyon, yüzeyde ve yüzeyin hemen altındaki bölgelerde yaklaşık 50 µm lik bir tabakada tanelerin incelmeye neden olmaktadır. Optik ve SEM görüntülerinden elde edilen bu tabaka görüntülerinde iç kısımlardaki orijinal tanelerden farklı olarak uzamış ve deforme olmuş tanelerin varlığına rastlanılmıştır.

Özellikle C4-6 ADŞ ve daha ağır bilyalı dövme şartlarında aşırı plastik deformasyonla birlikte oluşan ince taneli tabakaların yanı sıra yüzeyde çok sayıda çatlak oluşumuna rastlanılmıştır.

SEM'de (Taramalı Elektron Mikroskopu) yüksek büyütmede alınan görüntülerde ince tanelere (birkaç mikron seviyesi) ve mikron altı boyutta aşırı ince tane yapılarının varlığına rastlanılmıştır.

KAYNAKLAR

- Askerov H, Aslanov T I, Ahmedov R H** (2007) *Metallerin Mekanik Özellikleri ve Sertleştirilmesi* 1.baskı BAKÜ 150 s.
- Bagherifard S** (2009) Effects of surfaces nanocrystallization induced by shot peening on material properties. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 7: 3-16.
- Bagherifard S, Guagliano M** (2009) Effects of surfaces nanocrystallization induced by shot peening on material properties. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 7: 3-16.
- Bagherifard S, Pariente I F, Ghelichi R, Guagliano M** (2010) Fatigue properties of nanocrystallized surfaces obtained by high energy shot peening. *Procedia Engineering*, 10: 1683–1690.
- Başaran A** (2007) Toz Metal Parçalara Isıl ve Mekanik Yüzey İşlemlerinin Birlikte Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 173 s.
- Bek N** (2009) Peening Uygulamaları. *Yüzey İşlem Kumlama Dergisi* 7: 26-28.
- Champaigne J** (2001) Shot Peening Overview, <http://www.shotpeener.com/learning/spo.pdf> (12.03.2011)
- Child D J, West G D, Thomson R C** (2011) Assessment of surface hardening effects from shot peening on a Ni-based alloy using electron backscatter diffraction techniques. *Acta materialia*, 59(12): 4825-4834.
- Everett R A** (2001) The effects of shot and laser peening on fatigue life and crack growth in 2024 aluminum alloy and 4340 steel. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=67EE4AD28D9184D2F5B53227D684345E?doi=10.1.1.9.665&rep=rep1&type=pdf> (13.04.2010).
- Giannakopoulos A E, Suresh S** (1999). Determination of elastoplastic properties by instrumented sharp indentation. *Scripta Materialia*, 40: 1191-1198.
- Güleç Ş, Aran A** (1993) *Malzeme Bilgisi Çeviri* İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi 2.basım 190 s.
- Hill M R** (2003) Laser Peening Technology. *Advance Material. Processes*, <http://www.metalimprovement.com/PDFDOCS/MICLaserPeeningArticle.pdf> (15.01.2011).
- Kalpakistan S, Schmid R** (2006) *Modern Manufacturing and Technology* 5th edition Pearson Education Incorporation, 1295.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kostilnik T** (1994) *Shot Peening*. Metals Handbook Tenth Edition, 5: 126-135.
- Kysar J W** (2008) Microscale Laser Shock Processing of Metals Characterization of lattice rotation fields and measurement of induced residual stresses. <http://www.mrl.columbia.edu/iucrc/Kysar.pdf> (24.02.2011).
- Lieurade H P, Bignonnet A** (1987) Fundamental aspects of the effect of shot peening on the fatigue strength of metallic parts and structures. *Shot Peening, Proceedings International Conference on Shot Peening* 343–359.
- Liu G, Wang S C, Lou X F, Lu J, Lu K** (2001) Low carbon steel with nanostructured surface layer induced by high-energy shot peening. *Scripta Materiala*, 44: 1791-1795.
- Mattson R L, Roberts J G** (1959) The effect of residual stresses induced by strain peening upon fatigue strength. *Symposium internal stresses and fatigue in metals*, 338–357.
- Oliver W C, Pharra G M** (2004) Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology. *Journal of Material Research* 19(1): 3-20.
- Potter J M, Millard R A** (1976) The effect of temperature and load cycling on the relaxation of residual stresses. *Advances in X-Ray Analysis* 8: 309–320.
- Ramati S** (1999) Single Piece Wing Skin Utilization Via Advanced Peen Forming Technology. <http://www.soton.ac.uk/~jps7/Aircraft%20Design%20Resources/manufacturing/shot%20peening.pdf> (01.01.2011).
- Robinson C G, Smart E** (1984) The use of specialised shot peening techniques an tapered leaf suspension springs for road vehicles, *Proceedings. International. Conference on Shot Peening 2*, 79–83.
- Savas S** (2010) Monitoring variation of surface residual stresses in the shot-peened steel components by magnetic barkhausen noise method. Yüksek Lisans Tezi ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 81 s.
- Schulze V** (2004) *Modern Mechanical Surface Treatments*, 1st edition, WILEY WCH, 368.
- Straub J C, May D** (1949) Stress Peening. *The Iron Age*, 21: 66–70.
- Tange A, Ando K** (2000) Study on the shot peening processes of coil spring. *Proceedings International Conference of Residual Stresses* 6: 897–904.
- Tao N R, Sui M L, Lu J, Lu K** (1999) Surface nanocrystallization of iron induced by ultrasonic shot peening. *NanoStructured Materials* 11(4): 433–440.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Todaka Y, Umemoto M, Tsuchiya K** (2005) Nanocrystallization in Carbon Steels by Various Severe Plastic Deformation Processes. *Reviews of Advanced Materials Science*, 10: 409-416.
- URL-1** (2010) http://www.iepco.cz/download/PM750S_Front_door_E.pdf Microblasting Equipment Peenmatic 750 S (28.10.2010).
- URL-2** (2010) <http://www.electronics-inc.com/products.html> Electronics-Inc Shot Peening Control (21.07.2010).
- URL-3** (2010), Shot Peening Media http://www.osk-kiefer.com/eng/Applications/Shot_peening_media_and_media_preparation.pdf
- URL-4** (2010) http://www.metalimprovement.com/laserpeening_residualstress.php (30.12.2010).
- URL-5** (2011) www.efunda.com, AISI 1017 low carbon steel and commercially pure titanium grade 2 (26.05.2011).
- Uzun O, Kölemen U, Celebi S, Güçlü N** (2005) Modulus and hardness evaluation of polycrystalline superconductors by dynamic microindentation technique. *Journal of European Ceramic Society*, 25: 969-977.
- Varol R** (1990) 2024 Alüminyum Alaşımının Yorulma Ömrü Üzerine Farklı Bilyalı Dövme İşlem Parametrelerinin Etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya 127s.
- Varol R** (1996) Malzeme Ders Notları (yayımlanmamış). 80s.
- Varol R** (2009) Metal İmalat Sanayisinde Modern Yöntemler Ve Mekanik Yüzey İşlemleri Uygulaması.
- Varol R ve Sarıtaş S** (1996) Bilyalı Dövme İşleminin Demir Esaslı T/M Parçaların Yorulma Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması. *Bildiri kitabı, İnci Ulusal T/M Konferansı*, 407-417.
- Wang Z B, Tao N R, Li S, Wang W, Liu G, Lu J, Lu K** (2003) Effect of surface nanocrystallization on friction and wear properties in low carbon steel. *Materials Science and Engineering A*, 352: 144-149.
- Wick A, Schulze V, Vohringer O** (2000) Effects of stress- and/or warm peening of AISI 4140 on fatigue life. *Steel Research*, 71: 316-321.
- Zou S, Cao Z, Zhao Y, Qian M** (2008) Laser peening of aluminum alloy 7050 with fastener holes. *Chinese Optics Letters*, 6: 116-119.
- Zrnik J, Dobatkin S V, Mamuzi I** (2008) Processing of metals by severe plastic deformation (Spd). *Structure And Mechanical Properties Respond*, 47(3): 211-216.

ÖZGEÇMİŞ

Okan ÜNAL 1986 yılında Karabük'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2004 yılında Karabük 75. Yıl Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 2009 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl içinde Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen bu görevini sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü Ağdacı Köyü
74100 BARTIN

Tel: (378) 223 53 58

Faks: (378) 223 52 58

E-posta: ounal@bartin.edu.tr
unalokan78@gmail.com