İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZİNCİR ÇELİKLERİNİN SOĞUK ÇEKME ORANINA BAĞLI OLARAK DEFORMASYON DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Güler DÖNMEZ

Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Programı : MALZEME

MAYIS 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZİNCİR ÇELİKLERİNİN SOĞUK ÇEKME ORANINA BAĞLI OLARAK DEFORMASYON DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. Güler DÖNMEZ
(506001201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. E. Sabri KAYALI
Prof.Dr. Arif Nihat GÜLLÜOĞLU (M.Ü.)

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Tez çalışmamı yöneten Sn.Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU'na, emeği ve insanlığıyla çalışmam sırasında bana çok yardımcı olan Sn.Araş.Gör.Yük. Müh. Mehmet Ali AKOY'a, değerli fikirleri için Sn.Araş.Gör.Yük.Müh. Murat BAYDOĞAN'a, dostluklarıyla destek olan Müh.Gürhan ÖZDABAK'a ve Müh.Ergin DOĞAN' a ve hayatımın her döneminde yanımda olan en iyi arkadaşım annem Güllü DÖNMEZ'e teşekkür ederim.

Mayıs 2003 **Güler DÖNMEZ**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii
İÇİNDEKİLER iii
KISALTMALAR v
TABLO LİSTESİ vı
ŞEKİL LİSTESİ vıı
SEMBOL LİSTESİ vıı
ÖZET ıx
SUMMARY x

1. GİRİŞ 1

2. ZİNCİR ÇELİKLERİ 2
2.1.Zincir Türleri 2
2.1.1. Yuvarlak baklalı zincirler 2
2.1.2. Gall zincirleri 2
2.2. Yuvarlak Baklalı Zincir Üretimi 3

3. PLASTİK DEFORMASYONUN ESASLARI 4
3.1.Giriş 4
3.2.Plastik Deformasyonda Mekanik Özellikler 5
3.3. Plastik Deformasyonda Sıcaklık 7
3.3.1. Sıcak işlem 7
3.3.2. Soğuk işlem 8

4. TEL ve ÇUBUK ÇEKME 11
4.1. Çubuk ve Tellerde Kalıntı Gerilmeler 12
4.2. Sertlik Testlerinden Kalıntı Gerilmenin Hesaplanması 12

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 16
5.1. Kullanılan Malzemeler 16
5.2. Metalografik Çalışma 17
5.3. Sertlik Ölçümleri 17
5.4. Çekme Deneyleri 17

6.DENEY SONUÇLARI 18
6.1. Çekme Testi Sonuçları 18
6.1.1. Akma eğrileri 22
6.1.2. Soğuk çekme işlemleri için deformasyon sertleşmesi üssü değerlerinin hesaplanması 24
6.2. Sertlik Sonuçları 26

6.2.1. Mikro sertlik sonuçları 26
6.2.2. Ultra mikro sertlik sonuçları 28
6.3. Metalografik Çalışma Sonuçları 29

7. GENEL SONUÇLAR 30

KAYNAKLAR 32

EKLER 34

ÖZGEÇMİŞ 44

KISALTMALAR

TS	: Türk Standartları
DIN	: Deutsche Industrie Norm
PŞV	: Plastik Şekil Verme
AISI	: The American Iron and Steel Institute

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. DIN 17115'e göre kaynaklı yuvarlak baklalı zincir üretiminde kullanılan çeliklerin bileşimi ve sınıfları ……..... 3
Tablo 5.1. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri.....…….. 16
Tablo 5.2. Çubukların çaplarına göre soğuk deformasyon miktarları 16
Tablo 6.1. AISI 1020 çeliğinin çekme testi sonuçları 18
Tablo 6.2. AISI 21Mn5 çeliğinin çekme testi sonuçları 19
Tablo 6.3. AISI 20NiCrMo3 çeliğinin çekme testi sonuçları 19

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1 : Tipik şekillendirme operasyonları..... 5
Şekil 3.2 : Mühendislik ve gerçek "gerilme-birim şekil değiştirme"diyagramları..... 6
Şekil 3.3 : Soğuk işlem oranının mekanik özellikler ve mikroyapıya etkisi.. 9
Şekil 3.4 : Deformasyon sertleşmesi üssünün tayini..... 10
Şekil 4.1 :Yuvarlak çubuk veya tel çekme..... 11
Şekil 4.2 :Tipik indentasyon yükü- iz derinliği eğrisi 13
Şekil 6.1 : AISI 1020 için soğuk çekme oranına bağlı olarak malzemenin mukavemet ve süneklik özelliklerinin değişimi..... 20
Şekil 6.2 : AISI 21Mn5 için soğuk çekme oranına bağlı olarak malzemenin mukavemet ve süneklik özelliklerinin değişimi..... 21
Şekil 6.3 : AISI 20NiCrMo3 için soğuk çekme oranına bağlı olarak malzemenin mukavemet ve süneklik özelliklerinin değişimi..... 21
Şekil 6.4 : AISI 1020 malzeme için akma eğrisi ve parabol denklemi..... 22
Şekil 6.5 : AISI 21Mn5 malzeme için akma eğrisi ve parabol denklemi..... 23
Şekil 6.6 : AISI 20NiCrMo3 malzeme için akma eğrisi ve parabol denklemi..... 23
Şekil 6.7 : Malzemelerin deformasyon sertleşmesi hızlarının deformasyonla değişimi..... 24
Şekil 6.8 : AISI 1020 için deformasyon sertleşmesi üssünün tespiti..... 25
Şekil 6.9 : AISI 21Mn5 için deformasyon sertleşmesi üssünün tespiti..... 25
Şekil 6.10 : AISI 20NiCrMo3 için deformasyon sertleşmesi üssünün tespiti.. 26
Şekil 6.11 : AISI 1020 için soğuk deformasyonla sertliğin değişimi..... 27
Şekil 6.12 : AISI 21Mn5 için soğuk deformasyonla sertliğin değişimi..... 27
Şekil 6.13 : AISI 20NiCrMo3 için soğuk deformasyonla sertliğin değişimi.. 28
Şekil 6.14 : Sertleşme hızının soğuk deformasyonla değişimi 28
Şekil 6.15 : Kalıntı gerilmenin soğuk deformasyonla değişimi..... 29
Şekil A.1 : AISI 1020 için mukavemet değerleri ile Vickers mikrosertlik değerlerinin değişimi..... 34
Şekil A.2 : AISI 21Mn5için mukavemet değerleri ile Vickers mikrosertlik değerlerinin değişimi..... 34
Şekil A.3. : AISI 20 NiCrMo 3 için mukavemet değerleri ile Vickers mikrosertlik değerlerinin değişimi..... 35
Şekil B.1 : AISI 1020 için mikroyapı fotoğrafları..... 36
Şekil B.2 : AISI 21Mn5 için mikroyapı fotoğrafları..... 39
Şekil B.3 : AISI 20NiCrMo3 için mikroyapı fotoğrafları..... 42

SEMBOL LİSTESİ

Ni	**:** Nikel
Cr	**:** Krom
Mo	**:** Molibden
Mn	**:** Mangan
P	**:** Fosfor
S	**:** Kükürt
C	**:** Karbon
σ_m	**:** Mühendislik gerilmesi
e	**:** Mühendislik birim şekil değişimi
ε	**:** Gerçek birim şekil değişimi
σ_g	**:** Gerçek gerilme
r	**:** Kesit daralması
P_i	**:** Kuvvet
L	**:** Numune boyu
n	**:** Deformasyon sertleşmesi üssü
A	**:** Gerçek temas alanı
A_{nom}	**:** İdeal temas alanı
c^2	**:** Yüzey yer değiştirme faktörü
H	**:** Sertlik
h	**:**Sertlik izi derinliği
h_c	**:**Gerçek temas yer değişimi
h_{max}	**:**Toplam yer değişimi
P_{av}	**:** Ortalama basınç
σ_a	**:** Akma mukavemeti
$\sigma_ç$	**:** Çekme mukavemeti
σ_{res}	**:** Kalıntı gerilme

ZİNCİR ÇELİKLERİNİN SOĞUK ÇEKME ORANINA BAĞLI OLARAK DEFORMASYON DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Plastik şekil verme yöntemleri genel olarak sıcak işlem ve soğuk işlem olmak üzere ikiye ayrılır. Zincir çelik üretim endüstrisinde çok sık kullanılan yöntemlerden biri soğuk çekmedir. Soğuk çekilmiş çeliklerin mekanik özelliklerinde ve mikro yapısında deformasyon oranına bağlı olarak değişimler olur.

Bu çalışmada, AISI 1020, 21Mn5 ve 20 NiCrMo3 kalitedeki üç farklı çelik malzemeden üretilmiş ve farklı soğuk deformasyon oranlarında çekilmiş çubukların deformasyon davranışları belirlenmiştir ve mukavemet, deformasyon sertleşmesi, sertlik ile süneklik özellikleri karşılaştırılmıştır. Metal işleme proseslerinde malzemelerin deformasyon sertleşmesi davranışları önemlidir. Çelik çubukların akma eğrilerinden elde edilen deformasyon sertleşmesi davranışı malzemenin çekilebilirliğinin ve haddelenebilirliğinin belirlenmesinde kullanılır. Malzemelerin akma eğrileri çekme testinden elde edilen akma mukavemeti değeriyle soğuk çekme sonucunda oluşan gerçek deformasyonun eğrisinin eğiminden bulunur. Çalışılan tüm malzemeler için akma eğrisinin uygun polinom eşitliği akma gerilmesini gerçek deformasyonun fonksiyonu olarak veren bilgisayar programı kullanılarak saptanmıştır. Akma eğrilerinden deformasyon sertleşmesi hızları belirlenmiştir. Çalışılan tüm malzemelerde gerçek birim şekil değişiminin artması ile birlikte deformasyon sertleşmesi hızının önce azaldığı sonra artan deformasyonla tüm malzemeler için sabit kaldığı tespit edilmiştir. Mekanik testler sonucunda, tüm malzemelerde soğuk deformasyon oranının artmasıyla birlikte mukavemet ve sertlik değerlerinin arttığı, süneklik değerlerinin azaldığı bulunmuştur. Mukavemet değeri ve süneklik değeri en iyi olan malzeme AISI 21Mn5 olarak bulunmuştur.

Soğuk çekme işlemleri sonucunda çelik malzemede kalıntı gerilmeler oluşur. Dizaynda kalıntı gerilmenin etkisini hesaba katmak için çeşitli ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin çoğu komplekstir yada pahalıdır. Bu çalışmada, ultra mikrosertlik testlerinden elde edilen değerlerden yola çıkılarak kalıntı gerilme hesaplanmıştır. Malzemelerdeki kalıntı gerilme miktarının soğuk deformasyonla birlikte önce hızla arttığı ve sonra hemen hemen sabit kaldığı belirlenmiştir.

EFFECT OF COLD DRAWING RATIO DETERMINATION ON DEFORMATION BEHAVIOUR OF CHAIN STEELS

SUMMARY

Plastic forming processes are commonly classified into hot working and cold working operations. Cold drawing is one of the most frequently applied techniques in the chain steel manufacturing industry. Mechanical properties and microstructure of cold drawn steels are sensitive to cold deformation ratio.

In this study, the deformation behaviour of steel rods that were produced AISI 1020, 21Mn5 and 20NiCrMo3 quality steels, drawn to various strains was determined and strength, strain hardening rate, hardness and ductility were compared. The strain hardening behaviour of materials is an important factor in metal working processes. The strain hardening behaviour determined from the flow curves of the steel rods is important in determining the drawability and annealing response of the material. The flow curves the materials were obtained as the envelope of tensile yield stress versus wire drawing true strain curves. The appropriate polynomial equeations for the flow curves of all materials studied were obtained using a curve fitting computer program which gives flow stress as a function of true strain. The strain hardening rate decreased sharply at low strains for all materials studied, then maintained up to large strains. Hardness and strength value for all studied materials increased and ductility value decreased with cold deformation ratio. These results were determined from mechanical tests. AISI 21Mn5 materials have the highest strength and ductility value.

Residual stress exist during cold deformation operations. In order to take these effects of residual stress into account at design, various experimental measuring techniques have been developed. Manys of these methods are complicated and expensive. In this study, a method based on sharp indentation testing was used for determine residual stress. Residual stress value of materials sharply increased with cold deformation ratio and almost latter value was maintained.

1. GİRİŞ

Zincir çelik üretiminde kullanılan çubukların şekillendirme yöntemlerinden biri de soğuk çekmedir. Zincirlerin kullanıldıkları yerlerdeki performanslarını belirlemek amacıyla soğuk çekme sonucunda malzemelerin özelliklerinin nasıl değiştiği tespit edilmelidir. Bu nedenle malzemelere mekanik testler ve mikroyapı analizleri uygulanır.

Bu çalışmada üç farklı kalitedeki çelik malzeme farklı oranlarda soğuk deformasyona uğratılarak, mekanik testler uygulanmıştır, test sonuçlarından malzemelerin deformasyon sertleşmesi hızını veren akma eğrileri çizilmiştir ve soğuk çekme oranına göre deformasyon sertleşmesinin değişimi incelenmiştir.

2. ZİNCİR ÇELİKLERİ

Kaynaklı zincir halkaları yapımında kullanılan çelikler, TS2835'de zincir çelikleri adı altında standartlaştırılmıştır. Standart, kaynaklı zincir halkası yapımında kullanılan yuvarlak çubuk veya tel biçimindeki alaşımsız ve alaşımlı çelikleri kapsamaktadır.

Zincir çelikleri kaliteli çelik ve asal çelik olarak iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Kaliteli çelikler, alaşımsız ve düşük alaşımlı (Ni-Cr-Mo ve Mn-Ni-Cr-Mo) üretilirler. Alaşımsız ve karbon miktarı %2 yada daha yüksek olan çeliklere ayrıca ~800 ^{0}C sıcaklıkta östenitleştirme işlemi, suda ani soğutma ve ardından ~ 400 ^{0}C sıcaklıkta 1 saat menevişleme ile ıslah işlemi uygulanmaktadır [1] .

2.1. Zincir Türleri

Zincirleri yuvarlak baklalı zincirler ve gall zincirleri olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür.

2.1.1. Yuvarlak Baklalı Zincirler

Bakla adı verilen dairesel elemanların birbirine bağlanması ile üretilen zincirler çoğunlukla gemi çapaları, maden konveyörleri ve benzeri kaldırma makinelerinde kullanılırlar.

2.1.2. Gall Zincirleri

Kesilmiş levhaların yan yana getirilerek çelik pimlerle mafsallı olarak birleştirilmesinden meydana getirilmiştir. Gall zincirlerinin ağırlıkları yuvarlak baklalı zincirlerden daha fazladır ve daha pahalıdırlar. Sürtünme kayıpları yuvarlak baklalı zincirlerden daha azdır. Kaynaksız yapıldıkları için çarpma etkilerine daha dayanıklıdırlar.

2.2. Yuvarlak Baklalı Zincir Üretimi

Yuvarlak baklalı zincirler, belirli kimyasal bileşimdeki çelik çubuk veya tellerden üretilirler. Zincirlerde kullanılacak çelik çubuk veya teller çeşitli standartlarla belirlenen mekanik deneylerden geçerek özellikleri saptanır [2-4]. Kaynaklı yuvarlak baklalı zincir üretiminde kullanılan çelik sınıflarının kimyasal bileşimleri Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. DIN 17115'e göre kaynaklı yuvarlak baklalı zincir üretiminde kullanılan çeliklerin bileşimi ve sınıfları [5]

ÇELİK				**% ELEMENT**					
SEMBOL	**No**	**C**	**Si**	**Mn**	**P (max)**	**S (max)**	**Cr**	**Mo**	**Ni**
1.SINIF									
Ust 35-2	1,0207	0,06-0,14	____	0,40-0,60	0,035	0,035	___	___	___
Rst 35-2	1,0208	0,06-0,12	≤ 0,25	0,40-0,60	0,035	0,035	___	___	___
15Mn3Al	1,0468	0,12-0,18	≤ 0,25	0,70-0,90	0,035	0,035	___	___	___
21Mn4Al	1,0470	0,18-0,24	≤ 0,25	0,80-1,10	0,035	0,035	___	___	___
21Mn5	1,0495	0,18-0,24	0,25-0,45	1,10-1,60	0,035	0,035	___	___	___
27MnSi5	1,0416	0,24-0,30	0,25-0,45	1,10--1,60	0,035	0,035	___	___	___
2.SINIF									
20NiCrMo2	1,6522	0,17-0,23	≤ 0,25	0,60-0,90	0,020	0,020	0,35-0,65	0,15-0,25	0,40-0,70
20NiCrMo3	1,6527	0,17-0,23	≤ 0,25	0,60-0,90	0,020	0,020	0,35-0,65	0,15-0,25	0,70-0,90
23MnNiCrMo52	1,6541	0,20-0,26	≤ 0,25	1,10-1,40	0,020	0,020	0,40-0,60	0,29-0,30	0,40-0,70
23MnNiCrMo53	1,6540	0,20-0,26	≤ 0,25	1,10-1,40	0,020	0,020	0,40-0,60	0,20-0,30	0,70-0,90
23MnNiCrMo54	1,6758	0,20-0,26	≤ 0,25	1,10-1,40	0,020	0,020	0,40-0,60	0,50-0,60	0,90-1,10

3. PLASTİK DEFORMASYONUN ESASLARI

3.1.Giriş

Modern teknolojide, metalik malzemelerin geniş kullanım alanının olmasının nedeni; boru, çubuk ve levha gibi kullanışlı modellerde şekillendirilebilmeleridir. Bu kullanışlı şekiller iki temel yolla oluşturulabilir.

1. Metalin hacminin ve büyüklüğünün korunduğu ve metalin bir bölgeden diğerine taşındığı plastik deformasyon prosesleri
2. Malzemeye istenilen şeklin verilebilmesi için talaş kaldırıldığı metal kaldırma prosesleri

Şekillendirme yöntemlerinin seçiminde şekillenecek malzemenin son şekli, boyutları, boyut toleransları ve yapılması istenen parçanın sayısı önemli faktörler olmaktadır.

Plastik Şekil Verme (PŞV) ile istenilen şeklin verilmesinin önemi, mekanik özelliklerin kontrol edilebilmesidir. Örneğin döküm ingottaki hava boşlukları ve poroziteler sıcak haddeleme yada sıcak dövmeyle yok edilebilir, böylece kırılma tokluğu ve süneklik gelişir. Birçok üründe mekanik özellikler proses sırasında deformasyon sertleşmesinin, deformasyon sıcaklığının ve deformasyon hızının kontrolüne bağlıdır.

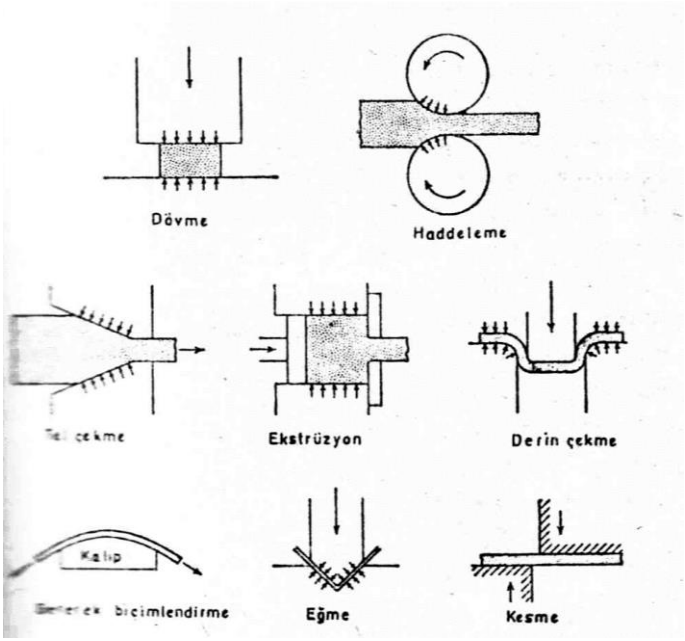
PŞV prosesleri şekil verme işlemi sırasında uygulanan kuvvet tipine bağlı olarak 5 kategoride sınıflandırılabilir.

1. Doğrudan basma işlemleri
2. Dolaylı basma işlemleri
3. Çekme işlemleri
4. Eğme işlemleri
5. Kesme işlemleri

Doğrudan basma işlemlerinde, kuvvet şekillenecek parçanın yüzeylerine uygulanır, malzeme basma yönüne dik yönde akarak şekil değiştirir. Bu türdeki işlemlere örnek olarak dövme ve haddeleme gösterilebilir.

Dolaylı basma işlemlerinde ise genellikle uygulanan çekme kuvvetinin etkisiyle malzemede oluşturulan basma kuvvetleri ile şekil değişimi sağlanır. Bu türdeki işlemlere örnek olarak tel çekme veya derin çekme verilebilir.

Eğme işlemlerinde, eğme momenti etkisiyle yassı metalik malzemeler şekillendirilir. Kesme işlemlerinde ise, kesme kuvvetlerinin etkisiyle metalik malzemenin kopması sağlanır. Metalik malzemeleri şekillendirmede kullanılan bu yöntemler Şekil 3.1.'de görülmektedir.

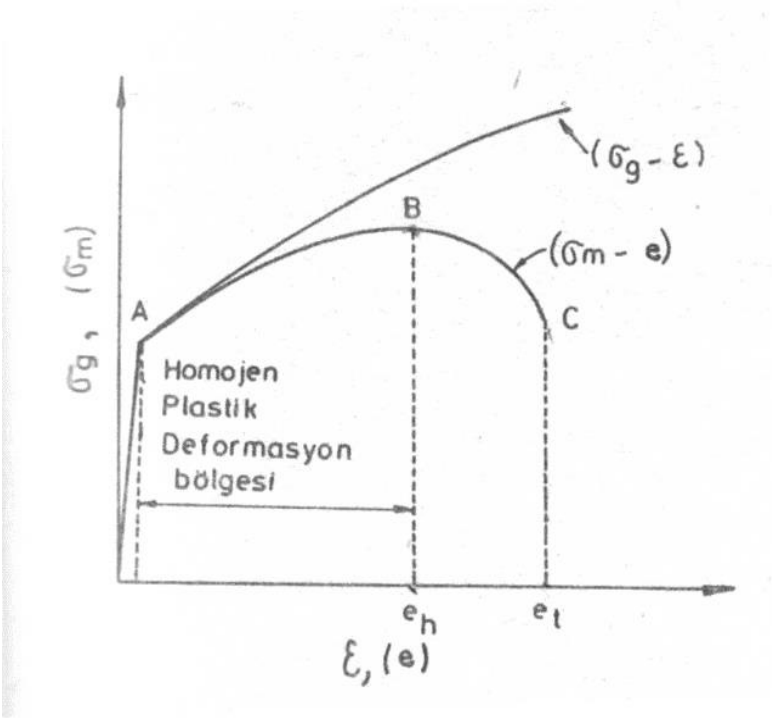


Şekil 3.1.Tipik şekillendirme operasyonları [6]

3.2. Plastik Deformasyonda Mekanik Özellikler

Metalik malzemelerin mekanik özellikleri, kimyasal bileşimine ve metalurjik yapılarına bağlıdır. Mekanik özellikler; çekme, basma, burma deneyleri ile saptanabilir. Mukavemet ve süneklik gibi özelliklerin belirlenmesinde en çok kullanılan deney çekme deneyidir. Çekme deneyinden elde edilen "gerilme - birim şekil değiştirme" eğrisinden malzemenin deformasyon sertleşmesi hızı, deformasyon sertleşmesi üssü, üniform birim şekil değiştirme gibi malzemenin deformasyon

özellikleri hakkında bilgi edinilir. Bu eğriler mühendislik ve gerçek çekme eğrileri olmak üzere iki çeşittir ve Şekil 3.2..'de gösterilmiştir. Şekilde görülen mühendislik çekme diyagramının A noktası akma gerilmesidir, B noktası ise çekme gerilmesidir. Bu iki nokta arasında homojen plastik deformasyon olur. B noktasından sonra ise deformasyon boyun verme bölgesinde devam eder. Bu diyagramlardaki gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.



Şekil 3.2. Mühendislik ve gerçek " gerilme - birim şekil değiştirme" diyagramları [6]

Mühendislik gerilme (σ_m) = P_i /A_0 (3.1)

Mühendislik birim şekil değiştirme (e) =(L_i - L_0) / L_0 (3.2)

Gerçek gerilme (σ_g) = P_i /A_i = σ_m(1+e) (3.3)

Gerçek birim şekil değiştirme (ε) = ln (L_i / L_0) = ln (A_0 / A_i) = ln (1+e) (3.4)

Kesit daralması (r) = (A_0 - A_i) / A_0 (3.5)

P_i = Kuvvet

A_0 = Numunenin ilk kesit alanı

L_0 = Numunenin ilk ölçü boyu uzunluğu

A_i = Deformasyon sırasında herhangi bir andaki kesit alanı

L_i = Deformasyon sırasında herhangi bir andaki numune boyu

3.3. Plastik Deformasyonda Sıcaklık

Sıcaklığa bağlı olarak şekillendirme prosesleri genellikle sıcak işlem ve soğuk işlem olarak iki gruba ayrılmıştır.

3.3.1. Sıcak İşlem

Sıcak işlem, belirli sıcaklık ve deformasyon hızı koşulları altında malzemeye uygulanan deformasyonla aynı zamanlı olarak yeniden kristalleşme proseslerinin gerçekleştiği ve deformasyon sertleşmesi etkili olmadan büyük deformasyonların yapılabildiği işlemdir. Sıcak işlemde, deformasyon sertleşmesi ve bozulan tane yapısı, deformasyon sırasındaki yeniden kristalleşme sonucu yeni tanelerin oluşumu ile giderilir. Bu nedenle büyük orandaki deformasyonlar ancak sıcak işlemlerle mümkündür. Sıcak işlem genellikle sabit bir gerilme ile gerçekleştirilir. Malzemelerin akma gerilmesi sıcaklık arttıkça azaldığından, sıcak işlemde deformasyon için gerekli enerji genellikle soğuk işlem için gerekli olandan azdır.

Haddeleme, ekstrüzyon ve dövme gibi sıcak işlem prosesleri genellikle mekanik işlemlerin ilk kademesi olarak ve 0.5 Tm üstündeki deformayon sıcaklıklarında gerçekleştirilir. Sıcak işlemin faydaları şu şekilde sıralanabilir:

- Metal yapısında bulunana poroziteler, döküm sonucu oluşan gaz boşlukları ve kimyasal homojensizlikler giderilir.
- Metalik olmayan inklüzyonlar metal içinde üniform olarak dağıtılır.
- Döküm sonucu oluşan büyük ve sütunsal taneler küçük ve eşeksenli taneler haline dönüştürülebilir.
- Sıcak işlemle gerçekleştirilen yapısal değişmelerin sonucu olarak süneklik ve sertlikte artış olur.
- Sıcaklık etkisi ile plastik deformasyon için gerekli enerji azalır ve şekillendirme kolaylaşır.

Sıcak işlemin yukarıda belirtilen faydalarının yanında olumsuz etkileri de vardır. Bunlar:

- Yüksek sıcaklıklarda yapıldığından malzeme yüzeyinin oksitlenmesine sebep olur.
- Sıcak işlenmiş ürünlerdeki boyut toleransları soğuk işlenmiş olanlara göre çok daha fazladır.
- Yapı ve özellikler metalin kesiti boyunca genellikle homojen değildir.
- Malzeme yüzeyinde yeniden kristalleşmiş küçük tane yapısı bulunurken iç kısımlarda daha iri tane yapısı bulunabilir.

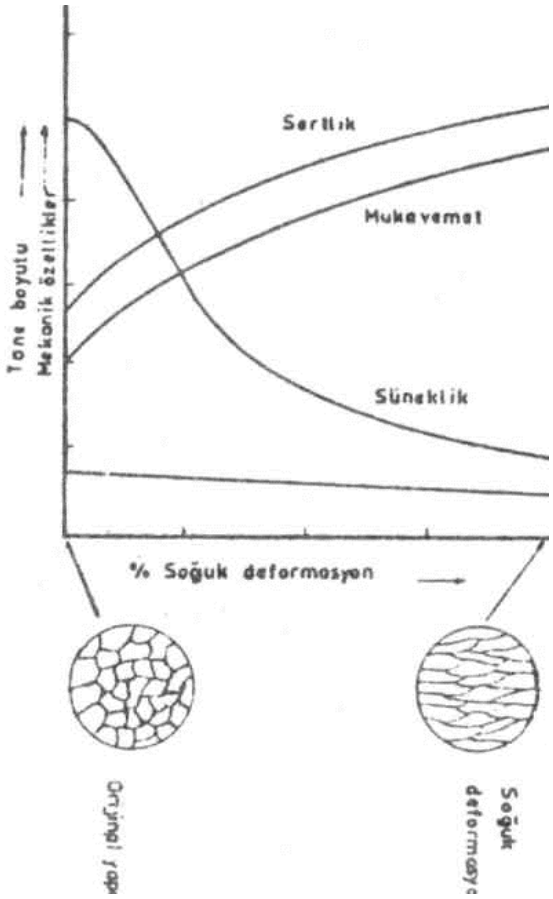
3.3.2. Soğuk İşlem

Deformasyon sırasında yeniden kristalleşmenin olmadığı işlem soğuk işlemdir [6,7]. Deformasyon prosesleri sırasında ve daha sonraki servis koşullarında çeliğin davranışlarını belirlemek soğuk şekillendirmedeki ana sorunlardan biridir [8]. Soğuk işlemin metalik malzemeler üzerine etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir :

- Sertlik ve mukavemet artar, süneklik azalır.
- Tane şekli değişikliğe uğrar.
- İç gerilmeler oluşur.
- İşlem gören yüzeyler düzgün olur.
- Boyutlar istenilen hassasiyette olur.

Malzemenin mukavemetindeki artış soğuk işlem miktarı ile orantılıdır. Malzemenin mekanik özelliklerinin soğuk işlem miktarına bağlı olarak değişimi Şekil 3.3.'de verilmiştir.

Soğuk işlem sonucunda mukavemetin artmasının nedeni malzemede deformasyon sertleşmesinin meydana gelmesidir. Deformasyon sertleşmesi, dislokasyonların birbirleriyle ve diğer engellerle karşılaşarak hareketlerinin durmasıdır[6,7]. Deformasyon sertleşmesi, metal işleme prosesleri ve malzeme yapısı için önemli bir faktördür.



Şekil 3.3. Soğuk işlem oranının mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi [6]

Deformasyon sertleşmesi hızı, malzemenin "gerçek deformasyon - gerçek şekil değişimi" eğrisinin eğimidir. Bu eğri akma eğrisidir. Deformasyon sertleşmesinin akma eğrisinden belirlenmesi malzemenin tavlanmasını ve sünekliğini belirlemede önemlidir [9]. Deformasyon sertleşmesinin büyük deformasyon oranlarında doyuma ulaştığı, yani akma diyagramının belirli bir deformasyon değerinden sonra belirli bir gerilmede hemen hemen sabit kaldığı görülür [10].

Ön soğuk işlem oranı arttıkça akma ve çekme mukavemeti ile sertlikte artış süneklikte ise azalma olur. Belirli bir değerden sonra süneklik sıfıra indiğinden malzemelerin soğuk işlem miktarı sınırlıdır. Deformasyon sertleşmesi nedeni ile azalan sünekliği arttırmak için soğuk işlem sırasında ara tavlama yapılması zorunlu olabilir [6,7].

Soğuk işlem başında taneler deformasyon yönünde uzar ve fazla deformasyonla birlikte tercihli oryantasyonda taneler tekrar yönlenir [11].

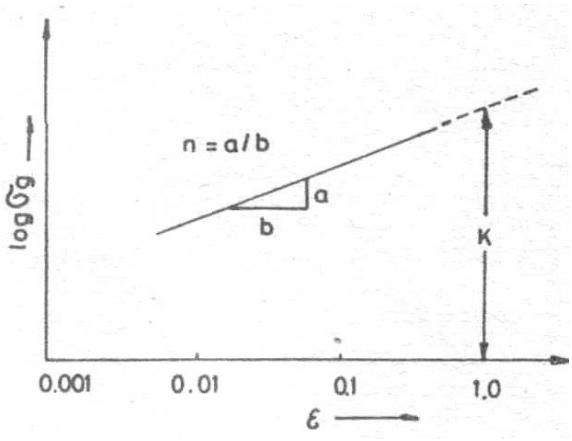
Metalik malzemelerde deformasyon sertleşmesinin olduğu sıcaklıklarda "gerçek gerilme - gerçek birim şekil değiştirme " eğrisinin homojen deformasyon bölgesi Holloman denklemine uyar.

$$\sigma_g = K \varepsilon^n \qquad (3.6)$$

K = Malzeme mukavemet katsayısı

n = Deformasyon sertleşmesi üssü

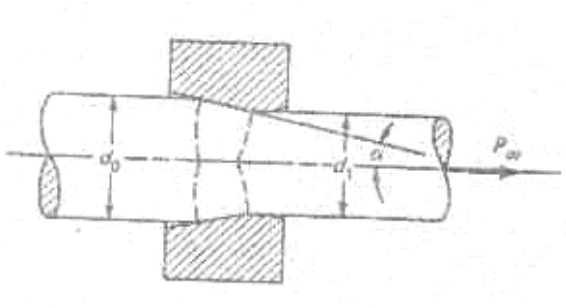
Deformasyon sertleşmesi üssü, Şekil 3.4.'de gösterildiği gibi homojen deformasyon bölgesindeki gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değiştirme değerlerine göre çizilen ($\log \sigma_g$ -$\log \varepsilon$) grafiğinin eğimine eşittir [6,7]. "Gerçek gerilme - gerçek birim şekil değiştirme " eğrisi parabolikse sabit deformasyon sertleşmesi üssü vardır, ama deformasyon sertleşmesi hızı farklı bölgelerden oluşuyorsa $\log \sigma_g$ - $\log \varepsilon$ eğrisi tek bir eğimle tarif edilemez. Deformasyon sertleşmesi hızının minimum olduğu deformasyon oranı "$\log \sigma_g$ -$\log \varepsilon$" eğrisinin eğiminin değiştiği deformasyona karşılık gelir [11,12]. Malzemenin deformasyon setleşmesi üssü değeri artan deformasyon miktarı ile 0'a doğru azalır ve sabit kalır [10].



Şekil 3.4. Deformasyon sertleşmesi üssünün tayini [6]

4. TEL ve ÇUBUK ÇEKME

Çekme operasyonları, metalik malzemelerin kalıbın çıkış tarafından uygulanan çekme kuvvetlerinin etkisi ile kalıp içinden çekilerek kesitinin küçültülüp boyunun uzatılması işlemini kapsar. Bu işlem şematik olarak Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Malzeme matris adı verilen kalıbın çıkış kesitinde elde edilir. Çekme işlemindeki plastik şekil değişimi kalıbın malzemeye uyguladığı basma kuvvetleri ile sağlanır. Çekme işlemler genellikle oda sıcaklığında yapılır. Deformasyon ve sürtünme ile sıcaklık oluşumu çekme operasyonlarında önemli bir sorundur. Bu sıcaklıklar ara soğutmalarla bölgesel olarak taşınır [6,7,13].



Şekil 4.1. Yuvarlak çubuk veya tel çekme [6]

Elde edilen ürün çapına göre işlem, çubuk veya tel çekme olarak isimlendirilir. Genel olarak tel 5mm'nin altındaki küçük çaplı ürünlerdir ve çok kalıplı makinelerde hızlı olarak çekilir. Farklı boyutlardaki ürünler için farklı ekipmanlar kullanılmasına rağmen tel ve çubuk çekmedeki prensipler temelde aynıdır. Tel üretim endüstrisinde tel çekme çok sıklıkla uygulanan yöntemlerden biridir [6,7,14]. Çubuklar düz olarak çekilebilirler buna karşılık teller sarılabilirler. Çubuk çekme işleminde önce çubuğun ucu sivriltilir,matristen geçirilir ve hidrolik yada mekanik sistemle hareket eden çekme arabasının çeneleri arasına bağlanır. Çekme hızları 150 - 1500 mm/s'dir. Tel çekme işleminde ise haddeleme veya ekstrüzyonla üretilmiş filmaşinler kullanılır.

Tel çekmede büyük deformasyon oranlarının uygulanabilmesi için malzeme sünek olmalıdır. Sürekli tel çekme işleminde filmaşin artarda birçok matristen geçirilir.

Filmaşin malzemesi genellikle az yada orta karbonlu çeliklerdir. Tel çekme işleminden önce yüzey temizleme, kaplama ve kurutma kademelerinden oluşan yüzey hazırlama işlemleri uygulanır.

Yüzey temizleme mekanik ve kimyasal temizleme ile yüzeydeki oksit tabakasının giderilmesidir. Temizlenen yüzeyin tekrar oksitlenmesini önlemek ve yüzeyde kalan asitleri nötralize etmek için yüzey kaplama yapılır. Yüzeyi temizlenen ve kaplanan filmaşin tel çekme işleminden önce kurutulur [6,7].

4.1. Çubuk ve Tellerde Kalıntı Gerilmeler

Kalıntı gerilmeler, dış kuvvetlerden bağımsız olarak yapıda oluşan gerilme sistemleridir. Üniform olmayan plastik deformasyonla oluşturulduğunda, her metal işleme prosesinde kalıntı gerilme gelişimi dikkate alınmalıdır. Kalıntı gerilmeler sadece elastik gerilmelerdir ve en yüksek değerleri malzemenin akma gerilmesi kadar olabilir.

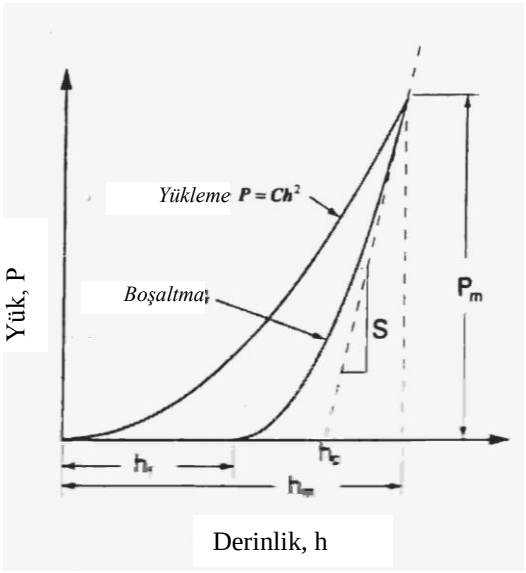
Soğuk çekilmiş çubuk ve tellerde redüksiyon miktarına bağlı olarak iki tür kalıntı gerilme modeli bulunur. Her geçişteki redüksiyon %1'den az ise; uzunlamasına kalıntı gerilmeler eksende çekme ve yüzeyde basma şeklinde olur, radyal kalıntı gerilmeler ise eksende çekme serbest yüzeyde ise sıfırın altına düşer. Büyük redüksiyonlar için; uzunlamasına gerilmeler çubuk ekseninde basma ve yüzeyde çekme şeklindedir, radyal gerilmeler ise eksende basma şeklindedir. Kalıntı gerilmenin maksimum değeri %15-35 redüksiyon bölgesinde saptanmıştır [7].

4.2. Sertlik Testlerinden Kalıntı Gerilmenin Hesaplanması

Kalıntı gerilmeler, malzemelerin yorulma, kırılma, aşınma, korozyon ve sürtünme özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir. Kalıntı gerilmelerin ve bu gerilmelerin oluşturduğu deformasyonların malzeme dizaynında etkisini hesaba katmak için gerçek büyüklüğü ve işareti belirlenmelidir (çekme veya basma tipinde). Bu amaçla, malzemeler tahribatlı (indentasyon yöntemi) veya tahribatsız (X-ışınları diffraksiyonu, nötron difraksiyonu ve Raman gibi) deneylere tabi tutulmaktadır. Bu tekniklerin çoğu kompleks ve pahalı olduğu için veya özel uygulamalar için

kullanıldığından kalıntı gerilmelerin ölçümünde alternatif metotlar geliştirilmiştir. Malzemelerde mevcut olan kalıntı gerilmelerin tespitinde uygulama açısından çok büyük kolaylık sağlayan ve son zamanlarda üstünde çok yoğun olarak çalışılan indentasyon yöntemi ile kalıntı gerilme ölçme tekniği de bu yöntemlerden biridir [15-16].

İndentasyon tekniğin temel prensibi, kalıntı gerilmeli ve kalıntı gerilmesiz durumdaki malzemenin sabit bir indentasyon yükü veya derinliği için indenter temas alanları arasındaki oran kullanılmasıdır. Bu amaçla, yük veya derinlik hassasiyetli ultramikrosertlik cihazları kullanılmaktadır. Bilgisayar kontrollü bu cihazlarda, ölçüm esnasında veya ölçüm sonrasında herhangi bir işleme gerek kalmaksızın malzemelerin indentasyon yükü (P)- iz derinliği (h) eğrileri elde edilebilmektedir. Şekil 4.2.'de tipik bir P-h eğrisi verilmektedir. Bu eğriler aynı zamanda indente edilen malzemenin sertliğinin yanında diğer elastik (elastisite modülü) ve plastik (akma, kırılma tokluğu ve deformasyon sertleşmesi üssü gibi) özellikleri hakkında da bilgi vermektedir.



Şekil 4.2. Tipik indentasyon yükü- iz derinliği eğrisi [17]

P-h eğrisinin yükleme kısmı analiz edildiğinde yük ile iz derinliği arasında ki ilişki aşağıdaki bağıntıyla verilir [17].

$$P = C_1 h^2 \qquad (4.1)$$

C_1, çeşitli mekanik özelliklere bağlı bir sabittir ve bu sabit P-h eğrisinin yükleme kısmına eğri uydurma yöntemi uygulanarak belirlenir (sabit h^2 için).

İndentasyon işleminde P-h eğrilerinin analizinde en önemli aşamalardan birisi gerçek temas alanının belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada indente edilen malzemenin indentasyona karşı davranışı çok önemli olmaktadır. Başka bir deyişle indentasyon esnasında malzemede çökme (sink-in) veya kabarma (pile-up) meydana gelip gelmediği indentasyon işlemi esnasında gerçek temas alanının belirlenmesinde son derece önemli olmaktadır. Çünkü gerçek temas alanının yanlış hesaplanması malzemenin elastik ve plastik özelliklerinin değerlendirilmesinde hatalara yol açacaktır.

Malzeme indentasyona tabi tutulduğunda uygulanan yükün, indenter altındaki gerçek izdüşüm temas alanına bölünmesi ile ortalama basınç (P_{av}) veya sertlik (H) belirlenir [17].

$$P_{av} = H = P/A \qquad (4.2)$$

Gerçek temas alanı $A_{true}=Ch^2$ olarak ifade edilir. Vickers ve Berkovich indenterler için geometrik olarak ideal alanlarındaki C katsayısı sıra ile 24.50 ve 24.56 olarak verilmektedir. Aynı zamanda $C=C_1/H$ ilişkisi de bulunmaktadır. $H=P_{av}$ yaklaşımı indentasyon işleminde yükün tamamen boşaltılmasından sonra oluşan plastik izin köşegenlerinde hiçbir elastik toparlanma olmamasına ve yük altındaki gerçek izdüşüm temas alanının mükemmel olmasına (hiçbir şekilde çökme veya kabarma meydana gelmemesi) bağlıdır. Bu durumda, ideal gerçek temas alanı tamamen indenter geometrisine bağlı olarak yukarıda verildiği biçimde geometrik bağıntılar yardımı ile hesaplanmaktadır. İdeal plastik malzemeler dışında elasto-plastik malzemeler için bu yaklaşım tam olarak gerçeği ifade etmemektedir. Genellikle malzemeler ya çökme yada kabarma gösterecek şekilde indentasyona cevap vermektedirler. Eğer bir malzeme indentasyon esnasında çökme veya kabarma gösteriyorsa gerçek temas alanının hesaplanmasına yönelik olarak Suresh ve arkadaşları [15-16], Doerner-Nix ve Oliver-Pharr [15-16] gibi araştırmacılar değişik yaklaşımlar ortaya koymuşlardır [15-16].

Suresh ve arkadaşlarının [15-16] geliştirdiği yöntemde, eğer bir malzeme indentasyon esnasında çökme veya kabarma gibi bir davranış gösteriyorsa, bu tür

malzemeler için yüzey yer değiştirme faktörü (c^2) diye tanımlanan bir parametre tanımlamışlardır. Yüzey yer değiştirme faktörü, ideal alan ile gerçek temas alanı arasındaki bir oranı ifade etmektedir. Bu ifade denklem 4.3'de gösterilmiştir.

$$c^2 = \frac{A_{ideal}}{A_{true}} = \frac{24.5}{C_{true}} \tag{4.3}$$

Son yıllarda yüzey yer değiştirme faktörü (c^2), toplam yer değişiminin(h_{max}), gerçek temas yer değişimine(h_c) oranıyla da ilişkilendirilmiş ve bu ilişki indentasyonda önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu ilişkilendirme, temas alanının büyük bir doğrulukla tespit edilebilmesini, ayrıca indenter şeklinden ve malzemeden kaynaklanan(uç yuvarlaklığı, indenter tepe açısındaki her hangi bir hatayı, plastik akış ve çatlama gibi malzemeyle ilgili parametreleri) hataları elimine etmektedir. c^2 <1 durumunda çökme ve c^2>1 olduğunda kabarma vardır Bu ilişki denklem 4.4'de de gösterilmektedir.

$$A_{true} = \frac{24.5}{c^2} h_{max}^2 = 24.5 h_c^2 \tag{4.4}$$

Carlsson ve arkadaşları [15-16] bu yer değiştirme faktörü ile kalıntı gerilme arasında sünek malzemeler için FEM (sonlu eleman metodu) analiz sonuçlarına göre aşağıda gösterilen ilişkiyi kurmuşlardır.

Bu denklem kullanılarak malzemede mevcut olan basma veya çekme türündeki kalıntı gerilmelerin büyüklüklerini belirlemek mümkün olmaktadır [15-16].

$$c^2 = 1\text{-}0{,}32\ (\sigma_{res} / \sigma_a) \tag{4.5}$$

σ_a = Akma mukavemeti

σ_{res} = Kalıntı gerilme

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, ATLI ÇELİK' ten temin edilen AISI 1020, 21Mn5 ve 20NiCrMo3 kalite çeliklerinden üretilmiş ve 7 pasoda %80'e kadar farklı oranlarda soğuk çekilmiş çubuklar kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri Tablo 5.1.'de ve soğuk çekme sonucunda elde edildikleri çaplara göre hesaplanmış deformasyon oranları Tablo 5.2.'de verilmiştir. Tablo 5.2.'deki mühendislik şekil değişimleri (e)3.2 denkleminden, gerçek şekil değişimleri (ε) 3.4 denkleminden ve kesit daralmaları (r) 3.5 denkleminden hesaplanmıştır

Tablo 5.1. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri

MALZEME	**% AĞIRLIK**							
	C	**Mn**	**Si**	**P**	**S**	**Ni**	**Cr**	**Mo**
1020	0.197	0.49	0.14	0.008	0.013	0.11	0.09	0.02
21Mn5	0.236	1.45	0.31	0.008	0.005	0.06	0.14	0.01
20NiCrMo3	0.232	0.67	0.22	0.008	0.002	0.81	0.51	0.22

Tablo5.2. Çubukların çaplarına göre soğuk deformasyon miktarları

	1020				**21Mn5**				**20NiCrMo3**			
Paso	**Çap (mm)**	**r**	**e**	**ε**	**Çap (mm)**	**r**	**e**	**ε**	**Çap (mm)**	**r**	**e**	**ε**
	13.55				13.55				11.0			
1	12.85	0.10	0.11	0.11	12.9	0.10	0.11	0.10	10	0.17	0.21	0.19
2	11.9	0.23	0.30	0.26	11.9	0.23	0.30	0.26	9.1	0.32	0.47	0.39
3	11.0	0.31	0.44	0.37	11.0	0.34	0.52	0.42	8.0	0.47	0.89	0.64
4	9.95	0.46	0.85	0.62	9.9	0.47	0.87	0.63	7.0	0.60	1.50	0.92
5	8.90	0.57	1.32	0.84	8.95	0.56	1.29	0.83	6.0	0.70	2.33	1.20
6	7.90	0.66	1.94	1.08	7.9	0.66	1.94	1.08	5.0	0.79	3.76	1.56
7	6.85	0.74	2.85	1.35	6.9	0.74	2.86	1.35				

5.2. Metalografik Çalışma

Üç farklı kalitedeki malzemeden üretilen çubukların her çapından uzunlamasına ve enlemesine numuneler kesilmiştir ve bunlar bakalite alınmışlardır. Farklı numaralı zımparalarla zımparalandıktan sonra alümina pasta ile parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır. Parlatılan numuneler %3 nital ile dağlanmış ve mikroyapı fotoğrafları optik mikroskopla çekilmiştir.

5.3. Sertlik Ölçümleri

Bakalite alınmış olan metalografi numunelerinin mikrosertlik ve ultra mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Vickers sertlik değerleri ölçümleri Tukon marka mikrosertlik cihazında 0,5 kg yük ile alınmıştır. Ayrıca Fischer marka ultra mikrosertlik cihazıyla 0,5 N yük kullanılarak da sertlik ölçümleri yapılmıştır.

5.4. Çekme Deneyleri

Malzemenin mukavemeti ve sünekliği ile ilgili bilgileri elde etmek için çekme testleri yapılmıştır. Her çaptaki çubuklardan ASTM E8'e göre çekme numuneleri hazırlanmıştır. Çekme numuneleri, DARTEC servohidrolik 25 tonluk üniversal test cihazında oda sıcaklığında 0,05mm/sn sabit çene hızında çekme işlemine tabi tutulmuştur.

6. DENEY SONUÇLARI

6.1. Çekme Testi Sonuçları

Çekme testleri sonucunda elde edilen değerlerden öncelikle numunelerin akma ve çekme mukavemeti ile sünekliğini belirleyen % kopma uzaması ile % kesit daralması değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler soğuk deformasyon sonucu oluşan gerçek birim şekil değiştirmelerine göre AISI 1020 kalite malzeme için Tablo 6.1.'de, 21Mn5 kalite malzeme için Tablo 6.2.'de ve 20NiCrMo3 kalite malzeme için Tablo 6.3.'de verilmiştir.

Malzemelerin çekme testi sonucunda elde edilen mukavemet değerleri incelendiğinde; üç farklı kalitedeki malzemenin de akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerlerinin soğuk deformasyon oranı arttıkça arttığı görülmüştür. Literatürde yapılan araştırmalarda da soğuk deformasyonun malzemenin mukavemetini arttırdığı sünekliğini düşürdüğü belirtilmekte olup, bu durum deformasyon sertleşmesi ile açıklanmaktadır.

Tablo 6.1. AISI 1020 çeliğinin çekme testi sonuçları

ε	σ_a (N / mm^2)	$\sigma_ç$ (N / mm^2)	% Kopma Uzaması	%Kesit Daralması
0	300	478	39,0	39,1
0,11	521	610	13	31,9
0,26	626	695	10,7	29,2
0,37	700	750	9,7	23,6
0,62	771	811	7,3	16,4
0,84	803	829	7,4	16,8
1,08	840	843	6,0	9,8
1,35	867	871	3,0	5,3

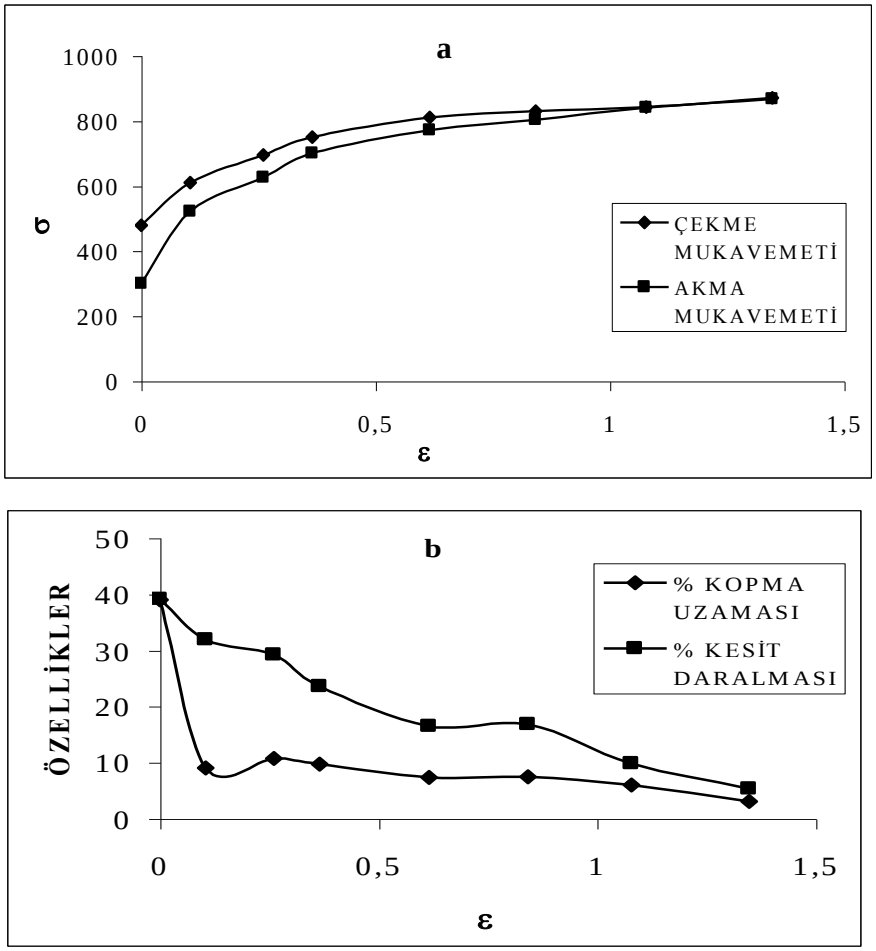
Tablo 6.2. AISI 21Mn5 çeliğinin çekme testi sonuçları

ε	σ_a (N / mm^2)	$\sigma_ç$ (N / mm^2)	% Kopma Uzaması	%Kesit Daralması
0	372	605	32	44
0,10	500	699	16	43
0,26	643	778	13	40
0,42	688	826	12	37
0,63	713	844	13	37
0,83	807	912	12	36
1,078	823	942	12	33
1,35	844	978	10	29

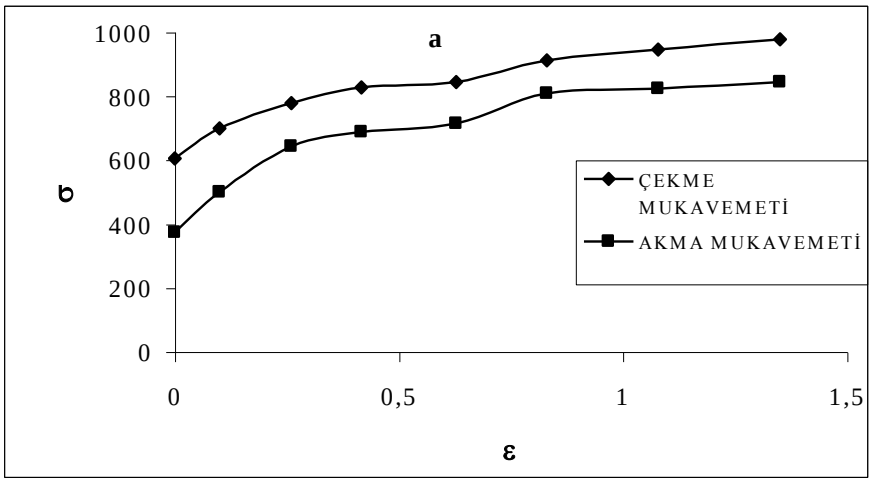
Tablo 6.3. AISI 20NiCrMo3 çeliğinin çekme testi sonuçları

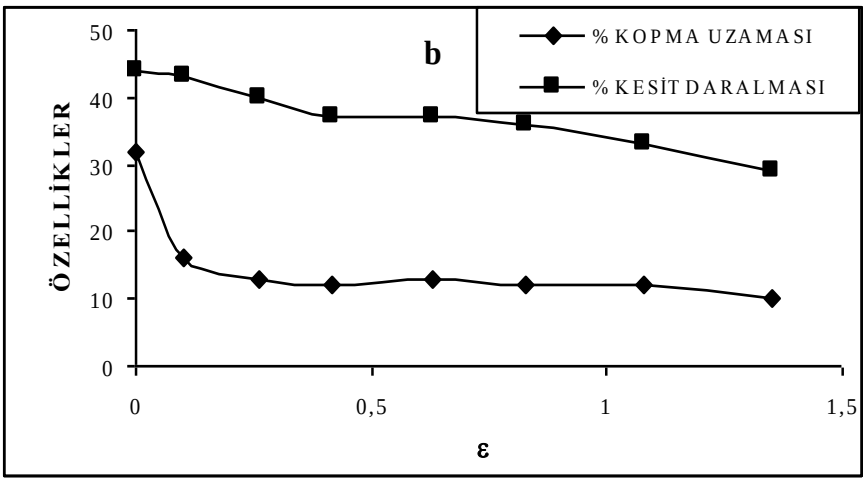
ε	σ_a (N / mm^2)	$\sigma_ç$ (N / mm^2)	% Kopma Uzaması	%Kesit Daralması
0	373	523	33,1	45,3
0,19	599	664	8,8	40,0
0,39	661	734	12,1	38,8
0,64	722	787	12,5	34,2
0,92	747	840	9,0	29,3
1,20	798	860	7,0	25,5
1,56	842	862	6,0	19,2

Farklı kalitedeki malzeme grupları karşılaştırıldığında, soğuk deformasyona uğramamış durumda en yüksek mukavemet değeri AISI 21Mn5 kalite malzemeye aittir. Aynı oranda soğuk deformasyon sonucunda da yine en yüksek mukavemet değerine sahip olan malzeme grubu AISI 21Mn5 kalite çelik malzemedir. Aynı zamanda, soğuk deformasyon oranı arttıkça süneklik değeri en iyi olan malzemede AISI 21Mn5'dir. Malzemenin mukavemet ve süneklik gibi özelliklerinin soğuk deformasyon oranına bağlı olarak değişimi Şekil 6.1.'de AISI 1020 kalite malzeme için, Şekil 6.2.'de AISI 21Mn5 kalite malzeme için ve Şekil 6.3.'de AISI 20NiCrMo3 malzeme için gösterilmiştir.

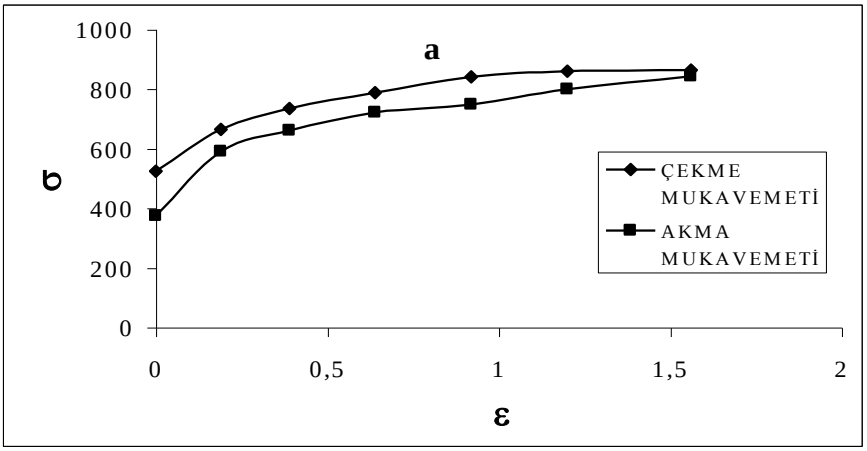


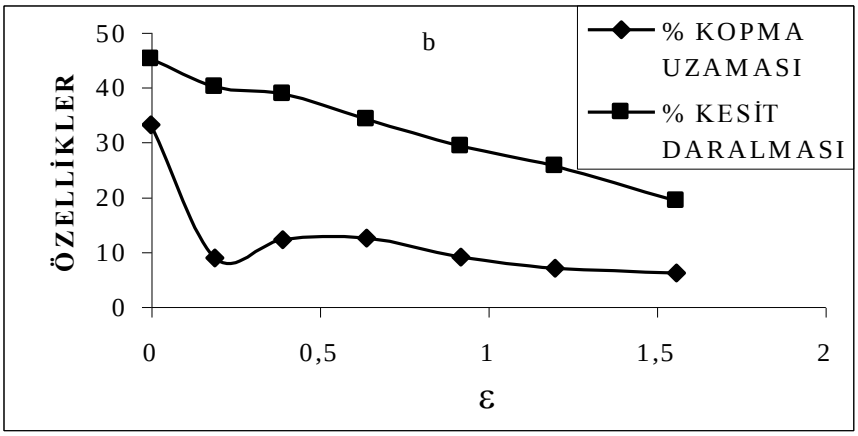
Şekil 6.1. AISI 1020 için soğuk çekme oranına bağlı olarak malzemenin mukavemet (a) ve süneklik (b) özelliklerinin değişimi





Şekil 6.2. AISI 21Mn5 için soğuk çekme oranına bağlı olarak malzemenin mukavemet (a) ve süneklik (b) özelliklerinin değişimi

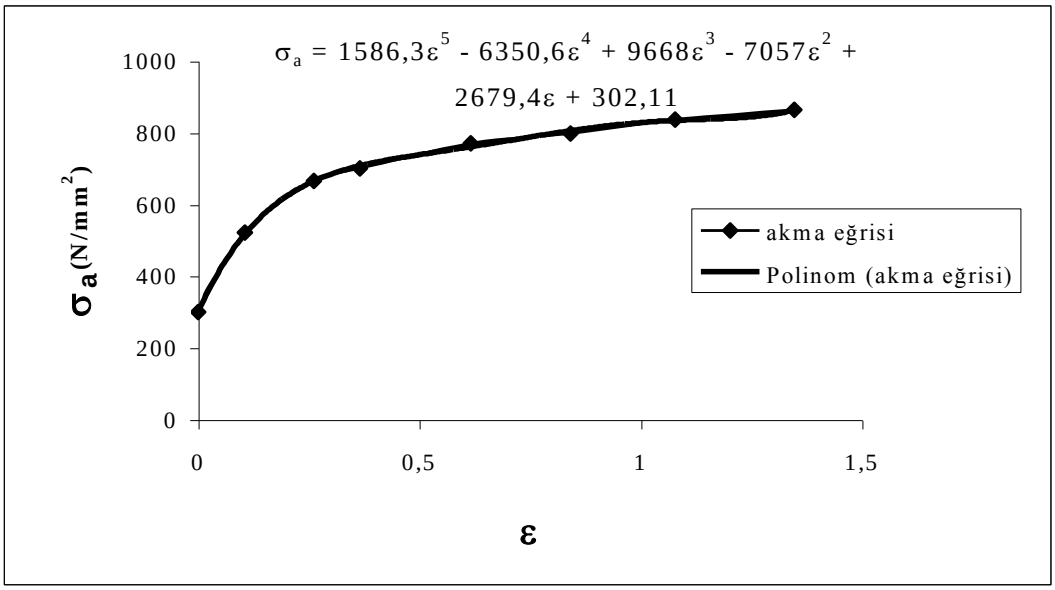




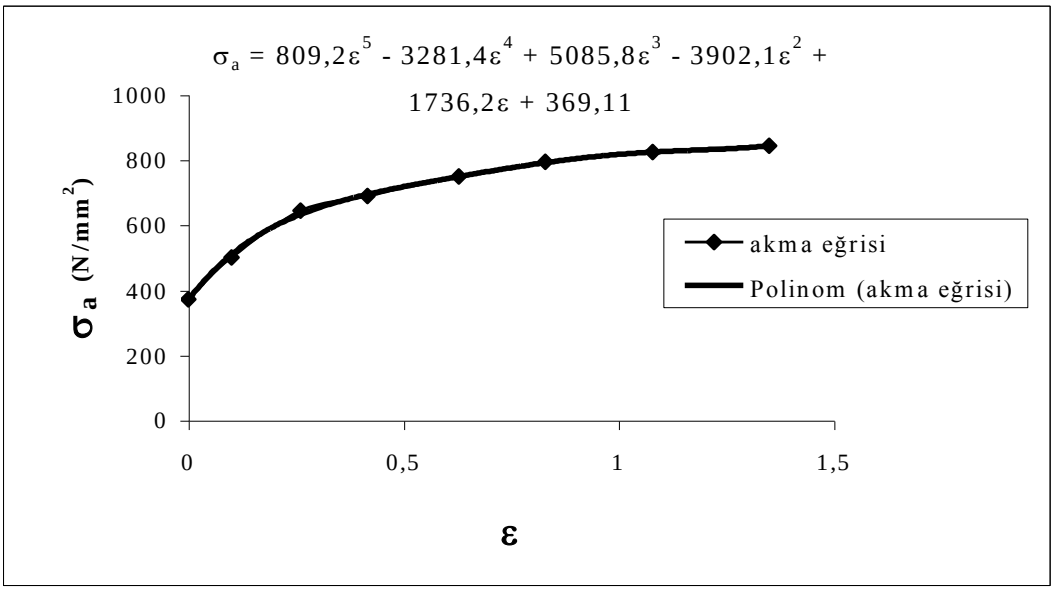
Şekil 6.3.AISI 20NiCrMo3 için soğuk çekme oranına bağlı olarak malzemenin mukavemet (a) ve süneklik (b) özelliklerinin değişimi

6.1.1. Akma Eğrileri

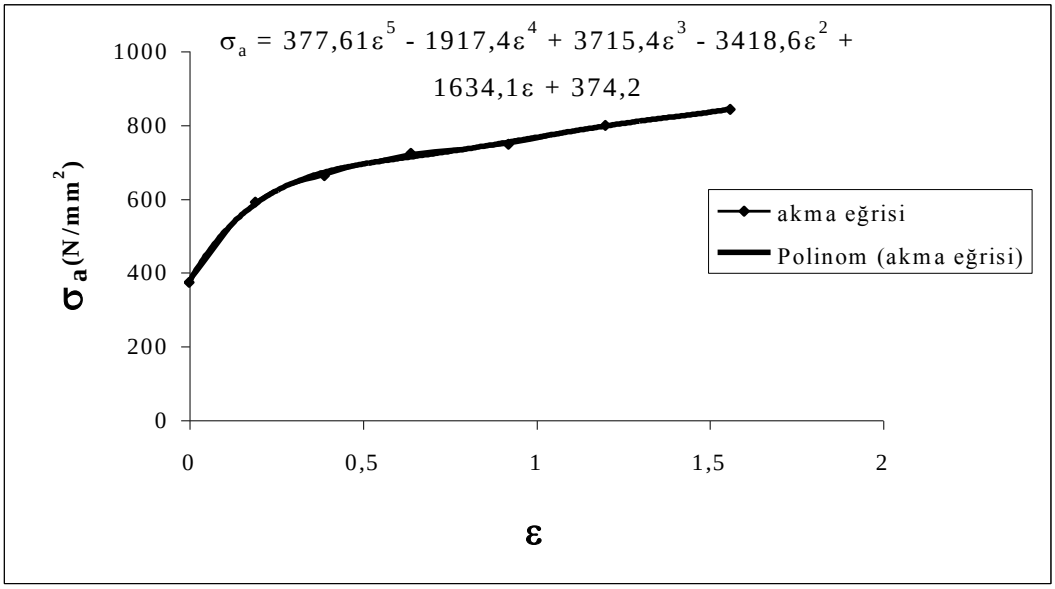
Malzemelerin soğuk deformasyon davranışlarını analiz edebilmek için soğuk şekil değişimine göre belirlenen gerçek birim şekil değişimine karşılık, soğuk çekme sonrası elde edilen akma mukavemetlerinin değişimi çizilerek, akma mukavemeti ile gerçek birim şekil değişimi arasındaki ilişkiyi ifade eden akma eğrilerinin matematiksel denklemi çıkarılmıştır. Akma eğrilerinden en uygun parabol denklemi elde edilip, parabol denkleminin türevi alınarak ve x değerleri yerine gerçek soğuk şekil değişim değerleri koyularak malzemelerin deformasyon sertleşmesi hızları hesaplanmıştır. Akma eğrilerinin parabolleri Şekil 6.4., 6.5. ve 6.6.'da üç farklı kalitedeki malzeme için gösterilmiştir. Malzemelerin deformasyon sertleşmesi hızlarının gerçek soğuk şekil değişimi ile olan grafikleri de Şekil 6.7.'de verilmiştir. Deformasyon sertleşmesi hızının çalışılan üç malzeme grubunda da belirli bir deformasyona kadar hızla düştüğü daha sonra ise sabit bir değerde kaldığı görülmüştür. S.Kayalı ve arkadaşlarının [9] hazırladığı makalede ve M.Arıkan'ın [12] yaptığı yüksek lisans tezinde bakır için deformasyon setleşmesi hızının belirli bir soğuk deformasyonda minimum olduğu ve sonra sabit kaldığı bulunmuştur. Bunun nedeni deformasyon sertleşmesinin belirli bir soğuk deformasyondan sonra doyum noktasına ulaşmasıdır.



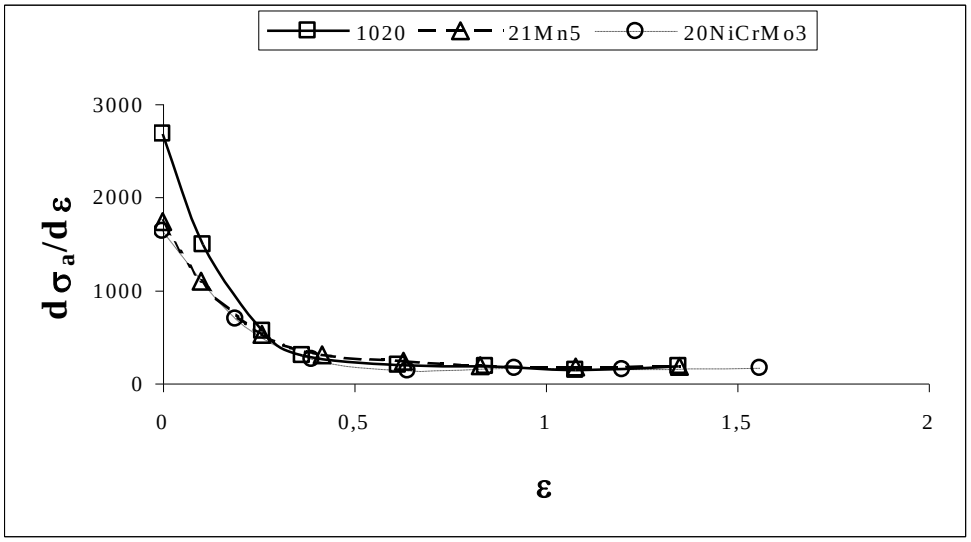
Şekil 6.4. AISI 1020 malzeme için akma eğrisi ve parabol denklemi



Şekil 6.5. AISI 21Mn5 malzeme için akma eğrisi ve parabol denklemi



Şekil 6.6. AISI 20NiCrMo3 malzeme için akma eğrisi ve parabol denklemi



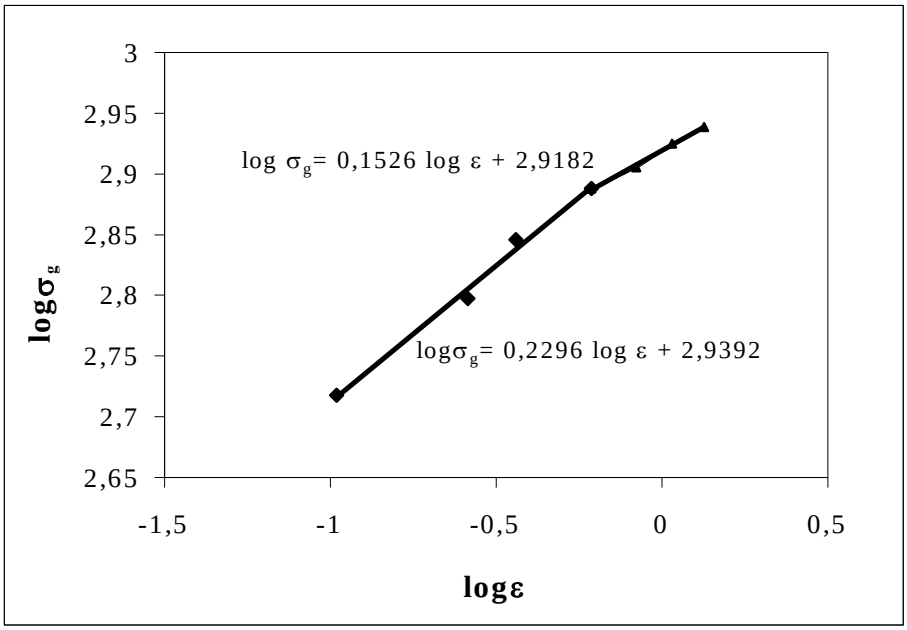
Şekil 6.7. Malzemelerin deformasyon sertleşmesi hızlarının deformasyonla değişimi

Şekil 6.7.'deki grafik incelendiğinde başlangıçta en yüksek deformasyon sertleşmesine sahip malzemenin AISI 1020 olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak AISI 1020 malzemenin başlangıç sertlik değerinin daha düşük olması gösterilebilir. Çalışılan üç malzemede de ε yaklaşık olarak 0,6 olduğunda deformasyon sertleşmesi hızının aynı değerlere geldiği ve bu değerde sabit kaldığı görülmüştür.

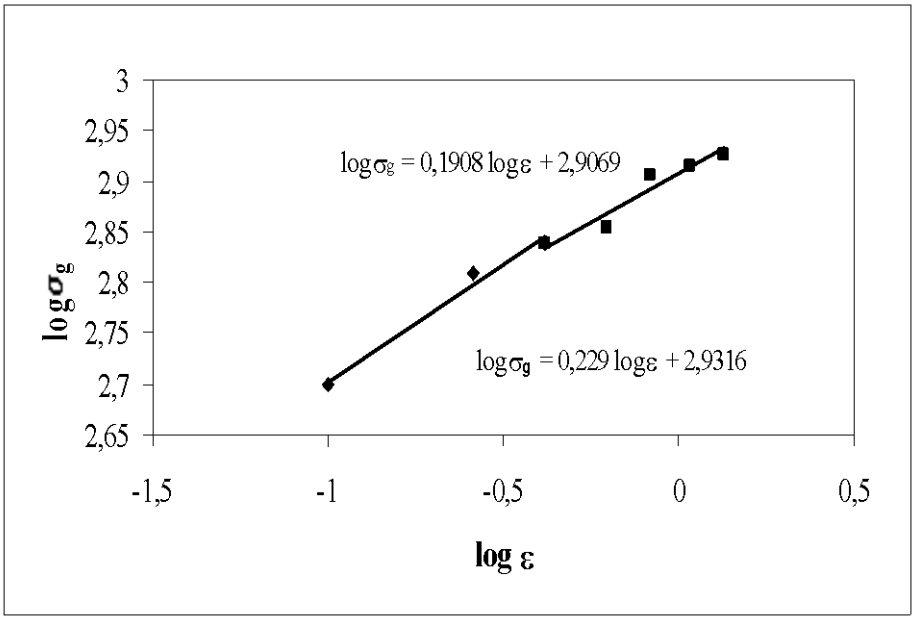
6.1.2. Soğuk Çekme İşlemleri İçin Deformasyon Sertleşmesi Üssü Değerlerinin Hesaplanması

Şekil 6.7.'deki akma eğrilerine göre incelenen çeliklerin deformasyon sertleşmesi üssü değerlerini tespit etmek için $\log\sigma_g$ - log ε eğrileri çizilmiş ve bu eğrilerin eğimleri alınmıştır. AISI 1020 için Şekil 6.8., AISI 21Mn5 için Şekil 6.9. ve AISI20NiCrMo3 için Şekil 6.10'da bu eğriler verilmiştir. AISI 1020 ve 21Mn5 kalite malzemelerin incelenen deformasyon aralığındaki deformasyon davranışları tek bir Holloman denklemi ile karakterize edilememektedir zira Şekil 6.8. ve 6.9.' da ki grafiklerde iki farklı deformasyon sertleşmesi üssü değeri bulunmuştur. AISI 20NiCrMo3 malzemenin deformasyon davranışının ise tek bir Holloman denklemi ile karakterize edilebildiği bulunmuştur ve Şekil 6.10'daki grafikte tek bir deformasyon sertleşmesi üssü görülmüştür. Deformasyon sertleşmesi üssü değerinin değiştiği deformasyon değeri deformasyon sertleşmesi hızının sabit kaldığı deformasyon değerine eşittir. Bu değerde yaklaşık olarak 0,6'dır. Log σ_g -Log ε

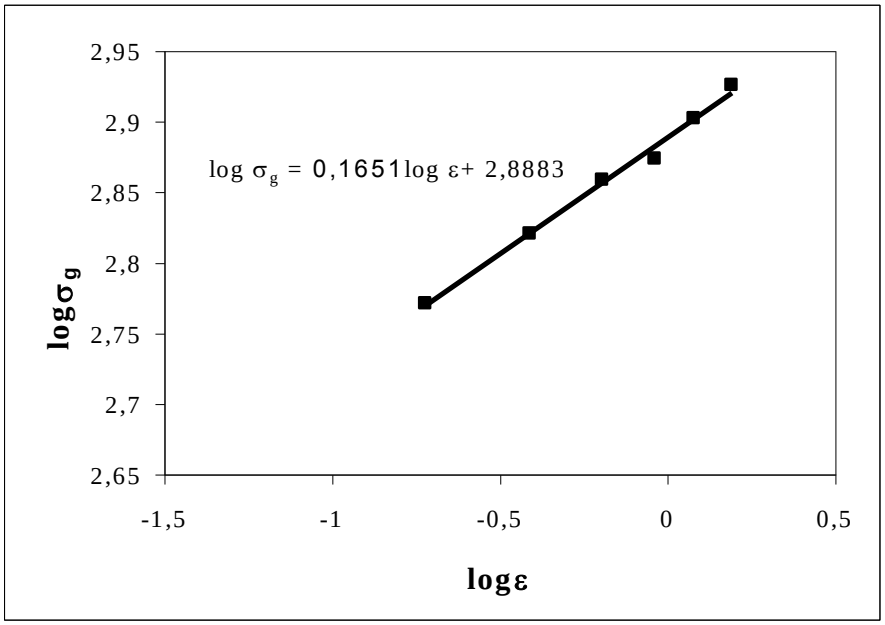
eğrilerinin eğimleri incelendiğinde, soğuk deformasyon miktarının artmasıyla deformasyon sertleşmesi üssünün azaldığı görülmüştür. Başlangıç deformasyon sertleşmesi hızı en düşük olan malzeme AISI 20NiCrMo3'ün deformasyon sertleşmesi üssü değerinin de en düşük değerde olduğu bulunmuştur.



Şekil 6.8. AISI 1020 için deformasyon sertleşmesi üssünün tespiti



Şekil 6.9. AISI 21Mn5 için deformasyon sertleşmesi üssünün tespiti



Şekil 6.10. AISI 20NiCrMo3 için deformasyon sertleşmesi üssünün tespiti

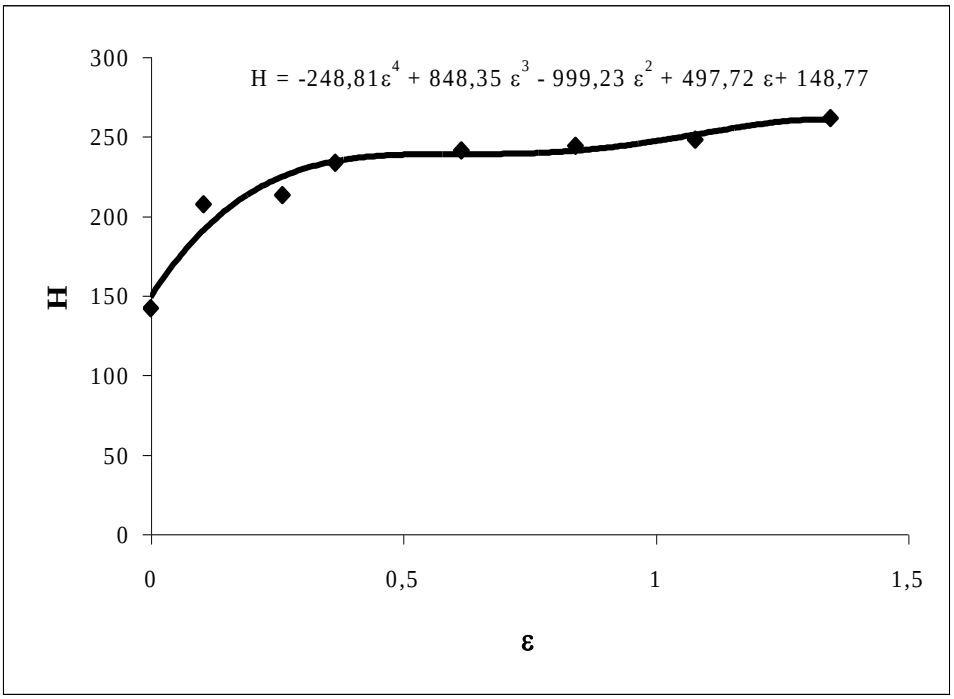
6.2. Sertlik Sonuçları

6.2.1.Mikro Sertlik Sonuçları

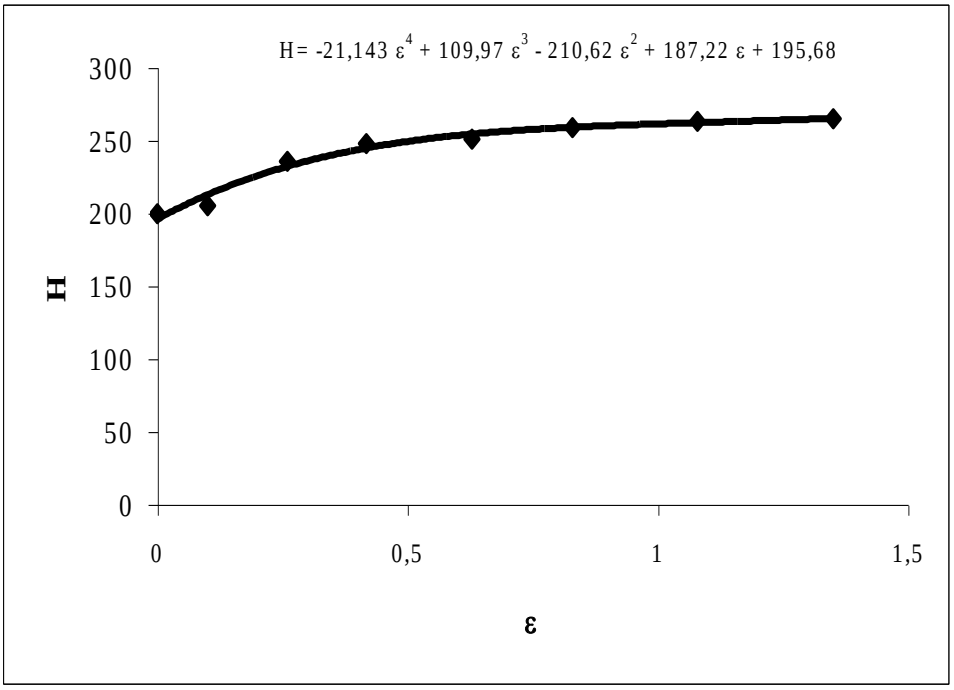
Her malzemeden dört tane sertlik değeri alınmış ve bunların ortalaması Vickers sertliği olarak belirlenmiştir. Sertliğin soğuk deformasyonla değişimini belirlemek için Şekil 6.11., 6.12. ve 6.13.'de verilen grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerin akma eğrilerinde uygulanan yöntem gibi parabol denklemleri elde edilerek, denklemlerin türevi alınmıştır ve sertleşme hızının soğuk deformasyonla değişiminin grafiği çizilmiştir. Şekil 6.14.'de bu grafik gösterilmiştir. Akma grafiklerinden elde edilen sonuçlarda olduğu gibi sertlik deneyleriyle belirlenen grafikte de (Şekil 6.14.), sertleşme hızı soğuk deformasyonla birlikte önce hızla azalıyor ve belirli bir deformasyon değerinden sonra sabit kalıyor. Bu çalışmada sabit kaldığı deformasyon değeri tüm malzemeler için yaklaşık olarak 0,6 olarak bulunmuştur.

Literatür bilgilerine göre malzemelerin akma mukavemetleri Vickers sertlik değerlerinin yaklaşık olarak 3 katına, çekme mukavemetleri de 3,5 katına eşittir. Ek A' da bu çalışmada kullanılan tüm malzemeler için akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerleriyle Vickers mikrosertlik değerleri arasında grafikler çizilmiştir.

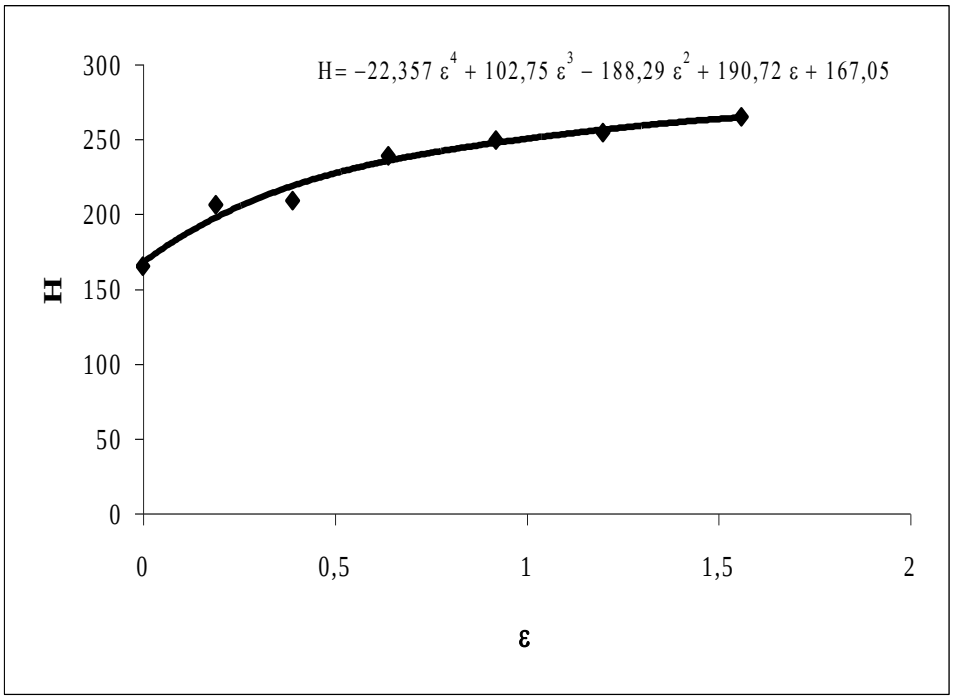
Bu grafiklerin eğimleri alındığında mukavemet değerleriyle sertlik arasındaki literatürde belirtilen ilişki görülmüştür.



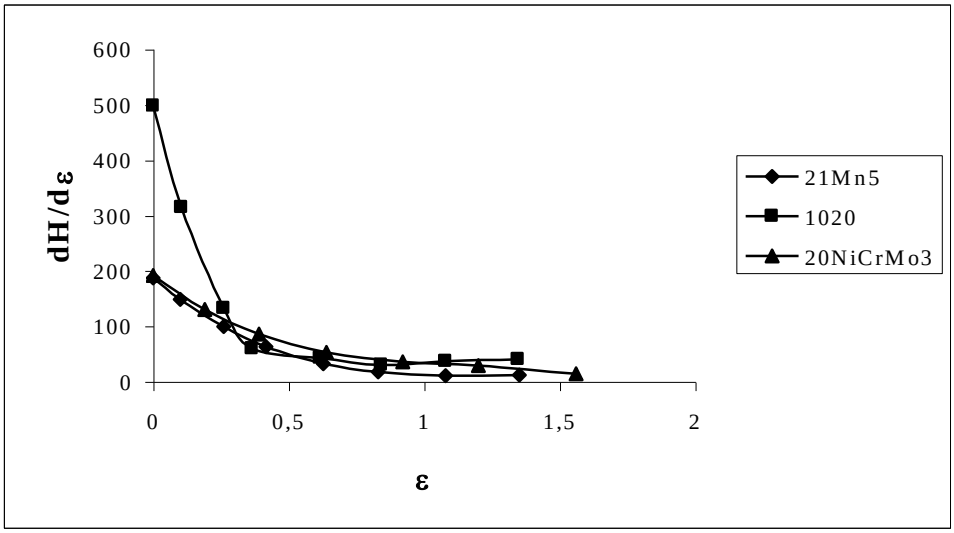
Şekil 6.11. AISI 1020 için soğuk deformasyonla sertliğin değişimi



Şekil 6.12 AISI21Mn5 için soğuk deformasyonla sertliğin değişimi



Şekil 6.13. AISI 20NiCrMo3 için soğuk deformasyonla sertliğin değişimi

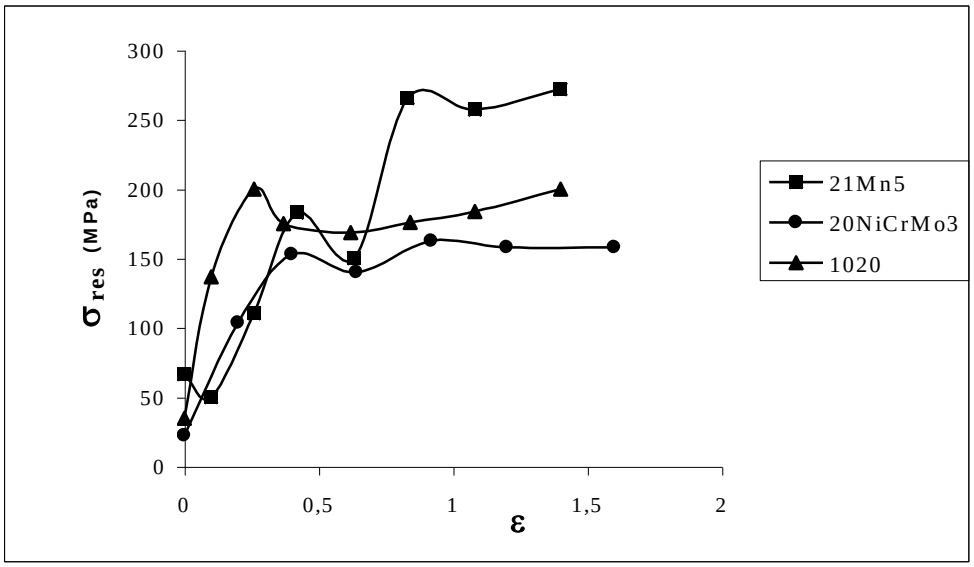


Şekil 6.14. Sertleşme hızının soğuk deformasyonla değişimi

6.2.2. Ultra Mikro Sertlik Sonuçları

Malzemelerin ultra mikrosertlik deneylerinin sonuçları kalıntı gerilme hesaplamalarını yapmak için kullanılmıştır. Şekil 6.15'de kalıntı gerilmelerin soğuk deformasyonla değişiminin grafiği gösterilmiştir. Soğuk deformasyonla birlikte

kalıntı gerilme miktarının önce hızla arttığı ve daha sonra yaklaşık olarak sabit kaldığı bulunmuştur. Bunun nedeni de deformasyon sertleşmesi hızının aynı deformasyon değerinden itibaren sabit kalması olarak açıklanmıştır. En yüksek kalıntı gerilme miktarı AISI 21Mn5 kalite çelikte bulunmuştur.



Şekil 6.15. Kalıntı gerilmenin soğuk deformasyonla değişimi

6.3.Metalografik Çalışma Sonuçları

İncelenen çeliklerin uzunluk ve dik kesitlerinde optik mikroskopta 320 büyütmede çekilen mikroyapı fotoğrafları EkB'de üç farklı malzeme grubu için soğuk deformasyon oranlarına göre verilmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde, çeliklerin ferrit perlit yapısında olduğu ve soğuk deformasyonla birlikte malzeme yapısının değiştiği görülmüştür. Soğuk çekme sırasında taneler çekme yönünde uzarken uzunluğa dik kesitte küçülmüştür. En belirgin değişim deformasyon sertleşmesi hızının sabit kaldığı (Şekil 6.7.) deformasyon oranında görülmeye başlanmıştır.

7. GENEL SONUÇLAR

AISI 1020,21Mn5 ve 20NiCrMo3 kalite zincir çeliklerinin soğuk çekme işlemleri sırasındaki deformasyon davranışlarını incelemek ve deformasyon miktarının mekanik özellikler üzerindeki etkisini kıyaslamak amacıyla yapılan bu çalışmalar sonunda aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Soğuk çekme oranının artmasıyla birlikte her üç kalitedeki malzemenin mukavemet ve sertlik değerlerinin arttığı, süneklik değerlerinin ise azaldığı görülmüştür.
2. Soğuk çekme işlemi sırasındaki deformasyon sertleşmesi hızı artan deformasyon miktarına göre önce hızla azalmakta ve yaklaşık 0,6 gerçek birim şekil değişimi değerinden sonra sabit kalmaktadır. Deformasyon sertleşmesi hızının artan deformasyonla azaldığı birinci bölgede AISI 1020 kalite çelik diğerlerinden daha yüksek deformasyon sertleşmesi hızına sahiptir. Bu bölgede 21Mn5 ve 20NiCrMo3 kalitelerin deformasyon sertleşmesi hızı hemen hemen aynıdır. Deformasyon sertleşmesi hızının deformasyondan etkilenmediği ikinci bölgede ise her üç çelik hemen hemen aynı değerde deformasyon sertleşmesi hızı sergilemiştir.
3. AISI1020 ve 21Mn5 kalite çeliklerin soğuk çekme işlemleri sırasındaki deformasyon davranışı tek bir Holloman denklemi ile ifade edilememektedir. Artan deformasyona göre deformasyon sertleşmesi hızının azaldığı ve sabit kaldığı bölgelerde farklı deformasyon sertleşmesi üssü değeri bulunmuştur. Buna karşılık 20NiCrMo3 kalite çeliğin deformasyon davranışı tek bir Holloman denklemi ile karakterize edilmiştir.
4. İncelenen çeliklerin sertlik değişim hızlarının da deformasyon sertleşmesi hızı gibi yaklaşık 0,6 deformasyona kadar azaldığı ve sonra sabit kaldığı bulunmuştur.

5. Soğuk çekme işlemi mikroyapı değişimine sebep olmaktadır. Ancak mikroyapısal değişim deformasyon sertleşmesi hızının sabit kaldığı deformasyon bölgesinde daha belirgindir.
6. Ultra mikrosertlik deneyleriyle belirlenen kalıntı gerilme miktarları soğuk çekme oranına bağlı olarak önce hızla artmakta sonra sabit kalmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] **Topbaş, M.A.,**1993. Endüstri Malzemeleri1, Yıldız.

[2] **TS 4902,** 1986. Gemi çapaları için kaynaklı zincirler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[3] **Çağırgan, A.T.,** 1991. Zincir Üretimi, *Bitirme Ödevi*, İ.T.Ü, İstanbul.

[4] **Suner, F.,** 1978. Kaldırma ve İletme Makineleri, İstanbul.

[5] **DIN 17115,** 1987. Steels for Welded Round Link Chains.

[6] **Kayalı, E.S. ve Ensari, C.,** 1986. Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, İ.T.Ü Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.

[7] **Ed. By Dieter, E.G.,** 1988. Mechanical Metallurgy SI Metric Edition, McGraw-Hill Book Company, London.

[8] **Brethenoux, G., Bourgain, E., Pierson, G., Jallon, M. and Secordel, P.,** 1996. Cold forming processes some examples of predictions and design optimization using numerical simulations, *Journal of Materials Processing Technology,* **60,** 555-562.

[9] **Kayalı, E.S., Sayed. M.E. and Funke, P.,** 1990. Deformation behaviour during drawing of copper rods produced using various processes, *Materials Science and Technology*, **6,** 872-883.

[10] **Cairns, J.H., Clough, J., Dewey, M.A.P. and Nutting, J.,** 1971. The structure and mechanical properties of heavily deformed copper, *Journal of The Institute of The Metals*, **99,** 93-97.

[11] **Matlock, D.k., Zıa-Ebrahimi, F. and Krauss, G.,** 1984. Deformation, Processing and Structure, ASM, Ohio.

[12] **Arıkan, M.,** 1991.Tel Çekme İşleminde Bakır ve Bakır Oksit İnklüzyonlarının Deformasyon Davranışı,*Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.T.Ü, İstanbul

[13] **Çapan, L.,**1990. Metallerde Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

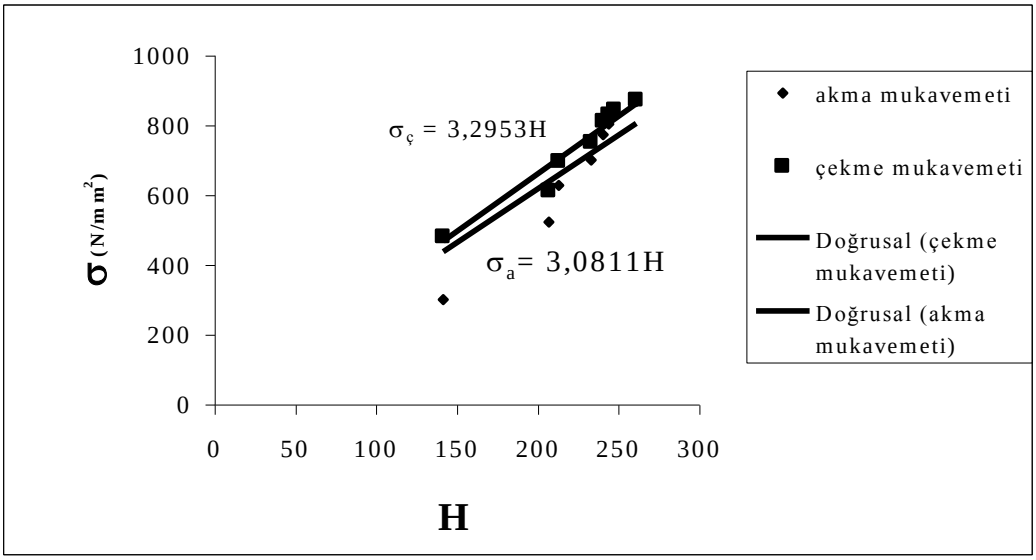
[14] **He, S., Bael, A.V., Li, S.y., Houtte, P.V., Mei, F. and Sarban, A.,**2003. Residual stress deformation in cold drawn steel wire by FEM simulation and X_ray diffraction, *Materials Science and Engineering A*, **346,** 101-107.

[15] **Carrlsson, S. and Larsson, P.l.,** 2001. On the determination of residual stress and strain fields by sharp indentation testing.. Part 1: Theoretical and Numerical Analysis,*Acta Materialia*, **49,** 2179-2191.

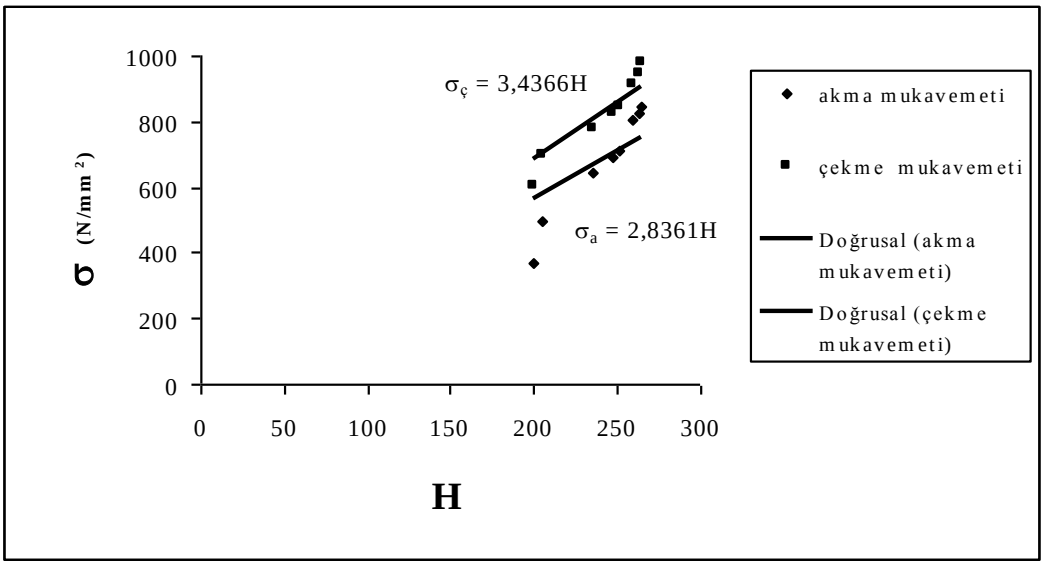
[16] **Carrlsson, S. and Larsson, P.l.,** 2001. On the determination of residual stress and strain fields by sharp indentation testing.. Part 2:Experimental Investigation, *Acta Materialia*, **49,** 2193-2203.

[17] **Zeng, K., Söderlund, E., Giannokopoulos, A.E. and Rowclıffe, D.J.,** 1996. Controlled indentetion: A general approach to determine mechanical properties of brittle materials, *Acta Materialia*, **44,** 1127-1141

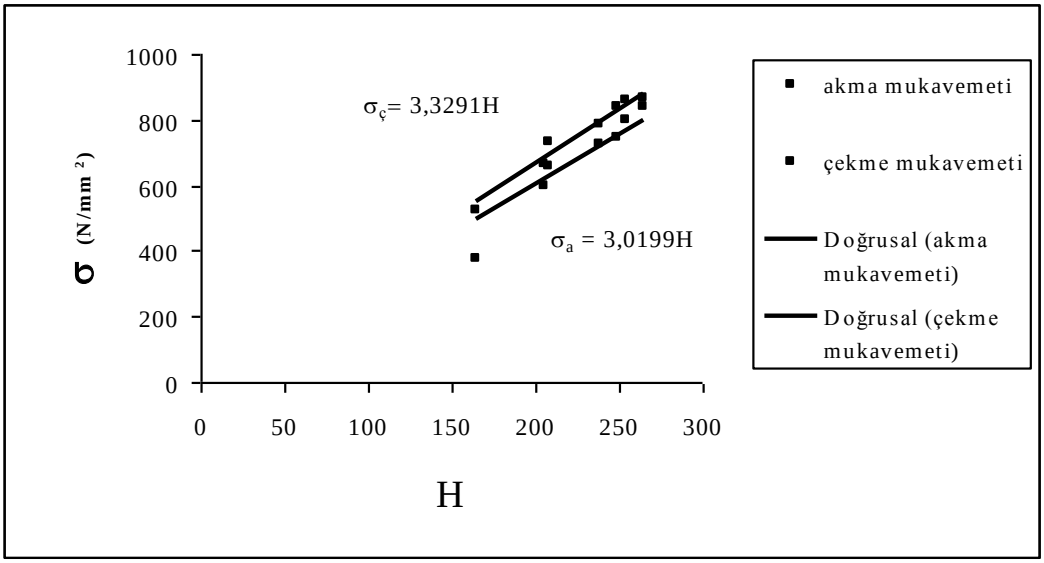
Ek - A



Şekil A.1. AISI 1020 için mukavemet değerleri ile Vickers mikrosertlik değerlerinin değişimi



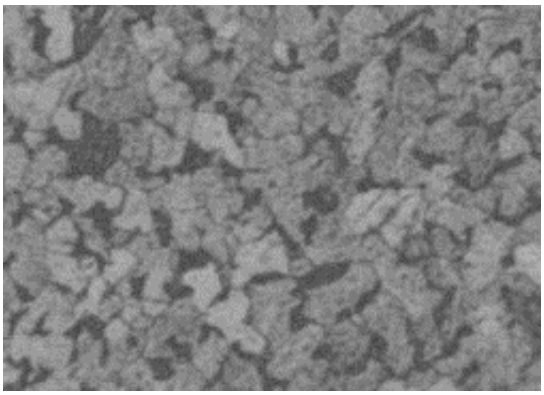
Şekil A.2. AISI 21Mn5 için mukavemet değerleri ile Vickers mikrosertlik değerlerinin değişimi

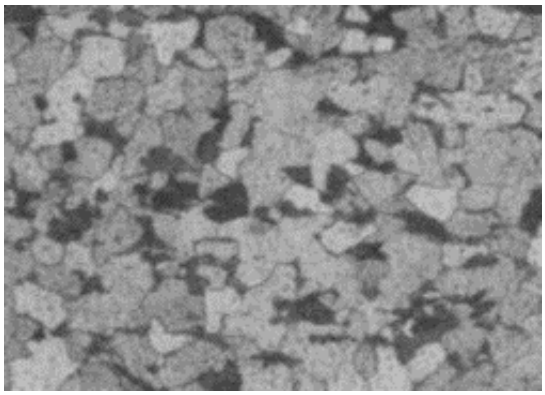


Şekil A.3. AISI 20NiCrMo3 için mukavemet değerleri ile Vickers sertlik değerlerinin değişimi

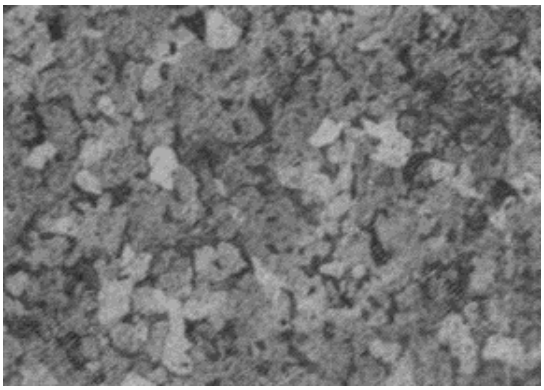
EK - B

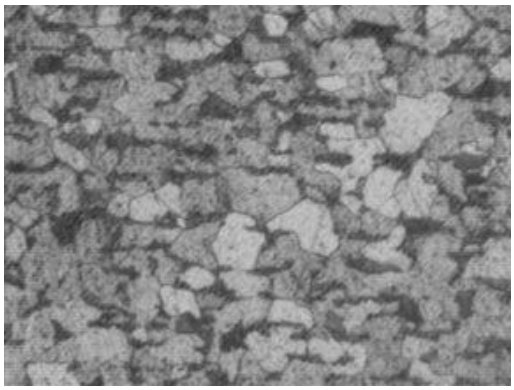
Dik kesitler **Yan Kesitler**



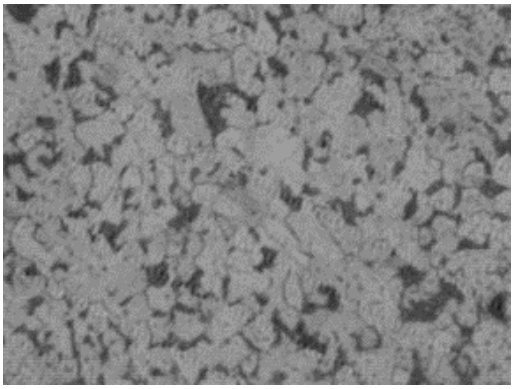


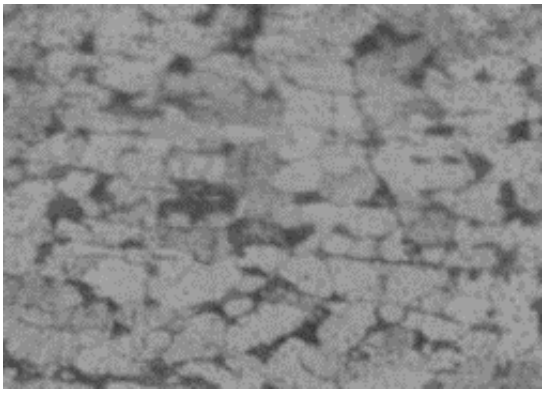
A



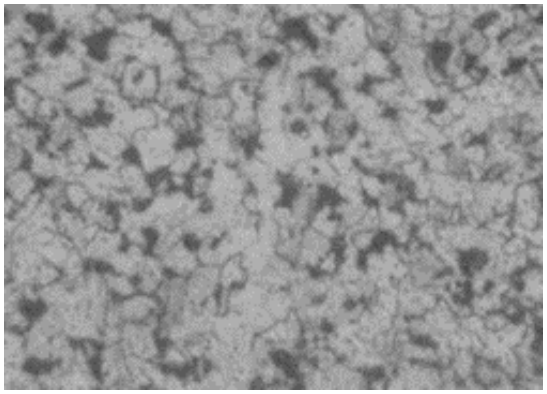
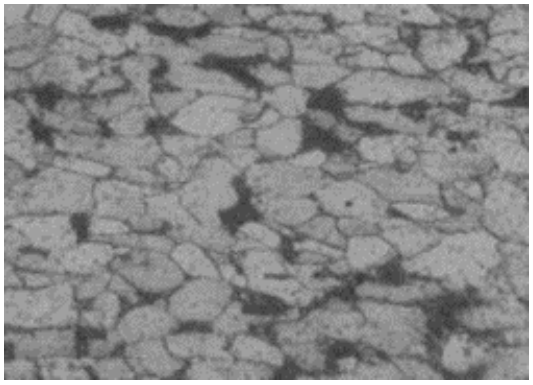


B

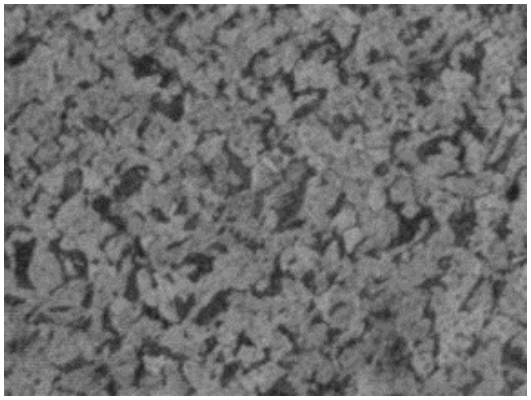
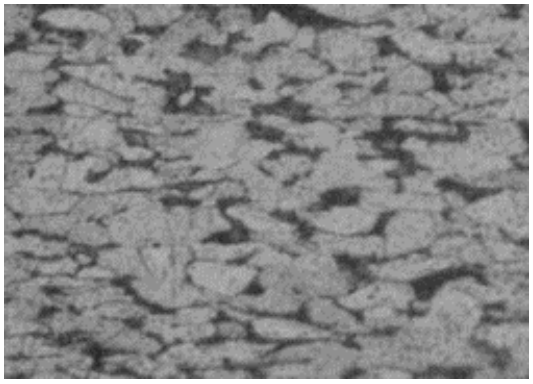




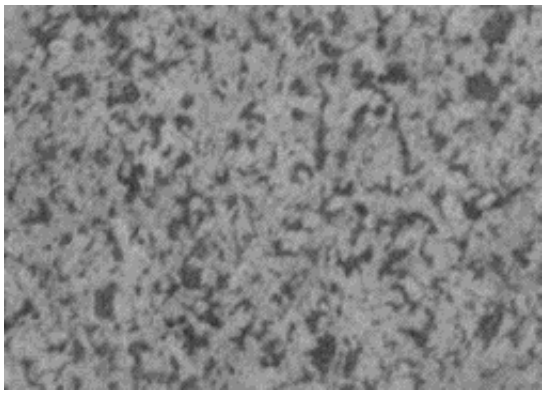
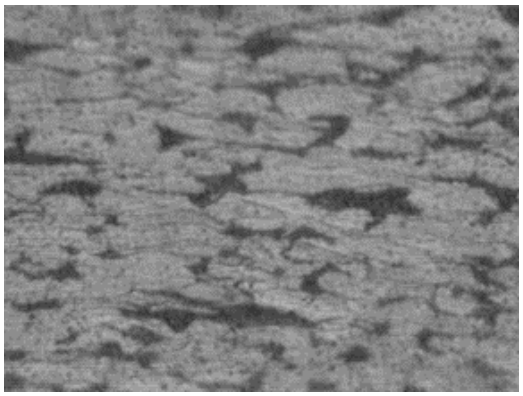
C

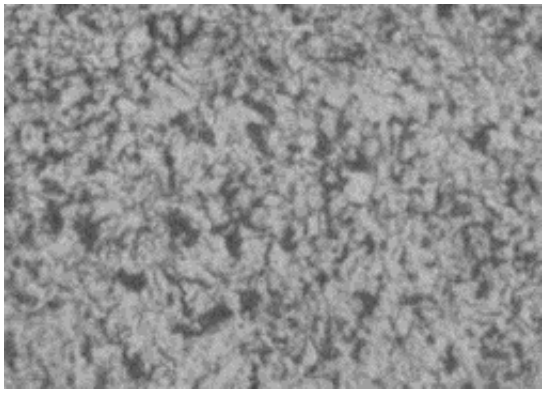
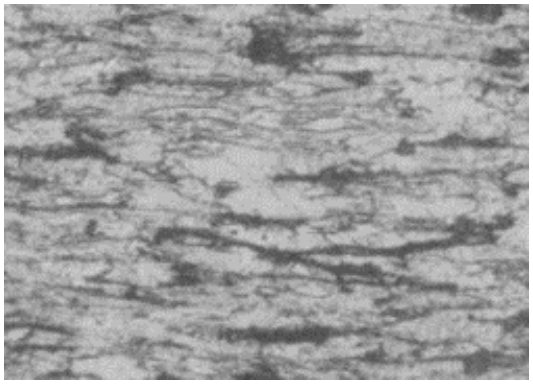
D

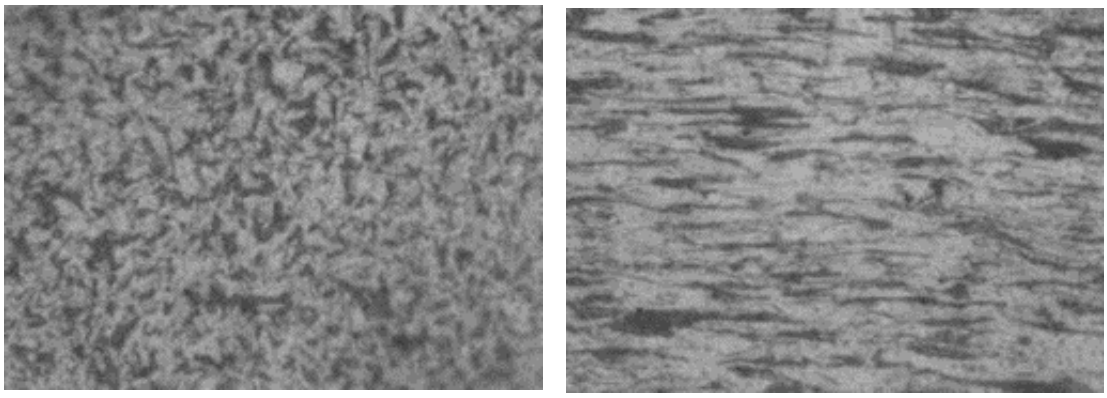
E

F

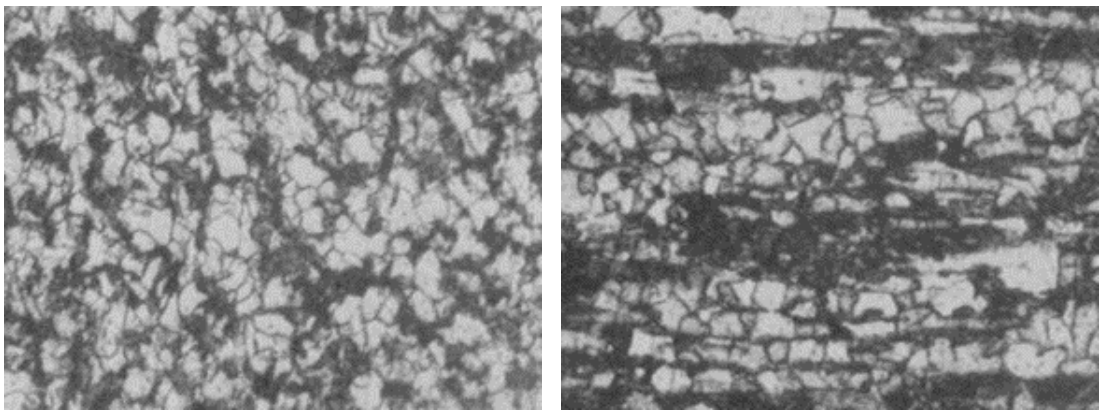
G



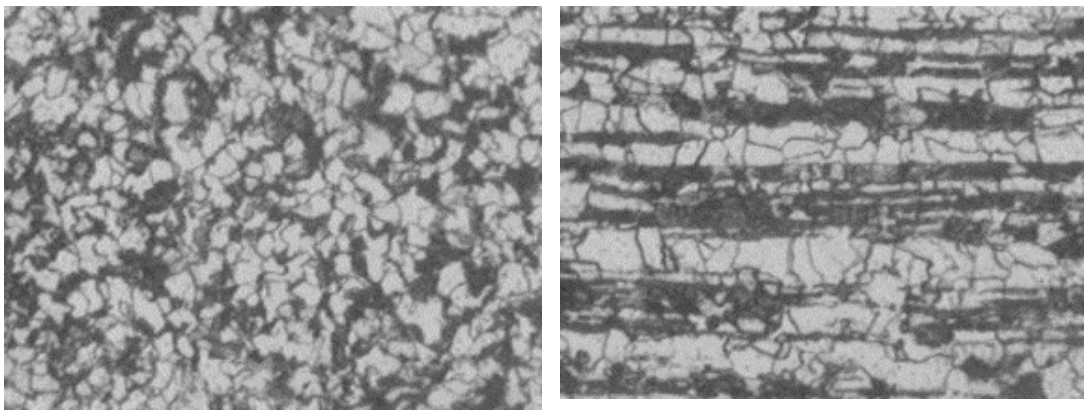
H

Şekil B.1. AISI 1020 için mikroyapı fotoğrafları (gerçek birim soğuk şekil değişimi oranları ; A=0,B=0,1,C=0,26,D=0,37,E=0,62,F=0,8 , G=1,08 ve H= 1,35)

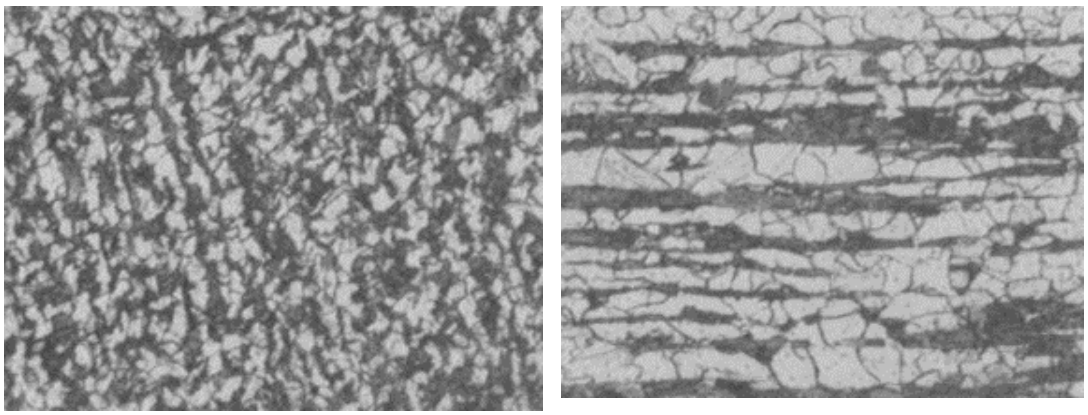
Dik Kesitler **Yan Kesitler**



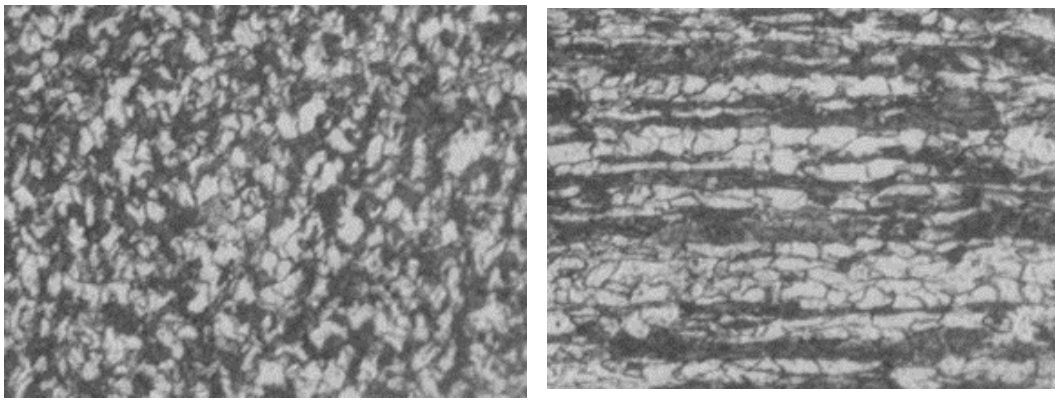
A



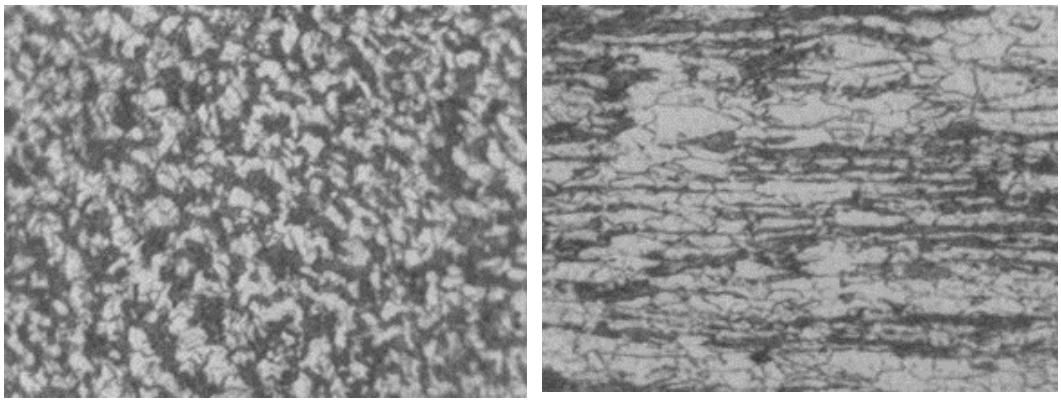
B



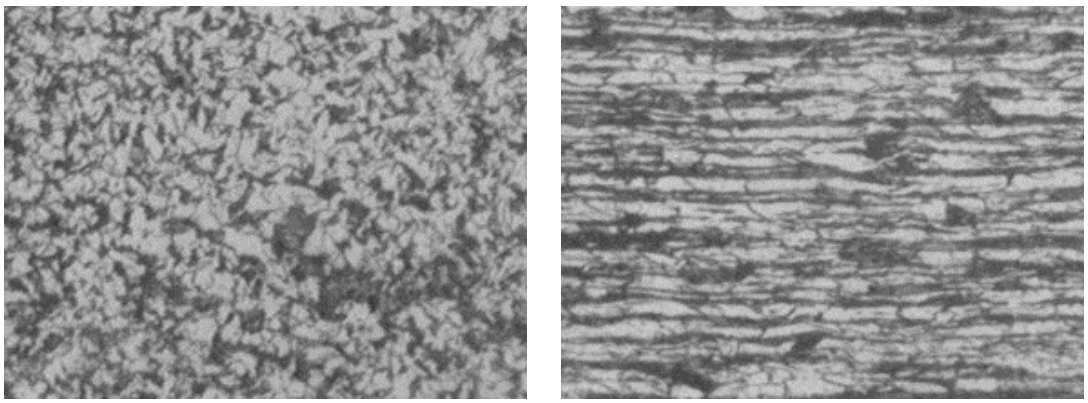
C



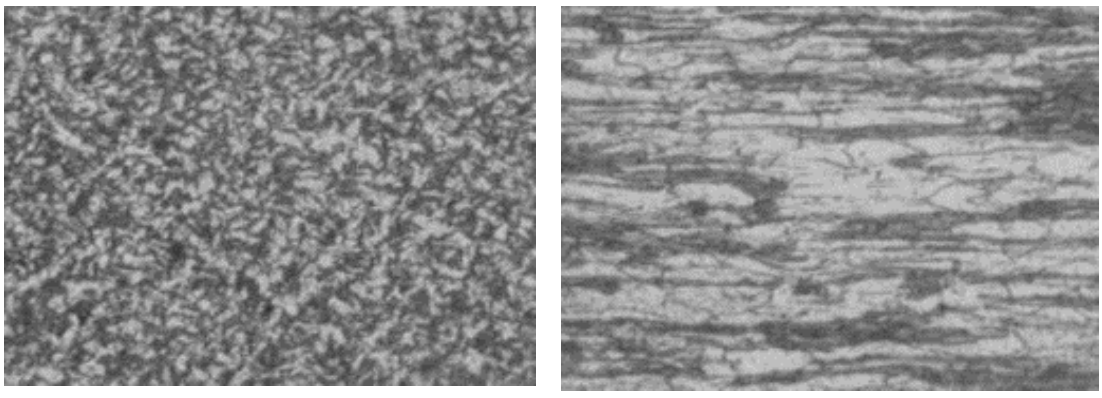
D



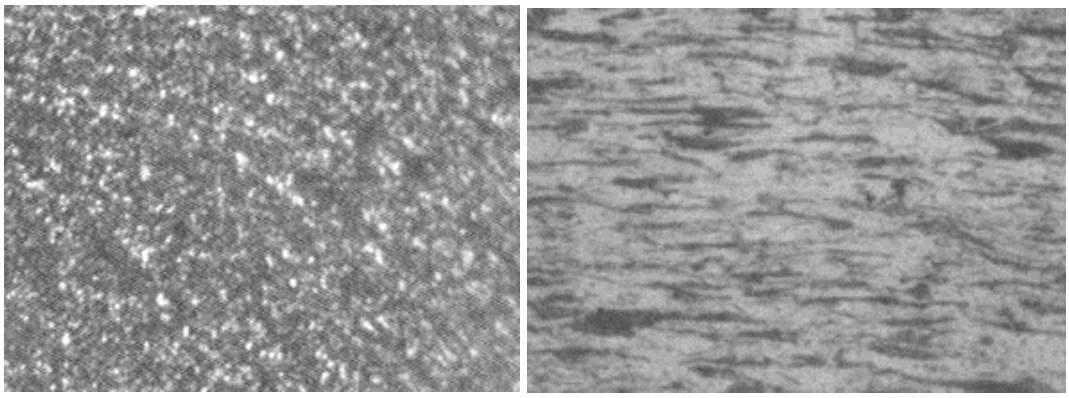
E



F



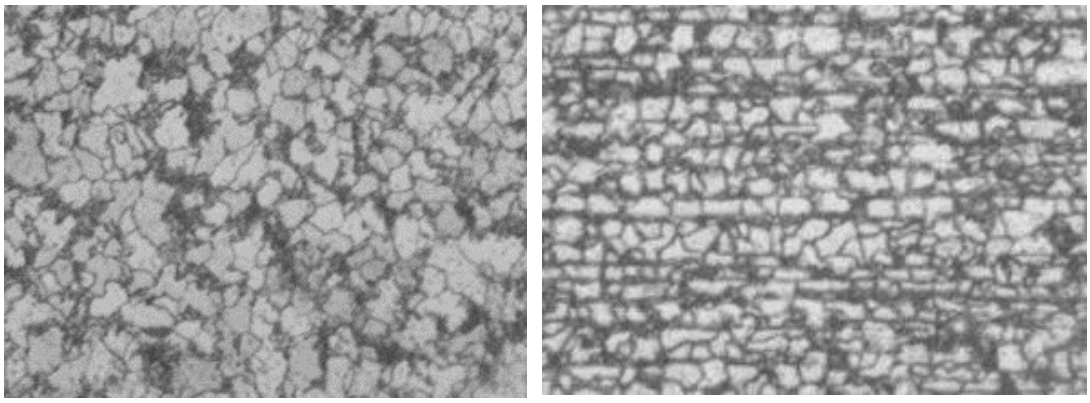
G



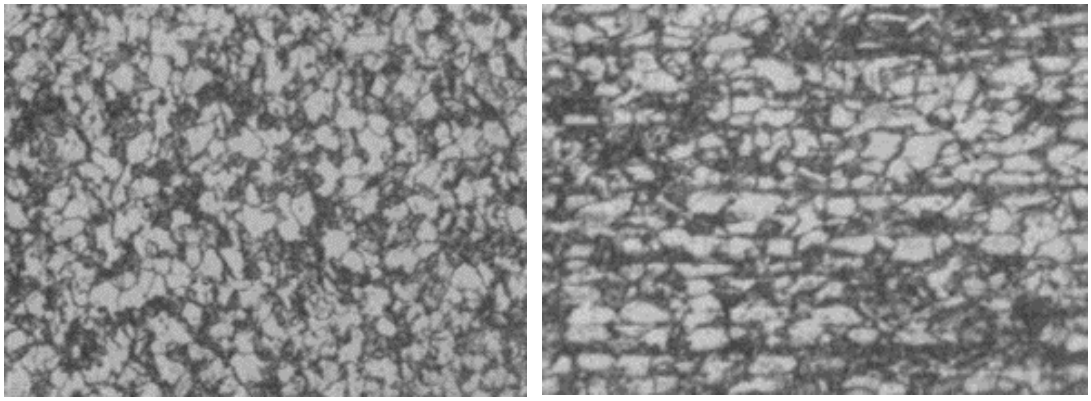
H

Şekil B.2. AISI 21Mn5 için mikroyapı fotoğrafları (gerçek birim soğuk şekil değişimi oranları ; A=0,B=0,1,C=0,26,D=0,42,E=0,63,F=0,8 , G=1,08 ve H=1,35)

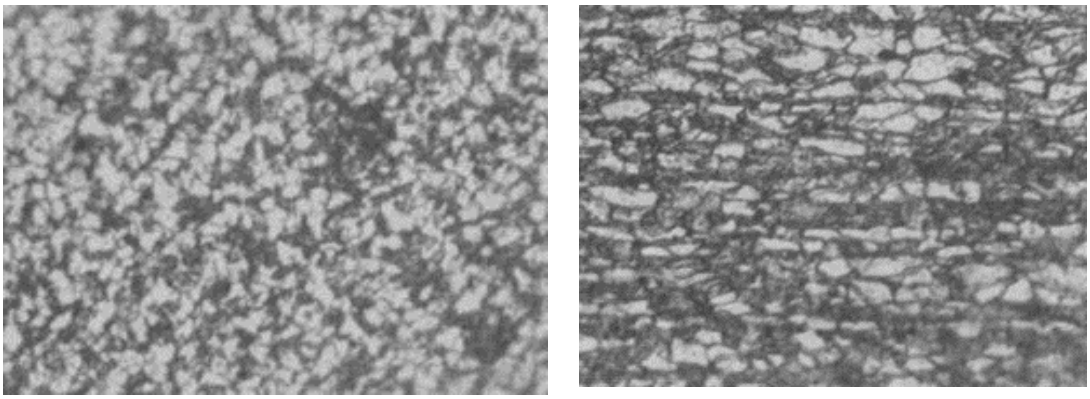
Dik Kesitler **Yan Kesitler**



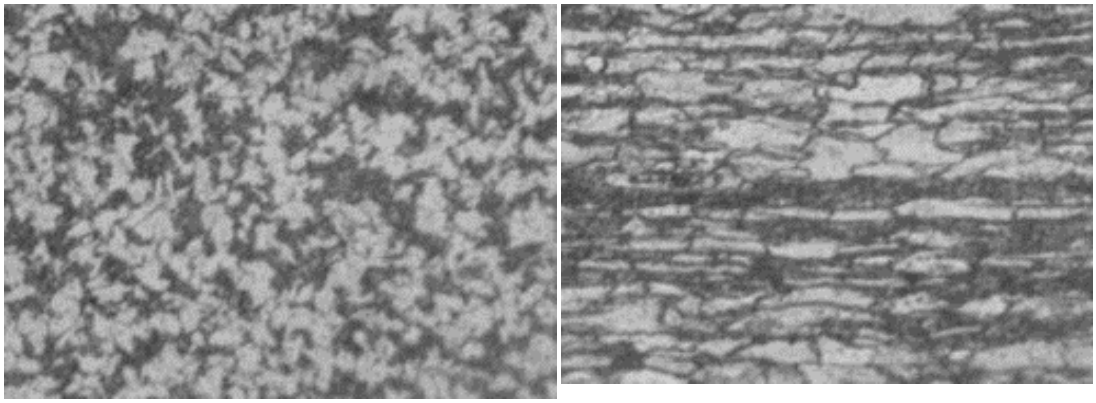
A



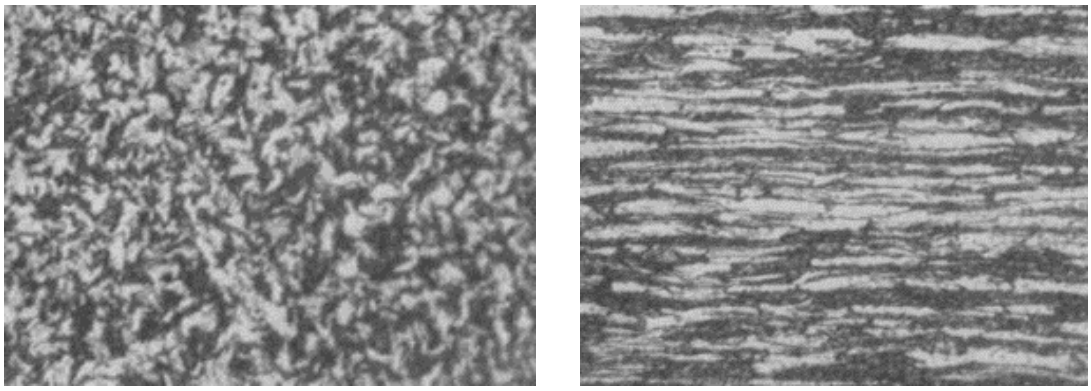
B



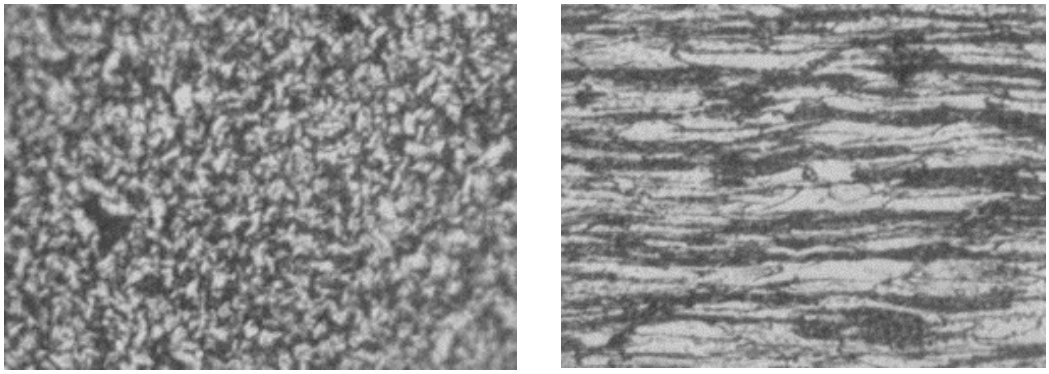
C



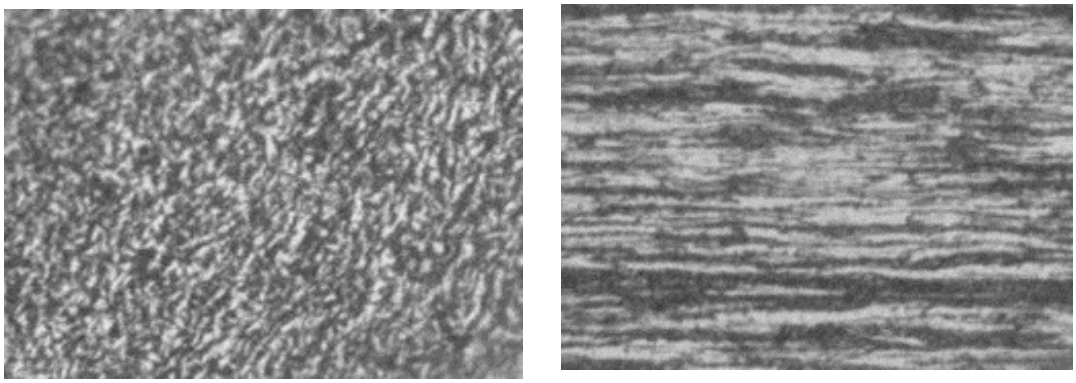
D



E



F



G

Şekil B.3. AISI 20NiCrMo3 için mikroyapı fotoğrafları (gerçek birim soğuk şekil değişimi oranları ; A=0,B=0,2,C=0,4,D=0,6,E=0,9,F=1,2 ve G=1,56)

ÖZGEÇMİŞ

Güler DÖNMEZ 1979 yılında İstanbul'da doğdu. Kadıköy Kazım İşmen Lisesi'nden 1996 yılında mezun olduktan sonra, aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Bu bölümden 2000 yılında mezun olduktan sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Anabilim Dalında yüksek lisans programına başladı.