

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
SACLARIN ŞEKİLLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. İdris YILDIZ

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Kenan YILDIZ**

Eylül 2006

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
SACLARIN ŞEKİLLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. İdris YILDIZ

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Kenan YILDIZ

Bu tez 04/09/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Dr.
Kenan YILDIZ**

**Doç. Dr.
S. Can KURNAZ**

**Yrd. Doç. Dr.
Erdal KARADENİZ**

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesi ve yüksek lisans tezimin hazırlanmasının her aşamasında düşünce ve önerileri ile bana yol gösteren, her türlü yardımı esirgemeyen Sn. Hocam Yrd. Doç. Dr. Kenan YILDIZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi, yapılan çalışmaların değerlendirilmesi ve tezin hazırlanmasında her türlü yardımlarını gördüğüm Erdemir Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Müdürlüğü'nden Sn. Dr. Ziya ASLANOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Numunelerin alınması ve hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Erdemir II.Soğuk Haddehane Müdürlüğü'nden İşletme Mühendisi Sn. Ahmet KAHRİMAN'a ve Erdemir CAL laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez çalışmaları için her türlü yardımı gördüğüm Erdemir'den Pazarlama Koordinasyon Müdürü Sn. İbrahim BAYRAKTAROĞLU'na, Pazar Geliştirme Şefi Sn. Dr. Mustafa ARIKAN'a ve Pazar Geliştirme Mühendisi Sn. Kaan TANRIÖVER'e teşekkür borçluyum.

Ayrıca desteklerini hiç esirgemeyen eşim ve kızıma teşekkür ederim.

İdris YILDIZ
Metalurji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

YASSI ÇELİK ÜRETİMİ.....	3
2.1 Çelik Üretimi.....	3
2.2 Haddelme Prosesi.....	5
2.2.1 Sıcak haddelme prosesi.....	6
2.2.2 Soğuk haddelme prosesi.....	7
2.3 Yassı Çeliklerin Isıl İşlemi.....	10
2.3.1 Isıl işlemin amacı ve türleri.....	10
2.3.1.1 Kutu tavlama (Batch Annealing).....	10
2.3.1.2 Sürekli tavlama (CAL).....	11
2.4 Temper Haddelme.....	13
2.5 Çelik Sacların Galvaniz Kaplanması.....	14
2.5.1 Sıcak daldırmayla çinko kaplama yöntemleri.....	16
2.5.1.1 Yığın yöntemi.....	17
2.5.1.2 Sürekli yöntem.....	17

2.5.2 Alaşımli çinko kaplama.....	19
2.5.2.1 Alaşımrama tavı (Galvannealing).....	19
2.5.3 Galvanizli sacların şekillenebilirliği.....	22
2.6 Çelik Sacların Şekillendirilmesi.....	25
2.6.1 Sac şekillendirme yöntemleri.....	26
2.6.1.1 Kesme.....	26
2.6.1.2 Bükme.....	26
2.6.1.3 Sıvama.....	27
2.6.1.4 Gererek biçimlendirme.....	27
2.6.1.5 Derin çekme.....	28
2.7 Sac Biçimlendirme İşlemlerinde Görülen Hatalar.....	28
2.7.1 Kırılma.....	28
2.7.2 Buruşma ve kırışma.....	28
2.7.3 Şekil bozukluğu.....	29
2.7.4 Serbest metal.....	29
2.7.5 İstenmeyen yüzey yapısı.....	29
2.7.6 Çatlama ve yırtılma.....	30
2.7.7 Yüzey bozukluğu.....	30

BÖLÜM 3.

BİÇİMLENDİRME SINIR DİYAGRAMI.....	31
3.1 Malzemenin Mekanik Özellikleri.....	31
3.2 Şekillendirmeyi Etkileyen Faktörler.....	32
3.2.1 Kalınlık.....	33
3.2.2 Mukavemet.....	34
3.2.3 Hadde yönü.....	34
3.2.4 Akma mukavemeti.....	35
3.2.5 Kimyasal bileşim.....	35
3.2.6 Mikroyapı.....	37
3.2.6.1 Tane boyutu	37
3.2.6.2 Tane şekli	38
3.2.6.3 Mikrobileşenler	38

3.2.7 Deformasyon sertleşmesi üssü (n).....	39
3.2.8 Deformasyon hızı ve deformasyon hızı duyarlılığı üssü.....	42
3.2.9 Anizotropi katsayısı.....	44
3.3 Sacların Şekillenebilme Özellikleri.....	46
3.4 BSD'ların Şekillendirme İşlemlerinde Kullanımı.....	49
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	52
4.1 Giriş.....	52
4.2 Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	52
4.3 Çekme Testi.....	56
4.4 Erichsen Derin Çekme Testi.....	56
4.5 Metalografik İnceleme.....	59
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR.....	61
5.1 Mekanik Test Sonuçları.....	61
5.2 Mikroyapı İncelemeleri.....	62
5.3 Biçimlendirme Sınır Diyagramları	66
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	80

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 Soğuk haddelenmiş çelik sac tipleri ve mekanik özellikleri.....	10
Tablo 4.1 Deneysel çalışmada kullanılan sacların özellikleri.....	53
Tablo 4.2 Testlerde kullanılan sacların kimyasal analizleri.....	54
Tablo 4.3 Deneysel çalışmada kullanılan saclarının üretim parametreleri...	55
Tablo 5.1 Deneysel çalışmada kullanılan sacların çekme testi sonuçları....	61
Tablo 5.2 Deneysel çalışmada kullanılan sacların r_{ort} ve Δr sonuçları.....	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Entegre tesislerde demir çelik üretim akış şeması.....	4
Şekil 2.2 Haddeleme işleminin şematik gösterimi.....	6
Şekil 2.3 Sıcak haddeleme şematik gösterimi.....	6
Şekil 2.4. Sürekli asitleme/tandem (CPT) hattının şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.5 Sıralı 4'lü hadde sisteminin şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.6 Sürekli tavlama hattının (CAL) şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.7 Entegre bir tesiste temper haddeleme ünitesi.....	13
Şekil 2.8 450°C'de Al içermeyen bir çinko banyosunda çok düşük karbonlu bir çeliğin 300 s galvanizlenmesi sonrasında kaplama yapısında görülen fazlar.....	16
Şekil 2.9 Sürekli galvanizleme hattı (CGL) şematik gösterimi.....	18
Şekil 2.10 Çinko kaplama tavlı.....	20
Şekil 2.11 Tavlı çinko kaplamaların iç yapısı: a) Tip 0, b) Tip 1, c) Tip 2...	21
Şekil 2.12 Tavlama ünitesi boyunca ilerleyen şeridin tipik sıcaklık profili	21
Şekil 2.13 Galvanizli parçaların biçimlendirilmesinde ortaya çıkan problemleri.....	23
Şekil 2.14 Fe İçeriği ve Kaplama Ağırlığının Tozlaşma Üzerindeki Etkisi..	24
Şekil 2.15 Biçimlendirme özellikleriyle kaplamadaki Fe içeriği ve Fe-Zn fazları arasındaki ilişki.....	25
Şekil 2.16 Kesme işleminin şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.17 Bükme işleminin şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.18 Sıvama işleminin şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.19 Gererek biçimlendirmenin şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.20 Derin çekme işleminin şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.1 Tipik çekme testi diyagramı.....	32

Şekil 3.2 Az karbonlu çelik sacda, sac kalınlığın düzlem Şekil değişimi noktasına etkisi.....	33
Şekil 3.3 Mukavemetin biçimlendirme sınır diyagramına etkisi.....	34
Şekil 3.4 Hadde yönünün biçimlendirme sınır diyagramlarına olan etkisi...	35
Şekil 3.5 Akma mukavemetinin biçimlendirme sınır diyagramına etkisi....	36
Şekil 3.6 Deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerinin tayini.....	39
Şekil 3.7 Alaşım elementlerinin n değerine etkisi.....	41
Şekil 3.8 2 mm kalınlığındaki az karbonlu çelik sacda, deformasyon sertleşmesi üssü'nün düzlem Şekil değişimi noktasına etkisi.....	41
Şekil 3.9 Maksimum yükte (dP=0), izin verilen homojen uzamanın olduğu nokta.....	42
Şekil 3.10 a) Çekme testi öncesi numune, b) n=0,2 c) n=0,4 d) n=0,6.....	42
Şekil 3.11 Çekme deneyi sırasında deformasyon hızını değerştirerek deformasyon hızı duyarlılığı üssü (m) değerinin belirlenmesi.....	43
Şekil 3.12 Anizotropi katsayısının çekme deneyi ile ölçümü.....	44
Şekil 3.13 Anizotropinin test yönüne göre değerimi.....	45
Şekil 3.14 Levhadaki anizotropik davranışların mekanik özelliklere etkisi.	47
Şekil 3.15 Az karbonlu çeliklere ait biçimlendirme sınır diyagramı.....	49
Şekil 3.16 Tipik bir biçimlendirme sınır diyagramı.....	50
Şekil 4.1 Çekme numuneleri alınmasının Şematik gösterimi.....	56
Şekil 4.2 Erichsen derin çekme testinde kullanılan numuneler.....	57
Şekil 4.3 Sac markalama cihazının Şematik gösterimi.....	57
Şekil 4.4 Sac markalamada kullanılan 5 mm çapındaki izlerin Şematik gösterimi.....	58
Şekil 4.5 Erichsen derin çekme cihazı.....	59
Şekil 4.6 Erichsen testi yapılmış numune ve üzerine çizilmiş daireler.....	60
Şekil 4.7 Büyük uzama ve küçük uzamanın Şematik gösterimi.....	60
Şekil 5.1 Kaplamasız 7114 kalite malzemenin mikroyapısı (200x, ASTM No:8, 20,0-23,4 µm).....	63
Şekil 5.2 Galvaniz kaplı 1312 kalite malzemenin mikroyapısı (200x, ASTM No:9, 15,0-15,9µm, 60/60 g/m ² GI, t=1,18 mm).....	63
Şekil 5.3 1313 kalite malzemenin mikroyapısı (200x, ASTM No:9, 15,0-15,9 µm, 70/70 g/m ² GI, t=1,50 mm).....	64

Şekil 5.4 1314 kalite malzemenin mikroyapısı (200x, ASTM No:8, 20,0-23,4 μm , 60/60 g/m^2 GI, $t=1,18$ mm).....	64
Şekil 5.5 410 kalite malzemenin mikroyapısı (200x, ASTM No:9, 15,0-15,9 μm , 45/45 g/m^2 GI, $t=0,80$ mm).....	65
Şekil 5.6 7114 kalite malzemede zımba hızının biçimlendirme sınır diyagramına etkisi ($t=1,0$ mm).....	66
Şekil 5.7 7114 kalite malzemede zımba hızı ve numune genişliğinin kuvvete etkisi ($t=1,0$ mm).....	67
Şekil 5.8 7114 kalite malzemede zımba hızının ve numune genişliğinin biçimlendirme sınır diyagramına derinliğine etkisi ($t=1,0$ mm, soğuk kaplamasız).....	67
Şekil 5.9 7114 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,0$ mm, soğuk kaplamasız).....	68
Şekil 5.10 1312 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,18$ mm, 60/60 g/m^2 galvaniz kaplı).....	68
Şekil 5.11 1314 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,18$ mm, 60/60 g/m^2 galvaniz kaplı).....	69
Şekil 5.12 410 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,0$ mm, 45/45 g/m^2 galvanil kaplı).....	69
Şekil 5.13 410 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=0,8$ mm, 45/45 g/m^2 galvanil kaplı).....	70
Şekil 5.14 1313 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,5$ mm, 70/70 g/m^2 galvaniz kaplı).....	70
Şekil 5.15 1313 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,5$ mm, 50/50 g/m^2 galvaniz kaplı).....	71
Şekil 6.1 70/70 g/m^2 ve 50/50 g/m^2 galvaniz kaplı 1313 kalite sacların biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,5$ mm).....	72
Şekil 6.2 1312 ve 1314 kaliteli sacların biçimlendirme sınır diyagramları ($t=1,18$ mm, 60/60 g/m^2 galvaniz kaplı).....	73
Şekil 6.3 45/45 g/m^2 galvanil kaplı 410 kalite ve soğuk kaplamasız 7114 kalite sacların biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,0$ mm,).....	74
Şekil 6.4 0,8 mm ve 1,0 mm 410 kaliteli sacların biçimlendirme sınır diyagramı (45/45 g/m^2).....	74

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American Society For Testing Materials
BSD	: Biçimlendirme Sınır Diyagramı
C	: Malzeme Sabiti
CCR	: Soğuk Haddelenmiş Rulo
d	: Tane Boyutu
δ	: Delta Fazı
Δr	: Düzlemsel Anizotropi Katsayısı
ε	: Gerçek Plastik Birim Şekil Değişimi
e_1	: Büyük Birim Şekil Değişimi
e_2	: Küçük Birim Şekil Değişimi
ε_τ	: Kalınlıktaki Birim Şekil Değişimi
ε_ω	: Genişlikteki Birim Şekil Değişimi
Γ	: Gama Fazı
GA	: Galvanil Kaplama
GFR	: Galvanil Kaplı Rulo
GI	: Galvaniz Kaplama
GZR	: Galvaniz Kaplı Rulo
HSLA	: Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelikler
IF	: Intersititial Free (Arayer Atomsuz Çelik)
K	: Mukavemet Katsayısı
k_a	: Sabit
m	: Deformasyon Hızı Duyarlılığı Üssü
n	: Deformasyon Sertleşmesi Üssü
r	: Anizotropi Katsayısı
r_0	: Hadde Yönündeki Dikey Anizotropi Katsayısı
r_{45}	: Hadde Yönüne 45° Açılı Dikey Anizotropi Katsayısı
r_{90}	: Haddeye Dik Yöndeki Dikey Anizotropi Katsayısı
P_μ	: Çekme Mukavemeti
σ	: Plastik Gerilme
σ_α	: Akma Mukavemeti
σ_l	: Çekme Mukavemeti
σ_t	: Tek Kristalin Akma Mukavemeti
ζ	: Zeta Fazı
$\dot{\varepsilon}$: Deformasyon Hızı (De/Dt)

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Biçimlendirme Sınır Diyagramı (BSD), Şekillenebilirlik, galvaniz kaplamalı sac, galvanil kaplamalı sac, derin çekme

Şekillenebilme, çelik sacın yırtılmaya veya boyun vermeye neden olmaksızın şekil alabilme kabiliyetinin ölçüsüdür. Başarılı bir biçimlendirme işlemi için sacta mümkün olduğunca homojen deformasyon dağılımı sağlanmalı ve sacın herhangi bir bölgesindeki lokal deformasyon, hasara sebep olan kritik deformasyon seviyesinin altında kalmalıdır. Kritik deformasyon seviyelerinin tespitinde biçimlendirme sınır diyagramları (BSD) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Biçimlendirme sınır diyagramları malzeme seçimi, kalıp tasarımı ve yağlama durumu gibi malzeme özellikleri ve üretim değişkenlerinin optimizasyonunda yaygın olarak kullanılır.

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde çok kullanılan Erdemir üretimi kaplamasız soğuk 7114 (DC04), galvaniz kaplı 1312 (DX52D+Z), 1313 (DX53D+Z), 1314 (DX54D+Z) ve galvanil kaplı 410 (Toyota SCGA270C) kalite düşük karbonlu sacların mekanik özellikleri incelenmiş ve biçimlendirme sınır diyagramları çizilmiştir. İncelenen saclar arasında galvaniz kaplı 1314 ve kaplamasız soğuk 7114 kaliteli malzemeler arayer atomsuz (IF:Interstitial-free) çelik olup, mekanik deneyler sonucunda en yüksek deformasyon sertleşmesi üssü (n) ve ortalama anizotropi katsayısına (r) sahip oldukları tespit edilmiştir. Çıkarılan biçimlendirme sınır diyagramlarına göre, en üstün şekillenebilme özelliği, en düşük karbon bileşimine sahip olan 7114 ve 1314 kalite çeliklerde bulunmuştur.

FORMABILITY PROPERTIES OF SHEETS USED IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

Keywords: Forming Limit diagram (FLD), formability, galvanized sheet steel, galvanized sheet steel, deep drawing

Formability is plastic deformation process in which the applied forces must develop yielding in the material but the stresses must not locally create fracture, the volume and the mass of metal are conserved and metal is displaced from one location to another. Such metallurgical phenomena should maintain homogenous deformation, the local deformation on the material must be under the levels of local necking stress, so called “critical deformation limit”. The critical deformation limits of the materials are shown on the forming limit diagrams (FLD). Forming limit diagrams are drawn by the data of the deep drawing test results.

Forming limit diagrams are commonly used for the optimization of various parameters, such as material selection, design and lubrication concepts.

In this study, various grades of low carbon steel sheets (Cold rolled grade DC04 (Erdemir 7114), galvanized grades DX52D+Z (Erdemir 1312), DX53D+Z (Erdemir 1313), DX54D+Z (Erdemir 1314) and galvanized grade Toyota SCGA270C (Erdemir 410)) that manufactured by Ereğli Iron & Steel Works Co. (Erdemir) are examined through mechanical tests and Forming limit diagrams are drawn. The galvanized grade 1314 and cold rolled grade 7114 can be classified as interstitial free (IF) steel grades and have the highest strain hardening exponent (n) and average anisotropy (r) coefficients. According to forming limit diagrams, best formability is obtained from the qualities DC04 (Erdemir 7114) and DX54D+Z (Erdemir 1314) that have the lowest carbon content amongst other sheets.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çelik, tarih boyunca dünyada stratejik bir malzeme olarak görülmüş, çelik üretim ve tüketim miktarları, kişi başına üretim ve tüketim endeksleri sanayileşmenin ve kalkınmanın bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Genel olarak yassı çelik ürünlerin hitap ettiği önde gelen sektör otomotiv sektörüdür. Demir çelik üreticileri otomotiv sektörünün geliştirmeyi amaçladığı yeni ürün ve teknolojiler açısından yakın bir biçimde ortak olarak çalışmaktadır.

Ürün bazında dünya yassı çelik üretim tahminleri incelendiğinde gelecek senelerde büyük bir üretim artışı beklenmektedir. Bu artışın özellikle galvanizli ve kaplamalı ürünler yanı sıra soğuk haddelenmiş ürünlerde artış olacağı tahmin edilmektedir.

Geliştirme maliyetleri doğrudan zamanla ilişkilendirilmektedir. Zamandan yapılan tasarruf, daha hızlı ürün gelişimine olanak sağladığı için, günümüzde bilgisayar destekli şekillendirme, yapısal bütünlük ve çarpma analizlerine ağırlık verilmektedir. Varolan kalıp malzemeleri ve yapım metotları, yassı çelik üretiminde kullanılan kalıplama işlemlerinin yüksek maliyetli ve zaman alıcı olmalarına neden olarak gösterilmektedir. Şekillendirme işlemi sırasında saca meydana gelen istenmeyen hatalar, yırtılma veya boyun verme gibi nedenlerle verilen hurda, zaman ve işçilik kayıpları, üretimin maliyetini, devamlılığını ve kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Başarılı bir şekillendirme işlemi için şekillendirme sırasında malzemeye uygulanan deformasyonun hasarın başlayacağı kritik deformasyon seviyesinin altında kalmasını sağlamak gerekir. Bu deformasyon limitleri en iyi şekilde biçimlendirme sınır diyagramları ile temsil edilir.

Biçimlendirme sınır diyagramları, derin çekme testinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile çizilir. Endüstride bu diyagramlardan, malzeme seçimi, kalıp dizaynı, pürüzlülük, yağlama durumu gibi üretim değerlerinin özellikleri incelenmektedir.

Literatürde üç farklı kimyasal bileşime sahip, iki farklı koşulda tavllanmış 1 mm kalınlığındaki düşük karbonlu çelik sacların biçimlendirme sınır diyagramları çizilerek, şekillenebilirlikleri karşılaştırılmış ve saclara farklı sıcaklıklarda çift faz ısıl işlemi uygulanarak, mekanik özelliklerdeki değişiklikler gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 2. YASSI ÇELİK ÜRETİMİ

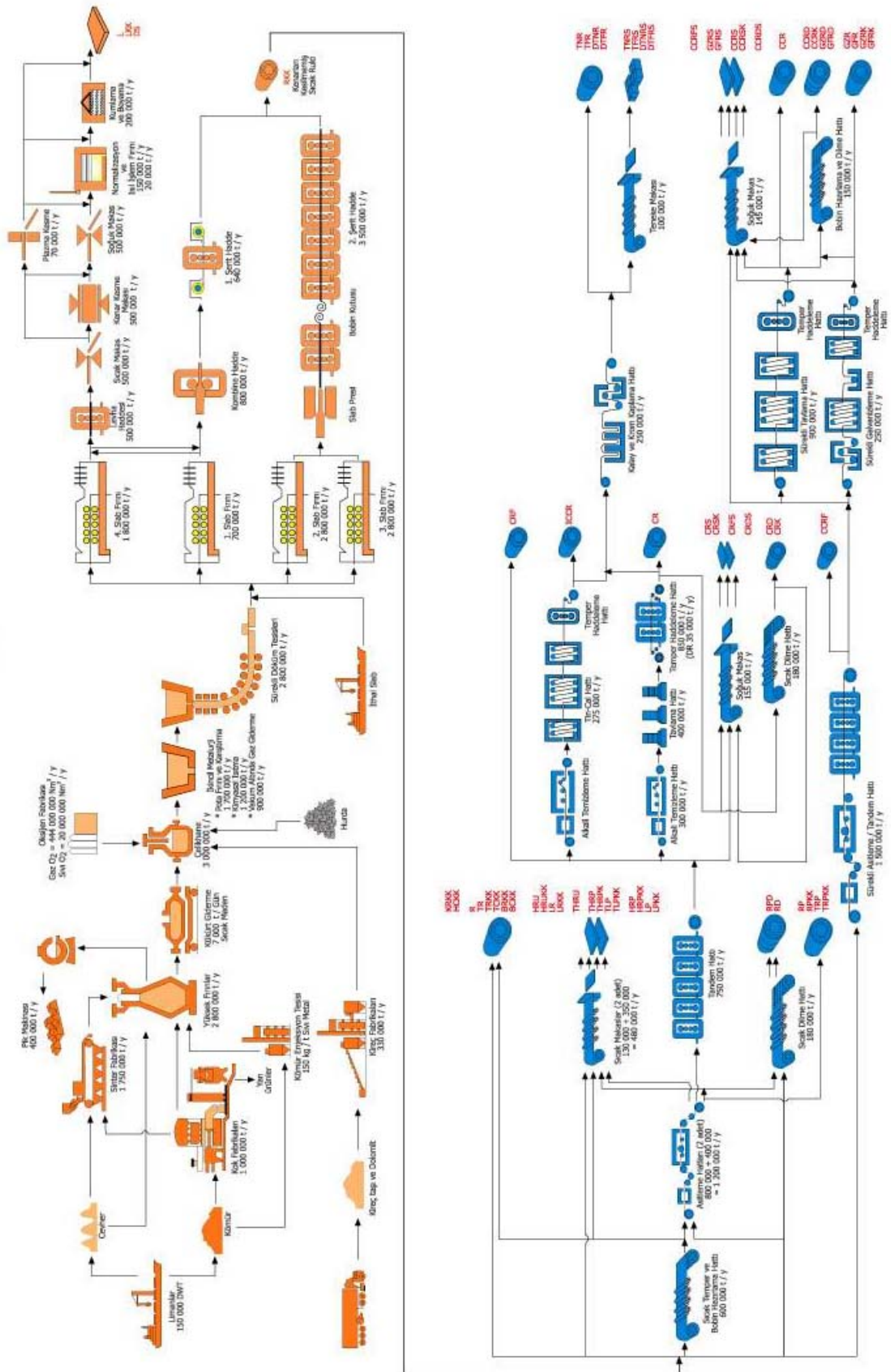
2.1 Çelik Üretimi

Çelik üretiminde yaygın iki yöntem kullanılmaktadır. Birincisi hammaddenin ergitilmesiyle başlayan (kok fabrikası, yüksek fırın, çelikhane, haddehaneden oluşan tesislerde demir cevheri ve kok kömürü ile) üretim prosesi olup entegre demir çelik üretimi adı verilmektedir. İkincisi ise demir çelik hurdalarının ergitilmesiyle başlayan (mini tesisler) üretim prosesi olup ark ocağı tesisleri olarak isimlendirilir.

Yassı ürünler yüksek safiyetler gerektiğinden yaygın olarak entegre demir çelik tesislerinde üretilir.

Entegre bir demir çelik tesisinin üretim akış şeması Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi üretimde kullanılan cevher ve koklaşabilir kömür deniz yoluyla getirilir. Kok fabrikalarında kömür koklaştırılarak yüksek fırınların kok ihtiyacı karşılanır. Yüksek fırınlarda parça cevher, sinter, pelet ve kok kömürü kullanılarak sıcak maden üretilir. Kükürt giderme tesisinde, yüksek fırınlardan torpidolar ile gelen sıcak madende kükürt giderme işlemi yapılır. Çelikhane sıcak metal, hurda ile birlikte bazik oksijen fırınlarına (konvertöre) şarj edilir ve sıcak madenin içinde bulunan C, Si, P, Mn vb. elementler saf O₂ uygulaması ile indirgenir ve oluşan oksit kalıntıları cüruf yapıcılar ile temizlenerek sıvı çelik üretilir. Çelikhane üretilen sıvı çelik, ikincil metalurji tesislerinde hazırlandıktan sonra sürekli döküm tesislerine gönderilir.

Sıvı çelik, sürekli döküm makinesinde, kalıplara kesintisiz olarak dökülüp belli ebatlarda (200x1500x6000 mm, 200x1200x6000 mm veya 200x1500x12000 mm) katılaştırılarak slab haline getirilir.



Şekil 2.1 Entegre tesislerde demir çelik üretim akış şeması [1]

2.2 Haddelme Prosesi

Malzemeleri eksenleri etrafında dönen iki silindir (merdane) arasından geçirerek yapılan şekillendirmeye haddeleme denir.

Çelik saclar, sürekli döküm işlemleri sonucu elde edilen büyük boyutlardaki 200x1200x12000 mm ebatlarındaki slabların kalınlıklarının azaltılmasını sağlayan haddeleme ile şekillendirilir.

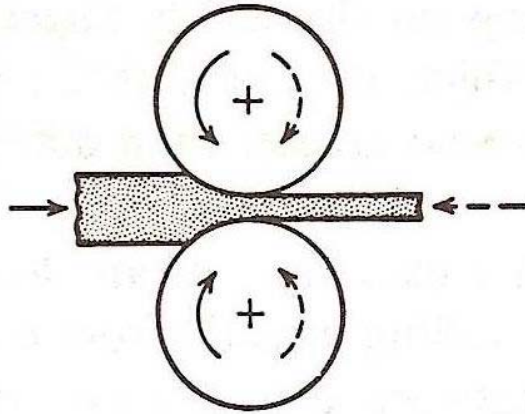
Şekil 2.2’de haddeleme işleminin şematik gösterimi verilmiştir. Haddeleme üretim hızı ve sürekliliği ile en çok kullanılan plastik şekil verme yöntemidir. Plastik deformasyonun yapıldığı bütün malzemelerin % 95 kadarı haddeleme ile şekillendirilir.

Haddelemede merdaneler aynı hızla ve birbirine zıt yönde dönerler. Malzeme, merdaneler arasından geçerken istenen şekli alır. Merdaneler arasındaki açıklık malzemenin giriş kalınlığından daha az olduğundan haddelenen malzemenin çıkış kalınlığında bir azalma olur. Malzemenin merdaneler arasından her geçişine paso denir.

Haddeleme bir dolaylı basma mekanik işlemi olup, genellikle uygulanan tek kuvvet merdanelerle sağlanan radyal basınçtır.

Malzemenin deformasyonu, merdanelerin malzemeyi sıkıştırmasıyla sağlanan radyal basma gerilmeleri ve malzeme ile merdaneler arasında sürtünmeyle oluşan yüzey kayma gerilmeleriyle sağlanır.

Sürtünme kuvvetleri aynı zamanda malzemenin merdaneler arasında ilerlemesini de sağlar. Bu işlemde haddelenen malzemenin kesiti küçülürken boyunda uzama ve genişliğinde de biraz artma meydana gelir. Buna yayınma adı verilir. Yayınmanın miktarı haddelenen malzemenin boyutlarına uygulanan deformasyon oranına ve merdanelerin çapına bağlıdır [1,2].

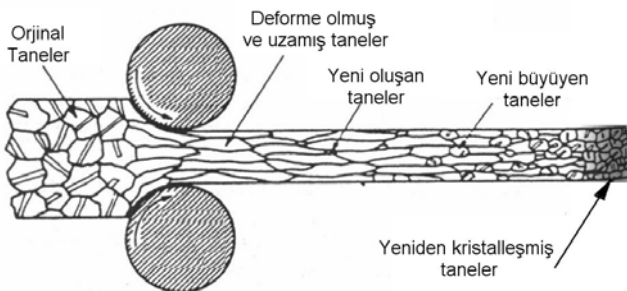


Şekil 2.2 Haddeme işleminin şematik gösterimi [1].

Haddeme, işlem sıcaklığına göre sıcak ve soğuk haddeme olarak sınıflandırılır. Slab dökümlerin haddemesinde ilk aşamada büyük oranlarda deformasyon uygulanması gerektiğinden haddeme işlemi sıcak olarak yapılır. Malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yapılan sıcak haddeme ile döküm yapısı bozulurken, daha küçük kesitli ürünler elde edilir. Soğuk haddeme ile, sıcak haddemede elde edilenden büyük kesitli slablar, daha küçük kesitli sac veya folyo haline getirilir. Soğuk haddeme, düzgün bir yüzey, hatasız boyutlar ve yüksek mukavemet sağlar [2,3].

2.2.1 Sıcak haddeme prosesi

Haddeme sıcaklığına kadar ısıtılan slabların haddelenmek suretiyle sıcak şekillendirilmesi işlemine sıcak haddeme denir. Şekil 2.3'de sıcak haddemenin şematik gösterimi verilmiştir. Slab fırınlarında yaklaşık 1250 °C'ye kadar tavlanan slablar slab alıcılar tarafından haddelenmek üzere hatta alınır.



Şekil 2.3 Sıcak haddeme şematik gösterimi [3]

Ön hadde ilk yatay haddelemenin yapıldığı ikili düzenek bir haddedir. Maksimum ezme miktarı 50 mm'dir. Bu haddenin hemen önünde tufal (FeO) atmak için basınçlı su uygulaması yapılmaktadır. 2. ön hadde, 1. ön haddeden gelen malzemenin şerit ön malzemesi olarak haddelendiği tersinir çalışan dörtlü düzenek haddedir. 5 veya 7 paso haddeleme yapılır. Şerit ön malzemesinin ortalama çıkış kalınlığı 32 ila 34 mm'dir.

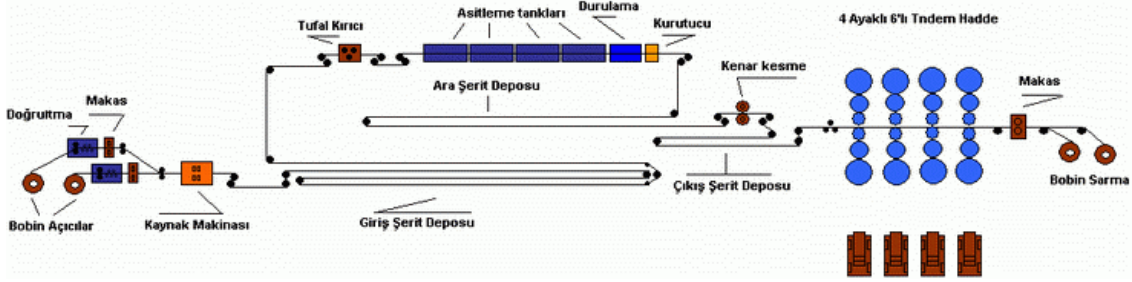
Şerit ön malzemesinin nihai haddeleme öncesi rulo olarak sarıldığı birim bobin kutusudur. Özellikle 12 metre slablardan üretilen şerit ön malzemeleri nihai haddelemeden önce bobin kutusuna sarılır. Böylece malzeme ısısının sargılar arasında kalması sağlanarak şerit ön malzemesinin homojen sıcaklıkta olması sağlanır. Homojen sıcaklık haddeleme sırasında kolaylık sağladığı gibi malzeme şekil ve ebat kalitesini artıran ve mekanik özellikleri belirleyen bir faktördür. Şerit hadde sipariş ölçülerinde nihai haddelemenin yapıldığı 7 ayaklı birimdir. Her ayak dörtlü düzenektir.

Duşlu masa şerit haddeden çıkan malzeme sıcaklığının istenen mekanik özelliklerin sağlanması için gereken sıcaklığa kadar soğutulduğu kısımdır. Soğutma laminar olarak akış sağlayan su hederleri ile yapılır ve rulo halinde sarılır. Rulo haline getirilen bobinler ya sıcak ürün olarak tüketilir veya soğuk haddelenmek üzere soğuk haddehaneye gönderilir.

2.2.2 Soğuk haddeleme prosesi

Sıcak haddehaneden soğuk haddehaneye gelen bobinler giriş stok sahasında stoklanır. Sıcaklıkları 500°C'ye düşen bobinler su ile soğutulmaya başlanarak yaklaşık 12 saat içerisinde işlenebilir sıcaklığa düşürülür.

Soğuyan bobinler asitleme/tandem hattına verilir. Şekil 2.4'te sürekli asitleme tandem hattının şematik gösterimi verilmiştir. Giriş kısmında tolerans harici kısımları kesilen şeridin, gergili düzelticide yüzeyindeki oksit tabakası kırıldıktan sonra HCl asit solüsyonu ile çalışan asitleme ünitesinden geçirilerek, sıcak haddeleme işlemi sırasında malzeme yüzeyinde oluşan tufal ve oksit tabakası temizlenir [1].



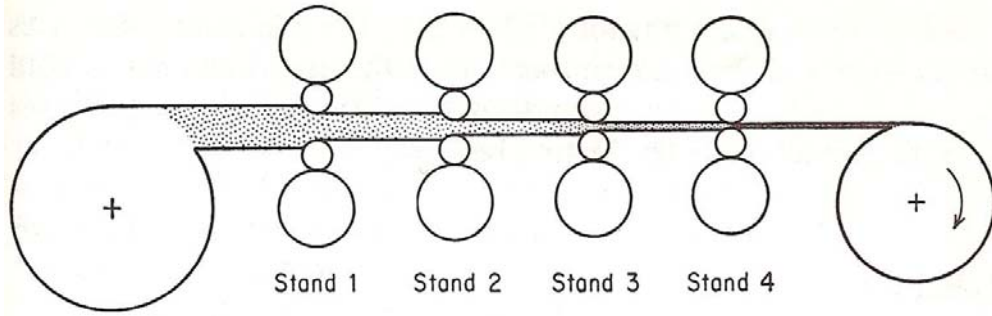
Şekil 2.4. Sürekli asitleme/tandem (CPT) hattının şematik gösterimi [1]

Kenar kesme ünitesinde kenarları kesilen şerit her biri 6 merdaneli olup 4 standdan oluşan tandem hadde de her standda çekme ve baskı kuvvetleri uygulanarak bobinin istenilen inceliğe erişmesi sağlanır. Tandem hattından çıkan bobinler ara stok sahasında istiflenir. Buradan sürekli tavlama, sürekli galvanizlemeye veya dışarıya verilir.

Soğuk haddeleme, yüzey düzgünlüğünü arttırmak ve kontrollü olarak mekanik özelliklerini ayarlamak amacıyla sıcak haddelenmiş sacın soğutulduktan sonra haddeler arasından geçirilerek sac kalınlığının azaltılması işlemidir. Soğuk haddeleme işlemi ile başlangıçtaki malzemenin (sıcak hadde mamulü) kalınlığı % 25 ile % 95 arasında azaltılabilmektedir. Temizleme ve tavlama işlemlerinden sonra, bu ürünler kalınlığın % 0,5-2 oranında azaltıldığı “temper haddesi” denilen bir soğuk haddeleme işleminden daha geçer. Bu işlemin amacı, son ürünün istenilen mekanik özelliklere ve yüzey karakteristiğine sahip olmasını sağlamaktır [4].

Tekli sistemlerden, ardı ardına sıralı sürekli sistemlere kadar çeşitli türlerde soğuk hadde merdane düzenekleri vardır. Tekli sistemlerde, istenilen kalınlığa gelene kadar sac merdaneler arasında ileri-geri haddelenir.

Sıralı hadde sistemlerinde ise sac her merdane düzeneğinden geçerek kalınlığı düşürülür ve son nihai kalınlıkta çıkar. Şekil 2.5'te sıralı hadde sisteminin şematik görüntüsü verilmiştir. Sıcak haddelemenin tersine, oksit tabakası oluşumu yoktur, ancak kalınlıktaki azalmayı sağlamak için daha yüksek baskı kuvvetlerine ihtiyaç vardır.



Şekil 2.5 Sıralı 4'lü hadde sisteminin şematik gösterimi [2]

Soğuk haddeleme işleminde her pasoda, merdanelerin çelik üzerindeki baskı kuvvetleri ve sargı bobini ve merdaneler nedeniyle çelik boyunca oluşan çekme kuvvetlerinin toplamı, kalıcı deformasyon oluşturabilmek için, çeliğin elastik limitlerini geçmelidir. Sıcak haddelemeden sonraki ilk pasoda bu kuvvetler minimumdur, ilerleyen pasolarda ise giderek artarlar çünkü soğuk haddeleme işleminde her pasodan sonra elastik limit artmaktadır. Çekme mukavemeti bu arada yavaş da olsa artar. Sonuç olarak, soğuk haddeleme işlemi yapılmış çeliklerin büyük çoğunluğu, yüksek akma mukavemeti, düşük tokluk ve sertliğe sahiptir.

Genel olarak soğuk haddeleme işleminde en küçük boyutsal azaltma en son pasoda yapılır. Böylece ürünün düzgünlüğü, boyutu ve yüzeyi en iyi şekilde kontrol edilebilir [4].

Soğuk haddelenmiş çelikler geniş bir kimyasal bileşim aralığına sahiptir ve büyük çoğunluğu otomobil gövdesi ve diğer parçalarının üretimi uygulamalarında kullanılmaktadır. Tablo 2.1'de soğuk haddelenmiş çelik sac tipleri ve mekanik özellikleri verilmiştir [5,6].

Sıcak ve soğuk haddelenmiş düşük karbonlu çelik saclar ve şeritler için kalite tanımlamaları ticari kalite, derin çekme kalitesi, ekstra derin çekme kalite, özel söndürülmüş ve yapısal kaliteyi içermektedir.

Ticari kalite düşük karbonlu çelik sac ve şeritler orta seviyedeki biçimlendirme işlemlerine uygundur, bu malzemenin tokluğu herhangi bir yönde eğilerek kendi üzerine katlanabilmesine izin verir. Çok homojen kimyasal ve mekanik özelliklere

sahip olması beklenmez. Daha yüksek tokluk ve daha homojen derin çekme kalitesindeki saclarda mevcuttur. Derin çekme kalitesindeki malzeme, derin çekilmiş parçaların ve aşırı deformasyon gerektiren parçaların imalatına uygundur. Deformasyon daha da yüksek ise veya lüders bantlarının oluşması istenmiyorsa derin çekme, özel söndürülmüş kalite malzeme kullanılır [5,6].

Tablo 2.1 Soğuk haddelenmiş çelik sac tipleri ve mekanik özellikleri [7].

Kalite	Özellik	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	n	Ort. r
Ticari	Standart	230	320	35	0,18	1
Çekme	-	210	310	42	0,22	1,2
Derin Çekme	Özel söndürülmüş	170	300	42	0,22	1,6
Ekstra derin çekme	Arayer atomsuz	150	320	45	0,24	2
Orta mukavemetli	Biçimlenebilir	415	485	25	0,2	1,2
Yüksek mukavemetli	Orta biçimlenebilir	690	725	10	-	-

2.3 Yassı Çeliklerin Isıl İşlemi

2.3.1 Isıl işlemin amacı ve türleri

Diğer çeliklerde olduğu gibi, soğuk haddelenmiş saclar da istenilen özelliklere sahip olabilmeleri için uygun ısıl işlemlere tabi tutulurlar. Soğuk haddelenmiş haldeki tam sert çelikler (full hard) yüksek mukavemetleri nedeniyle kullanılamazlar. Bu nedenle soğuk haddelenmiş ürünlere, kaybettikleri sünekliliği yeniden kazanmaları amacıyla ısıl işlem uygulanır. Bu ısıl işlemler, kutu tavlama ve sürekli tavlama [4].

2.3.1.1 Kutu tavlama (Batch Annealing)

Rulolara uygulanan tüm kutu tavlama işlemleri, çeliği en üst kritik sıcaklık seviyesine çıkararak, onları bu sıcaklıkta kaliteye göre değişmekle birlikte 45-48 saat

tutmaktan ibarettir. Bu tür bir çevrim, tam yeniden kristalleşme sağlar ve ürünü mümkün olan en yumuşak hale getirir.

Kutu tavlama da kullanılan donanım çelik şarjın konulduğu taban, ısıyı sağlayan fırın ve fırın içindeki şarjı kaplayan ve koruyucu atmosfer içeren iç örtüden oluşur. Bu fırınlar genellikle gaz ile ısıtılırlar. İç kısmın ısıtılması radyasyon yoluyla olur. Diğer bir yöntemde ise yakıcı fırın içindeki refrakteri ısıtmaktadır. Isı buradan konveksiyonla iç örtüye ulaşır [4].

2.3.1.2 Sürekli Tavlama (CAL)

Çeliğin kalitesine ve elde edilmesi gereken sonuçlara göre, sürekli ısıl işlemde çelik hızla kritik sıcaklığa veya biraz altına (sürekli tavlama) ya da kritik sıcaklığın üstüne ısıtılabilir. Her durumda da tutma süresi birkaç dakikadır ve soğutma hızı da kutu tavlama ile kıyaslandığında çok kısadır. Ferrit ve soğuma sırasındaki dönüşümden dolayı oluşabilecek yapılar küçük tanelidir ve mamul kutu tavlama da elde edilenden daha serttir. Bu nedenle sürekli tavlama, kutu tavlama ile sağlanamayan yapıların elde edilmesine uygundur. Sürekli tavlama ile kutu tavlama sırasındaki yüksek sıcaklıklarda rulo halindeki ürünün kaynaklanıp yapışması sorunu engellenir. Sürekli tavlama ile yapılan kontrollü yeniden kristalleştirme işlemi ile küçük taneli bir yapı elde edilir. Bu sayede haddelenmiş çelikte yöne bağlı olarak oluşan mekanik özelliklerin değişimi (anizotropi) azaltılır [4].

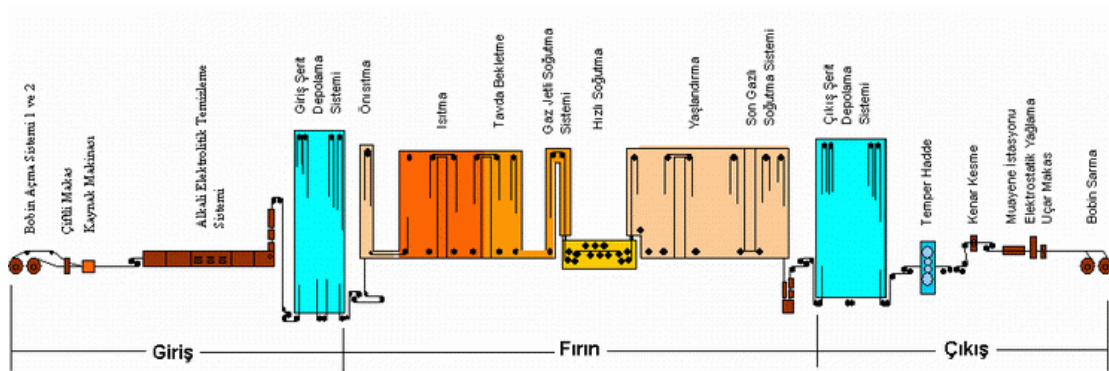
Soğuk haddeme yapılmış çeliklerin deoksidan bir ortamda sürekli tavlama, yüzlerce metre uzunluğunda saclar üzerinde çalışma imkanı vermektedir. Bu işlemde tek bir çelik sac yüksek bir hızla kontrollü atmosfere sahip ısıtma bölgesine girer ve burada alt kritik sıcaklığın biraz üzerine çok kısa bir sürede ısıtılır, neredeyse anında yeniden kristalleşir, soğutma bölgesinden geçer ve havadaki oksidasyonunu engelleyecek bir sıcaklığa geldiğinde dışarı çıkar.

Bu tür bir işlemle tokluğu yüksek, sertliği nispeten yüksek ve fiziksel özellikleri hadde yönüne daha az bağlı, tamamen yeniden kristalleşmiş bir çelik oluşturulur. Çeliğin istenilen sıcaklıkta kısa bir süre tutulması etkilidir çünkü çok hızlı sıcaklık

artışı yeniden kristalleşmeyi bastırır, bunun sonucunda tüm potansiyel çekirdeklenme merkezlerinde oluşan enerji artışı, yeniden kristalleşme başladığında tüm mikroyapının aniden yeniden kristalleşmesine neden olur.

Sürekli tavlama fırınlarında saclar, ısıtma ve soğutma kulelerinin içinde altta ve üstte bulunan silindirler arasında düşey durumda sıralı halde sarılı olarak hareket eder Şekil 2.6'da gösterilen sürekli tavlama fırınının içerdiği donanımlar, sacın hareket yönüne göre, sıra ile iki adet çıkış rulosu, kaynaklama için sac rulolarının uçlarını kare kesitli olarak kesmek üzere makaslar, bir kaynaklama ünitesi, fırça üniteli bir alkali elektrolitik temizleyici, suyla durulama ve kurutma ünitesi ve giriş kulesidir.

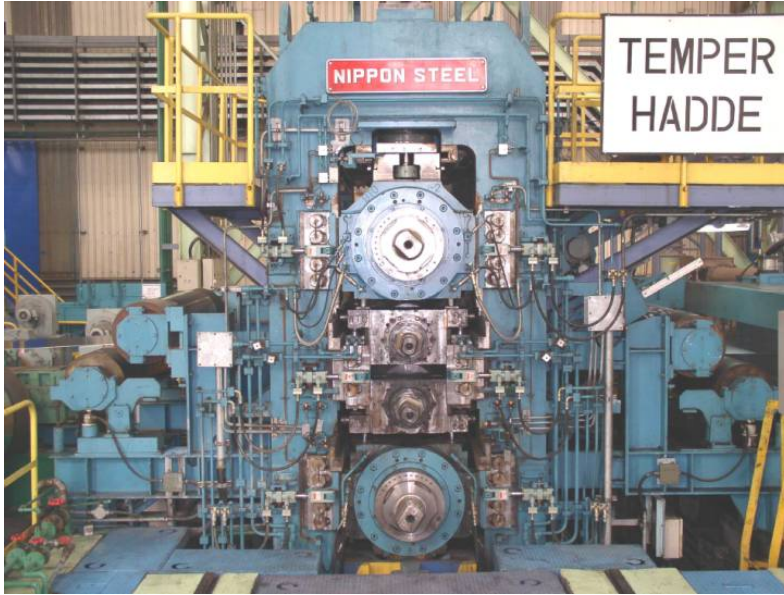
Giriş kulesindeki kaynaklama yapılırken sac hızını sabit tutar. Gazla ısıtılan bir ısıtma bölgesi, elektrikle ısıtılan tutma bölgesi, elektrikle ısıtılan yavaş soğutma bölgesi, su ceketli hızlı soğutma bölgesi, son soğutma bölgesi, çıkış kulesi ve iki yeniden sarma rulosu ile fırın sona erer. Isıtma bölgesine sac 700-800°C'ye ısıtılır ve bu sıcaklık tutma bölgesinde sabit tutulur. Tutma bölgesinden sonra sac hızlı soğutma bölgesinde 550°C civarına kadar, hızlı soğutma bölgesinde 115°C civarına kadar soğutulur. Isıtma bölgesinden girip, hızlı soğutma bölgesinden çıkana kadar sac koruyucu atmosfer ile oksidasyona karşı korunur. En son soğutma ise havada yapılır. 450 m/dakika sac ilerleme hızına sahip yukarıdaki gibi bir sistemde sacın ısıtma bölgesinden girip, hızlı soğutma bölgesinden çıkmasına kadar geçen süre iki dakikadan azdır [4,6].



Şekil 2.6 Sürekli tavlama hattının (CAL) şematik gösterimi [1].

2.4 Temper Haddeme

Temper haddeme soğuk haddeme sonrası kalınlığın % 0,5-2,0 oranında azaltıldığı bir haddeme işlemidir. Soğuk haddelenmiş ürünlere uygulanan temper haddemenin amacı, ürün türüne göre değişir. Bazı sac ürünlerde amaç soğuk işlem ile uygun temper veya tokluğun oluşturulmasıdır. Buna ilaveten, temper haddeme (son ütüleme) tavlanmış sacın yüzey düzgünlüğünü artırır, dalga ve kırışıklığı giderir, istenen mekanik özellikleri oluşturur, süreksiz akmayı engeller ve son ürünün uygun yüzeye sahip olmasını sağlar [1]. Şekil 2.7’de temper hadde ünitesinin resmi verilmiştir.



Şekil 2.7 Entegre bir tesiste temper haddeme ünitesi [1]

Temper haddeme ile saclara kazandırılan mekanik ve tokluk özellikleri, soğuk işlem ile sağlanan kalınlıktaki azalmaya bağlıdır. Genişliğin neredeyse sabit olması ve kalınlıktaki azalmadan dolayı sacın boyunda meydana gelen ve uzama olarak adlandırılan artış, kalınlıktaki azalmayı tespit etmekte kullanılan bir kriterdir. Bir sacdaki uzama, sacın temper haddesinden önceki ve sonraki uzunluğu karşılaştırılarak tespit edilir. Sac ürünün rulo temper haddesinde haddelenmesi sırasında boşaltma bobini ile merdane arasındaki bölgede geri yönde gerilme, sarma bobini ile merdane arasındaki bölgede ise ileri yönde gerilme oluşur.

Haddelenmiş ürünün yüzey kalitesi, farklı kalitede yüzeye sahip merdaneler kullanılarak sağlanır. Parlak bir yüzey elde etmek için parlatılmış, mat bir yüzey için ise bilya püskürtülmüş yüzeye sahip merdaneler kullanılır.

Temper haddeleme ile sağlanan mekanik özellikler ezme oranına bağlı olarak değişir. Derin çekme işlemine tabi tutulacak saclar, lüders bantlarının oluşmasına engel olacak ve tokluğu düşürmeyecek şekilde % 0,25-1 arasında ezme tabi tutulurken, tokluğunun daha az olmasına müsaade edilen saclara % 1-1,5 arasında ezme uygulanır [4].

2.5 Çelik Sacların Galvaniz Kaplanması

Günümüzde teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesinin sonucu olarak ağırlaşan çalışma koşullarında kullanılan makine yapı elemanları ve malzemeleri (metal ve alaşımları): özellikle aşınma, erozyon, korozyon, yorulma, oksidasyon ve yüksek sıcaklığa dayanım konularındaki talepleri tam olarak karşılayamamaktadır. Metal ve alaşımlarının üretiminde kullanılan hammadde rezervlerinin gün geçtikçe azalması ve artan maliyetler ile aşınma ve korozyonun neden olduğu büyük ekonomik kayıplar, alternatif malzeme arayışlarını hızlandırmış ve dikkatler süper alaşım, plastik, kompozit, sermet ve seramik gibi malzeme grupları üzerine yoğunlaşmıştır. Bu malzemelerin kullanım açısından çeşitli problemlerle karşı karşıya kalması nedeniyle metal ve alaşımları ile birlikte kullanımı gündeme gelmiştir. Bu birliktelik, metal veya alaşımdan yapılmış bir taban (altlık) malzeme yüzeyine ince ve koruyucu değeri yüksek bir tabaka üretilmesiyle gerçekleştirilmiştir [8].

Çalışma ortamının etkisi ile metalik malzemelerin kimyasal yapıları ve fiziksel özelliklerinde değişimler ortaya çıkmaktadır. Üretilen parçanın ömrünü ve kalitesini artırmak, çalışma ortamının olumsuz koşullarının etkilerini azaltmak ve bazı mekanik özelliklerini iyileştirmek gayesiyle çeşitli metalik ve metalik olmayan kaplama yöntemleri geliştirilmiştir.

Genellikle mühendislikte kullanılan malzemelerin istenen dayanıklılığa sahip olması ve uygulanan yükleri taşıması gerekir. Bu tür özellikler malzemenin kendisi ile

doğrudan ilgilidir. Ayrıca malzemeleri verimli olarak kullanılabilmesi için gerekli bazı yüzey özelliklerini de taşımalarıdır. Bunlar iletkenlik, yarıiletkenlik, süperiletkenlik, yalıtkanlık, piezoelektrik, manyetik, optik, optoelektronik, piroelektrik, biouyumluluk ve ısı özellikleri olabileceği gibi; malzemenin kullanım süresi ile yakından ilgili olan aşınma, erozyon, yorulma, sürünme ve korozyon dayanımı gibi özellikleri de içermektedir. Genelde bütün bu özellikleri (mekanik+yüzey) tek bir malzemede bulmak ya olanaksız, ya da çok pahalı olmaktadır. Bu nedenle mühendislik malzemelerinin gerekli yapısal özellikleri sağlayan ucuz bir malzemeden seçilmesi ve diğer yüzey özelliklerinin ise kaplamalarla sağlanması en uygun çözümdür [9].

Galvanizleme, demir esaslı bir malzemenin sıvı çinko banyosu içerisine daldırılarak yüzeyinin koruyucu bir çinko tabakasıyla kaplanması işlemidir.

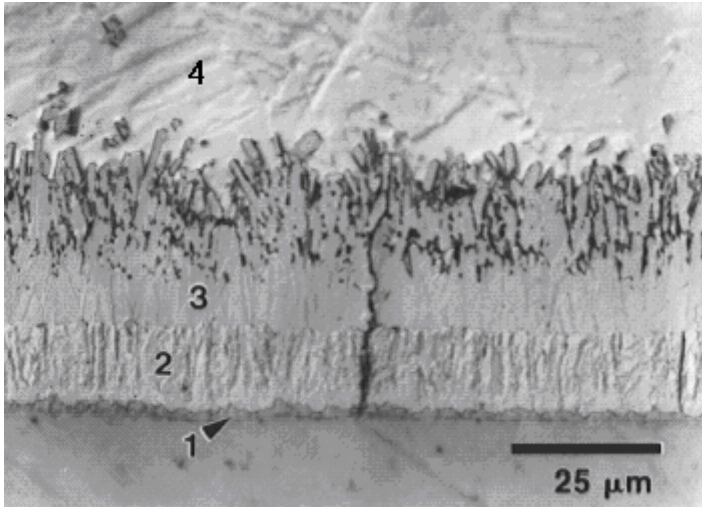
Galvanizleme, demir esaslı ürünleri atmosferik, toprakaltı ve sualtı korozyonuna karşı korumak için yaygın olarak kullanılan bir koruma yöntemidir. Çinko kaplama çeliği üç şekilde korumaktadır [10,11]:

1. Yüzeydeki sürekli çinko filmi çeliği bulunduğu ortamdan ayırır.
2. Kaplamada bir süreksizlik olması durumunda, çeliği korumak için kurban olarak davranır (katodik koruma).
3. Zamanla oluşan çinko korozyon ürünleri genel korozyon hızını yavaşlatır.

Kaplama metalinin uzun süre etkin bir korozyon bariyeri olarak hizmet etmesi için çelik tabandan daha düşük bir hızla korozyona uğraması gerekir. Kaplamanın ıslak kaldığı süre, ortamdaki klor ve sülfat seviyesi gibi etkenlere bağlı olarak korozyon hızı büyük ölçüde değişmesine rağmen, çinko farklı ortamlardaki açık hava korozyonuna çelikten 1-2 defa daha dirençlidir. Açık havaya maruz kalan galvaniz kaplamaların yüzeylerinde zamanla neredeyse çözünmeyen koruyucu bir çinko karbonat [$3Zn(OH)_2 \cdot 2ZnCO_3$] filmi oluşur. Bu oluşum korozyon hızını azaltan en önemli etkenlerden birisidir [12].

Galvaniz kaplamalar, endüstriyel baca gazlarının bulunmadığı kırsal kesimde en uzun korumayı sağlarken deniz atmosferinde de tatmin edici bir koruma sağlamaktadır. Ancak yüksek ölçüde asidik gazların bulunduğu endüstriyel ortamlarda galvaniz kaplamalar çok hızlı bir şekilde aşındıklarından yeterli koruma sağlayamamaktadır. Bu yüzden bu tür ortamlarda kullanılacak galvanizli ürünler çinko kaplamaya ek olarak aside dayanıklı boyalarla boyanmaktadır. Bir çok anti korozyon sistemine göre galvaniz kaplamalar toksik değildir ve insan yada hayvan yaşamına zararlı bir etkisi yoktur.

Yukarıda açıklanan özellikler çelik yapılar için galvaniz kaplamayı (özellikle bu parça düşük maliyette ve pahalı bir bakım gerektirmeden uzun süre korozyona karşı korunacaksa) ideal bir koruma yöntemi yapmaktadır. Bu nedenle, günümüzde galvanizlenmiş çelik en fazla kullanılan kaplı çelik üründür. Tipik bir galvaniz kaplamanın kesitten görünümü Şekil 2.8'deki gibidir [10].



Şekil 2.8 450°C'de Al içermeyen bir çinko banyosunda çok düşük karbonlu bir çeliğin 300 s galvanizlenmesi sonrasında kaplama yapısında görülen fazlar. (1) Gama fazı, (2) Delta fazı, (3) Zeta fazı, (4) Eta fazı [7]

2.5.1 Sıcak daldırmayla çinko kaplama yöntemleri

Galvanizleme, pratikte kaplanacak parçaların kaplama öncesi şekillendirilmiş olup olmamalarına göre iki farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Sürekli yöntem

şekillendirilmemiş çelik şeritler için avantaj sağlarken, yığın yöntemi daha çok işlenmiş bireysel yada grup şeklindeki parçalar için tercih edilmektedir.

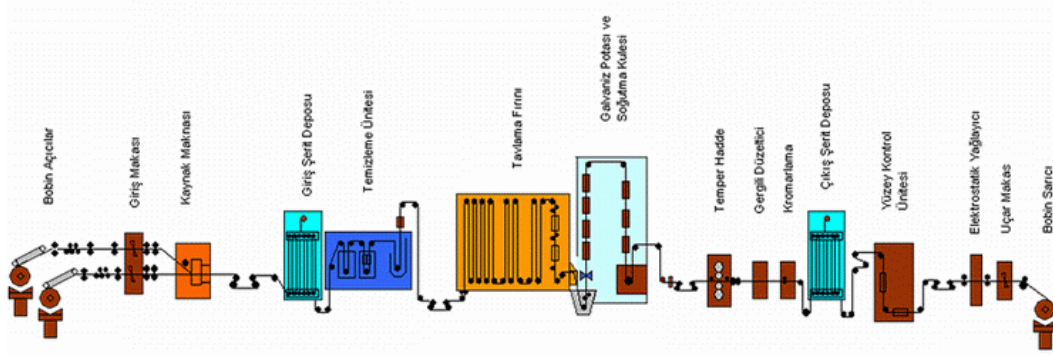
2.5.1.1 Yığın yöntemi

Bu yöntemde galvanizlenecek parçalar tek tek yada grup şeklinde çinko banyosuna daldırılır, istenilen kaplama kalınlığına göre banyoda tutulduktan sonra banyodan çıkarılır. Yöntemin avantajı, imalat işleminden sonra çinko kaplamanın kesik kenarları, üst üste binmeleri, perçinli ve kaynaklı bölgeleri tamamıyla örterek bir sızdırmazlık sağlamasıdır. İşlem basit ve çok yönlüdür. Civata, somun gibi çok küçüklerinden köprü ve binalar için yapısal kirişler gibi çok büyüklerine kadar çok değişik boyuttaki parçaların kaplanmasında kullanılabilir. Biçim yığın yönteminde sınırlayıcı değildir. Borular, açık kaplar, variller, tanklar, ısı eşanjörleri gibi karmaşık şekilli parçaların içi ve dışı bir defada kolayca kaplanabilmektedir [10].

2.5.1.2 Sürekli yöntem

Sürekli yöntemde birbirlerine kaynakla bağlanmış çelik şeritler 200 m/dak.'lık hızlarda galvanizlenebilmektedir. Genel amaçlı kullanım için tek yüzeyde 19 μm 'luk bir kaplama kalınlığı çok yaygındır (bu değer her iki yüzey için 275 g/m^2 'lik bir kaplama ağırlığına karşılık gelmektedir). Daha kalın kaplamalar otoban drenaj kanalları gibi korozyon direncinin en fazla istendiği uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekillenebilirlik ve kaynaklanabilirliğin anahtar olduğu otomotiv endüstrisinde 90 g/m^2 gibi hafif kaplamaların kullanımı daha yaygındır.

Sürekli yöntemde tipik temizleme adımları; alkali temizleme, asitleme (her ikisi de elektrolitik olabilir), oksidasyon (gaz atmosferinde) ve redüksiyondan (gaz atmosferinde) oluşmaktadır. Gazlı redüksiyonun en son temizleme adımı olduğu durumda çelik havayla temas etmeden ergiyik çinko banyosuna daldırılır. En son temizleme adımı asitleme ise sıvı çinko banyosuna daldırılmadan önce çelik yüzeyinde kalan oksitleri çözen sıvı bir flaks çözeltisinden geçirilir. Buna benzer şekilde gazlı redüksiyon da bir flakslama işlemi olarak düşünülebilir. Şekil 2.9'da sürekli galvanizleme hattının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.9 Sürekli galvanizleme hattı (CGL) şematik gösterimi [1]

Temiz çelik bundan sonra çinkonun çelik yüzeyini ıslatması ve kendisi ile reaksiyona girmesine fırsat verecek ölçüde kaplama banyosuna daldırılır. Kaplanmış çelik şerit ergiyik banyosundan çıkarken yüzeyindeki aşırı kaplama hava jetleriyle istenilen kalınlığa ulaşmaya kadar süpürülür [10].

Kaplama kalınlığı kaplanmış çelik sacların performansının belirlenmesinde anahtar rolü oynamaktadır. Genelde, kalın kaplamalar daha yüksek korozyon direnci sağlarken, ince kaplamalar daha iyi şekillenebilirlik ve kaynaklanabilirlik özelliği sunmaktadır.

Galvanizli çelik saclar için tipik uygulamalar; inşaat, otomotiv, beyaz eşya ve mefruşat gibi geniş bir sektörel aralığı kapsamaktadır.

Kaplanmış ürünler arasında sürekli yöntemle galvanizlenmiş çelik, üretim ve tüketim anlamında en yüksek paya sahiptir. Son yıllarda ortaya çıkan belirgin artışın en büyük nedeni, özellikle otomotiv endüstrisinde dayanıklılık konusunda artan müşteri taleplerini karşılamak için kaplanmış çeliğin çıplak çeliğin yerini almasıdır [13].

Sürekli galvanizleme ile üretilen düşük karbonlu çelik saclar geniş bir aralıktaki mekanik özelliklerle temin edilebilir. Çıplak çelikte karşılaştırıldığında, kaplama işleminin ısı etkisiyle çelikteki karbonun çökmesi sonucunda ortaya çıkan yaşlanma sertleşmesinden dolayı sıcak galvanizleme ile kaplanmış düşük karbonlu çelik sacın sünekliği bir miktar düşmektedir. Endüstride ekstra derin çekme işlemleri, vakumda gaz giderme ve titanyum ve /veya niobyum ile stabilizasyon sonucunda çok

düşük karbon seviyelerine inilen arayer atomsuz (interstitial free) çelik kaliteleriyle yapılmaktadır. Bu tür çelikler galvanizleme işleminin ısı etkisine oldukça duyarsız olup mükemmel bir biçimlenebilirlik sunmaktadır [10,14].

Pratikte sürekli galvanizleme yapan tesisler soğuk ve sıcak hatlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Sıcak hatta, yüzeyi kaplamaya hazırlamak için çelik şerit temizlenir ve ardından hidrojen ve azot karışımından oluşan redükleyici bir gaz atmosferinde ısıtılır. Soğuk haddelenmiş çeliğin yaklaşık 700°C olan yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerine ısıtılarak tavllanması bu işlemin bir parçasıdır. Sürekli bir çevrim içerisinde temizleme, ısı işlem adımlarının birleştirilmesi ve sacın kaplama sıcaklığına getirilmesi, sıcak hatların ekonomik olmasına katkıda bulunmaktadır. Yeniden kristalleşme olmaksızın daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen sıcak işlem sıcak haddelenmiş ve asitlenmiş çelikler yada tavlamaadan geçirilmiş soğuk haddelenmiş çelikleri kaplamak için kullanılmaktadır [10].

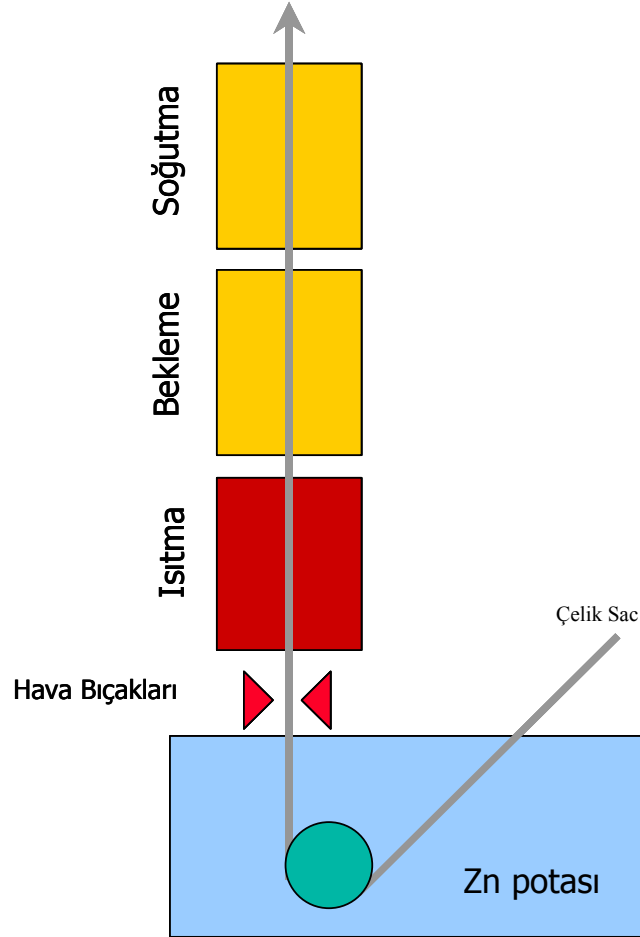
2.5.2 Alaşımli çinko kaplama

Sürekli galvanizleme sonrasında kaplama özelliklerini değiştirmek amacıyla şeride farklı işlemler uygulanabilmektedir. Bunlardan birisi demir-çinko alaşımli kaplama elde etmek için oluşturulan galvaniz kaplamanın tavllanmasıdır. Alaşımli çinko kaplamalar galvaniz kaplamalara göre çok daha iyi punto kaynaklanabilirliği, boya yapışma özelliği ve boyanmış durumda korozyon dayanımı özellikleri sunmakta, presle biçimlendirme sırasında daha az yapışma olasılığı taşımaktadır [10,15,16]. Presle biçimlendirmede karşılaşılabilen tozlaşma ve elektroforetik boyama sırasında ortaya çıkabilen krater oluşumları optimum kaplama özelliklerinin oluşturulmasıyla çözümlenebilmektedir [15,17,18,19].

2.5.2.1 Alaşımli tavlama (Galvannealing)

Alaşımli kaplamalar, galvaniz kaplamanın 500°C civarındaki sıcaklıkta tavllanması sırasında yayınmayla gelişen Fe-Zn fazlarından oluşan kaplamalardır. Tavlama işlemi Şekil 2.10'da görüldüğü gibi sıvı çinko potasının üstündeki ısıtma ünitesinde sürekli bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Arzu edilen alaşımli kaplama özelliklerinin

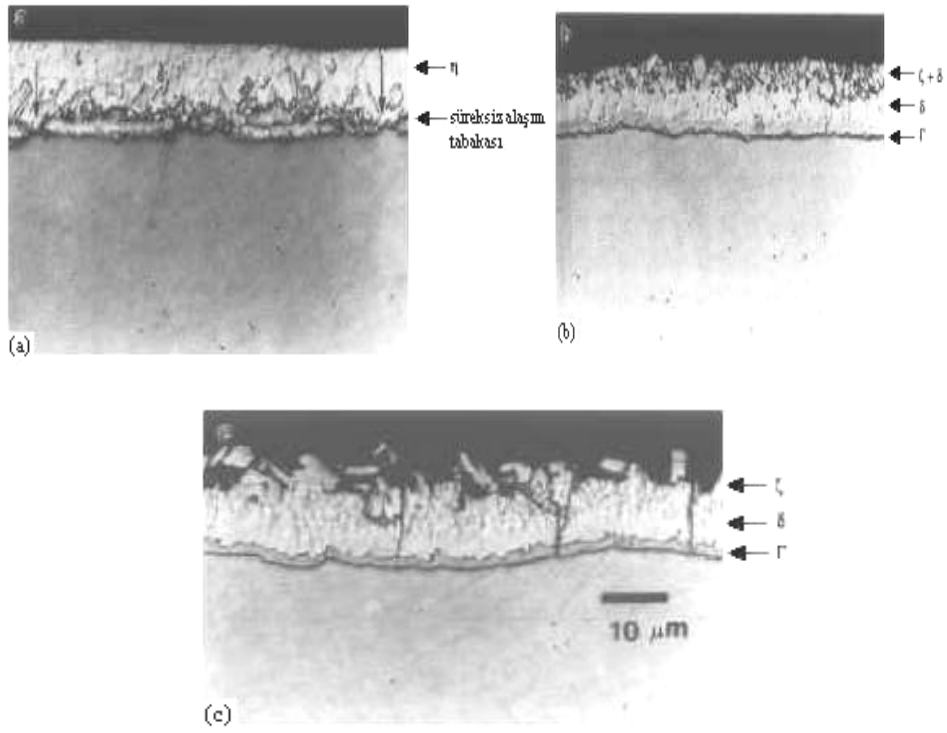
elde edilebilmesi Fe-Zn reaksiyon kinetikleri üzerinde ısıtma hızı, tavlama sıcaklığı ve süresi ve soğutma hızının çok iyi kontrol edilmesini gerektirmektedir. İşlem değişkenleri yanında, çinko banyosunun ve taban çelik sacın kimyasal bileşimi de nihai iç yapıyı ve buna bağlı özellikleri etkilemektedir.



Şekil 2.10 Çinko kaplama tava [10]

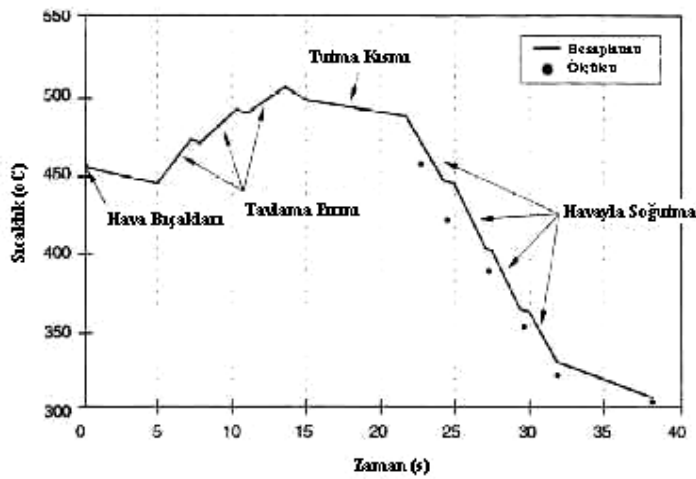
Alaşımli çinko kaplamalarda görünen iç yapılar Şekil 2.11'deki gibi sınıflandırılmıştır.

Presle biçimlendirme sırasında yapışma ya da tozlaşmadan kaçınmak için, δ fazının yüzeye ulaştığı ana kadar (yüzeyde minimum ζ fazının kaldığı durum) galvaniz kaplamanın alaşımlanması gerekmektedir. Optimum kaplamalar pratikte 500°C civarında 15-20 saniyelik tutma süresiyle yaklaşık 50°C civarındaki bir proses aralığında elde edilebilmektedir [17].



Şekil 2.11 Tavlı çinko kaplamaların iç yapısı: a) Tip 0, b) Tip 1, c) Tip 2

Modern bir sürekli galvanizleme hattının tavlama ünitesi boyunca ilerleyen şeridin tipik sıcaklık profili Şekil 2.12’de görüldüğü gibidir. Şeridin maruz kaldığı sıcaklığın eş-ısıll olmadığı bu profilden açıkça görülmektedir. Bu nedenle pratikte oluşan sıcaklık profilinin karakterize edilmesi son derece önem kazanmaktadır.



Şekil 2.12 Tavlama ünitesi boyunca ilerleyen şeridin tipik sıcaklık profili [24]

Kanamura ve Nakayama tavlama sırasında hem ζ hem de Γ fazlarının büyümesini engellemek için ısıtma hızının mümkün olduğunca yüksek olması gerektiğini ileri sürmektedir [20]. Hayes tavlama işlemindeki sıcaklık profilini modellemiş ve kimyasal bileşim açısından farklı bir seri alaşım tabanı üstünde banyo Al içeriği, ısıtma hızı, tutma sıcaklığı ve soğutma hızının etkisini araştırmıştır [21]. Hayes tavlama sırasındaki alaşımlamanın eş-ısı bekletmeye ek olarak ısıtma ve soğutma sırasında da gerçekleştiğini göstermiştir. Örneğin, alaşım oluşumunu engellemek için çelik kimyasal bileşimine ve tutma sıcaklığına bağlı olarak 25-50°C/s arasındaki ısıtma hızları gereklidir.

Presle biçimlendirme özelliklerini iyileştirmek için ince bir Γ fazı ile birlikte yüzeye kadar çıkan bir δ fazının varlığını öngören Kawaguchi ve Hirose, galvanizleme banyosuna Mn ilave ederek peritektik dönüşüm ($S + \delta_1 \rightarrow \zeta$) sıcaklığını (bu sıcaklığın üzerinde ζ fazı artık oluşmamaktadır) daha aşağı sıcaklıklara çekmişlerdir [20]. Çinko banyosuna % 0,46 Mn ilavesiyle 520°C civarında olan peritektik dönüşüm sıcaklığı 495 °C'a indiğinden geleneksel tavlama sıcaklıklarında ζ fazı kaybolurken tavlı çinko kaplı sacın biçimlenme özelliğinin de geliştiği ileri sürülmüştür.

Derin çekmeye uygun ve yaşlanmayan arayer atomsuz çelik kaliteleri yanında özellikle otomotiv sektöründeki yapısal gövde parçalarında aranılan daha yüksek dayanım fosfor katımlı çeliklerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Fosforun alaşımlama kinetiğini yavaşlatıcı etkisinden dolayı pratikteki tavlama koşullarında alaşım oluşumunun geciktiği tespit edilmiştir. Bu nedenle uygulanan hat hızı ve tavlama koşullarına bağlı olarak çelikteki fosfor içeriği ve banyonun kimyasal bileşimi ayarlanmalıdır [15].

2.5.3 Galvanizli sacların şekillenebilirliği

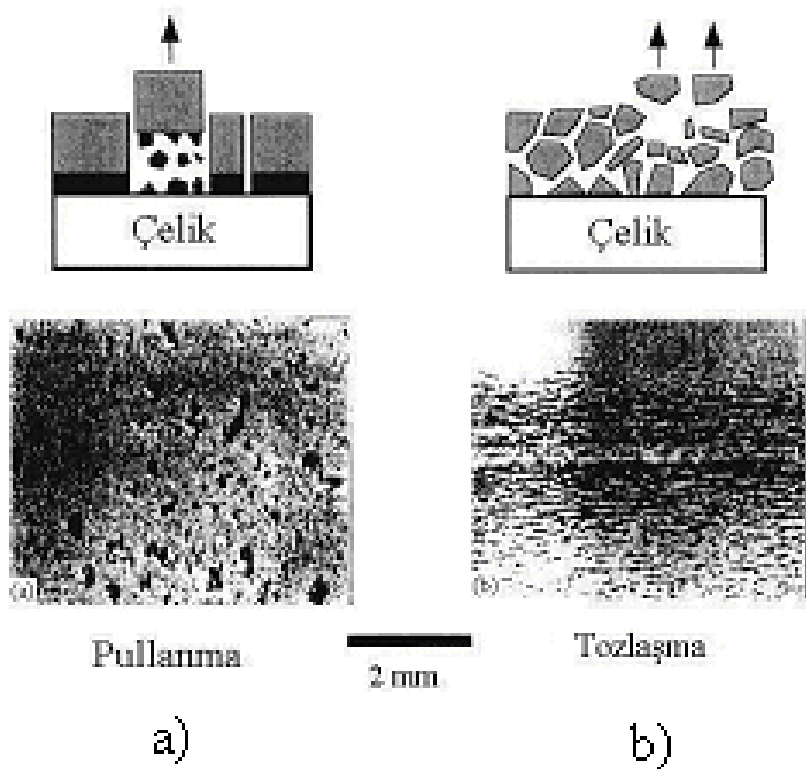
Çelik sac üzerindeki çinko kaplamanın deformasyon davranışı çeliğin presle biçimlendirme işlemindeki performansını etkilemektedir. Kaplamadan dolayı, biçimlendirme sırasında sac/kalıp ara yüzeyinde artan sürtünme koşulları malzemenin biçimlendirmeye tepkisini değiştirebilmektedir. Kaplamanın deformasyon davranışı Fe-Zn fazlarının varlığına ve kalınlığına bağlıdır.

Kaplamadan ayrılıp kalıp yüzeylerinde toplanan partiküller sürtünme davranışında değişikliğe yol açarken, biçimlendirilen parçaların da yüzeylerinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle galvaniz kaplamanın alaşımlanması sırasında en uygun yüzey özelliklerini verecek iç yapısal gelişimin sağlanması esastır.

Galvanizli parçaların şekillendirilmesi sırasında ortaya çıkan pullanma (flaking) ve tozlaşma (powdering) olayları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [10]:

-Pullanma: Kaplama kalınlığına yakın boyutta partiküllerin ortaya çıkmasına neden olacak şekilde kaplama-çelik ara yüzeyinin ayrılması (Şekil 2.13 a)

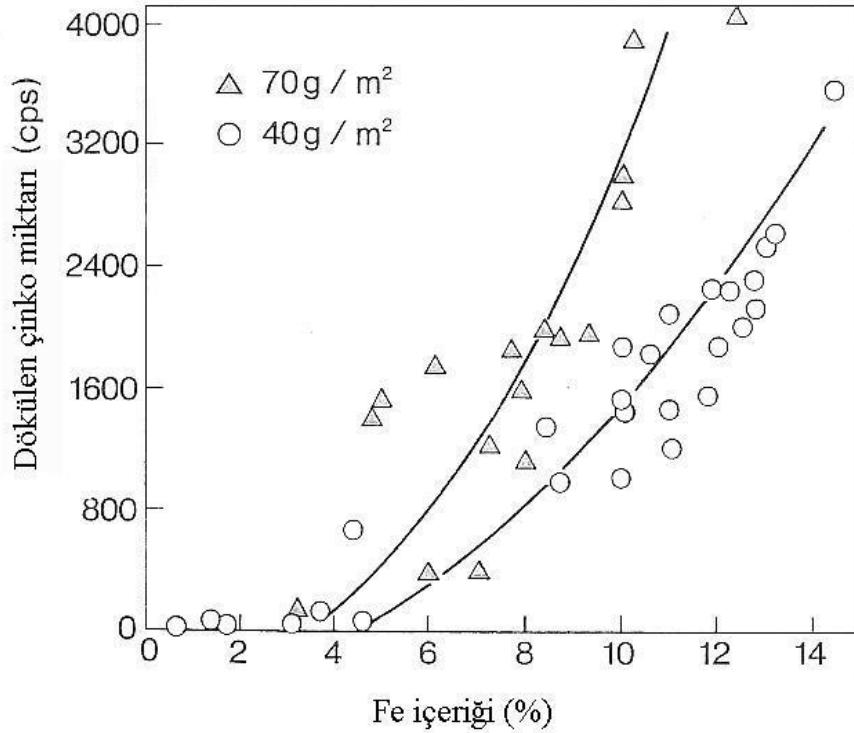
-Tozlaşma: Kaplama kalınlığından daha küçük boyutta partiküllerin ortaya çıkmasına neden olacak şekilde kaplama içerisindeki kırılmalar (Şekil 2.13 b)



Şekil 2.13 Galvanizli parçaların biçimlendirilmesinde ortaya çıkan problemleri [10]

Şekillendirme sırasında ortaya çıkacak tozlaşma ya da pullanma olayları kaplamanın korozyon dayanımı ve boyanabilirliğini düşüreceğinden kaplama içerisinde mevcut gevrek Fe-Zn fazları alaşımli çinko kaplı sacların şekillenebilirliğinde önemli bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır. Galvaniz kaplı sacların şekillenebilirliği “Bilya

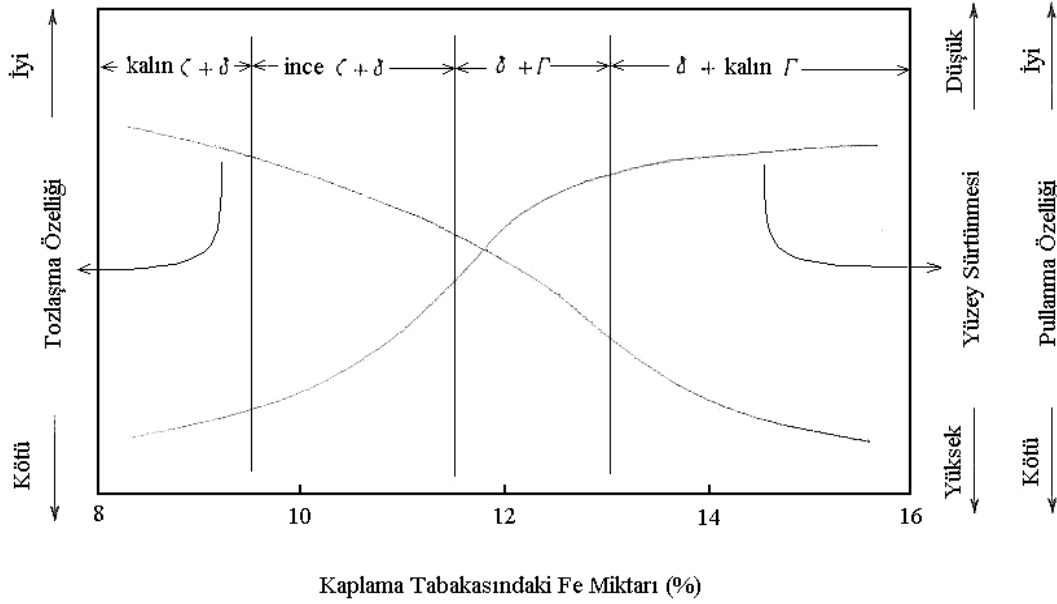
Düşürme (Ball-Drop)”, “Çift Olsen”, “180° U Bükme”, “60° V Bükme”, “Ters V Bükme”, “Kupa Çekme (Swift-Cup)”, “Sıyrarak Çekme (Draw Bead)” gibi çeşitli testlerle değerlendirilmektedir [17,19]. Bu testlerde numuneler farklı şekilde deforme edildiğinden, değerlendirme sonuçları uygulanan test yöntemiyle ilişkili olmaktadır. Genel olarak, tozlaşma derecesi Şekil 2.10'da görüldüğü gibi hem kaplamadaki Fe içeriği hem de kaplama ağırlığıyla artmaktadır [10,17,19].



Şekil 2.14 Fe İçeriği ve Kaplama Ağırlığının Tozlaşma Üzerindeki Etkisi [10]

Yapılan araştırmalara göre, kaplamadaki çatlama derecesinin Γ fazının varlığına, ζ/δ fazı oranına ya da bu fazlardaki Fe dağılımına bağlı olduğu ileri sürülmüştür [10]. ζ Fe-Zn fazları arasındaki en sünek faz iken δ ve Γ fazları gevrek fazlardır. ζ fazı biçimlendirme sırasında kaplamada ortaya çıkan gerilimlerin bir kısmını soğurabilir ve sünek olmasından dolayı tozlaşmaya karşı daha iyi bir dayanım sergiler. Ancak, ζ fazıyla artan sürtünme katsayısının bir sonucu olarak, biçimlendirme sırasında yetersiz kalan metal akışından dolayı kaplamadan kitlesel kayıplar (pullaşma) olabilir [19]. İçerisinde ana bileşen olarak δ fazının bulunduğu, yüzeyde bir miktar ζ fazı ve ara yüzeyde göz yumulabilecek ölçüde ince ($\leq 1 \mu\text{m}$) Γ fazı içeren bir kaplamanın

pullanma yanında iyi bir tozlaşma dayanımı da sergilediği belirtilmiştir. Şekil 2.15 optimum şekillenebilirliğe sahip bölgeyi göstermektedir.



Şekil 2.15 Şekillendirme özellikleriyle kaplamadaki Fe içeriği ve Fe-Zn fazları arasındaki ilişki [45]

Biçimlendirme sırasında ortaya çıkan çatlaklar Γ fazı/çelik ara yüzeyinde ve δ fazı/ Γ fazı ara yüzeyinde gözlenmiştir. Alaşım sürecindeki işlem parametreleri Fe-Zn fazlarının büyüme kinetiğini kontrol etmekte ve bu şekilde kaplamanın son iç yapısı belirlenmektedir.

2.6 Çelik Sacların Şekillendirilmesi

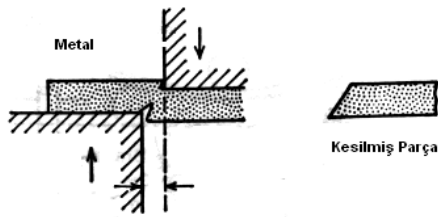
Yassı çelik saclar çeşitli şekillendirme işlemleri yardımıyla mutfak eşyalarından, otomobil parçalarına kadar birçok değişik şekillere biçimlendirilirler. Bu amaçla mekanik ve hidrolik presler kullanılmaktadır. Sac biçimlendirme işlemlerinde kalıplar genellikle iki parçadan oluşur. Çıkıntılı şekle sahip birinci parçaya zımba, girintili şekle sahip ikinci parçaya kalıp denmektedir. Zımba genellikle presin hareketli kısmına bağlanır, kalıp ise sabit tutulur. Çoğu kez metalik sacı kalıp çevresince sıkıştırarak biçimlendirme sırasında kırışmasına engel olacak bir sıkıştırma kalıbı kullanılır.

2.6.1 Sac şekillendirme yöntemleri

Bükme, sıvama, gererek (stretch) şekillendirme, derin çekme, rulo şekillendirme (roll forming), hidroforming, manyetik dalga ile şekillendirme patlamalı şekillendirme bunlardan birkaçıdır [22].

2.6.1.1 Kesme

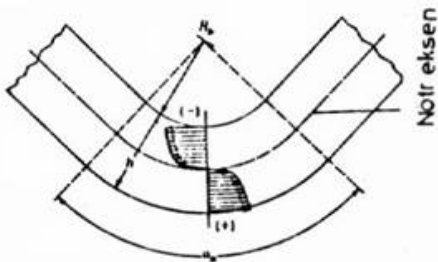
Kesme işlemi, saclarla ilgili imalat işlemlerinde sıklıkla kullanılır. Kesme, yassı çelik sac ve levhaların dilme, ayırma, taslak kesme, delme, çentik açma, yarma, çapak kesme gibi işlemlerinde kullanılır [3]. Şekil 2.16'da kesme işleminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.16 Kesme işleminin şematik gösterimi [2]

2.6.1.2 Bükme

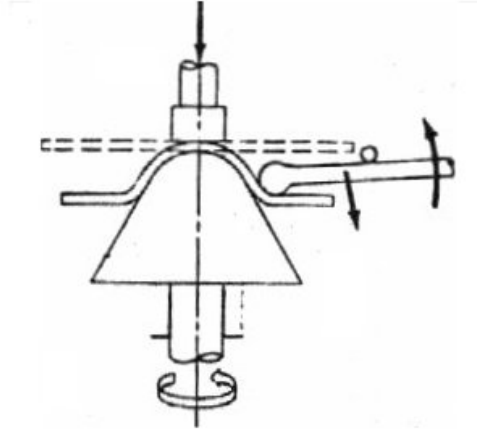
Birçok parça, sacların bir veya birkaç yerinden bükülmesi (Şekil 2.17) ile şekillendirilir. Bükme işleminde malzemenin dış yüzeyinde germe, iç yüzeyinde sıkıştırma olayı söz konusudur. Malzemenin orta bölgesinde ise, ilk boyutun sabit kaldığı bir nötr eksen mevcuttur [3].



Şekil 2.17 Bükme işleminin şematik gösterimi [3]

2.6.1.3 Sıvama

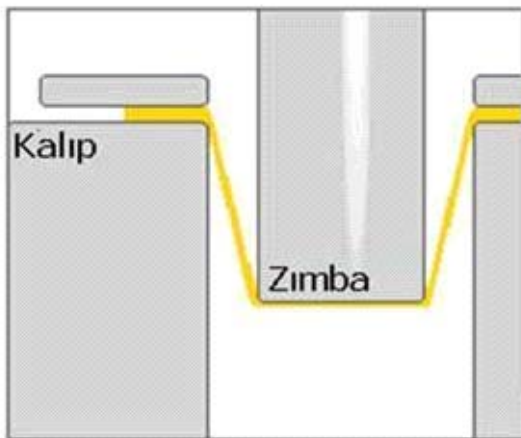
Dairesel simetriye sahip derin parçaların, metalik düz sacın üretilecek parça biçimindeki dönen bir kalıp üzerine bastırılması yoluyla elde edilmesi (Şekil 2.18) işlemine sıvama denir.



Şekil 2.18 Sıvama işleminin şematik gösterimi [3]

2.6.1.4 Gererek biçimlendirme

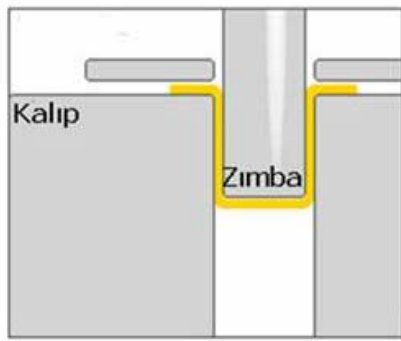
Bu işlemde metalik sac iki ucundan veya çevresi boyunca bağlanır. Daha sonra biçimlendirme kalıbı saca doğru ilerleyerek malzemenin gerilmesini (Şekil 2.19) ve kalıbın biçimini almasını sağlar [3].



Şekil 2.19 Gererek biçimlendirmenin şematik gösterimi [22]

2.6.1.5 Derin çekme

Derin çekme işlemi, yassı bir metalik sacdan üç boyutlu derin bir kap elde etme işlemidir (Şekil 2.20). Derin çekme işlemlerinde zimbanın, dolayısıyla da elde edilen ürünün tabanı düzdür. Küresel veya daha karmaşık taban biçimine sahip parçalarda derin çekme işlemi ile birlikte aynı zamanda gerekerek biçimlendirme işlemi de uygulanır [3].



Şekil 2.20 Derin çekme işleminin şematik gösterimi [22]

2.7 Sac Biçimlendirme İşlemlerinde Görülen Hatalar

2.7.1 Kırılma

Kırılma, metalik sac şekillendirilirken uygulanan germe veya derin çekme kuvvetlerinin, malzemenin kırılma limitlerini aşması sonucu gerçekleşir. Germede, sac başlangıçta homojen, daha sonra ise bölgesel olarak inceler. Deformasyonun yoğunlaştığı incelmış bu bölgeye boyun vermiş bölge denir ve kırılma son olarak burada gerçekleşir. Genelde boyun vermenin oluşması da bir hasar olarak kabul edilir, çünkü gözle görülebilir bir hata oluşturur ve yapısal zayıflamaya neden olur [3].

2.7.2 Buruşma ve kırışma

Sacın şekillendirilmesi esnasında oluşan basma gerilmeleri etkisi ile oluşan gerilmeler, malzeme ve kalınlığına bağlı olarak kritik bir değeri aştığında buruşukluk denilen engebeler oluşur. Eğer sıkıştırma basıncı yeterli değilse kırışıklık

denilen daha büyük engebeler ve dalgalanmalar oluşur. Özellikle; kesit değişiminin fazla olduğu ve kalıpla temasın olmadığı durumlarda yaygın oluşur [22]. Sıkıştırma kalıbının basıncını arttırmak genellikle bu sorunu engeller [3].

2.7.3 Şekil bozukluğu

Şekillendirme işlemlerinde metal uygulanan kuvvetler altında elastik ve plastik olarak deforme olur. Dış kuvvetler kaldırıldığında, iç elastik gerilme gevşer. Bazı bölgelerde tamamen gevşeyebilir ve parça boyutunda az miktarda değişim olur. Ancak bükülmeye uğramış bölgelerde et kalınlığı boyunca elastik gerilme değişimi olur, dış yüzeydeki gerilme iç yüzeydekinden farklıdır.

Eğer bu gerilmeler engellenmezse veya parça geometrisi tarafından kilitlemezse, bu gevşeme parça boyutlarında geriye yaylanma (springback) olarak adlandırılan bir değişime neden olur. Geriye yaylanma, kalıp dizaynındaki bazı değişiklikler ile kısmen engellenir .

2.7.4 Serbest metal

Şekillendirme sonrasında malzemenin deformasyona uğramamış bölgelerinde istem dışı çarpılmalar (parçanın bir bölgesi iç bükey/dış bükey) oluşabilir. Aynı yönde ve aynı keskin bükme köşeleri bulunan parçalarda köşeler arasında serbest metal bölgeleri kalabilir. Bu bölgelerin şekillendirme sırasında çekilmesi zordur. Büyük, yassı ve bir miktar eğilmiş parçalarda serbest metal oluşma ihtimali yüksektir. Sac kenarlarındaki sıkıştırma kuvvetlerini arttırmak problemi çözebilir. [7,22].

2.7.5 İstenmeyen yüzey yapısı

Aşırı deforme olmuş metal sac, eğer büyük taneli ise, “portakal kabuğu” olarak adlandırılan kaba görünümlü bir yüzeye sahip olur. Metallerde yüzey probleminin diğer bir nedeni ise malzemenin süreksiz akma göstermesidir. Bu metallerde düşük birim şekil değişimi değerlerindeki deformasyonlar Lüders bantları denilen düzensiz izler oluşturur. Bu hatalar orta ve yüksek birim şekil değişimi seviyelerinde

görülmez. Ancak neredeyse her parçada düşük birim şekil değişimi içeren bölgeler vardır. Bu hatalar belirsiz değildir ve boyama ile kapatılamaz [7].

2.7.6 Çatlama ve yırtılma

Şekillendirme esnasında uygulanan germe/derin çekme kuvvetlerinin, malzemenin kırılma limitlerini aşması sonucu oluşur. Çatlamanın sebebi, yanlış malzeme seçimi, malzeme hataları (bileşim, kalınlık, inklüzyon), kalıp hatası, yanlış kalıp açıklığı (yorulmalı kırılmayı ateşleyebilir), levhalardaki anizotropik davranışlarla ilgili olabilmektedir [22].

2.7.7 Yüzey bozukluğu

Süreksiz akma problemini önlemek için çelik üretiminin son aşamasında özellikle düşük C'lu saclara Temper Haddesi denilen % 0,5-2 oranında ezme uygulanır. Sac hemen kullanılmayıp stokta bekletilirse süreksiz akma olayı tekrar ortaya çıkar bu olaya “Deformasyon Yaşlanması” denir. Engellemek için C ve N azaltılmalıdır. Al, V, T, Nb gibi karbür ve nitrür oluşturu elementler katılmalıdır.

BÖLÜM 3. BİÇİMLENDİRME SINIR DİYAGRAMI

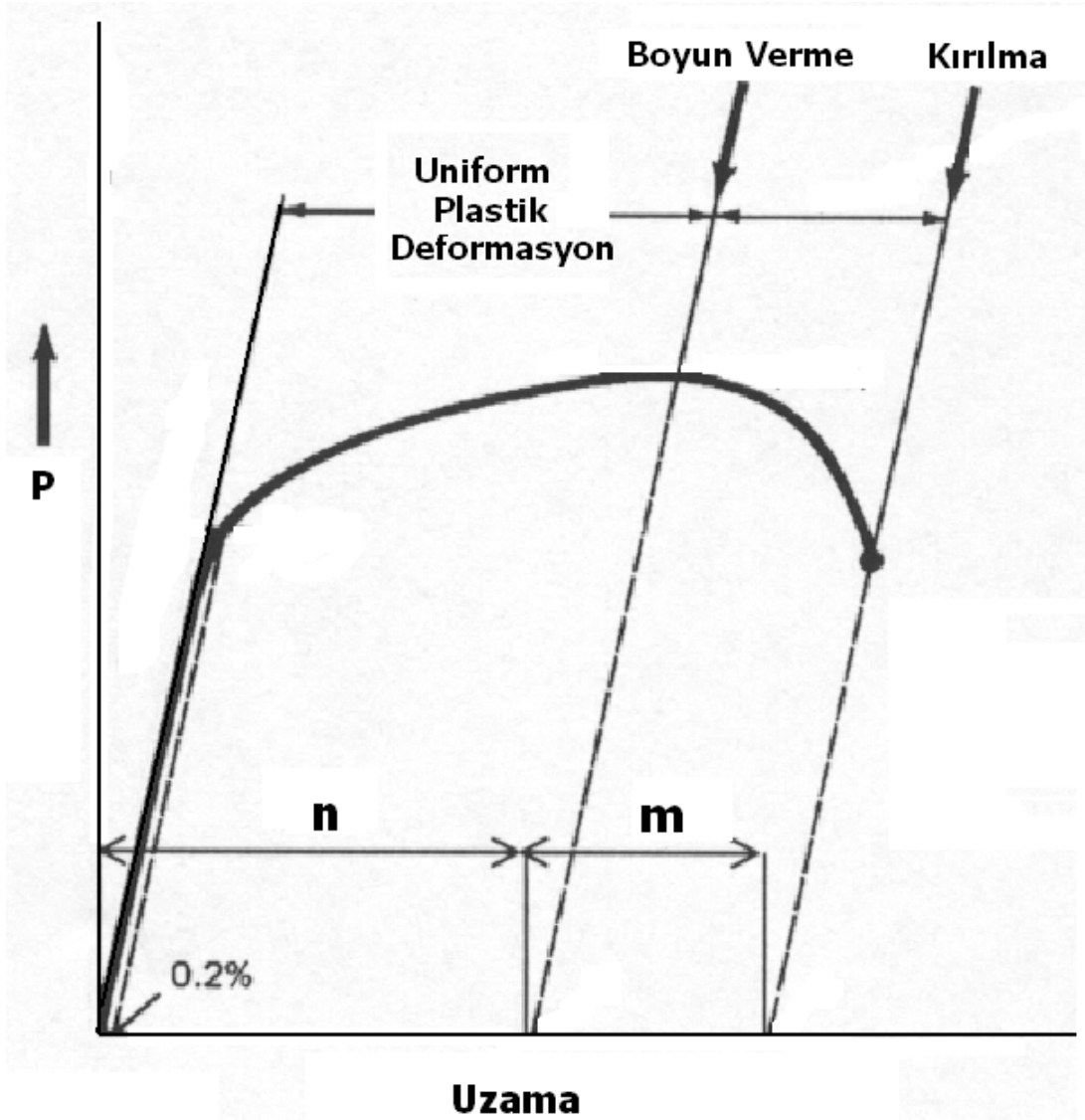
Şekillenebilme, bir malzemenin belirli bir yöntemle, belirli bir tasarıma uygun şekil alma yeteneği olarak tanımlanır ve malzeme, yöntem ve tasarım öğeleri ile belirlenir. Bu üç öğenin birbirine uygun olarak düzenlenmesi olan şekillendirme işlemi deneme yanılma yöntemleri ile yapılmaktadır. Günümüzde hala geçerli olan deneme yanılma yöntemleri ilk yaklaşım olarak yararlı olmasına karşın, oldukça masraflı olduğundan maliyetleri yükseltir. Bu nedenle malzemelerin şekillenebilme özelliklerini kolay anlaşılır biçimde ortaya koyan basit, hızlı, düşük maliyetli deneylere ihtiyaç vardır. Şekillendirmeyi etkileyen değişkenler içerisinde en önemli değişkenlerden bir tanesi malzeme ile ilgili özelliklerden malzeme mekanik özelliklerinin tayininde kullanılan çekme testidir.

3.1 Malzemenin Mekanik Özellikleri

Metalik malzemelerin mekanik özellikleri, kimyasal bileşimine ve metalurjik yapılarına bağlıdır. Mekanik işlemlerde gerekli olan gerilme, malzemenin deformasyon şartlarındaki mukavemetine, uygulanabilecek deformasyon oranı ise malzemenin deformasyon şartlarındaki sünekliğe bağlıdır. Malzemelerin mekanik özellikleri; çekme, basma, burma vs. gibi mekanik deneyler ile saptanabilir [3].

Çekme deneyi uygulamada mekanik özelliklerden mukavemet ve sünekliğin belirlenmesi amacıyla en fazla kullanılan deneydir. Çekme deneyi ile elastik özellikler ve plastik özellikler (akma gerilmesi, çekme mukavemeti, % uzama, % kesit daralması, tokluk vs.) tespit edilebilir. Bunun dışında deformasyon şartlarında (sıcaklık ve deformasyon hızı) yapılan deneylerden elde edilen “gerilme-birim şekil değiştirme” eğrilerinin şekli, mekanik işlem sırasında malzemenin deformasyon özellikleri hakkında fikir verir. Çekme deneyinden elde edilen gerilme birim şekil değiştirme eğrisinden malzemenin deformasyon setleşmesi hızı, deformasyon

sertleşmesi üssü, üniform birim şekil değiştirme gibi plastik deformasyonda önemli mekanik özelliklerinin belirlenmesi mümkündür. Şekil 3.1’de akma gerilmesi, çekme mukavemeti, % uzama, % kesit daralması, deformasyon sertleşmesi üssü (n), deformasyon hızı duyarlılığı (m), anizotropi katsayısı (r), boyun verme ve kırılma noktası değerleri çıkartılabilir.



Şekil 3.1 Tipik çekme testi diyagramı [22]

3.2 Şekillendirmeyi Etkileyen Faktörler

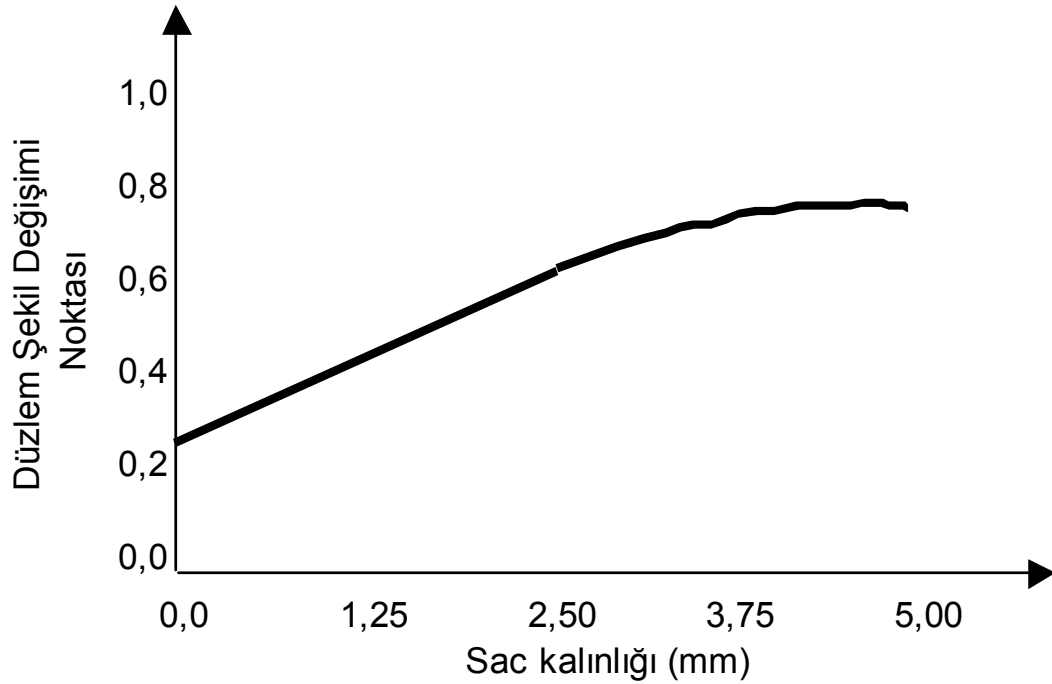
Şekillendirmeyi etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

-Kalınlık,

- Mukavemet,
- Hadde yönü,
- Akma mukavemeti
- Kimyasal bileşim,
- Mikroyapı,
- Tane boyutu,
- Tane şekli,
- Mikrobileşenler
- Deformasyon setleşmesi üssü (n),
- Deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}$) ve deformasyon hızı duyarlılığı üssü (m),
- Anizotropi katsayısı (r) sayılabilir [22].

3.2.1 Kalınlık

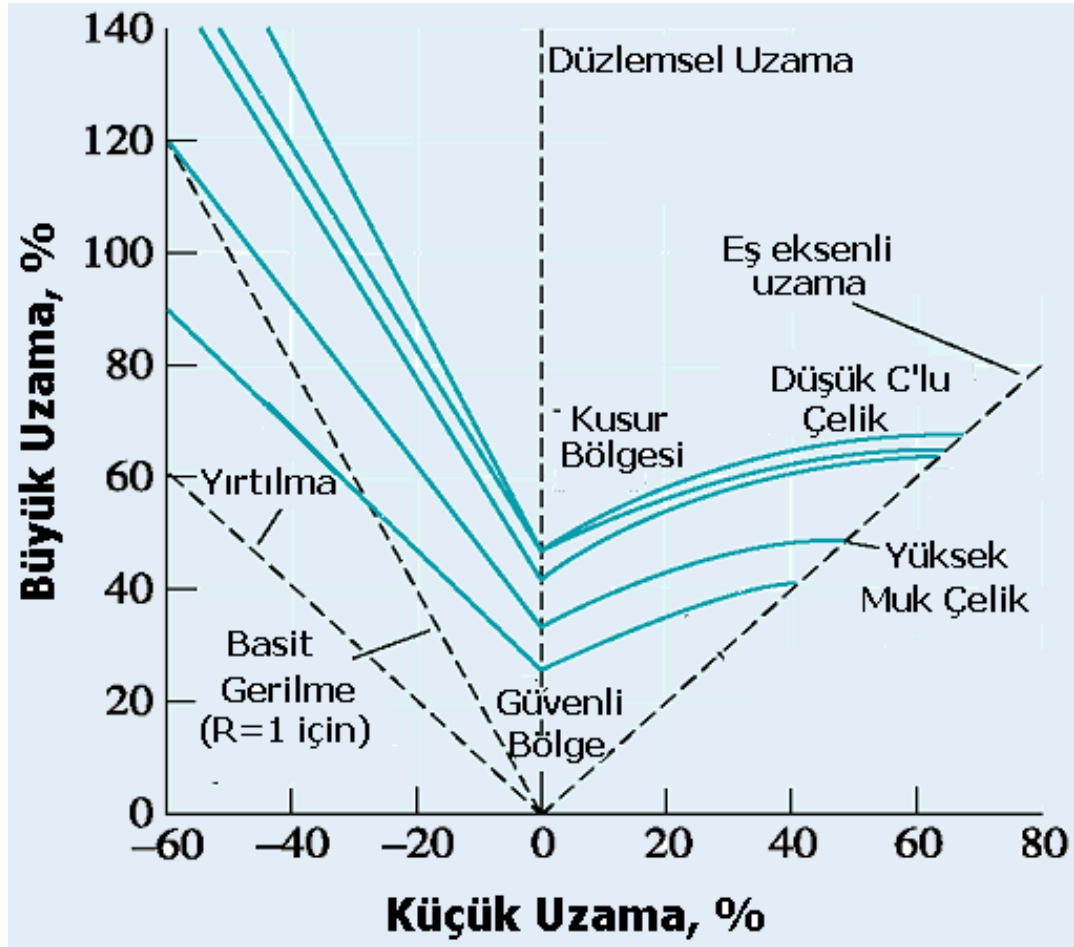
Biçimlendirme sınır diyagramlarında sac kalitesini belirten en önemli parametre düzlem şekil değişimi noktasıdır. Düşük karbonlu çeliklerde, sac kalınlığı azaldıkça, düzlem şekil değişimi noktası aşağı doğru kayar (Şekil 3.2). Sac kalınlığı 3 mm civarına çıktığında, bu özellik ortadan kalkar [23,24].



Şekil 3.2 Az karbonlu çelik sacda, sac kalınlığının düzlem şekil değişimi noktasına etkisi [23].

3.2.2 Mukavemet

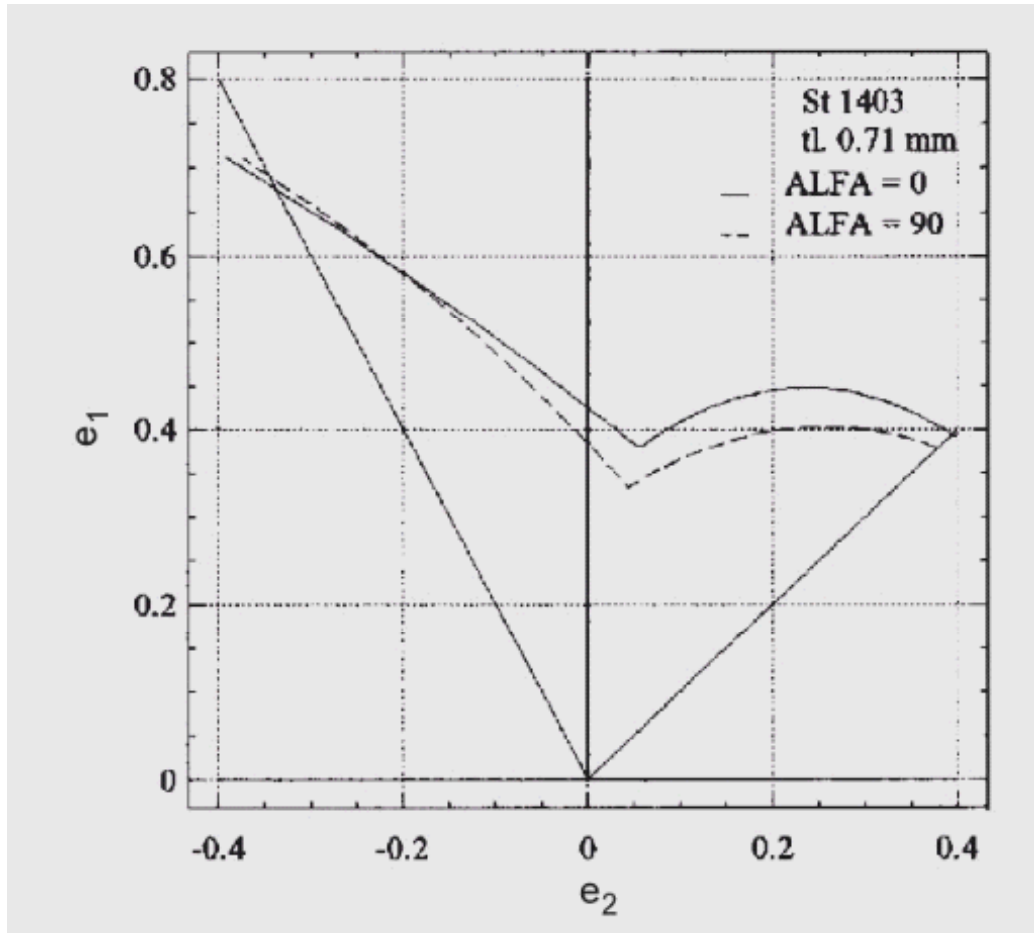
Malzeme mukavemeti arttıkça biçimlendirme sınır diyagramları aşağı doğru kayar. Şekil 3.3'te düşük karbonlu bir çelik ile yüksek mukavemetli bir çeliğin karşılaştırılması verilmiştir [22].



Şekil 3.3 Mukavemetin biçimlendirme sınır diyagramına etkisi [22].

3.2.3 Hadde yönü

Şekil 3.4'te Buchar'ın [25] 0,71 mm kalınlıktaki St 1403 sac üzerinde yaptığı çalışmanın sonuçları verilmiştir. Bu çalışmaya göre, hadde yönüne dik yönden alınmış olan sacların biçimlendirme sınır diyagramındaki güvenli bölge, haddeye paralel yönden çıkarılan saclara nazaran daha dardır. Bu nedenle haddeye dik yönde çıkarılan saclarda gerçekleştirilen şekillendirme işlemlerinin başarısız olma ihtimali fazla olur.



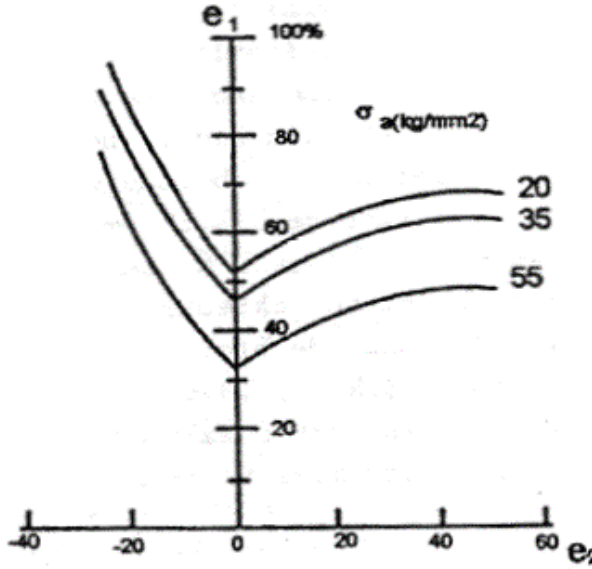
Şekil 3.4 Hadde yönünün biçimlendirme sınır diyagramlarına olan etkisi [25].

3.2.4 Akma mukavemeti

Şekil 3.5'te aynı kalınlıkta, fakat farklı akma mukavemetlerine sahip düşük karbonlu çeliklere ait biçimlendirme sınır diyagramları verilmektedir. Buna göre, akma gerilmesindeki artış, şekillenebilme kabiliyetini azaltmaktadır [2,3].

3.2.5 Kimyasal bileşim

Sacın bileşiminde, çeliğin üretimi aşamasından itibaren bulunan çeşitli alaşım elementleri ve empüriteler şekillenebilme davranışını çeşitli yönlerde etkiler. Genel olarak çelik içinde mevcut bulunan alaşım elementleri ve empüriteler ile bunların çelik sacların şekillenebilme özelliğine olan etkileri aşağıda açıklanmıştır [7].



Şekil 3.5 Akma mukavemetinin biçimlendirme sınır diyagramına etkisi [2].

Çeliğin karbon içeriği arttıkça, ferrit matris içinde karbür partiküllerinin çökmesi ile çeliğin mukavemetinde bir artış ve şekillenebilme özelliğinde bir azalma gerçekleşir. Bu nedenle çeliğin karbon bileşimi % 0,10'un altında tutulur.

Düşük karbonlu çeliklerde manganez içeriği sıcak şekillendirme kabiliyetinin artırılması amacıyla genellikle % 0,15-0,35 arasında tutulur. Çeliğin kükürt içeriğinin düşük olduğu durumlarda, manganez içeriği de düşük tutularak çeliğin yüksek anizotropi katsayısı değerlerine sahip olması sağlanır.

Fosfor ve kükürt kırılma ve ayrılma özelliğini arttırdığından, her iki element de çelikte arzu edilmez. İzin verilen miktar, genelde çeliğin kalitesine bağlıdır.

Silisyum miktarındaki artış mukavemeti arttırdığından, şekillenebilme özelliğini azaltır. Üretimde kullanılan deoksidasyon yöntemine bağlı olarak maksimum % 0,10 silisyum bulunur. Deoksidasyon işleminde alüminyum yerine silisyumun kullanıldığı durumlarda ise içerik % 0,40'a kadar yükselebilir.

Krom, nikel, molibden ve vanadyum düşük karbonlu çelik içinde eser miktarda bulunan elementlerdir. Yüksek oranda bulduklarında bu elementlerden her biri mukavemeti artırıcı yönde etki yapar ve dolayısıyla şekillenebilme özelliğini azaltır.

Bakır çelik saclarda kalıntı elementtir ve genelde % 0,10'dan az olarak çelik bileşiminde bulunur. Çeliğin atmosferik korozyona karşı dayanımını arttırmak amacıyla bakır içeriği % 0,20'nin üzerindeki değerlere kadar arttırılabilir.

Niyobyum, niyobyum karbür ve nitrürler oluşturarak HSLA çeliklerin mukavemetini arttırmaları. Tek başına veya titanyum ile birlikte kullanılarak yüksek anizotropi katsayısı değerlerine sahip arayer atomsuz çeliklerin üretiminde de kullanılabilirler. Titanyum kuvvetli bir karbür ve nitrür oluşturmaktadır. Yüksek anizotropi katsayısı değerleri elde edilmesini sağlar, süreksiz akma olayını önler ve soğuk haddelenmiş tavllanmış çelik saclardaki yaşlanma olayını ortadan kaldırır.

Alüminyum çeliği söndürmek amacıyla çeliklere ilave edilir. Alüminyum oksijen ve azot ile birleşerek gaz çıkışını önler. Ayrıca soğuk haddelenmiş ve tavllanmış çeliklerde tercih edilen tane düzenini sağlayarak yüksek anizotropi katsayısı değerleri sağlar. Alüminyum azotu bağladığı için, deformasyon yaşlanması olayını önler. Azot düşük karbonlu çeliklerin mukavemetini büyük oranda artırır, deformasyon yaşlanması olayına neden olur. Azot miktarı alüminyum ilavesi ile azaltılır.

Seryum ve nadir toprak elementleri manganez sülfür inklüzyonlarını yuvarlaklaştırarak sünekliği arttırmaları.

Yüksek miktardaki oksijen alaşım elementlerinin etkisini azaltarak, deformasyon yaşlanmasını artırır. Silikon, alüminyum ve titanyum ilavesi oksijen miktarını kontrol altında tutar. Oksijenin bu elementlerle bileşik oluşturması sonucunda metalik olmayan bileşikler oluşur. Eğer bu bileşiklerden cürufa geçmeyenler olursa, çelikte yüzey hatalarına neden olur [7].

3.2.6 Mikroyapı

3.2.6.1 Tane boyutu

Tane boyutunun etkisi iki yöndedir. Düşük karbonlu çeliklerde akma mukavemetleri tane boyutunun karesi ile ters orantılıdır.

$$\sigma_a = \sigma_i + k_a d^{-1/2} \quad (3.1)$$

Burada,

σ_a = akma mukavemeti

σ_i = tek kristalin akma mukavemeti

k_a = sabit

d = tane boyutu

İnce taneli çelikler mukavemetlidir, ancak deformasyon sertleşmesi üssü değerleri düşüktür ve şekillenebilme özellikleri sınırlıdır. Tane boyutu azaldıkça ortalama anizotropi katsayısı değeri de azalmaktadır. İri taneli çeliklerin şekillenebilme kabiliyeti daha yüksek olmasına karşın, ASTM 5 tane boyutundan daha küçük tane boyutuna sahip çeliklerin yüzeyinde oluşan portakal kabuğu görünümü, bu çeliklerin pek çok uygulamada kullanılmasını engeller. ASTM 7 ve 8 tane boyutları, şekillenebilme ve yüzey görünümü bakımından en ideal sonuçları verir. Ancak HSLA çelikleri mukavemet ve tokluğu arttırmak amacıyla çok küçük tane boyutlarında (ASTM 12'ye kadar düşük olabilir) üretilir [6].

3.2.6.2 Tane şekli

Ferrit tane şekli şekillenebilme özelliğini etkiler. Sıcak haddelenmiş alüminyum ile söndürülmüş çelikler genelde eşeksenli tane yapısına sahiptir. Soğuk haddelenmiş alüminyum ile söndürülmüş çelikler genelde tabakalı bir ferrit tane yapısına sahiptir. Bu tane yapısı, tercih edilen tane düzeni ile birlikte alüminyum ile söndürülmüş çeliklerin mükemmel şekillenebilme özelliğini sağlar [7].

3.2.6.3 Mikrobileşenler

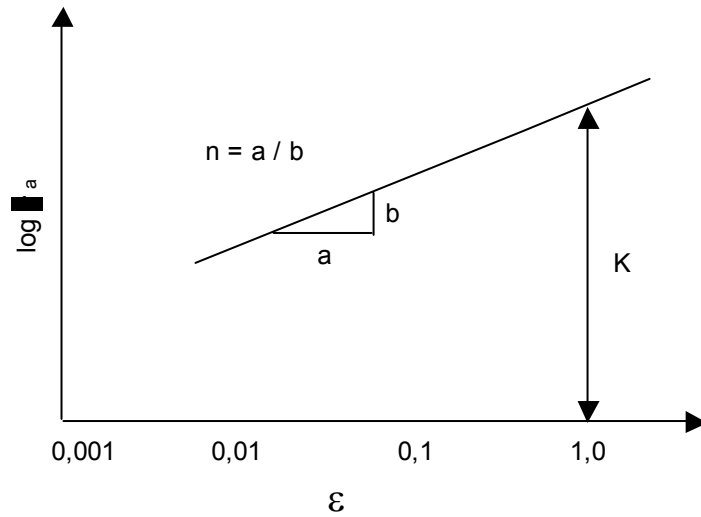
Oda sıcaklığında düşük karbonlu çeliklerde demir karbürler ve metalik olmayan inklüzyonlar bulunur. En sık bulunan inklüzyonlar sülfürler, silikatlar ve oksitlerdir. Alüminyum ile söndürülmüş çeliklerde alüminyum nitrürler da bulunabilir. Bu mikro bileşenler çeliğin mukavemetini etkileyerek, şekillenebilme kabiliyetini değiştirirler. Ferritte çözünen elementler mukavemeti arttırırken, şekillenebilme kabiliyetini

azaltır. Metalik olmayan inklüzyonlar ise sıcak haddeleme sırasında yönlendirilerek, şekillendirme sırasında kırılmaya neden olurlar [7].

3.2.7 Deformasyon sertleşmesi üssü (n)

Deformasyon sertleşmesi üssü (n); plastik deformasyonun başladığı akma gerilmesi ile boyun vermenin başladığı nokta arasında bulunan homojen deformasyon bölgesindeki gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değiştirme değerlerine göre çizilen Şekil 3.6’da gösterilen grafiğin eğimine eşittir [3].

Deformasyon sertleşmesi üssü çeliğin gererek şekillendirilebilirlik kabiliyetini tanımlar. Gererek şekillendirmede en önemli malzeme değişkeni n değeridir çünkü malzeme boyun verme yada kırılmadan uniform olarak şekillendirilmelidir. Eğer yüksek gergili şekillendirme isteniyorsa yüksek n değerli malzeme seçilmelidir. Sıcak haddelenmiş saclarda n değeri ~ 0.1 , soğuk haddelenmiş saclarda ise n değeri $0.2 - 0.25$ arasındadır [22].



Şekil 3.6 Deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerinin tayini [26].

Sacların soğuk biçimlendirilme kabiliyetinin yüksek olması, sacın deformasyona uğradığı sürece sertleşmesine bağlıdır. Deformasyon sırasında incelmeye başlayan bir bölge, deformasyon sertleşmesi sonucunda deformasyonun komşu bölgelere yayılmasını sağlar ve bu sayede malzemede homojen bir incelmeye gerçekleşir [23].

Çekme testi sırasında elde edilen homojen plastik birim şekil değişimi bölgesi, bir malzemenin deformasyon sertleşmesi özelliği hakkında bilgi verir. Deformasyon sertleşmesinin görüldüğü deformasyon sıcaklıklarında metalik malzemelerin gerilme-birim şekil değişimi eğrisi Holloman denklemi olarak isimlendirilen

$$\sigma_g = K \varepsilon^n \quad (3.2)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir.

Burada;

σ_g = Gerçek plastik gerilme,

ε = Gerçek plastik birim şekil değişimi,

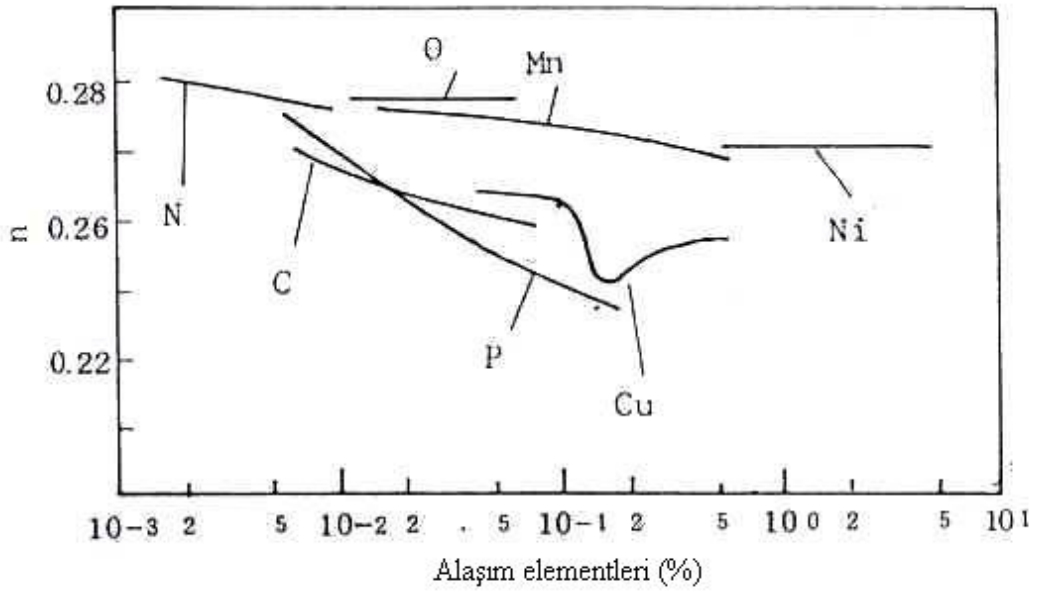
K = Mukavemet katsayısı ve

n = Deformasyon sertleşmesi üssü'dür.

Plastik deformasyonun başladığı akma mukavemeti ile boyun vermenin başladığı çekme mukavemeti arasındaki homojen plastik deformasyon bölgesinde Holloman denkleminin geçerlidir. Holloman denkleminin geçerli olduğu malzemelerde, gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değiştirme değerlerine göre çizilen grafiğin eğimi deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerini vermekte olup deformasyon sertleşmesi üssü, homojen birim şekil değiştirme değerine eşittir [26].

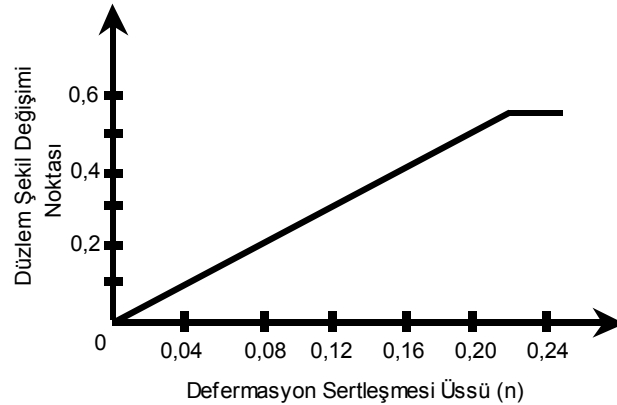
Derin çekme kalite az karbonlu çelik saclarda deformasyon sertleşmesi üssü değeri 0.18'in üstünde ve genellikle 0.22 civarındadır. Deformasyon yaşlanması ve soğuk deformasyon bu değer azalmasına sebep olur. Tane boyutunun artması deformasyon sertleşmesi üssü değerini artırır fakat, biçimlendirme sonrasında portakal kabuğu görünümlü yüzey oluşmasına yol açar [6].

N, C, P, Cu, Ni, Mn ve O alaşım elementlerinin deformasyon sertleşmesi üssü'ne etkisi Şekil 3.7'de verilmiştir [22].



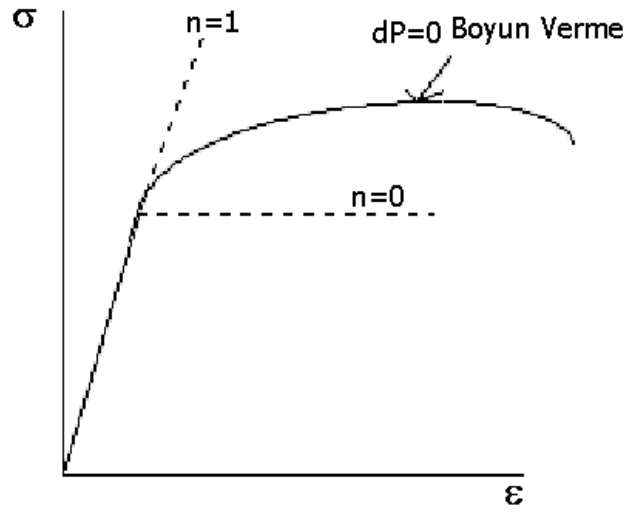
Şekil 3.7 Alaşım elementlerinin n değerine etkisi [22]

Deformasyon sertleşmesi üssü değerinin artması, çelik sacların biçimlenebilme kabiliyetini arttırmaktadır. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi deformasyon sertleşmesi üssünün artışı 0,22 değerine kadar şekillenebilirliği arttırmaktadır. Bu değerden sonra şekillenebilirlik n değerindeki artıştan etkilenmez [23].



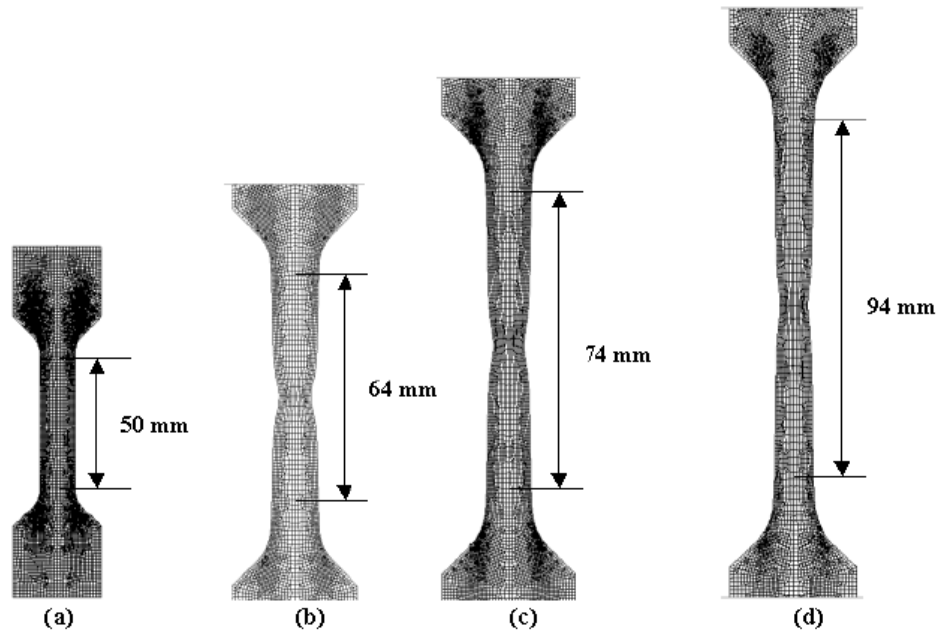
Şekil 3.8 2 mm kalınlığındaki az karbonlu çelik sacda, deformasyon sertleşmesi üssü'nün düzlem şekil değişimi noktasına etkisi [23].

Şekil 3.9’ gösterildiği gibi deformasyon sertleşmesi üssü , $n=0$ ideal plastik malzeme ile $n=1$ elastik malzeme değerleri arasında olabilir. Maksimum yükte ($dP=0$), izin verilen homojen uzamanın olduğu nokta n değeri olarak belirtilir ($n=\epsilon$). Bu noktadan sonra incelme ve kopma başlar [22].



Şekil 3.9 Maksimum yükte ($dP=0$), izin verilen homojen uzamanın olduğu nokta [22].

Çekme testi numunelerindeki deformasyon sertleşmesi değerinin değişimi Şekil 3.10'da verilmiştir. Deformasyon miktarının artmasıyla deformasyon sertleşmesi üssü değeri de artmaktadır.



Şekil 3.10 a) Çekme testi öncesi numune, b) $n=0,2$ c) $n=0,4$ d) $n=0,6$ [34].

3.2.8 Deformasyon hızı ve deformasyon hızı duyarlılığı üssü

Deformasyon hızının mekanik özelliklere büyük bir etkisi vardır. Deformasyon hızı arttıkça malzemenin mukavemeti artar, toplam birim şekil değişimi miktarı azalır.

Ancak, deformasyon hızının akma mukavemetine olan etkisi, çekme mukavemetine olandan daha fazladır.

Metalik malzemeler içinde ise deformasyon hızına en bağımlı olan grup Hacim Merkezli Kübik yapıya sahip olan malzemelerdir.

Malzemeye uygulanan deformasyon hızı,

$$\sigma = C \dot{\epsilon}^m \quad (3.3)$$

bağıntısına göre, mukavemetin artmasına sebep olur. Burada;

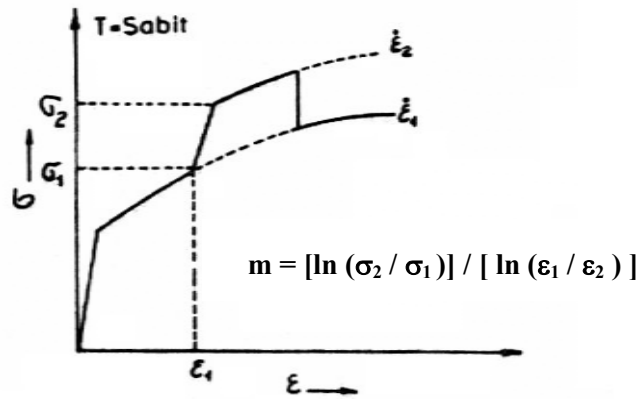
σ = Plastik gerilme

$\dot{\epsilon}$ = Deformasyon hızı ($d\epsilon/dt$)

C = Malzeme sabiti

m = deformasyon hızı duyarlılığı üssü'dür.

Deformasyon hızı duyarlılığı üssü, sabit sıcaklıkta yapılan çekme deneyi sırasında Şekil 3.11'de görüldüğü gibi deformasyon hızının aniden değiştirilmesi ile belirlenir. Bu değer malzemenin boyun verme sırasında bölgesel deformasyona karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür [2].



Şekil 3.11 Çekme deneyi sırasında deformasyon hızını değiştirerek deformasyon hızı duyarlılığı üssü (m) değerinin belirlenmesi [3].

Küçük ama pozitif deformasyon hızı duyarlılığı üssü değerleri homojen bölge sonrası birim şekil değişimini artırır ve böylece bölgesel deformasyon eğilimini azaltarak boyun oluşumu sonrası gerçekleşen kırılmayı geciktirir. Sonuç olarak, artan

deformasyon hızı duyarlılığı üssü çekme koşullarında daha yüksek ve homojen bir deformasyon dağılımına neden olarak toplam birim şekil değişimi seviyesini yükseltir.

3.2.9 Anizotropi katsayısı

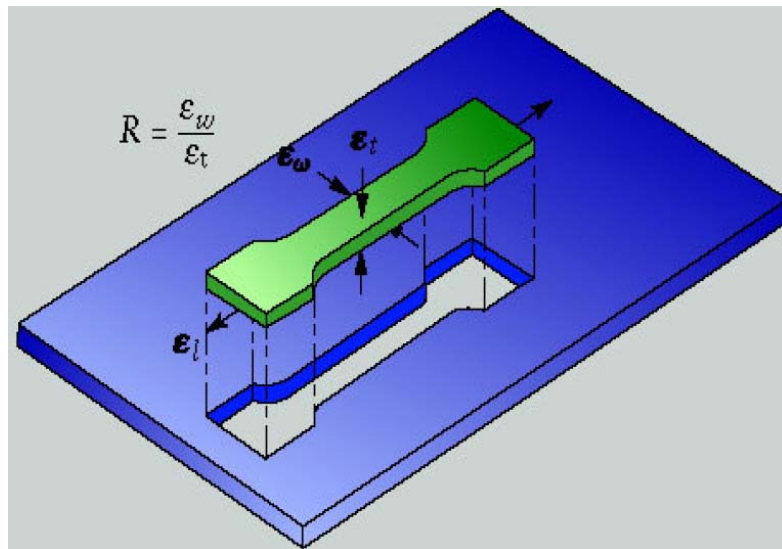
Sac şekillendirme işlemleri sırasında malzemenin incelmeye karşı gösterdiği direnç, plastik birim şekil değiştirme değerlerinin oranı olan dikey anizotropi değeri (r) ile ölçülür. r değeri, çekme testindeki genişlik yönündeki gerçek uzama (ϵ_w) ile kalınlık yönündeki gerçek uzama (ϵ_t) oranıdır (Şekil 3.12). Derin çekmede kullanılan en önemli parametre r değeridir. r değeri malzemenin akma veya derin çekilme kabiliyetini etkiler. r değeri ne kadar büyükse şekillendirme o oranda kolaylaşır [22]. Saclarda dikey anizotropi (r);

$$r = \epsilon_w / \epsilon_t \quad (3.4)$$

olarak tanımlanır. Burada;

ϵ_w = Genişlikteki birim şekil değişimi

ϵ_t = Kalınlıktaki birim şekil değişimi



Şekil 3.12 Anizotropi katsayısının çekme deneyi ile ölçümü [22].

Haddelenmiş sacların mekanik özellikleri sac düzlemindeki yönlere bağlı olduğundan (Şekil 3.13), farklı yönlerde ölçülen r değerlerinin ortalaması, ortalama anizotropi katsayısı olarak tanımlanır [2].

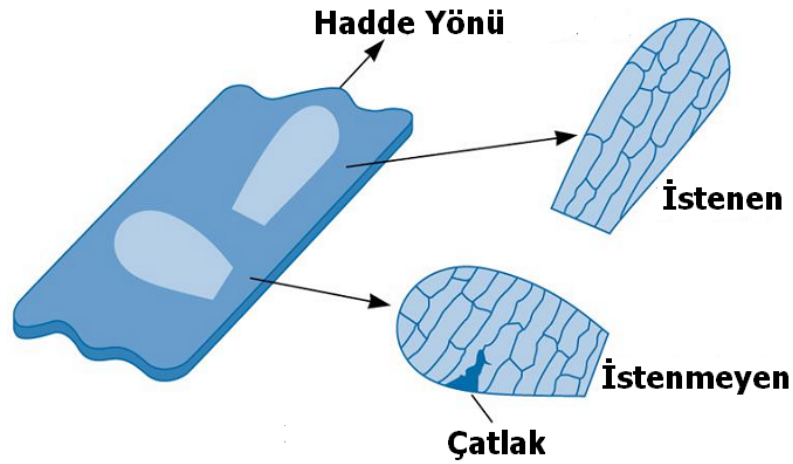
$$r_{\text{ort}} = (r_0 + r_{90} + 2 r_{45}) / 4 \quad (3.5)$$

Burada

r_0 = Hadde yönündeki anizotropi katsayısı

r_{90} = Haddeye dik yöndeki anizotropi katsayısı

r_{45} = Hadde yönüyle 45° açı yapan anizotropi katsayısıdır.



Şekil 3.13 Anizotropinin test yönüne göre değişimi [22]

Ortalama anizotropi katsayısı değeri arttıkça sacların derin çekilebilirliği de artar. Derin çekme işlemlerinde dikey anizotropi özelliği istenmesine rağmen, düzlemsel anizotropi özelliği istenmez. Düzlemsel anizotropiye sahip parçalar hadde yönünde, haddeye dik yönde veya bu iki yön arasındaki herhangi bir açıya sahip yönde (örneğin 45° açılı yönde) farklı plastik şekil değiştirme özelliği gösterirler. Bu tür malzeme ile üretilen kabın yüksekliğinde “kulaklanma” adı verilen dalgalandırma olur. Biçimlendirme sonrasında parçada oluşan kulaklar, parçanın çevresi boyunca kesilir ve metal kaybına neden olur. Kulaklanma olayının görülmemesi için;

$$\Delta r = (r_0 + r_{90} - 2 r_{45}) / 2 \quad (3.6)$$

bağıntısı ile hesaplanan düzlemsel anizotropi katsayısının (Δr) değerinin sıfır olması istenir. Kulaklanma oluşumu Δr değerine bağlı olup, en büyük r değeri yönündedir [2,3].

Sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çelikler 0,8-1,0 arasında, soğuk haddelenmiş çemberli çelikler 1,0-1,4 arasında, soğuk haddelenmiş alüminyum ile söndürülmüş çelikler 1,4-2,0 arasında ortalama anizotropi katsayısı değerlerine sahiptirler. Arayer atomu içermeyen IF çeliklerinde bu değer 1,8-2,5 arasına ulaşır. Ferritik çelikler için maksimum teorik ortalama dikey anizotropi katsayısı değeri 3,0 olmasına karşın, belirlenen en yüksek 2,8'dir.

Ortalama anizotropi katsayısının çekme-çekme bölgesinde olan etkisi, çekme-basma bölgesine nazaran daha fazladır ve ortalama anizotropi katsayısında olan bir artış şekillenebilme kabiliyetini negatif yönde etkiler .

Uzama sac, malzemelerdeki kristallografik tekstür ile ilgilidir ve anizotropik malzemelerde test yönüyle değişebilir. Haddelenmiş saclar anizotropiktir.

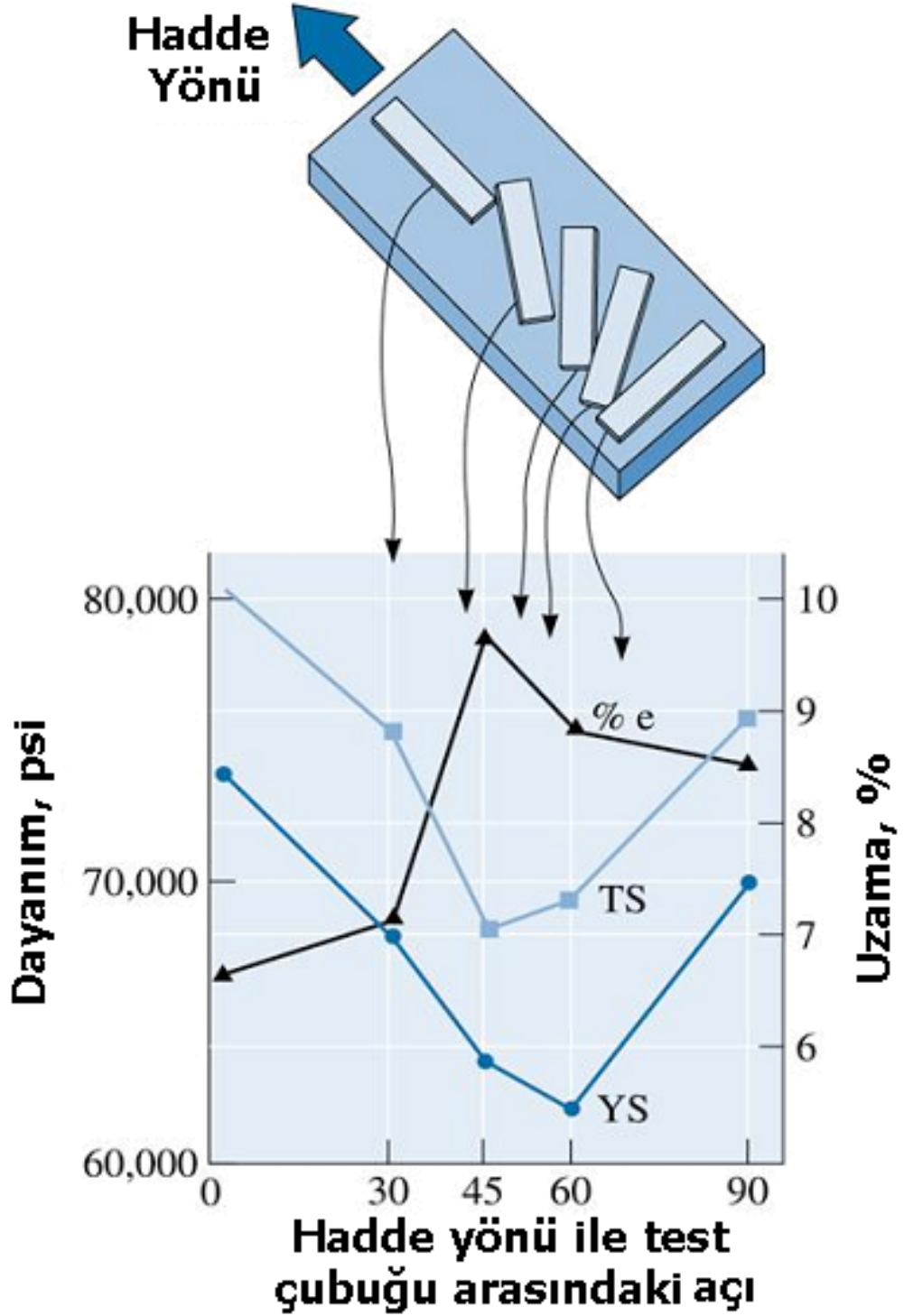
Levhadaki anizotropik davranışların mekanik özelliklere etkisi Şekil 3.14'de verilmiştir.

3.3 Sacların Şekillenebilme Özellikleri

Sac malzemelerin şekillenebilme özellikleri klasik mekanik deneylerin sonuçlarından yararlanılarak, şekillendirme yöntemlerinin benzeşimi olan deneyler ile, biçimlendirme sınır diyagramları yardımı ile belirlenebilir [27].

Malzemenin sadece temel özelliklerinden yola çıkarak şekillenebilirliğin tahmininde kısmi başarılar elde edilmiştir. Derin çekmenin ağırlıklı olduğu işlemlerde derin çekilebilirlik ile plastik anizotropi katsayısı (r) arasında iyi bir bağıntı kurulabilmektedir. Kuvvetin baskın (çekme-çekme) olduğu işlemlerde ise r ile olan bağıntı zayıftır. Ayrıca şekillenebilme ile deformasyon sertleşmesi üssü (n) ve homojen birim şekil değişimi (e_u) arasında da bağıntı kurulabilmektedir. Endüstrideki sac şekillendirme işlemlerinde germe ve derin çekme oranları hem işlem detaylarına göre, hem de her bir işlemdeki zaman ve pozisyona göre değiştiği için ideal tek eksenli yükleme şartları altında elde edilen temel mekanik özelliklerin,

şekillendirme işlemlerinde karmaşık deformasyona uğrayan sacın göstereceği davranış hakkında tahminde bulunmak için yeterli değildir.

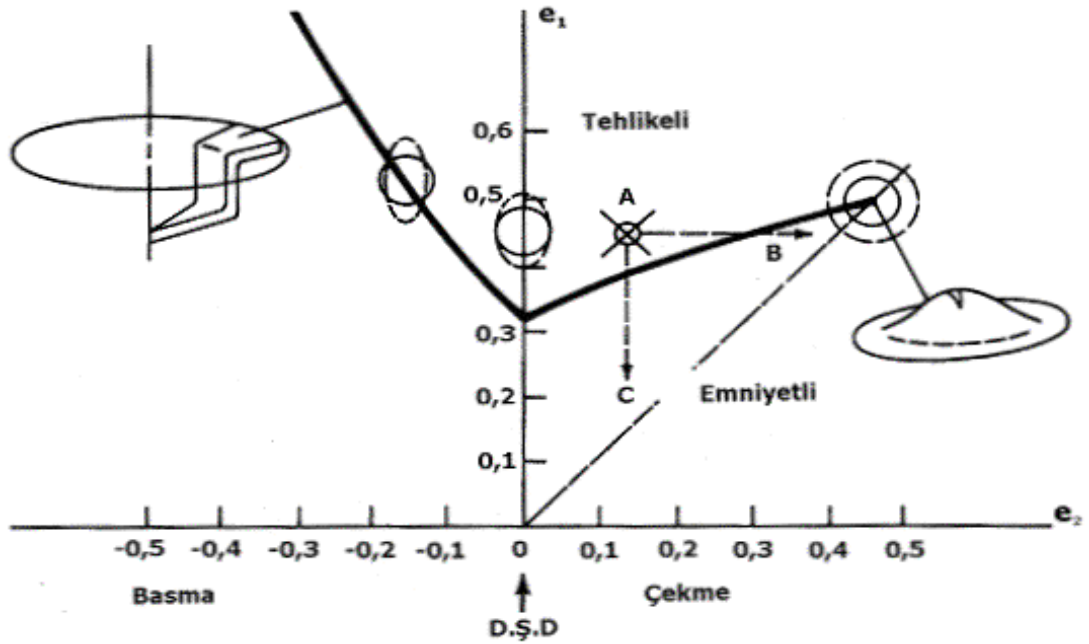


Şekil 3.14 Levhadaki anizotropik davranışların mekanik özelliklere etkisi [22]

Malzemelerin mekanik özelliklerinden sacların biçimlenebilirliklerinin belirlenmesi konusundaki başarısızlık, gerçek biçimlendirme işlemlerine benzeyen derin çekme, çökertme gibi benzetim deneylerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Bununla birlikte, endüstriyel parçaların pres işlemlerinde işlem detaylarının benzetim deneylerinden farklılaşması benzeşim deneylerinin faydasını azaltmaktadır. Bu açıdan benzeşim deneyleri biçimlenebilirliği istenilen ölçüde temsil etmemekte, sadece saclar arasında karşılaştırma yapılmasını sağlamaktadır ve biçimlendirme işlemi sırasında bir sacın diğerine nazaran daha başarılı olup olamayacağıın ölçütü olmaktadır. Ancak bir pres işleminin başarılı olup olamayacağı ya da işlemin başarılı olması için ne gibi önlemler alınması gerektiği hakkında bilgi vermez.

Hem malzemenin mekanik özelliklerinin, hem de benzetim deneylerinin şekillenebilirlik konusunda yetersiz kalması nedeniyle “Biçimlendirme Sınır Diyagramları” türetilmiştir [4].

Her tür çelik, alüminyum, pirinç veya diğer tür metalik saclar bölgesel incelmeye (boyun vermeye) uğramadan veya kırılmadan önce, belirli bir seviyeye kadar deforme edilebilir. Bu seviye malzemenin maruz kaldığı birim şekil değişimi değerlerinin (büyük ve küçük birim şekil değişimi) kombinasyonuna bağlıdır. En düşük seviye, düzlem gerilme durumunda gerçekleşir ve bu durumda küçük birim şekil değişimi sıfırdır. Bu bilgiler grafiksel olarak ilk defa Keeler ve Goodwin tarafından “Biçimlendirme Sınır Diyagramı” olarak ortaya konmuştur. Bu diyagramlar, boyun verme anında elde edilen en büyük birim şekil değişimi (e_1) değerine karşılık gelen en küçük birim şekil değişimi (e_2) değeri kriter alınarak çizilmektedir. Şekil 3.15’de düşük karbonlu çelikler için geçerli olan tipik bir biçimlendirme sınır diyagramını göstermektedir. Diyagram, genellikle numune yüzeyine çizilen yuvarlak izlerden elde edilen birim şekil değişimi değerleri yardımıyla, bir biçimlendirme işleminin hasara (boyun vermeye) ne kadar yaklaştığını veya iş parçasında bulunan bir kusurdan ya da kalıptaki bir hatadan dolayı meydana gelecek hasarı tespit etmede kullanılmaktadır [7].



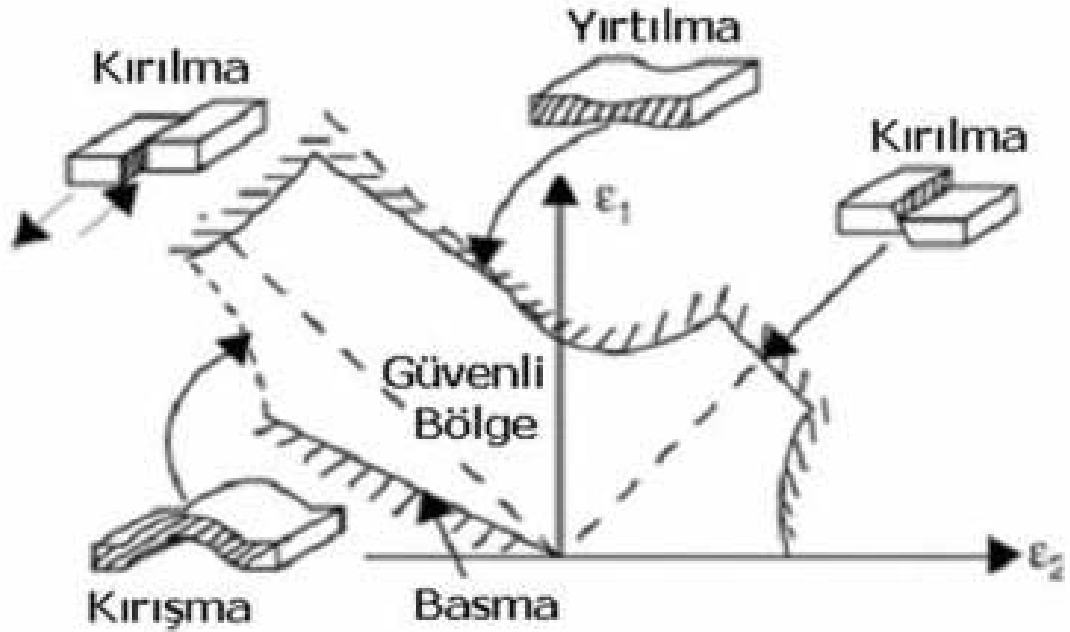
Şekil 3.15 Az karbonlu çeliğe ait biçimlendirme sınır diyagramı [3].

Biçimlendirme sınır diyagramının üst bölgesi tehlikeli bölge, alt bölgesi emniyetli bölgedir. Ayrıca diyagram, çekme-çekme veya çekme-basma deformasyon türlerinin olduğu iki bölgeye ayrılır. Çekme-çekme bölgesinde e_2 pozitif işaretlidir ve bu bölgeye ait ilk çalışmalar Keeler tarafından gerçekleştirilmiştir. Çekme-basma bölgesinde e_2 negatif işaretlidir ve bu bölge ile ilgili ilk çalışmalar Goodwin tarafından yapılmıştır. Bu nedenle biçimlendirme sınır diyagramları Keeler-Goodwin Diyagramları olarak da adlandırılmaktadır (Şekil 3.16).

Biçimlendirme sınır diyagramında e_2 'nin sıfır olduğu nokta, düzlemsel biçim değiştirmeyi belirleyen noktadır. Farklı malzemelerin karşılaştırılmasında bu noktaya ait değerler kriter olarak kullanılır [3].

3.4 Biçimlendirme Sınır Diyagramlarının Şekillendirme İşlemlerinde Kullanımı

Başarılı bir biçimlendirme işlemi için malzeme özellikleri, kalıp geometrisi ve yağlama işleminin beraberce uyum sağlaması gerekir. Bu uyum seri üretime geçilmeden önce deneme üretimi aşamasında sağlanmalıdır. Bu çalışma sırasında biçimlendirme sınır diyagramından faydalanılır.



Şekil 3.16 Tipik bir biçimlendirme sınır diyagramı [22]

Yüzeyine dairesel izler çizilmiş metalik sac biçimlendirilir ve kritik bölgelerde şekil değiştirme analizi yapılır. Sınır eğrisine yakın değerlerin bulunması seri üretimde çatlama ihtimalinin yüksek olduğunu gösterir. Bu durumda biçimlendirme işlemini emniyetli bölgeye çekecek önlemler alınmalıdır. Örneğin iki eksenli çekme gerilmesinin etkili olduğu gererek biçimlendirme işlemine uğramış bir parçada, plastik şekil değiştirme miktarları biçimlendirme sınır eğrisinin üst bölgesinde kalıyorsa (Şekil 3.15, A noktası) malzemede çatlama olur. Çatlamayı önlemek için ya küçük şekil değiştirme miktarını (e_2) arttırma (B noktası) veya büyük şekil değiştirme miktarını azaltma (C noktası) yoluna gidilir. Küçük şekil değiştirme miktarını (e_2) arttırmak için malzemenin bu yöndeki hareketi sınırlandırılır. Bunun için, örneğin, sıkıştırma kalıbına girintili çıkıntılı şekil verilerek veya bu bölgedeki sürtünme arttırılarak malzeme hareketi zorlaştırılır. Büyük şekil değiştirme miktarını azaltmak için biçimlendirilen parçanın derinliğini azaltma veya bölgesel incelmeye olayını (boyun verme) önleme yoluna gidilebilir. Bölgesel incelmeyi önlemek için, örneğin, erkek kalıbın bu bölge ile temas eden kısmında sürtünme arttırılarak şekil değiştirme miktarı azaltılır. Bu çareler söz konusu örnek için geçerlidir. Gerçek uygulamada ise, önce bir biçim değiştirme analizi yapılır, daha sonra çözüm yoluna gidilir. Genelde zımba veya erkek kalıp kuvvetini azaltacak önlemler, biçimlendirme

işleminin emniyetli bölgede kalmasına katkıda bulunur. Belirli bir kalıp tasarımı ile, koşulları değiştirerek biçimlendirme işlemini emniyetli bölgeye çekmek mümkün değilse, daha kaliteli malzeme seçimine gidilir. Bunu tersine, deneme çalışmaları sonunda biçimlendirme işlemine ait veriler, biçimlendirme sınır diyagramının çok altında bulunuyorsa, daha düşük kalitede malzeme kullanımına geçilerek, maliyet açısından ekonomi sağlanır [3].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Giriş

Metalik sacların biçimlendirme işlemleri genellikle çok adımlı bir işlemdir. Bükme, gererek biçimlendirme ve derin çekme işlemleri parçaya beraber uygulanır. Bu nedenle malzemenin çekme deneyi yardımı ile bulunan mekanik özellikleri şekillendirebilme özelliklerini tam anlamıyla temsil etmemektedir.

Laboratuvar koşulları endüstriyel koşullardan farklıdır. Dolayısıyla mekanik deneyler kullanılan malzemenin yapıldığı şartlardaki davranışı hakkında bilgi verir. Başka bir ifadeyle, söz konusu deneyler malzeme sınıflandırma ve seçme konusunda yararlı olur. Malzemenin üretim koşullarındaki davranışı inceleyebilmek için, plastik şekil değiştirme analizlerine gerek vardır.

Otomotiv sektöründe şekillendirilen çoğu parçalar hem gererek hem de derin çekme işlemi yapıldığından tüm şekillendirme işlemleri hakkında bilgi verebilen biçimlendirme sınır diyagramları analizlerinin kullanılması gerekir. Bu çalışma kapsamında Erdemir üretimi sacların biçimlendirme sınır diyagramlarının tespiti ve otomotiv endüstrisinin kullanımına sunulması hedeflenmiştir.

4.2 Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan çelik kalitelerinden Erdemir üretimi farklı kaplama ve kalınlıktaki; galvanil (410) ve galvaniz kaplı malzemeler (1312, 1313, 1314) ile kaplamasız (7114) sacların şekillenebilirlik özellikleri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalarda, 0.8, 1.0, 1.18 ve 1.50 mm kalınlıkta Erdemir üretimi çelik saclar kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Deneysel çalışmada kullanılan sacların özellikleri

Bobin No	Rumuz	Kalite	Döküm Kalitesi	Kaplama Cinsi	Kaplama Ağırlığı (g/m ²)	Kalınlık (mm)
137415	CCR	7114	7114K	KAPLAMASIZ		1,00
176320	GZR	1314	7314K	GALVANİZ	60/60	1,18
180595	GZR	1312	7112K	GALVANİZ	60/60	1,18
176507	GZR	1313	7113K	GALVANİZ	70/70	1,50
176500	GZR	1313	7113K	GALVANİZ	50/50	1,50
172882	GFR	410	7113K	GALVANİL	45/45	0,80
165951	GFR	410	7113K	GALVANİL	45/45	1,00

* CCR : Soğuk haddelenmiş rulo, GZR : Galvaniz kaplanmış rulo, GFR : Galvanil kaplanmış rulo

Erdemir üretimi kaplamasız soğuk 1,0 mm kalınlığında 7114 (DIN EN 10130-99 DC04) kalite otomotiv endüstrisinde (Ford, Toyota, Mercedes, BMC, Renault, Hyundai, Honda vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır. Yıllık yurt içi tüketimi yaklaşık 150.000 ton’dur. Genel kullanım alanı ve başlıca özelliği “yaşlanmaya dayanıklı ekstra derin çekmeye uygun çok düşük karbonlu IF çeliği” olmasıdır.

Erdemir üretimi 60/60 g/m² (2 yüzeyde toplam 120 g/m²) galvaniz kaplı 1,18 mm kalınlığında 1312 (DIN EN 10142-00 DX52D+Z) kalite, 70/70 g/m² galvaniz kaplı 1,50 mm kalınlığında 1313 (DIN EN 10142-00 DX53D+Z) kalite, 50/50 g/m² galvaniz kaplı 1,50 mm kalınlığında 1313 (DIN EN 10142-00 DX53D+Z) kalite ve 60/60 g/m² galvaniz kaplı 1,18 mm kalınlığında 1314 (DIN EN 10142-00 DX54D+Z) kaliteler otomotiv endüstrisinde (Ford, Mercedes, BMC, Renault vb.) yaygın olarak kullanılan sacdır. Yıllık yurt içi tüketimleri yaklaşık 180.000 ton’dur. Genel kullanım alanı ve başlıca özelliği “soğuk şekillendirmeye uygun düşük karbonlu çinko ile kaplanmış galvanize çelik” olmasıdır. Otomotiv endüstrisinde tüketimi giderek artmaktadır. Erdemir üretimi 45/45 g/m² galvanil kaplı 0,8 mm kalınlığında 410 (Toyota SCGA270C) kalite, 45/45 g/m² galvanil kaplı 1,0 mm

kalınlığında 410 (Toyota SCGA270C) kalite otomotiv endüstrisinde Japon ve Uzak Doğu’lu üreticilerden Hyundai, Honda ve Toyota’nın kullandığı galvanil kaplı sactır. Yıllık yurt içi tüketimi yaklaşık 50.000 ton’dur ve tüketimi giderek artmaktadır. Genel kullanım alanı ve başlıca özelliği “soğuk şekillendirmeye uygun düşük karbonlu çinko-demir alaşımı ile kaplanmış galvanile çelik” olmasıdır. Erdemir üretimi 410, 1312, 1313, 1314 ve 7114 çelik kaliteleri otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan malzemelerden biri olması ve tüketimlerinin giderek artmasından dolayı tercih edilmişlerdir. Erdemir üretimi 410, 1312, 1313, 1314 kaliteli saclar soğuk haddeleme sonrası sürekli galvanizleme (CGL) hattından, 7114 kalite ise sürekli tavlama hattından (CAL) geçirilerek tavlannmıştır. Bu malzemelere ait kimyasal analiz değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Testlerde kullanılan sacların kimyasal analizleri

Element	Kalite					
	410	410	1312	1313	1314	7114
C	0,026	0,025	0,033	0,027	0,003	0,003
Mn	0,131	0,128	0,138	0,116	0,149	0,151
P	0,010	0,012	0,010	0,005	0,005	0,005
S	0,009	0,010	0,006	0,005	0,009	0,005
SI	0,009	0,005	0,008	0,004	0,005	0,006
Al	0,043	0,058	0,049	0,049	0,051	0,044
Cu	0,037	0,039	0,033	0,025	0,041	0,018
Cr	0,020	0,025	0,021	0,009	0,020	0,017
Ni	0,035	0,040	0,038	0,035	0,040	0,043
Mo	0,003	0,002	0,002	0,002	0,004	0,003
V	0,001	0,000	0,001	0,001	0,003	0,001
Nb	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
As	0,013	0,015	0,009	0,013	0,012	0,013
Ti	0,001	0,000	0,001	0,001	0,065	0,066
B (ppm)	34	39		35		
N (ppm)	39	41	44	37	37	36
O (ppm)	34	33		45	39	47

Tablo 4.3’de deneysel çalışmada kullanılan sacların sıcak haddeleme ve soğuk haddeleme esnasındaki üretim parametreleri verilmiştir. Şerit haddeleme sıcaklıkları ve sürekli tavlama sıcaklıkları malzemenin mekanik özelliklerini belirlemede önemlidir.

Tablo 4.3 Deneysel çalışmada kullanılan saclarının üretim parametreleri

Kalite		410	410	7114	1314	1312	1313
Bobin no.		172882	165951	137415	176320	180595	176507
Slab giriş kalınlığı, mm		200	200	200	200	200	200
Slab ısıtma sıcaklığı (C°)		1250	1250	1250	1250	1250	1250
Slab fırınında tutma, Dak.		209	170	222	180	185	157
Şerit haddeleme sıcaklıkları (C°)	Giriş	1097	1116	1098	1098	1130	1121
	İkmal	919	917	937	929	923	924
	Sarılma	715	714	705	733	725	722
Şerit boyutları (mm)	Kalınlık	2,65	3,05	4,05	4,05	3,25	4,05
	Genişlik	1000	1260	1200	1100	1200	1200
Soğuk haddeleme oranı, %		69,8	67,2	75,0	71,3	65,2	63,4
Sürekli Tavlama	RTH (C°)	838	830	823	823	722	823
	RTS (C°)	831	826	820	820	721	821
	Bekleme, s.	57	81	75	75	56	99
	GJC (C°)	660	660	631	665	610	665
	RQ (C°)	460	460	515	470	460	455
	OA (C°)	503	521	374	350	350	350
	Bekleme, s.	7	9	340	9	7	12
	FC (C°)	294	280	138	250	290	264

RTH= Radyant Tüp Isıtma (Radiant Tube Heating)

RTS= Radyant Tüp Bekletme (Radiant Tude Soaking)

GJC= Gaz Jeti ile Soğutma (Gas Jet Cooling)

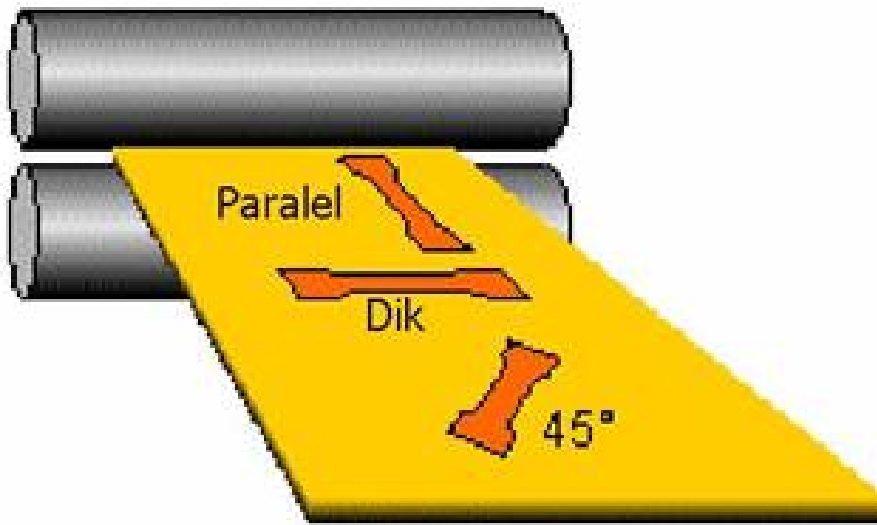
RQ= Merdane ile Soğutma (Roll Quenching)

OA= Aşırı Yaşlandırma (Over Aging)

FC= Hızlı Soğutma (Fast Cooling)

4.3 Çekme Testi

Deneyleerde kullanılan sacların çekme testi hadde yönüne paralel (0°), dik (90°) ve 45° açıda birer adet çekme numunesi alınarak çekme testi yapılmıştır. Çekme numunelerinin çıkarılış şekli Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Çekme testleri Zwick Z100 marka çekme test cihazında oda sıcaklığında yapılmış olup, testler sırasında çene hızı 15 mm/dak. olarak sabit tutulmuştur.

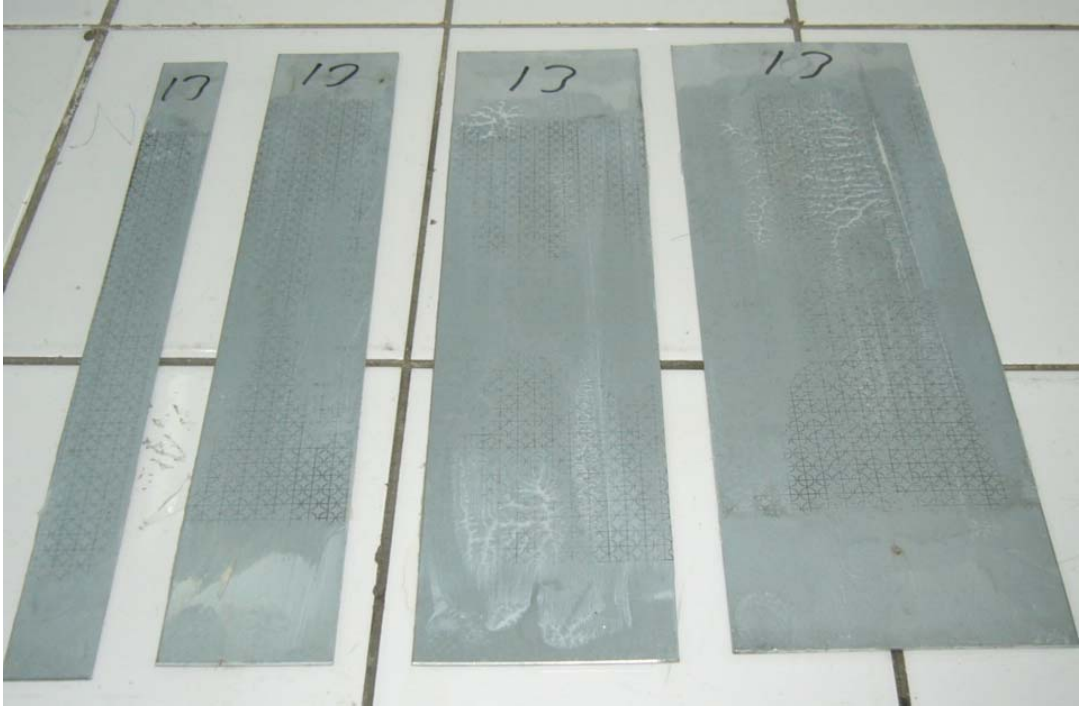


Şekil 4.1 Çekme numuneleri alınmasının şematik gösterimi

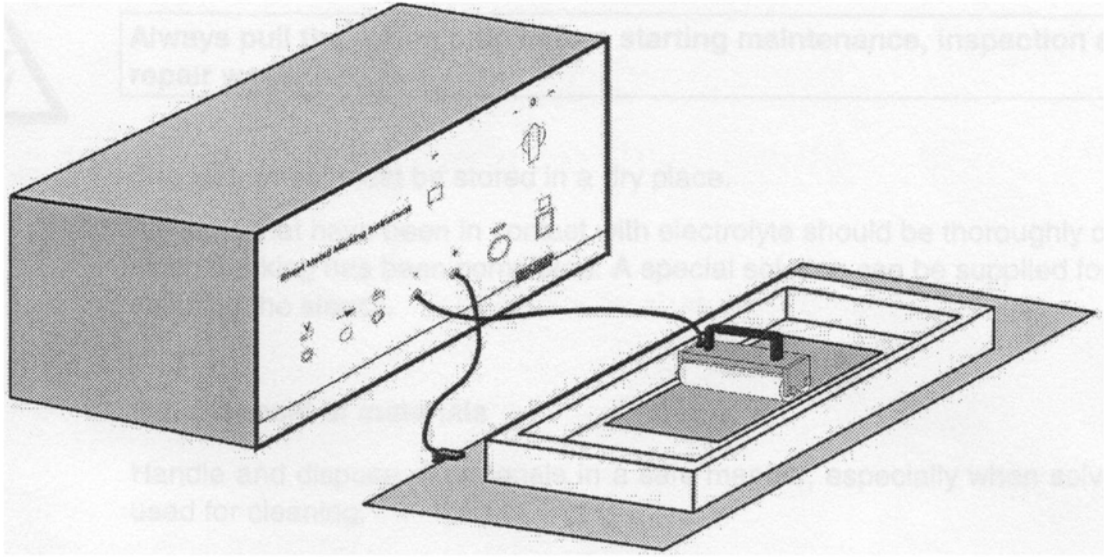
4.4 Erichsen Derin Çekme Testi

Erichsen derin çekme testi her kalite malzemeden 25, 50, 75 ve 100 mm genişliğinde ve 400 mm uzunluğunda alınan parçalara yapılmıştır. Erichsen derin çekme testinde kullanılan numuneler Şekil 4.2’de verilmiştir.

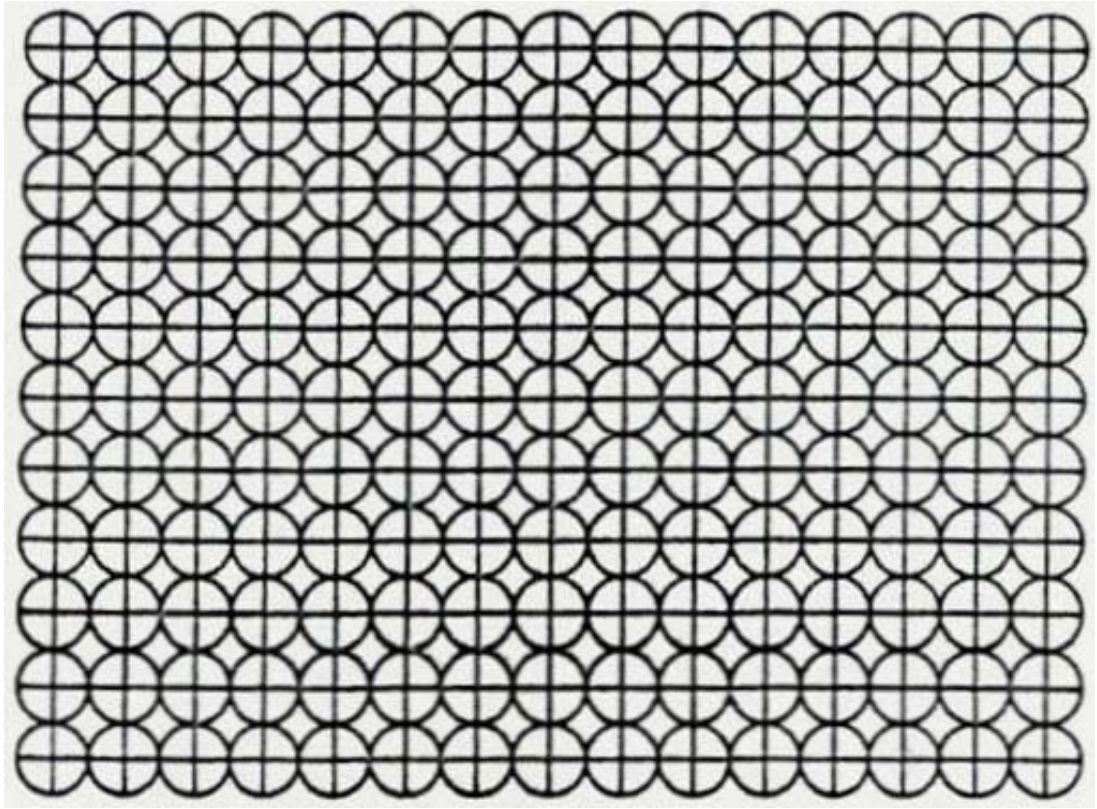
Erichsen test numunelerinin yüzeyleri alkolle kir ve hadde yağından temizlenmiş ve numune yüzeylerine markalama cihazıyla 5 mm çapında elektrokimyasal yöntemle daireler çizilmiştir. Sac markalama cihazı ve Elektrokimyasal yöntemle iz çıkarmanın şematik gösterimi Şekil 4.3’te verilmiştir. Markalama cihazıyla çizilen şeklin şematik gösterimi Şekil 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.2 Erichsen derin çekme testinde kullanılan numuneler



Şekil 4.3 Sac markalama cihazının şematik gösterimi



Şekil 4.4 Sac markalamada kullanılan 5 mm çapındaki izlerin şematik gösterimi [27,28]

Testlerde Erichsen 142-20 marka derin çekme test cihazı kullanılmış olup Şekil 4.5'te verilmiştir. Zımba çapı 50 mm'dir. Zımba ilerleme hızı 4 mm/dak. olarak seçilmiş ve 105 kN maksimum sıkıştırma basıncı uygulanmıştır. Test numunelerin her iki yüzeyine otomotiv sektörünün kullandığı Queker T20-K2 yağı sürülmüştür. Testler her kalite için dörder adet numuneye uygulanmıştır.

Erichsen derin çekme testleri yapıldıktan sonra, numune yüzeyine çizilmiş olan dairelerdeki deformasyon miktarı aşağıdaki yöntemle ölçülmüştür.

Şekil 4.6'da Erichsen derin çekme testi yapılmış numunenin resmi verilmiştir. Burada bir ölçüm maksimum uzamanın olduğu yönde, bir ölçüm de deformasyonun minimum olduğu yönde alınmıştır.

$$e_1 = [(d_1 - d_0) / d_0] * 100 \quad (4.1)$$

$$e_2 = [(d_2 - d_0) / d_0] * 100 \quad (4.2)$$

Burada,

e_1 : büyük şekil değişimi

e_2 : küçük şekil değişimi

d_0 : başlangıç daire çapı

d_1 : büyük uzama

d_2 : küçük uzama'dır.

Şekil 4.7'de uzama miktarlarının şematik gösterimi verilmiştir. Ölçümler, kırılmanın gerçekleştiği bölgeye en yakın olan, fakat boyun vermenin henüz gerçekleşmediği izlerden yapılmıştır. Ölçülen uzama değerleri birim şekil değişimi değerlerine dönüştürülmüştür.



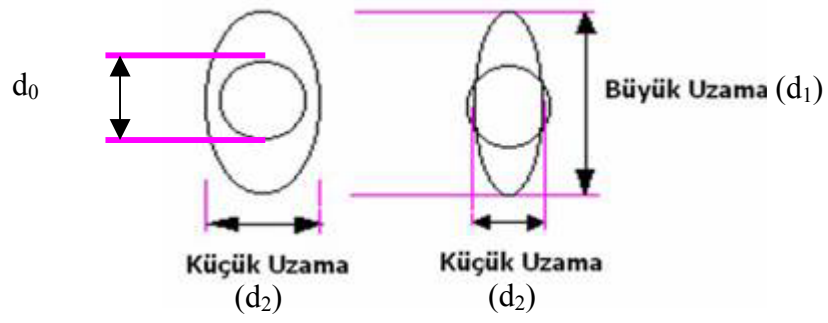
Şekil 4.5 Erichsen derin çekme cihazı

4.5 Metalografik İnceleme

Sacların kesitinden alınan metalografi numuneleri bakalite alınarak zımparalandıktan sonra alümina pasta ile parlatılmıştır. % 2 Nital ile dağlanan numunelerin mikroyapıları Nikon marka ışık mikroskobu ile incelenmiştir.



Şekil 4.6 Erichsen testi yapılmış numune ve üzerine çizilmiş daireler



Şekil 4.7 Büyük uzama ve küçük uzamanın şematik gösterimi [36]

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Bu bölümde mekanik test sonuçları, metalografik yapılar ve biçimlendirme sınır diyagramları verilmiştir.

5.1 Mekanik Test Sonuçları

Erdemir üretimi çelik saclara yapılan çekme testlerinin sonuçları Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Deneysel çalışmada kullanılan sacların çekme testi sonuçları

Kalite	Test Yönü	Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	Akma Muk. (kg/mm ²)	Çekme Muk. (kg/mm ²)	% Uzama	r	n	BSD ₀
410	0	0,80	20,4	22,4	37,3	30,4	1,18	0,17	28,2
	45	0,80	20,4	22,4	36,1	32,2	1,36	0,17	28,2
	90	0,80	20,4	22,1	36,5	32,8	1,78	0,18	29,8
410	0	1,00	20,4	22,2	36,2	33,9	1,3	0,17	30,4
	45	1,00	20,4	23,2	38,2	31,6	1,22	0,17	30,4
	90	1,00	20,4	22,3	36,9	32,5	1,75	0,17	30,4
1312	0	1,18	20,4	29,7	38,1	34,9	1,4	0,18	33,7
	45	1,18	20,4	30,2	39,4	34,0	1,36	0,17	31,9
	90	1,18	20,4	31,5	38,3	34,8	1,9	0,18	33,7
1313	0	1,50	20,4	24,9	37,3	34,7	1,47	0,17	35,9
	45	1,50	20,4	26,1	39,2	34,4	1,26	0,16	33,8
	90	1,50	20,4	25,2	37,3	34,5	2,02	0,17	35,9
1314	0	1,18	20,4	21,4	34,4	36,9	2,41	0,20	37,9
	45	1,18	20,4	22,2	35,3	35,3	2,25	0,21	39,8
	90	1,18	20,4	21,5	34,4	37,4	2,61	0,20	37,9
7114	0	1,00	20,4	19,7	32,8	40,6	2,7	0,21	37,5
	45	1,00	20,4	20,1	34,1	40,1	1,92	0,20	35,7
	90	1,00	20,4	19,6	32,8	41,6	2,33	0,22	39,3

Malzemelerin derin çekme davranışlarında anizotropi katsayısı (r) değeri çok önemli olduğundan çekme testinden elde edilen Δr ve r_{ort} değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2’deki düzlemsel anizotropi katsayısı (Δr) incelendiğinde 410 kalite 0,12 ile en düşük, 7114 kalite ise 0,60 ile en yüksek değer elde edilmiştir.

Δr ’in sıfır olması kulaklanmanın olmayacağını gösterir. Bu nedenle kulaklanma özelliği açısından 410 kaliteli malzeme daha iyi bir özellik göstermektedir.

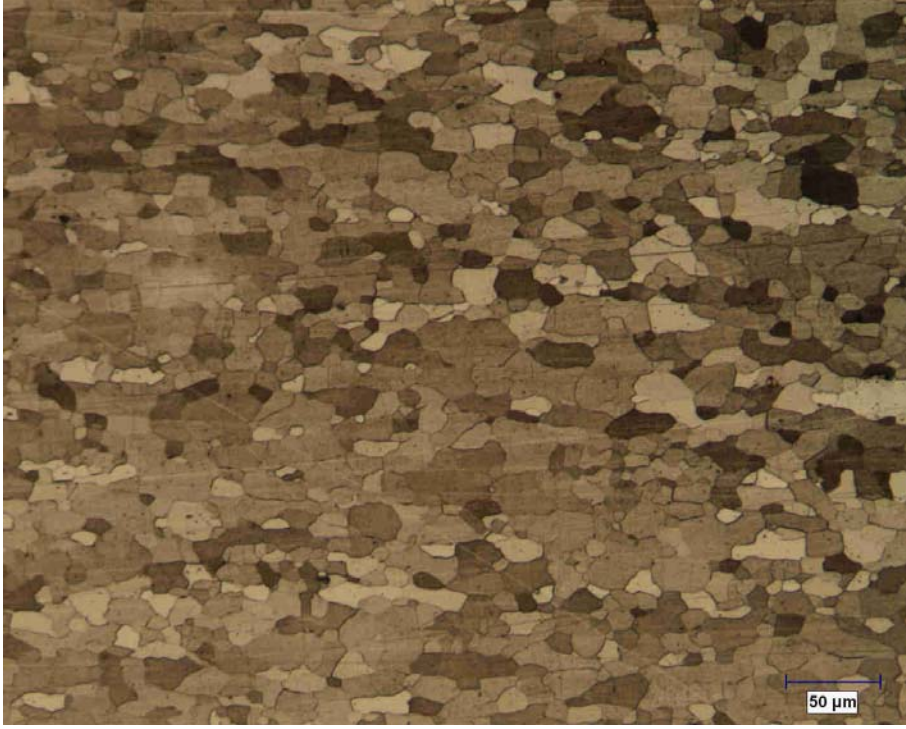
Tablo 5.2 Deneysel çalışmada kullanılan sacların r_{ort} ve Δr sonuçları

Kalite	Kalınlık (mm)	r_{ort}	Δr
410	1,00	1,37	0,31
410	0,80	1,42	0,12
1313	1,50	1,50	0,49
1312	1,18	1,51	0,29
7114	1,00	2,22	0,60
1314	1,18	2,38	0,26

5.2 Mikroyapı İncelemeleri

İncelenen çelik saclarına ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.1-5’de verilmiştir. Tüm mikroyapılar ferritik olup hadde yönünde tane yönlenmesi mevcuttur.

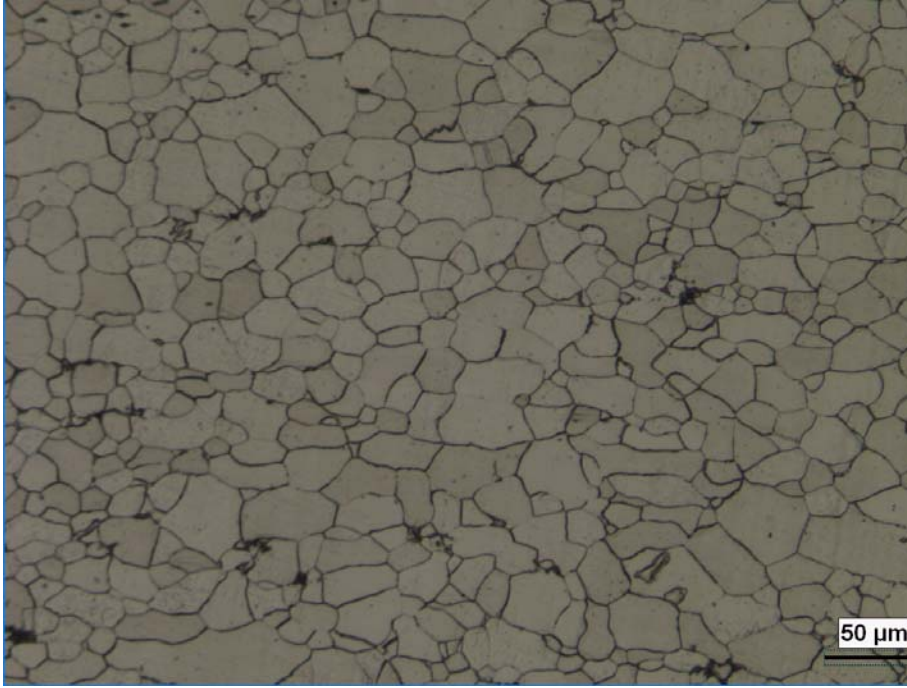
Şekillendirme açısından ASTM 7 ve 8 nolu tane boyutları en ideal sonuçları vermesi nedeniyle ASTM 8 nolu malzemelerden 7114 ve 1314 kaliteleri en ideal şekillendirme yapılabilen malzemeler olduğu sonucuna varılmıştır.



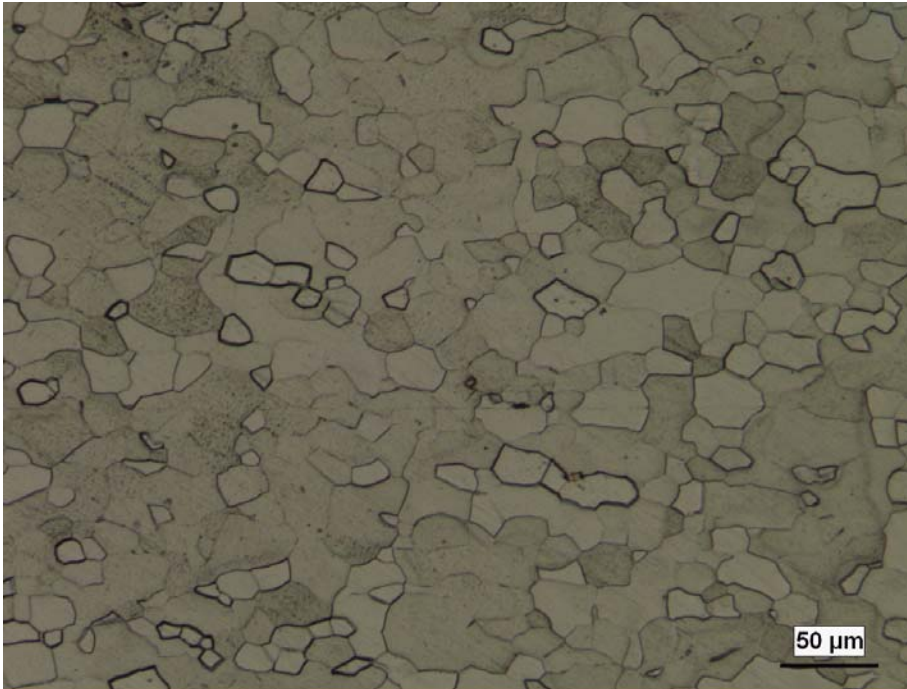
Şekil 5.1 Kaplımasız 7114 kalite malzemenin mikroyapısı (200x, ASTM No:8, 20,0-23,4 µm)



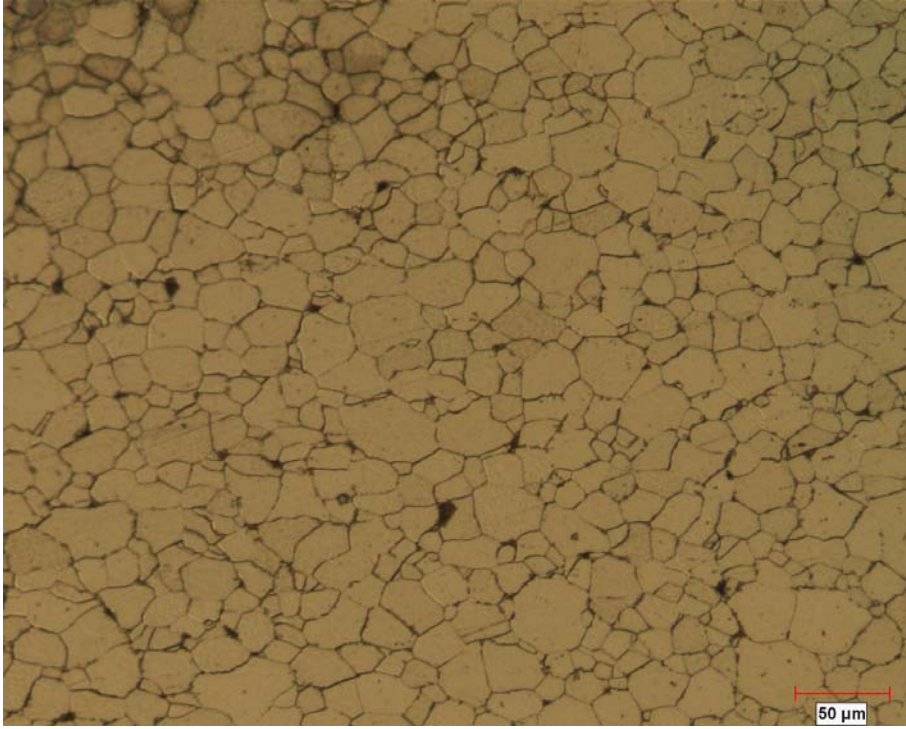
Şekil 5.2 galvaniz kaplı 1312 kalite malzemenin mikroyapısı (200x, ASTM No:9, 15,0-15,9µm, 60/60 g/m² GI, t=1,18 mm)



Şekil 5.3 1313 kalite malzemenin mikroyapısı (200x, ASTM No:9, 15,0-15,9 μm , 70/70 g/m^2 GI, $t=1,50$ mm)



Şekil 5.4 1314 kalite malzemenin mikroyapısı (200x, ASTM No:8, 20,0-23,4 μm , 60/60 g/m^2 GI, $t=1,18$ mm)



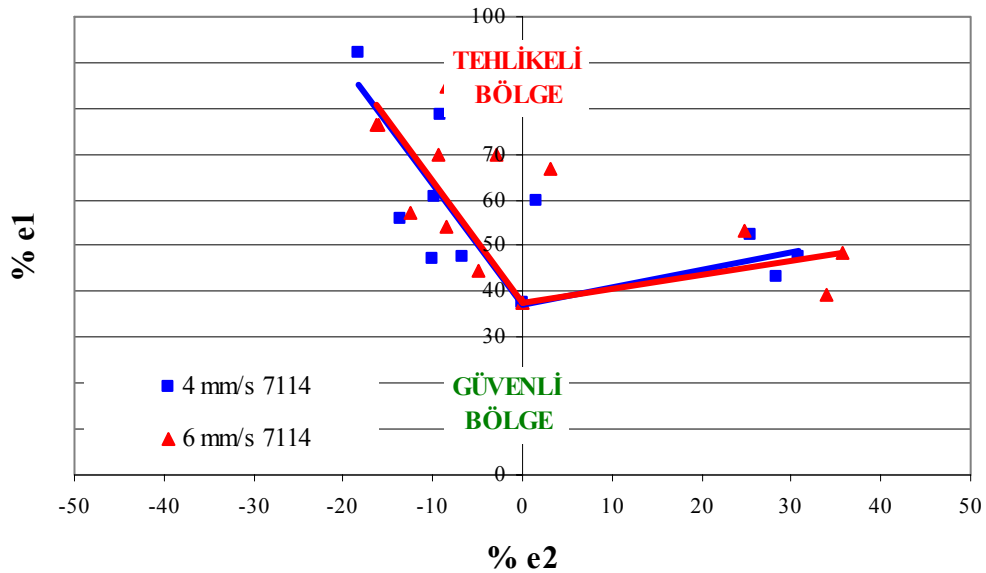
Şekil 5.5 410 kalite malzemenin mikroyapısı (200x, ASTM No:9, 15,0-15,9 μm , 45/45 g/m^2 GI, $t=0,80$ mm)

5.3 Biçimlendirme Sınır Diyagramları

Malzemelerin biçimlendirme sınır diyagramları çıkarılırken grid ölçümleri manuel olarak yapılmıştır. Bu nedenle hata payı içermesi muhtemeldir. Ancak grafikler birbiri içerisinde kıyaslandığından hata payı azalmaktadır.

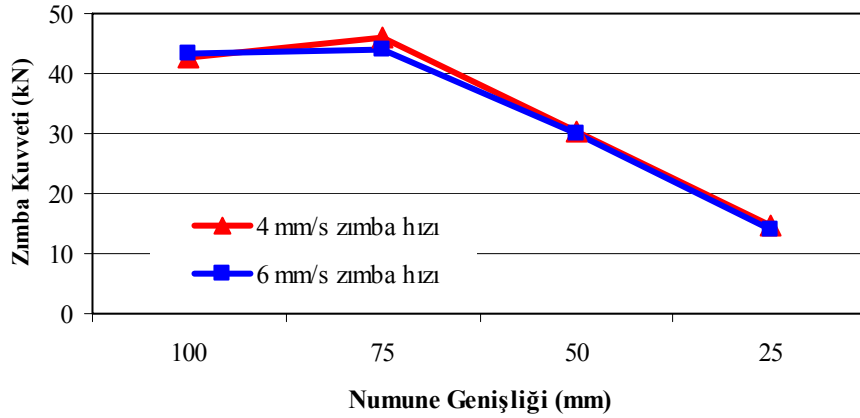
Optimum deney şartlarının belirlenmesi amacıyla bir dizi ön deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar erichsen derin çekme cihazının parametrelerinin şekillendirme üzerine etkileri irdelenerek deneysel değişkenler sabitlenmiştir. Çalışmada kaplamasız soğuk 7114 kalite 1,0 mm kalınlığında malzemeler kullanılmıştır.

4 ve 6 mm/s zımba hızları endüstriyel şartlara yakın olarak alınmış ve incelenmiştir. Söz konusu hızda yapılan çalışmalar Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde her iki eğrinin birbiri üzerine örtüşmesi seçilen zımba hızının biçimlendirme sınır diyagramı üzerinde etkisinin olmadığı sonucunu vermiştir. Ön deneysel çalışmalar neticesinde zımba hızı 4 mm/s olarak sabitlenmiştir. Daha sonraki deneyler 4 mm/s sabit hızda yapılmıştır.



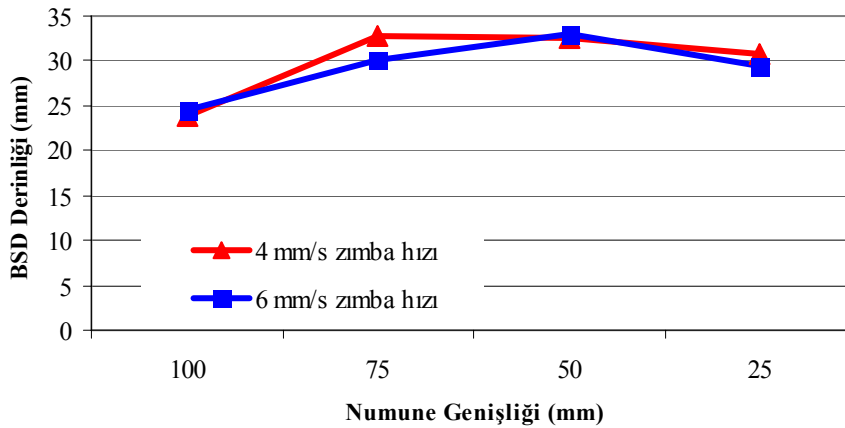
Şekil 5.6 7114 kalite malzemede zımba hızının biçimlendirme sınır diyagramına etkisi (t=1,0 mm)

Kaplamasız soğuk 1,0 mm kalınlığında 7114 kalite malzemede zımba hızı ve numune genişliğinin zımba kuvveti üzerine etkisi araştırılmış; 4 ve 6 mm/s hızlarda yapılan deneylerde zımba kuvvetinin, aynı genişlikteki numuneye göre değişmediği ancak numune genişliği değiştikçe, kuvvetin değiştiği gözlenmiştir. Zımba hızı ve numune genişliğinin, zımba kuvveti üzerine etkisi Şekil 5.7’de verilmiştir.



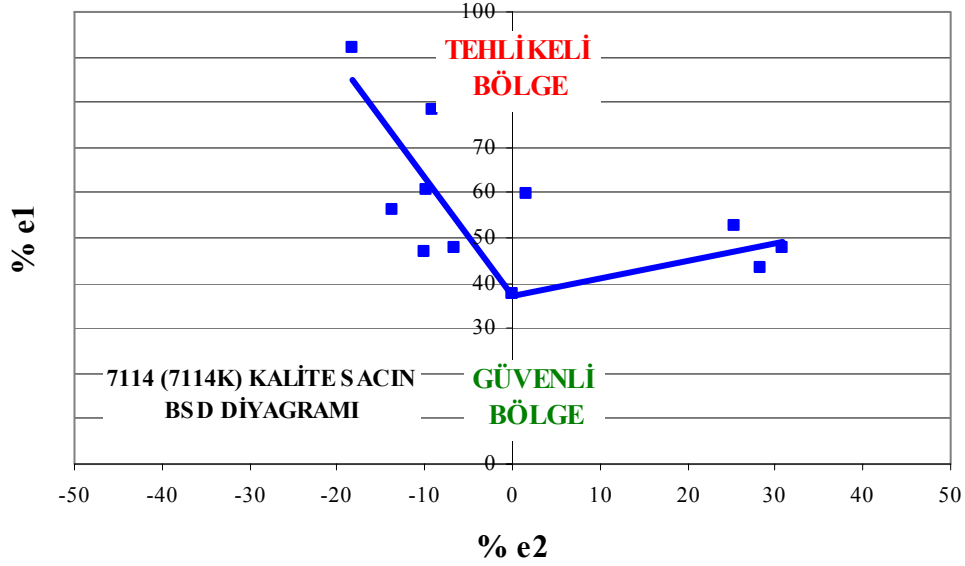
Şekil 5.7 7114 kalite malzemede zımba hızı ve numune genişliğinin kuvvete etkisi ($t=1,0$ mm)

7114 kalite malzemede zımba hızı ve numune genişliğinin BSD derinliğine etkisi araştırılmış, 4 ve 6 mm/s hızda yapılan deneylerde BSD derinliğinin aynı genişlikteki numuneye göre değişmediği ancak numune genişliği düştükçe BSD derinliğinin değiştiği gözlenmiştir (Şekil 5.3).

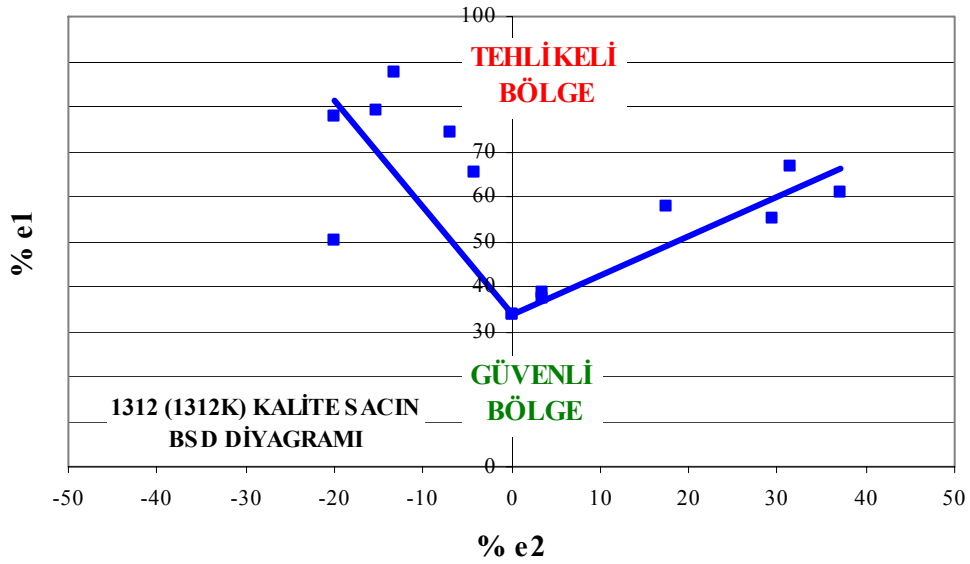


Şekil 5.8 7114 kalite malzemede zımba hızının ve numune genişliğinin biçimlendirme sınır diyagramına derinliğine etkisi ($t=1,0$ mm, soğuk kaplamasız)

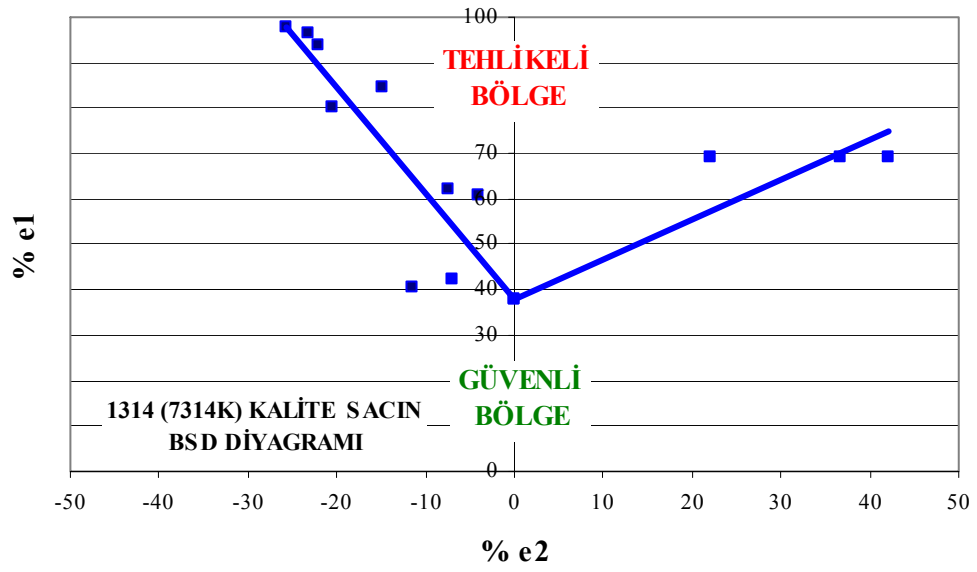
410, 1312, 1313, 1314 ve 7114 kaliteleri için hadde yönüne paralel alınan numunelerden biçimlendirme sınır diyagramları çizilmiş ve Şekil 5.9-15'da verilmiştir.



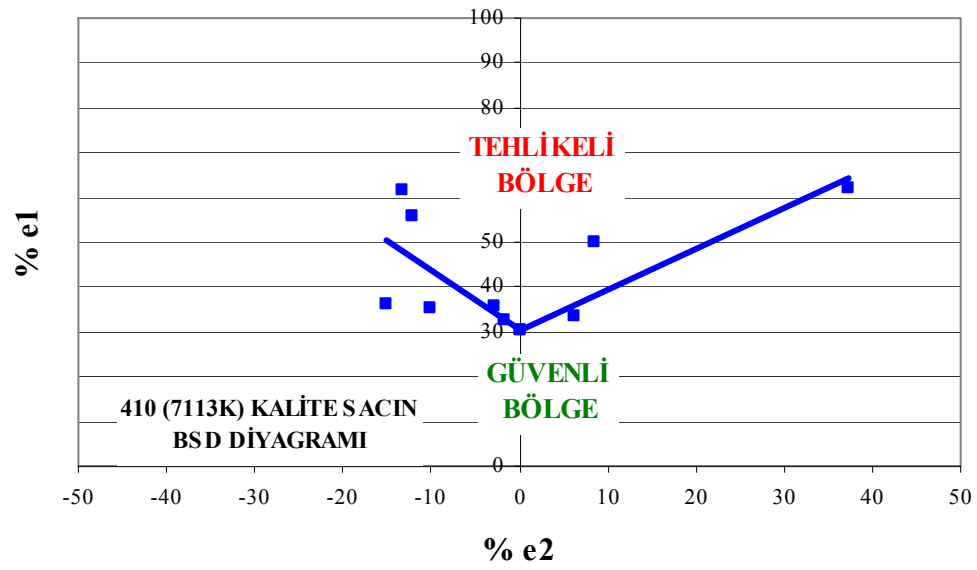
Şekil 5.9 7114 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı (t=1,0 mm, soğuk kaplamasız)



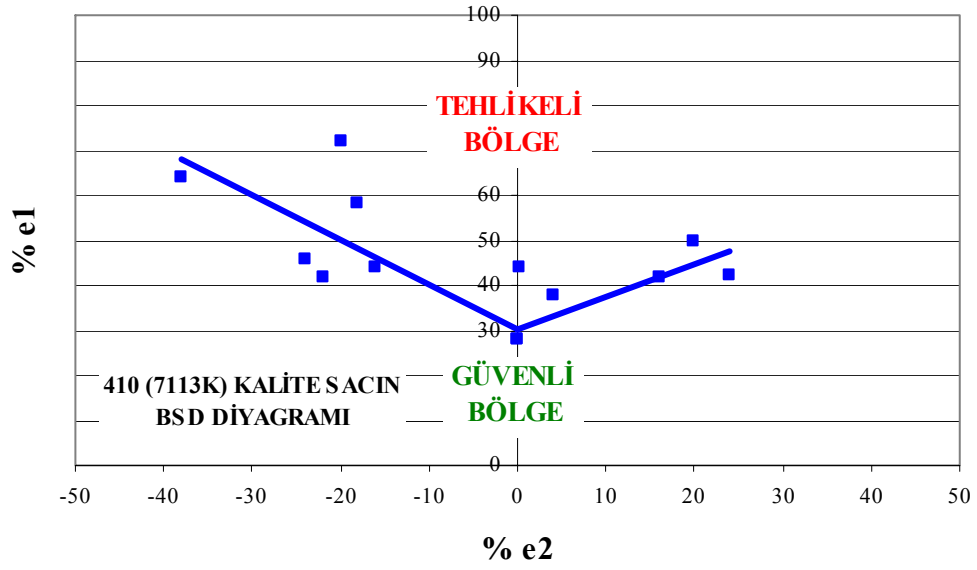
Şekil 5.10 1312 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı (t=1,18 mm, 60/60 g/m² galvaniz kaplı)



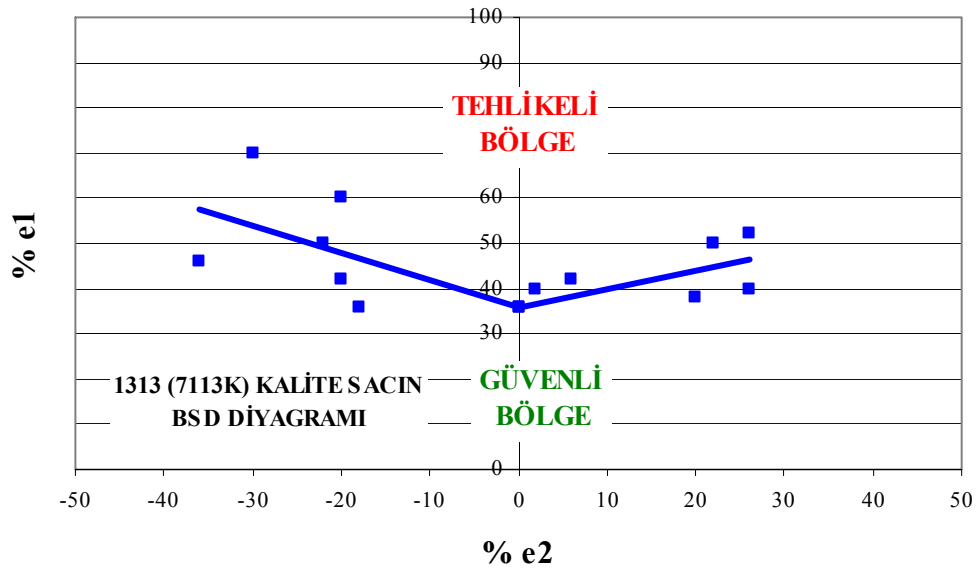
Şekil 5.11 1314 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,18$ mm, $60/60$ g/m² galvaniz kaplı)



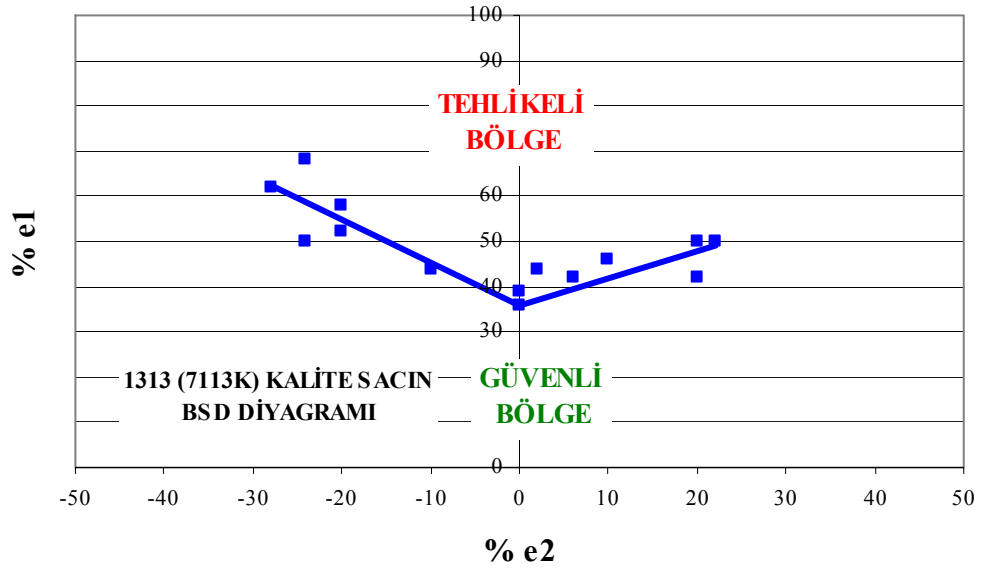
Şekil 5.12 410 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,0$ mm, $45/45$ g/m² galvaniz kaplı)



Şekil 5.13 410 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=0,8$ mm, $45/45$ g/m² galvanil kaplı)



Şekil 5.14 1313 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı ($t=1,5$ mm, $70/70$ g/m² galvaniz kaplı)

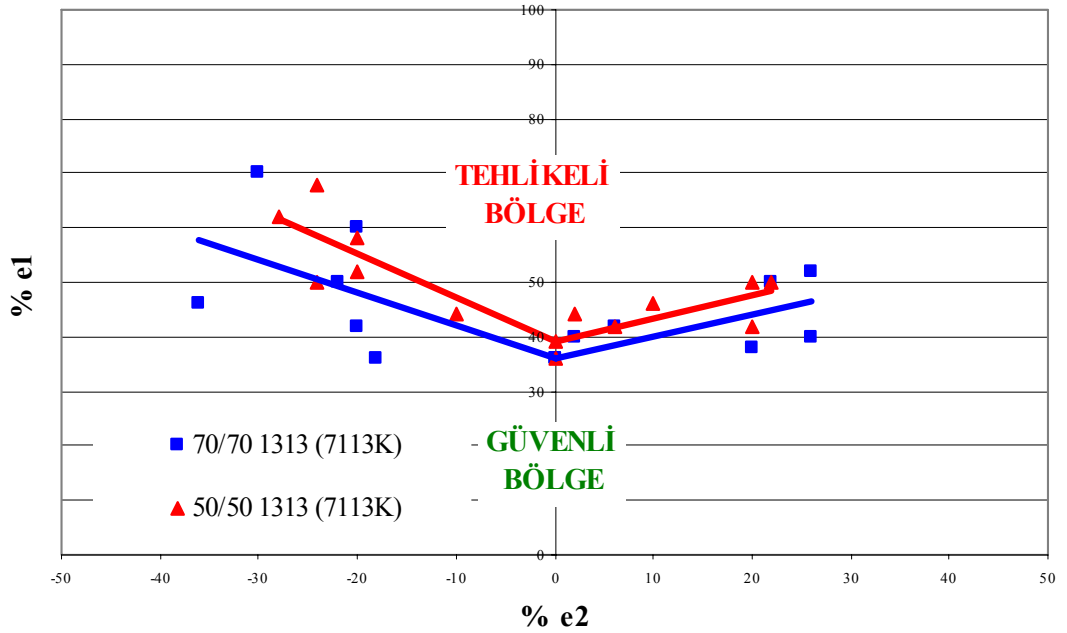


Şekil 5.15 1313 kalite sacın biçimlendirme sınır diyagramı (t=1,5 mm, 50/50 g/m² galvaniz kaplı)

BÖLÜM 6. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

İncelenen 410, 1312, 1313, 1314 ve 7114 kaliteli saclar için Bölüm 5’de verilen biçimlendirme sınır diyagramlarına göre, aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

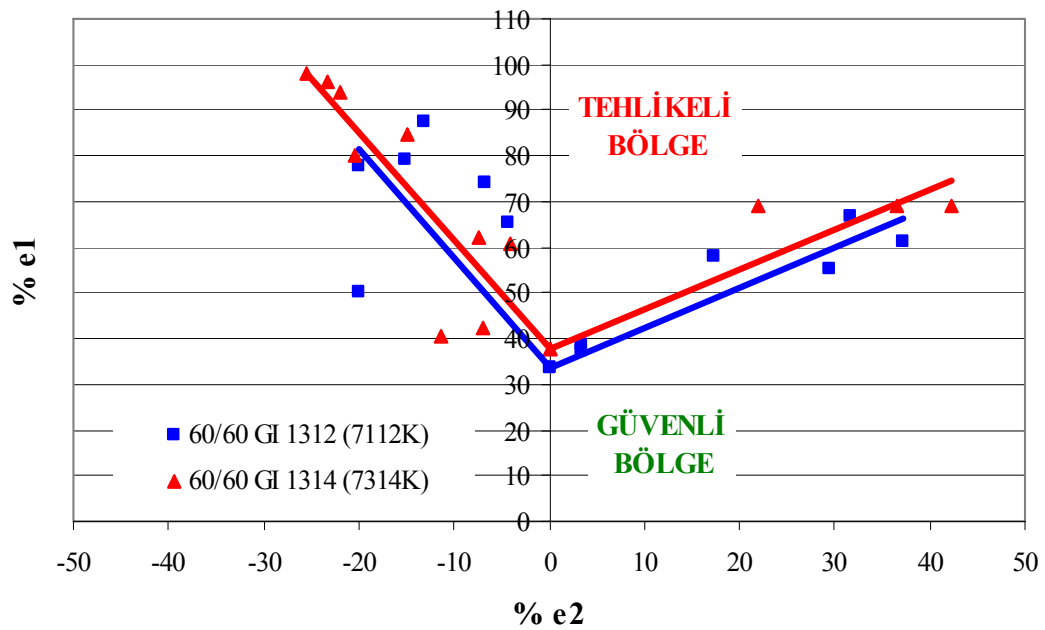
1313 kalite 50/50 g/m² ve 70/70 g/m² galvaniz kaplı malzemenin karşılaştırılması Şekil 6.1’de verilmiştir. 50/50 g/m² galvaniz kaplı 1,5 mm 1313 kalite malzeme, 70/70 g/m² galvaniz kaplı 1,5 mm 1313 kalite malzemeye göre biçimlendirme sınır diyagramı daha yukarıdadır. Galvanizli malzemelerde kaplama miktarı artıkça BSD aşağı doğru inmekte ve güvenli bölge azalmaktadır.



Şekil 6.1 70/70 g/m² ve 50/50 g/m² galvaniz kaplı 1313 kalite sacların biçimlendirme sınır diyagramı (t=1,5 mm)

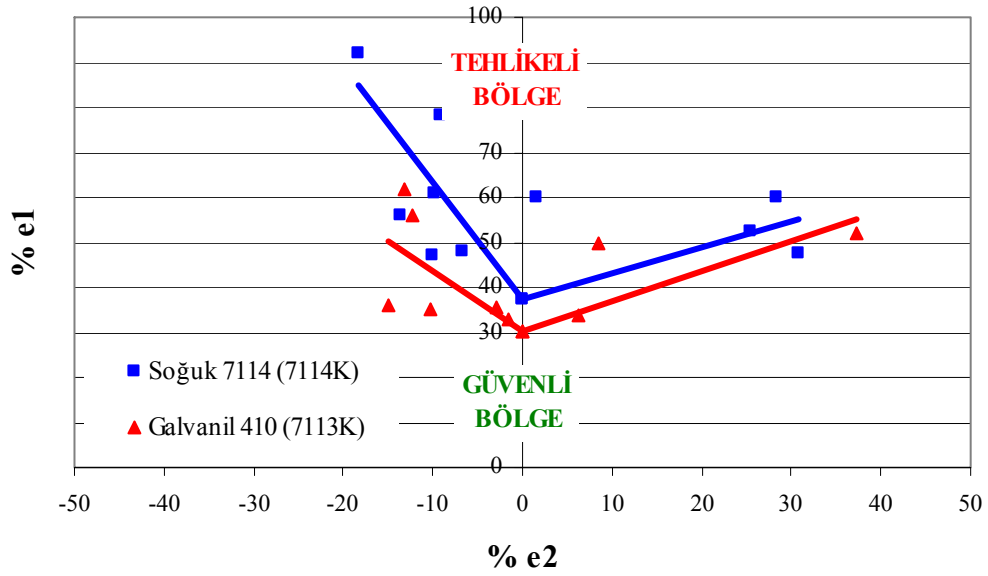
1312 ve 1314 kalite malzemelerin biçimlendirme sınır diyagramları Şekil 6.2’de verilmiştir. 60/60 g/m² galvaniz kaplı 1,18 mm kalınlığındaki 1312 kalite malzemenin ve 60/60 g/m² galvaniz kaplı 1,18 mm kalınlığındaki 1314 kalite

malzemenin biçimlendirilebilir sınır diyagramları karşılaştırıldığında 1312 kalitenin BSD_0 değeri daha düşüktür. Malzemenin akma ve çekme mukavemeti arttıkça BSD aşağı doğru inmekte ve güvenli bölge azalmaktadır. 1312 kalitenin akma ve çekme mukavemetleri ($\sigma_A=29,7 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_C=38,1 \text{ kg/mm}^2$); 1314 kaliteye göre daha yüksek ($\sigma_A=21,4 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_C=34,4 \text{ kg/mm}^2$), r ve n değerleri ise daha düşüktür. Başka bir deyişle r ve n değerleri arttıkça BSD_0 değeri yukarı doğru çıkmakta ve şekillenebilme artmaktadır.



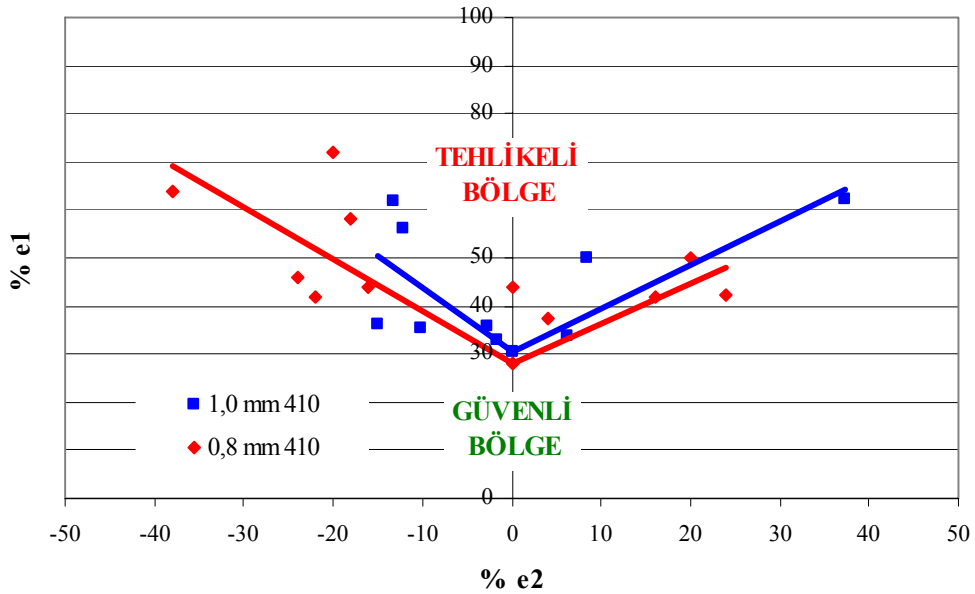
Şekil 6.2 1312 ve 1314 kaliteli sacların biçimlendirme sınır diyagramları ($t=1,18 \text{ mm}$, $60/60 \text{ g/m}^2$ galvaniz kaplı)

7114 ve 410 kalitelerin karşılaştırmalı biçimlendirme sınır diyagramları Şekil 6.3'te verilmiştir. 1,0 mm kaplamasız soğuk mamul 7114 kalitenin şekillendirilebilirliği, 1,0 mm 45/45 g/m^2 galvanil kaplı 410 kaliteden daha iyidir. Tablo 5.1'den 410 kalite çeliğin akma ve çekme mukavemetlerine bakıldığında 7114 kalite çeliğe göre daha iyi olduğu görülmüştür. 410 kalite çeliğin r ve n değerleri ise 7114 kalite çelikten daha düşüktür. Burada aynı kalınlıktaki kaplamasız soğuk malzemenin, galvanil kaplamalı malzemeye göre şekillenebilmesinin daha iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 6.3 45/45 g/m² galvanil kaplı 410 kalite ve soğuk kaplamasız 7114 kalite sacların biçimlendirme sınır diyagramı (t=1,0 mm,)

0,8 mm ve 1,0 mm galvanil kaplı 410 kalitenin karşılaştırmalı biçimlendirme sınır diyagramı Şekil 6.4'te verilmiştir. 1,0 mm 45/45 g/m² galvanil kaplı 410 kalitenin BSD₀ değeri, 0,8 mm 45/45 g/m² galvanil kaplı 410 kaliteye göre daha yukarıdadır. Malzeme kalınlığı arttıkça biçimlendirme sınır diyagramı yukarıya doğru çıkmakta ve güvenli alan artmaktadır. Aynı zamanda şekillenebilme kabiliyeti de artmaktadır.



Şekil 6.4 0,8 mm ve 1,0 mm 410 kaliteli sacların biçimlendirme sınır diyagramı (45/45 g/m²)

Biçimlendirme sınır diyagramının en önemli noktası olan düzlem şekil değişimi noktasına diğer bir değişle biçimlendirme sınır diyagramında e_2 'nin sıfır olduğu noktaya karşı gelen en büyük şekil değişimi değerleri (e_1) boyun verme ve yırtılma kriterlerine göre Tablo 5.1'de verilmiştir. Ancak, boyun verme kriteri, şekillendirme işlemleri için daha emniyetli olduğundan, incelenen sacların şekillenebilirliği boyun verme kriterine göre belirlenen düzlem şekil değişimi noktasına göre karşılaştırılmalıdır. Bu açıdan bakıldığında, biçimlenebilirliğin en üstün olduğu kalitelerin 1314 ve 7114, en düşük olduğu kalitenin ise 410 kalite olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 5.1'deki sonuçlar göz önüne alındığında, en üstün şekillenebilirlik, yani en yüksek düzlem birim şekil değişimi değeri, 1,00 mm'lik malzemeler içinde çekme deneylerinden elde edilen en yüksek ortalama anizotropi katsayısı ve deformasyon sertleşmesi üssü değerlerine sahip olan çok düşük karbonlu, vakum altında üretilen IF çeliği 7114 kalitede elde edilmiştir.

İncelenen saclar ferritik yapıda olup, taneler hadde yönünde uzamıştır. 1314 ve 7114 kalitelerinin mikro yapılarının tane sınırlarında Ti çökeltileri görülmüştür.

İncelenen saclar içinde en yüksek mukavemet 410 ve 1312 kalitede, en düşük mukavemet 1314 ve 7114 kalitelerinde görülmüştür. Şekillendirme açısından ASTM 7 ve 8 nolu tane boyutları en ideal sonuçları vermesi nedeniyle ASTM 8 nolu malzemelerden 7114 ve 1314 kaliteleri en ideal şekillendirme yapılabilen malzemeler olduğu sonucuna varılmıştır.

Yaklaşık % 40 uzama ile 1314 ve 7114 kaliteleri arayer atomsuz IF çeliği olmaları nedeniyle süneklik açısından en yüksek değeri vermiştir. Uzama miktarı arttıkça şekillenebilirlik artmaktadır.

Saclar içinde en düşük deformasyon sertleşmesi üssü değeri 0,17 ile galvanil kaplı 410 kalitelerinde, en yüksek olarak da 0,21 ile 7114 kalitede elde edilmiştir. n değeri malzemenin kimyasal bileşim değerine bağlı olduğundan, 410 kalite malzemenin n

değeri, içerdiği alaşım elementleri nedeniyle daha düşüktür. Deformasyon sertleşmesi üssü artıkça şekillenebilme artmaktadır.

İncelenen saclar arasında 410 kalite en düşük ortalama anizotropi katsayısına sahipken (1,37), 1314 kalite ise en yüksek değere (2,38) sahiptir. Ortalama anizotropi katsayı artıkça şekillenebilme artmaktadır. IF kalitelerinde malzemeye ilave edilen Ti ve Nb elementleri malzemedeki C ve N elementlerini bağladığı için yüksek r değeri vermektedir. Diğer kalitelerde Ti yokken, 1314 ve 7114 kalitelerde % 0,065 Ti bulunmaktadır. Bu nedenle en yüksek ortalama r değerleri 1314 kalitede 2,38 ve 7114 kalite 2,22 olarak elde edilmiştir.

1314 ve 7114 kaliteli çeliklerin mukavemeti düşük, uzama miktarları yüksektir. Bu nedenle söz konusu malzemelerin derin çekme ve gererek şekillendirme özelliği daha yüksektir.

Deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmış ve bazı çalışmalar önerilmiştir.

1. Zimba hızının biçimlendirme sınır diyagramlarına etkisi ihmal edilebilir.
2. Malzemelerde çekme mukavemeti artıkça biçimlendirme sınır diyagramı aşağı doğru inmekte ve güvenli bölge azalmaktadır.
3. Galvaniz kaplı malzemelerde kaplama miktarı artıkça biçimlendirme sınır diyagramı altında kalan güvenli bölge azalmaktadır.
4. Malzemelerde kalınlık artıkça biçimlendirme sınır diyagramı yukarı doğru çıkmakta ve güvenli bölge artmaktadır.
5. Düşük mukavemetli ve yüksek uzama miktarına sahip malzemelerin derin çekme ve gererek şekillendirme özelliği daha iyidir.
6. Malzeme yüzey pürüzlülüğünün biçimlendirme sınır diyagramları üzerine etkisi incelenmelidir.
7. Aynı kaplama ağırlığı ve malzeme mukavemetine sahip galvaniz ve galvanil malzemelerin biçimlendirme sınır diyagramlarının incelenmesi malzeme seçimi açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ereğli Demir ve elik Fab. T.A.Ő., Tanıtım ve Teknik zellikler Kataloğu, Mart 2006
- [2] Dieter, G. E., Mechanical Metallurgy, SI Metric Edition, McGraw-Hill, P. 586, UK 1988
- [3] Kayalı, E. S. - Ensari, C., Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, İ.T.Ü., Kimya-Metalurji Fakóltesi Ofset Atólyesi, Syf. 260, İstanbul 2000
- [4] McGannon, H. E., The Making, Shaping and Treating of Steel, 9th Edition, United States Steel, Herbick & Held, Pittsburg, Pennsylvania, 1971
- [5] Boyer, H. E., Gall, T. L., Metals Handbook, Desk Edition, American Society for Metals, 1985
- [6] Akoy, M. A., Düşük Karbonlu elik Sacların Biçimlendirme Sınır Diyagramlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2001
- [7] ASM Handbook, Vol. 8, Mechanical Testing, American Society for Metals, 9th Edition, 1978
- [8] Üstel, F., Soykan, H. Ő., elik, E., Avcı, E., Plazma-Sprey Kaplama Teknolojisi, Metalurji Dergisi, Sayı:97, Syf. 31-37, 1995
- [9] Özenbaş, M., Yeni Kuşak Sert Kaplamalar ve Elmas İnce Filmler, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Syf. 355-359, İstanbul 1995
- [10] Elkoca, O, elik Yüzeylerin Kaplanması, Galvanizleme, Erdemir Bilim ve Teknoloji Serisi, 163-188, Kdz. Ereğli, Őubat 2006
- [11] ASM Handbook Vol 5: Surface Engineering , American Society for Metals, P.339-348, 1994
- [12] Porter, F. C., Corrosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys, ed. Schwietzer P. A., Marcel Dekker Inc., P. 121-159, 1994
- [13] Sakae, F., Hiroshi, K., Chiaki, K. Assessment and Application Technologies for Automotive Materials (Perforation)—Techniques for Corrosion

Resistance and Perforation Feedback for Automotive Steel Materials, JFE Technical Report (4) p.9-16, 2004

- [14] Takechi, H., Recent Developments in the Metallurgical Technology of Continuous Annealing for Cold-Rolled and Surface-Coated Sheet Steels, Developments in the Annealing of Sheet Steels, The Minerals, Metals & Materials Society, p.3-23, 1992
- [15] Beranger, G., Henry, G., Sanz, G., The Book of Steel, Lavoisier Publishing with the participation of SOLLAC - Usinor Group, France 1996
- [16] Nakamori, T., Adachi, Y., Arai, A., Shibuya, A., Coating adhesion and interface structure of galvanized steel, ISIJ International, Vol. 35, No.12, p.1494, 1995
- [17] Van der Heiden et al., Galvanneal microstructure and anti-powdering process windows, The Physical Metallurgy of Zinc Coated Steel, The minerals, Metals & Materials Soc., p.251, 1993
- [18] Kawaguchi, H., Hirose, Y., Structural control of galvanized alloy layer by adding Mn to galvanizing bath, The Physical Metallurgy of Zinc Coated Steel, The Minerals, Metals & Materials Soc., p.153, 1993
- [19] Kato, C., Koumura, H., Uesugi, Y., Mochizuki, K., Influence of phase composition on formability of galvanized steel sheet, The Physical Metallurgy of Zinc Coated Steel, The Minerals, Metals & Materials Soc., p.241, 1993
- [20] Kanamaru, T., Nakayama, M. Alloying reaction control in production of galvanized steel, Mater Sci Res Int, p.150, 1995
- [21] Hayes, S., Morphology development of galvanized coatings based on steel substrate chemistry and processing parameters, M.S. Thesis, 1994.
- [22] Aslanoğlu, Z., Şekillenebilirliğe Malzeme Özellikleri Etkisi, Müşteri Eğitim Notları, Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Müdürlüğü, Kdz. Ereğli, Haziran 2006
- [23] Dieter, G. E., Workability Testing Techniques, American Society for Metals, Ohio 1984.
- [24] Banabic, D., Formability of metallic Materials, Springer, p.173 Stuttgart, July 2000
- [25] Buchar, Z., Circle grid analysis applied to the production problems of the car body panel Journal of Materials Processing Technology, 60, p.205-208. 1996
- [26] Çimenoğlu, H., Kayalı, E. S., Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul 1991

- [27] International Standart, ISO 12004, Metallic materials – Guidelines for the determination of forming – limit diagrams, First edition, 1997
- [28] Kayalı, E. S., Eruslu, N., Ürgen M., Taptık, Y., Çimenoğlu, H., Hasar analizi seminer notları, Metalurji Mühendisleri Odası, İstanbul, Nisan 1997

ÖZGEÇMİŞ

İdris YILDIZ, 1974 yılında Kdz. Ereğli’de doğdu. Orta öğrenimini Ereğli Lisesi’nde tamamladı. 1993 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi’nden, 1997 yılında Metalurji Mühendisi olarak üçüncülükle mezun oldu. 1997’den 2004 yılına kadar Erdöküm Makine Sanayi ve Tic. A.Ş./İstanbul Otomotiv yan sanayi firmasında Dökümhane Şefi ve Ar-Ge Mühendisi olarak çalıştı. 2004 yılından beri Ereğli Demir ve Çelik Fab. T.A.Ş. Pazarlama Koordinasyon Müdürlüğü’nde Pazar Geliştirme Mühendisi ve Otomotiv Sektörü Uzmanı olarak çalışmakta olup, evli ve bir çocuk babasıdır.