

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BAĞLANTI ELEMANLARI ÜRETİMİNDE ÖN DEFORMASYON
FORMUNUN ÜRÜN MALZEMESİNDEKİ SOĞUK ŞEKİLLENDİRME
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT MERMER

DENİZLİ, EYLÜL - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**BAĞLANTI ELEMANLARI ÜRETİMİNDE ÖN DEFORMASYON
FORMUNUN ÜRÜN MALZEMESİNDEKİ SOĞUK ŞEKİLLENDİRME
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT MERMER

DENİZLİ, EYLÜL - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

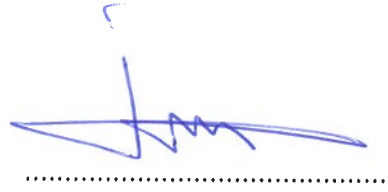
Murat MERMER tarafından hazırlanan “Bağlantı Elemanları Üretiminde Ön Deformasyon Formunun Ürün Malzemesindeki Soğuk Şekillendirme Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 04.09.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Doç. Dr. İsmail OVALI



Üye

Doç. Dr. Gökmen ATLIHAN




Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ersin BAHÇECİ



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 18/09/2019 tarih ve 37/14... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Murat MERMER



ÖZET

BAĞLANTI ELEMANLARI ÜRETİMİNDE ÖN DEFORMASYON FORMUNUN ÜRÜN MALZEMESİNDEKİ SOĞUK ŞEKİLLENDİRME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT MERMER

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR.İSMAİL OVALI)

DENİZLİ, EYLÜL - 2019

Üretim kalitesi, yüksek yüzey kalitesi gibi ürün özelliklerinden dolayı soğuk dövme ile soğuk ekstrüzyon yöntemi bağlantı elemanlarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Proses sırasında ekstrüze edilebilirlik anahtar rol oynamaktadır ve birçok proses parametrelerinden etkilenmektedir. Kalıp form özellikleri soğuk deformasyonu doğrudan etkilemektedir. Özellikle deformasyon sertleşmesi form özelliklerinden etkilenmektedir. Soğuk ekstrüzyon prosesi aynı zamanda mekanik özellikleri önemli derecede etkilemektedir.

Bu çalışmada kalıp form özelliklerinin 20MnB4 (EN 10263-4) düşük karbonlu çeliğin ekstrüze edilebilirlik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ek olarak, ekstrüze edilebilirliği optimize etmek amacıyla sonlu elemanlar (SAE) gerçekleştirilmiştir. Radyuslu, açılı ve radyus-açılı kalıp formları deneysel ve SAE’de kullanılmıştır. SAE olarak Simufact.forming yazılımı kullanılmıştır. Deneysel ve SAE’leri kalıp formunun çeliklerin ekstrüze edilebilirliğini önemli derecede etkilediğini göstermiştir. Çeliklerin ekstrüze edilebilirliği kalıp formu ile optimize edilebilir. En yüksek homojen metal akışı radyus-açılı kalıp formundan çıkan numunede elde edilmiştir. Açılı kalıp formuna sahip numuneler en düşük ekstrüze edilebilirlik özelliği göstermiştir. Sertlik ve SAE sonuçları uyum göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Ekstrüzyon, Soğuk Şekillendirme, Sonlu Elemanlar Analizi, Gerilim ve Gerinim

ABSTRACT

EFFECT OF PRE-DEFORMATION FORM ON COLD FORMING FEATURES OF THE PRODUCT MATERIAL IN FASTENERS PRODUCTION

MSC THESIS

MURAT MERMER

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
AUTOMOTIVE ENGINEERING**

(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. İSMAİL OVALI)

DENİZLİ, SEPTEMBER 2019

Cold extrusion process has been widely used for production for fastener because of master properties such as production quality, high surface quality. During the process, extrude ability play key role and it is affected by many process parameters. Mold form properties directly influence the cold extrusion. Epically, cold hardening properties are affected by mold form properties. Cold extrusion process also significantly influences the mechanical properties of the fasteners. In this study, the effects of mold form on the extrude ability of 20MnB4 (EN 10263-4) low carbon steel have been investigated. In addition, Finite Element Analysis (FEA) are used to optimize extrude ability. Radius, Radius + angle and angle samples are used in experimental and FEA. The Simufact software is used for FEA analysis. Experimental and FEA results showed that Mold forms significantly influence the extrude ability of the steel. Extrude ability of the steel can be optimized by changing of mold form. Highest material flow homogeneity was obtained at radius + angle samples. The angle samples the lowest extrude ability properties. The hardness value and FEA result show good adaptation.

KEYWORDS: Extrusion, Cold Forming, Finite Element Analysis, Stress and Strain

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. PLASTİK ŞEKİL VERME (PLASTİK DEFORMASYON)	3
2.1 Hooke Kanunu.....	6
2.2 Gerinim ve Gerilim	7
2.3 Plastik Şekil Verme Mekanizmaları	8
2.3.1 Dislokasyonlar	8
2.3.2 Tane Kayması	9
2.3.3 İkizlenme	10
2.4 Plastik Şekil Verme İşlemlerinde Çözüm Teorileri.....	10
3. SOĞUK DEFORMASYON MEKANİZMALARI	11
3.1 Soğuk Dövme	11
3.1.1 Açık Kalıpta Dövme:	11
3.1.2 Kapalı Kalıpta Dövme:	12
3.1.2.1 Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme:.....	12
3.1.2.2 Kapalı Kalıpta Çapaksız Dövme:.....	13
3.2 Soğuk Şekillendirmenin Avantaj ve Dezavantajları.....	17
3.3 Soğuk Ekstrüzyon.....	18
3.3.1 İleri ekstrüzyon (Forward Extrusion)	20
3.3.2 Geri Ekstrüzyon (Backward Extrusion).....	21
3.3.3 Kombine Ekstrüzyon (Combined Extrusion)	22
3.4 Soğuk Dövme ve Ekstrüzyon Kalıpları	22
3.5 Soğuk Ekstrüzyon Kusurları.....	26
3.5.1 Chevron Çatlakları	26
3.6 Soğuk Dövme ile Bağlantı Elemanları Üretiminde Sonlu Elemanlar Yöntemlerinin Kullanılması	28
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	32
4.1 Deney Malzemesi	32
4.2 Ekstrüzyon Kalıp Tasarımı ve Deney Seti	32
4.2.1 Kalıp Tasarımı	32
4.2.2 Deney Seti.....	37
4.2.3 Kalıp Formlarının Ölçüm Raporları	38
4.2.4 Deney Numuneleri	39
4.3 Metalografik İnceleme.....	41
4.3.1 Setlik Deneyi	41
4.3.2 Çekme Deneyi	44
4.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Optimizasyon Çalışmaları	44
5. DENEYSEL SONUÇLAR	46
5.1 Metalografik Sonuçlar	46

5.1.1 Setlik Sonuçları.....	48
5.1.2 Çekme Deneyi Sonuçları	56
5.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Optimizasyon Çalışmaları Sonuçları	58
5.2.1 Ekstrüzyon Numunelerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi ..	58
5.2.2 Kalıpların Ekstrüzyon Bölgelerine Gelen Gerilim Dağılımlarının İncelenmesi	60
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
7. KAYNAKLAR	65
8. ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Üç temel şekil değişimi (a) Basma (b) Çekme (c) Kayma	4
Şekil 2.2 Mühendislik çekme diyagramı (sünek malzeme için)	5
Şekil 2.3 Hooke Kanunu grafiğinin gösterimi	7
Şekil 2.4 Kayma (Dislokasyon) (Dikicioğlu 2017).....	9
Şekil 2.5 İkizlenme (Dikicioğlu 2017).....	10
Şekil 3.1 Açık kalıpta dövme	12
Şekil 3.2 Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme Prosesi	13
Şekil 3.3 Kapalı kalıpta çapaksız dövme	14
Şekil 3.4 Örnek Oluşturma Dizisi (Sevenler ve diğ 1986).....	17
Şekil 3.5 Soğuk Ekstrüzyon (direkt)	18
Şekil 3.6 İleri Ekstrüzyon (forward extrusion) (Tschaetsch 2006).....	20
Şekil 3.7 Geri Ekstrüzyon (backward extrusion) (Tschaetsch 2006).....	21
Şekil 3.8 Kombine Ekstrüzyon (combine extrusion) (Tschaetsch 2006).....	22
Şekil 3.9 a) Yekpare kalıp Tasarımı b)Parçalı kalıp tasarımı	23
Şekil 3.10 İleri ekstrüzyonda kalıp aparat sistemi(Tschaetsch 2006).....	25
Şekil 3.11 Soğuk dövme kalıbı kesit alınmış şematik gösterimi	25
Şekil 3.12 Chevron çatlak oluşumu gösterimi	27
Şekil 3.13 Chevron çatlak oluşumu(Hannan ve Altan 2000)	28
Şekil 3.14 İçi boş milin dövme işlemi ve çatlak oluşumu (Watanabe ve diğ. 2014).....	30
Şekil 3.15 Simülasyon ile üretim numularının sertlik ve gerilme açısından sonuçlarının karşılaştırılması (Yavuzbarut 2018).	30
Şekil 3.16 4 İstasyonlu bir parçanın soğuk dövme ile ön deformasyonlarının gösterimi (Duggirala ve diğ.1994)	31
Şekil 4.1 Radyüslü ekstrüzyon kalıbının şematik gösterimi a) Teknik resim b) Kıta model	33
Şekil 4.2 Açılı ekstrüzyon kalıbının şematik gösterimi a) Teknik resim b) Kıta model.....	34
Şekil 4.3 Radyüs-açılı ekstrüzyon kalıbının şematik gösterimi a) Teknik resim b) Kıta model.....	35
Şekil 4.4 Üretilen ekstrüzyon kalıpları ve deney kalıp seti(a) Farklı forma sahip ekstrüzyon kalıpları (b) Üretimi yapılmış ekstrüzyon kalıbının kesiti(c) Numune üretiminde kullanılan deney kalıp seti.....	37
Şekil 4.5 Numune üretiminde kullanılan deney seti	37
Şekil 4.6 Radyüs ve açılı olan kalıbın geometrik form ölçümü	38
Şekil 4.7 Açılı olan kalıbın geometrik form ölçümü	38
Şekil 4.8 Deney seti operasyon adımları.....	39
Şekil 4.9 Farklı ekstrüzyon kalıp-numune formlarına göre üretimi yapılan numunelerin görüntüleri (a) Radyüslü ekstrüzyon kalıbı kullanılan (b) Açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan (c) Radyüs ve açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan	40
Şekil 4.10 Farklı ekstrüzyon numuneleri (a) Radyüslü ekstrüzyon numunesi (b) Açılı ekstrüzyon numunesi (c) Radyüs ve açılı ekstrüzyon numunesi	41

Şekil 4.11 Farklı ekstrüzyon kalıplarına göre üretimi yapılan numunelerin bakalit alma işlemi (a) Radyüslü ekstrüzyon kalıbı kullanılan (b) Açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan (c) Radyüs ve açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan.....	43
Şekil 4.12 Farklı ekstrüzyon kalıplarına göre üretimi yapılan numunelerin bakalit üzerinde sertlik ölçüm noktaları (a) Radyüslü ekstrüzyon kalıbı kullanılan (b) Açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan (c) Radyüs ve açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan.....	43
Şekil 4.13 Numune teknik resmi.....	44
Şekil 4.14 Simufact.forming arayüzü.....	45
Şekil 4.15 Kalıpların mesh modeli.....	45
Şekil 5.1 Farklı ekstrüzyon kalıplarına göre üretimi yapılan numunelerin makro görüntüleri (a) Radyüslü ekstrüzyon kalıbı kullanılan (b) Açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan (c) Radyüs ve açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan.....	47
Şekil 5.2 Farklı ekstrüzyon kalıplarına göre üretimi yapılan ekstrüzyon numunelerin makro görüntüleri.....	47
Şekil 5.3 Soğuk şekillendirilmiş parçaların akma dayanımlarının akış eğrisi kullanılarak belirlenmesi (Tekkaya 2000).....	48
Şekil 5.4 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin deneysel olarak incelenmesi.....	49
Şekil 5.5 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin nümerik olarak incelenmesi.....	50
Şekil 5.6 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin radyuslu kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi	51
Şekil 5.7 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin açılı kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi	51
Şekil 5.8 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin radyus-açılı kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi	52
Şekil 5.9 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin deneysel olarak incelenmesi.....	53
Şekil 5.10 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin nümerik olarak incelenmesi.....	54
Şekil 5.11 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin radyus-açılı kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi	55
Şekil 5.12 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin radyus-açılı kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi	55
Şekil 5.13 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin radyus-açılı kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi	56
Şekil 5.14 Çekme deneyi numunesi.....	57
Şekil 5.15 Çekme deneyi test sonuçları	57
Şekil 5.16 (1) Radyuslu kalıp numunesinin nümerik incelenmesi (2) Açılı kalıp numunesinin nümerik incelenmesi (3) Radyus-Açılı kalıp numunesinin nümerik incelenmesi (a) Eşdeğer gerilim (b) Eşdeğer gerinim (c) Akma dayanımı (d) Malzeme Akışı	59
Şekil 5.17 Kalıpların ekstrüzyon bölgesine gelen gerilim dağılımları grafiği ..	60
Şekil 5.18 Kalıp geometrilerine göre gerilim dağılımı (a) Radyüs (b) Açılı (c) Radyüs-Açılı.....	61

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 Dövme işlemlerine göre işlemlerin karakteristiklerinin karşılaştırılması (Lange 1988).....	15
Tablo 3.2 Bağlantı Elemanı üretiminde sıkça kullanılan WC/Co malzemelerinin özellikleri(Lange ve diğ. 2007)	24
Tablo 3.3 Ekstrüzyon esnasındaki kusurlar ve nedenleri(Tschaetsch 2006). .	26
Tablo 4.1 EN 10263-4 20MnB4 malzemesinin yüzdesel kimyasal kompozisyonu (Ağırlıkça %)	32
Tablo 5.1 Çekme deneyi test sonuçları	57

SEMBOL LİSTESİ

ϵ	:	Birim şekil değıştirme
l	:	Numune son boy
l_0	:	Numune ilk boy
γ	:	Kayma ile şekil değıştirme
σ_n	:	Çekme mukavemeti
F	:	Kuvvet
k	:	Yay sabiti
a	:	Numune boyu
b	:	Numune boyu
θ	:	Teta
E	:	Elastisite modülü
σ_g	:	Gerçek gerilme
A_i	:	Anlık kesit alanı
n	:	Pekleşme üsteli
Y	:	Akma mukavemeti
HV	:	Vickers Sertlik

ÖNSÖZ

Hazırladığım projede bilgi, deneyim ve zamanını benden esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. İsmail OVALI' ya,

Lisans ve Yüksek Lisans dönemlerim boyunca benimle bilgi, deneyimlerini paylaşan ve birçok alanda bana yol gösteren hocam Sayın Doç. Dr. Erkan ÖZTÜRK' e,

Çalışmalarımnda her türlü donanım ve kaynak temininde yardımda bulunan BOLT Bağlantı Elemanları ailesine ve çalışma arkadaşlarıma,

Proje çalışmalarımnda değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Doç. Dr. Osman ÇULHA' ya ve TWIN Ar-Ge ailesine,

Her anımda yanımda olan ve desteklerini benden hiç eksiltmeyen aileme teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Günümüzde bağlantı elemanları hemen hemen her alanda görülmektedir. Birden fazla bileşeni bir arada tutabilme yeteneği, bağlantı elemanlarının montaj işlemi gerektiren tüm endüstriyel alanlarda tercih edilmesini sağlamaktadır. Bağlantı elemanlarının defalarca sökülüp takılabilir özellikler taşımaları, standartlaştırılmış oldukları için kolay temin edilebilmeleri sayesinde sanayinin tüm alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda bağlantı elemanlarının otomotiv endüstrisi gibi yüksek güvenlik gerektiren endüstriyel alanlarda kullanılması, bu alanda rekabeti artırmakta ve bu elemanların tasarım ve üretim proseslerini daha da önemli kılmaktadır(Chena ve diğ. 2017).

Dünyada soğuk şekillendirme ile üretimi gerçekleştirilen bağlantı elemanları tasarımı birden fazla şekillendirme operasyonundan oluşmaktadır. Bu operasyon adımlarında yaygın olarak yığma ve ekstrüzyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bağlantı elemanlarında malzemenin basma kuvvetleri altında şişirilerek form verilmesi işlemine yığma, malzemenin kesitinin daraltılması işlemine ekstrüzyon denilmektedir. Bağlantı elemanları tasarımlarında iş parçasını, tasarımda istenen ölçüye indirmek amacıyla kullanılan soğuk ekstrüzyon yöntemi basit ve karmaşık formlu birçok parça üretiminde oldukça uygulanmaktadır(Ayer 2006).

Soğuk ekstrüzyon yöntemi uygulanırken ekstrüzyon parametrelerine bağlı olarak iş parçasının iç ve dış yapısında istenmeyen deformasyonlar ortaya çıkabilmektedir. Bu deformasyonları parçanın tasarım aşamasında tahmin edebilme yeteneği ancak uzun yıllar ardından elde edilen bilgi ve tecrübe ile sağlanabilmektedir(Chen ve diğ. 2015). Bu nedenle tasarım, sonlu elemanlar(SE) yöntemi ile desteklenerek parçanın üretilebilirliği ve parçada oluşabilecek hatalar öngörülebilmektedir. SE yönteminin son yıllarda soğuk şekillendirme ile bağlantı elemanı üretiminde kullanımının yaygınlaşması ile birlikte tasarımın doğruluğu üretimden önce bilinebilmektedir. Bununla birlikte kullanılan kalıp ömürleri de hesaplanabilmektedir(Erbil ve İnce 2010). Bu sayede SE yönteminin kullanılması

ürünün kalitesini artırılmasına, üretim esnasında işçilik, maliyet ve zaman kazancı sağlamaktadır(İnce ve Güden 2008).

Literatür çalışmaları genellikle ya deneysel ya da nümerik olarak yapılmaktadır. Deneysel ve nümerik çalışmaların birleştirilerek yapılan optimizasyon çalışmaları sınırlı sayıdadır. Önder ve Aygen (2006)'in yapmış oldukları çalışmada bağlantı elemanları üretiminde karşılaşılan problemlerde deneysel ve nümerik hesaplamaları birbiri ile kıyaslamışlardır. Ardından yapmış oldukları optimizasyon çalışmalarını da deneysel ve nümerik olarak kıyaslamışlar ve bunun neticesinde başarılı sonuçlar elde ederek sonlu elemanlar yönteminin önemini vurgulamışlardır. Aynı şekilde Baygut ve diğerlerinin (2018) yapmış oldukları çalışmada soğuk dövme ile bağlantı elemanı üretiminde deneysel ve nümerik çalışmaları karşılaştırmışlar ve elde edilen verilerin diyagramlarında benzer sonuç verdiğini görmüşlerdir.

Bu çalışmada, kalıp form özelliklerinin 20MnB4 (EN 10263-4) düşük karbonlu çeliğinin ekstrüze edilebilirliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca işlem parametrelerini optimize etmek amacıyla gerçekleştirilen tüm deneyler sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar yazılımı olarak simufact.forming yazılımı kullanılmıştır.

2. PLASTİK ŞEKİL VERME (PLASTİK DEFORMASYON)

Bir katı cismin kütle ve bileşimlerinde değişikliğe uğramadan kalıcı şekil değişikliği sağlayan yöntemlere plastik şekil verme yöntemleri denir. Diğer bir deyişle bir cisim şekil değiştirmeye başladığında elastik deformasyon bölgesinden – plastik deformasyon bölgesine geçiş yaparak deformasyon gerçekleştirmektedir(Çapan 1999).

Bu teknikler kullanılarak üretimi gerçekleştirilen yaygın kullanım alanları aşağıda verilmiştir;

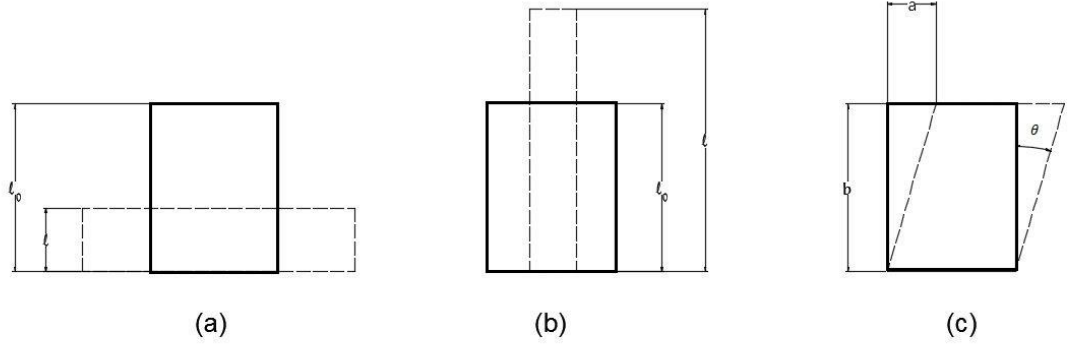
- Endüstriyel üretim yapılan ürünler (Ör: Otomobil kaporta parçaları, krank milleri, biyel kolları...)
- Bağlantı elemanları (Vida, cıvata, somun, perçin...)
- El teçhizatları (çekiç tornavida, kerpeten, ...)
- Maden ve taş ocakları gibi yerlerde kullanılabilen yapı malzemeleri (tavan, duvar elemanları, maden direkleri...)
- İnşaat sektöründe kullanılan teçhizatlar

Bu alanlarda yaygın olarak düşük karbonlu ve alaşımlı çelikler, ısıya dayanıklı çelikler, alüminyum, çinko, bakır ve demir dışı metaller kullanılmaktadır(Çapan 1999).

Taleplerin giderek artması ve teknolojinin de gelişmesi ile birlikte plastik şekil verme yöntemlerinin uygulaması artmaya devam etmektedir.

Endüstriyel olarak inşaat sektörü, havacılık ve otomotiv sektörlerinde kullanılan ürünlerin veya bu sektörlerde kullanılan araçların komponentlerinin üretiminde soğuk şekillendirme kullanılmaktadır (Karadağlı 2014).

Tüm plastik şekil verme işlemlerinde malzeme çekme, basma ve kayma olmak üzere üç ana temel olan şekil değişimlerinin etkisinde kalmaktadır(Şekil 2.1)(Çapan 1999).



Şekil 2.1 Üç temel şekil değişimi (a) Basma (b) Çekme (c) Kayma

Bir şekil verme işlemi uygulamasında, şekil değiştiren elemanda meydana gelen birim şekil değiştirme, bu elemanın önceki ve sonraki boyutlarına bağlı olarak ifade edilmektedir. Basma ve çekmede birim şekil değiştirme

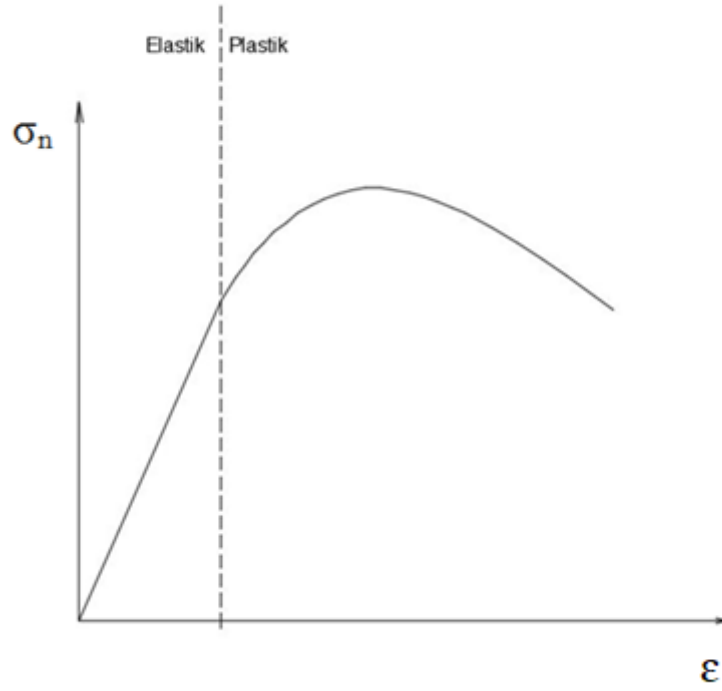
$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \quad (2.1)$$

Kaymada ise şekil değiştirme

$$\gamma = \frac{a}{b} = \tan\theta \quad (2.2)$$

Metal malzemelerde cisme belirli bir kuvvet uygulandığında cisim üzerinde oluşabilecek şekil değiştirmenin veya cisimde şekil değiştirmek için uygulanması gereken kuvvetin hesaplanması mühendislik alanında büyük öneme sahiptir(Çapan 1999).

Bir cismin elastiklik sınır bölgesi aşıldığı zaman plastik şekil değişimi başlamaktadır. Plastik şekil değişiminin σ - ε diyagramı Çapan (1999) Şekil 2.2' de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Mühendislik çekme diyagramı (sünek malzeme için)

Mühendislik diyagramı incelendiğinde malzeme elastik bölgenin aşılmasının ardından kalıcı şekil değiştirmeye maruz kalmaktadır. Plastik deformasyon bölgesinde malzemenin cinsine göre değişiklik gösteren plastik deformasyon bölgesi ardından kopma ile birlikte sonlanmış olmaktadır(Çapan 1999).

Bir malzemenin elastik şekil değiştirme esnasında enerjiyi absorbe etmesi ve sonrasında yükün boşalmasının ardından bu enerjiyi geri verebilme özelliğine rezilyans modülü denmektedir. Mühendislik çekme diyagramında elastik bölge altında kalan alan rezilyans modülünü göstermektedir(Çapan 1999).

Tokluk ise, malzemenin kırılmaya karşı olan direncine ve plastik şekil değiştirme kabiliyetine denmektedir. Mühendislik çekme diyagramında kırılmaya kadar eğrinin altında kalan tüm alanı kapsamaktadır(Calister ve Rethwisch 2014).

Katı durumdaki metalin sürekliliği bozulmadan, yani kırılma ve ayrılma olmadan şekillendirilebilmesi için malzeme plastik şekil değiştirme kabiliyetinin iyi bilinmesi, bunun yanında ayrıca işlem için gerekli basınç, kuvvet ve güç

seviyelerinin de bilinmesi önemlidir. Yöntemin başarısı için malzeme özellikleri ile işlem parametrelerinin birbirine uygun olarak seçimi büyük bir öneme sahiptir(Aran ve Demirkol 1995).

Soğuk şekil değiştirmede tane yapısı sürekli olarak bozulur, sertlik ve dayanım değerleri artar (pekleşme), süneklik düşer. Ayrıca bir soğuk şekil verme işlemi için gerekli kuvvet ve iş, aynı işlemin sıcak olarak yapılmasına kıyasla daha büyüktür(Kılıçarslan C. 2017). Buna karşılık soğuk şekil vermede, sıcak şekil vermeye kıyasla daha küçük boyut toleransları ve daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilir. Soğuk şekil değiştirmede sünekliğin azalması, malzemenin istenen şekli almadan hasara uğramasına neden olabilir. Bu durumda, bir miktar soğuk şekil değişiminden sonra malzemeye yeniden kristalleşme tavı uygulanır. Böylece şekil değiştirmeden önceki özelliklerini kazanan malzemeye yeniden soğuk şekil verilerek üretime devam edilir (Çapan 1991).

Bir cisme belirli yük uygulanmasının ardından tekrardan cismin yüklenmesi durumunda σ ve ϵ arasında ikinci yükte Hooke doğrusuna bağlı olarak değişim gözlenmektedir. Bu değişim pekleşmekten kaynaklanmaktadır(Calister ve Rethwisch 2014).

2.1 Hooke Kanunu

Malzemelerin şekil değişimlerini yük altında incelendiğinde elastik ve plastik olarak ikiye ayrılmaktadır. Malzeme üzerinden yük kaldırıldığında, malzeme tekrardan eski haline geri dönüyorsa buna elastik, eğer geri dönemeyip deformasyona uğramış halde kalıyorsa buna plastik şekil değişimi denilmektedir(Verhoeven 1975).

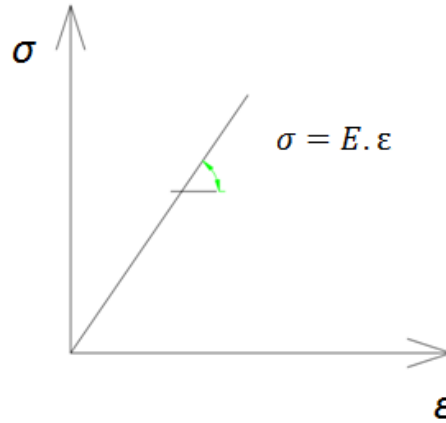
İngiliz bilim adamı Robert Hooke tarafından yayların davranışı üzerinde inceleme yapılmıştır. Farklı boylardaki yayların uzama miktarlarını incelediğinde, uzama miktarları her ne kadar farklı olsa da aynı malzemedeki yayların esneme oranlarının aynı olduğunu gözlemlemiştir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde kuvvet F , esneme miktarı x , uygulanan kuvvet ile esneme miktarı arasındaki oran ise k olarak gösterilmektedir(<https://muhendishane.org>).

$$F = k \cdot x \quad (2.3)$$

Hooke deneyi silindir malzemeler üzerinde incelendiğinde ise silindir parçada oluşan esneme kuvvet üzerinden değil de parça üzerinde oluşan gerilim(σ) olarak değerlendirilmektedir. Parçada oluşan esneme miktarını ise ilk boyuna oranladığımızda ve k yay sabitini ise malzemelerde elastik inceleme doğrultusunda ortaya konulan Young Modülü veya Elastisite Modülü (E) olan değer yazıldığında silindir parçalarda oluşan gerilim ve gerinim ilişkisi ortaya çıkmaktadır. Aşağıdaki denkleme Hooke Kanunu denilmektedir(Calister ve Rethwisch 2014).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.4)$$

Elastik malzemelerdeki gerinim ve gerilim ilişkisini gösteren eşitliğe Hooke Kanunu denilmektedir. Hooke Kanunu'nun grafik gösterimi Şekil 2.3' teki gibidir(<https://muhendishane.org>).



Şekil 2.3 Hooke Kanunu grafiğinin gösterimi

2.2 Gerinim ve Gerilim

Gerilim, bir malzemenin birim alanına etki eden kuvvet miktarıdır. Silindirik bir malzemeyi her iki ucundan tutup çektüğümüzde malzemenin hacminde bir değişim olmaksızın malzemenin kesit alanı azalmaktadır. Bu esnada malzeme gerilim oluşmaktadır ancak kesit alanı azaldıkça gerilim daha yüksek değere ulaşmaktadır. Malzemenin gerçek geriliminin formül üzerinde gösteriminde gerçek gerilim σ_g ,

malzeme üzerine etki eden yük F , kesit alanının anlık gösterimi ise A_i 'dir(<https://muhendishane.org>).

$$\sigma_g = \frac{F}{A_i} \quad (2.5)$$

Gerinim(Birim Şekil Değişimi), silindir malzemenin uzama miktarını, malzemenin ilk uzunluğuna oranlanmasıdır. Malzemenin ilk uzunluğunu l_0 , ulaştığı son uzunluğu ise l_i ile gösterilmektedir. Gerçek gerinim formülü ise aşağıdaki gibidir.

$$\varepsilon_g = \ln \frac{l_i}{l_0} \quad (2.6)$$

Metal şekillendirme plastisite teorisinde, başlangıç koşulu referans çerçevesi olarak kullanılamaz; bu nedenle, uzunluktaki değişiklik anlık uzunlukla ilgili olmalıdır(Altan ve diğ. 2004). Bu yüzden yukarıdaki formül her yeni uzunluk miktarı dikkate alınarak kullanılmalıdır.

Bazı metaller ve alaşımlarda, gerilme ve gerinim eğrilerinde, boyun vermenin başladığı noktaya kadar plastik deformasyon için gerçek gerilme ve gerilim arasındaki ilişki aşağıdaki formülde verilmektedir.

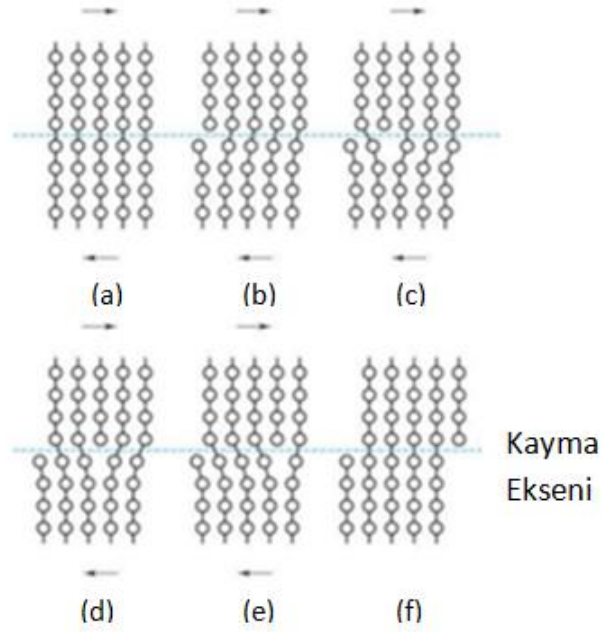
$$\sigma_g = K. \varepsilon_g^n \quad (2.7)$$

Burada K ve n malzemenin kendine özgü bağlı sabitlerdir. n ise, pekleşme üsteli olarak adlandırılmakta ve değeri birden küçüktür(<https://muhendishane.org>).

1.3 Plastik Şekil Verme Mekanizmaları

2.3.1 Dislokasyonlar

Plastik şekil vermede en temel faktör basma kuvvetlerinin etkisiyle malzemenin tane yapısında meydana gelen kayma olayıdır. Plastik şekil değiştirmede kayma, dislokasyonların kayma düzlemlerinde hareket etmeleriyle oluşmaktadır(Şekil 2.4)(Calister ve Rethwisch 2014).



Şekil 2.4 Kayma (Dislokasyon) (Dikicioğlu 2017)

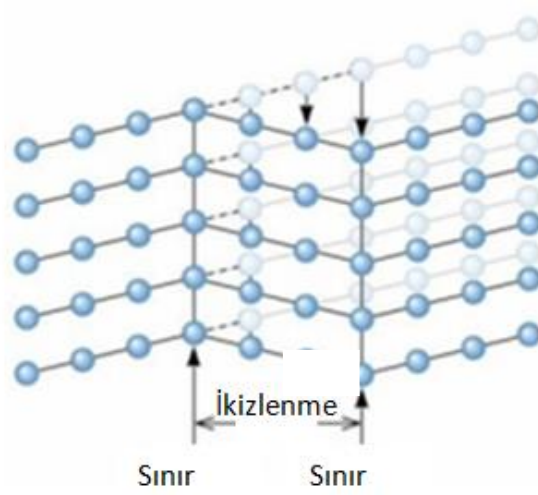
2.3.2 Tane Kayması

Ancak malzemenin yeniden basma gerilmesine maruz bırakılması ve dislokasyonların hareket etmesiyle yeni dislokasyonlar meydana gelir ve malzemenin yoğunluğu artmaktadır. Dislokasyon sayılarının artmasıyla kayma hareketleri boşluk, alan, tane sınırı gibi etkenler nedeniyle daha da zorlaşmakta ve daha yüksek basma ve çekme gerilmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumun oluşmasına ise, deformasyon sertleşmesi veya pekleşme denilmektedir. Pekleşmenin gerçekleşebilmesi için malzemenin ergime sıcaklarının yarısından düşük sıcaklıklarda olması yani soğuk şekillendirme yapılması gerekmektedir(Calister ve Rethwisch 2014).

2.3.3 İkizlenme

Plastik deformasyonda, bazı malzemelerde kaymaya ek olarak mekanik benzerlerin yani ikizlerin oluşması meydana gelmektedir. Kaymanın zorlandığı durumlarda ise malzemenin kristal yapısı sahip olduğu bir düzlemin iki tarafında simetrik iki farklı yönelim gösterdiğinde bu duruma da ikizlenme denilmektedir(Calister ve Rethwisch 2014).

İkizlenme görselleri Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5 İkizlenme (Dikicioğlu 2017)

2.4 Plastik Şekil Verme İşlemlerinde Çözüm Teorileri

Plastik şekil verme işlemlerinde kuvvet, gerilme, gerinim ve sıcaklık değerlerinin hesaplanması tasarım, kullanılacak takımlar ve malzemenin şekillendirilme oluşumunun incelenmesi için büyük öneme sahiptir(Çapan 1999).

Plastik şekil verme işlemlerinde kullanılan hesaplama yöntemleri aşağıda verilmiştir(Çapan 1999).

- Dilim Yöntemi
- Kayma Çizgileri
- Yük sınırlama
- Vizioplastisite
- Sonlu Elemanlar Yöntemi

3. SOĞUK DEFORMASYON MEKANİZMALARI

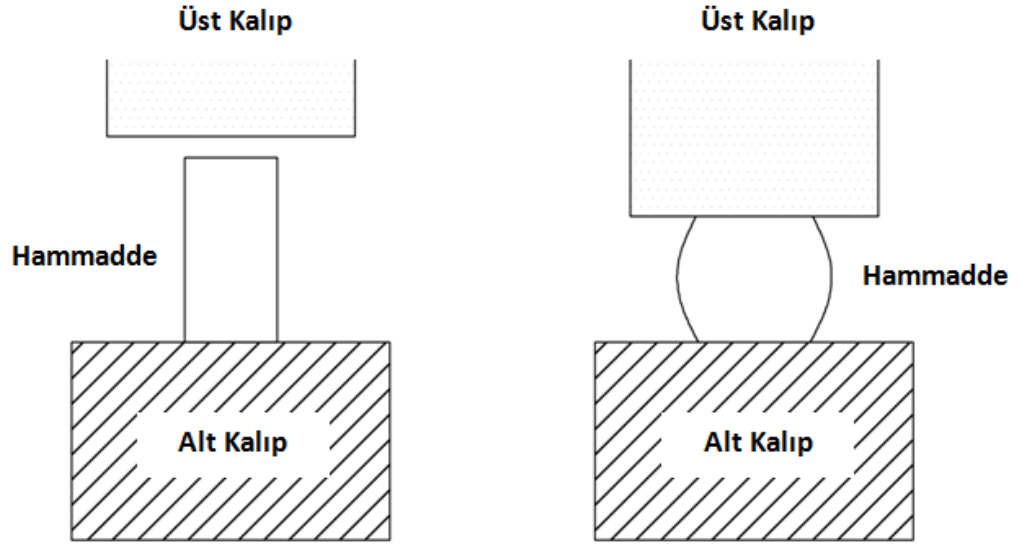
3.1 Soğuk Dövme

Metal malzeme üzerinde herhangi bir kırılma veya çatlama gerçekleşmeden malzemenin plastik şekil değişimi gerçekleştirilebilmesi için malzemenin plastik şekil değişimi kabiliyetleri iyi bilinmeli ve ayrıca şekil değişiminin yapılabilmesi için gerekli makine gücü, basınç ve kuvvet değerlerinin de bilinmesi yüksek öneme sahiptir. Yapılan plastik şekil verme işleminin başarılı olabilmesi için malzeme özellikleri ile işlem parametrelerinin birbirine uygun seçimi önemlidir(Aran ve Demirkol 1995).

Geçmiş tarihten bu yana kullanılan dövme işlemi, bir iş parçasına istenilen formu verebilmek için kontrollü olarak uygulanan bir basınç altında malzeme içerisindeki tane boyutlarını küçültmek ve aynı zamanda mekanik özelliklerini iyileştirmek uygulaması halen devam eden plastik şekil verme yöntemlerindedir. Soğuk dövme işlemleri kullanılan kalıp sistemlerine göre iki ana başlıkta incelenmektedir(Aran ve Demirkol 1995).

3.1.1 Açık Kalıpta Dövme:

Basma deneyinde yapılan işleme benzeyen ve iki düz kalıp arasında yapılan bu yöntem “Yığma” olarak da isimlendirilir. Uygulanan basma işlemi ile parça yüksekliği azalırken kuvvete dik olarak uzanan kesit alanı artmaktadır. Genellikle eksenel simetriye sahip dairesel kesitli parçaların yığılma işlemi yapılmaktadır. Yığmanın ideal koşullarda yani sürtünmesiz olması durumunda silindirik bir parçanın açık kalıpta yığılması aşamaları aşağıdaki Şekil 3.1’ de verilmektedir(Groover 2010).



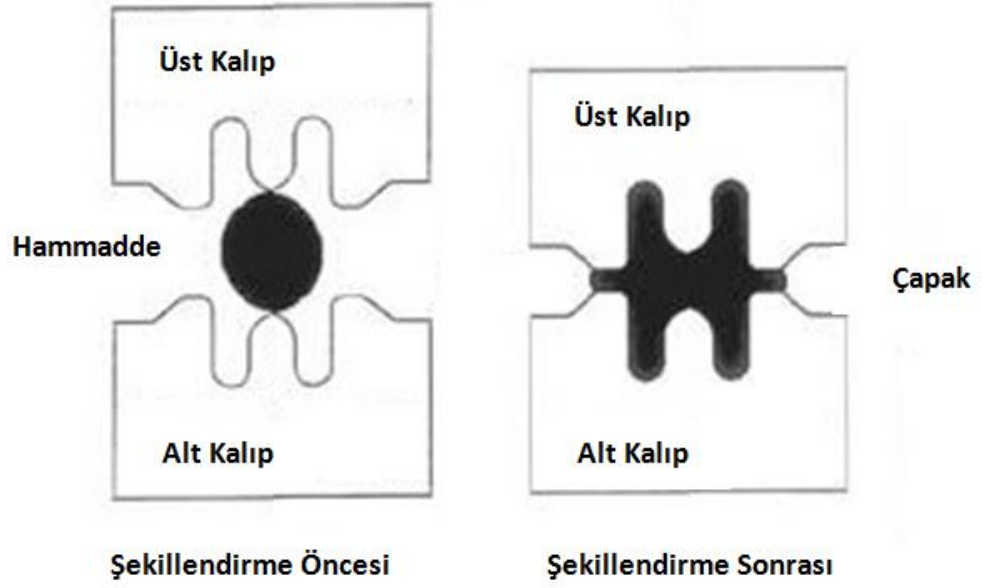
Şekil 3.1 Açık kalıpta dövme

3.1.2 Kapalı Kalıpta Dövme:

Kapalı kalıpta dövme işlemi de kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar kapalı kalıpta çapaklı dövme ve kapalı kalıpta çapaksız dövmedir.

3.1.2.1 Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme:

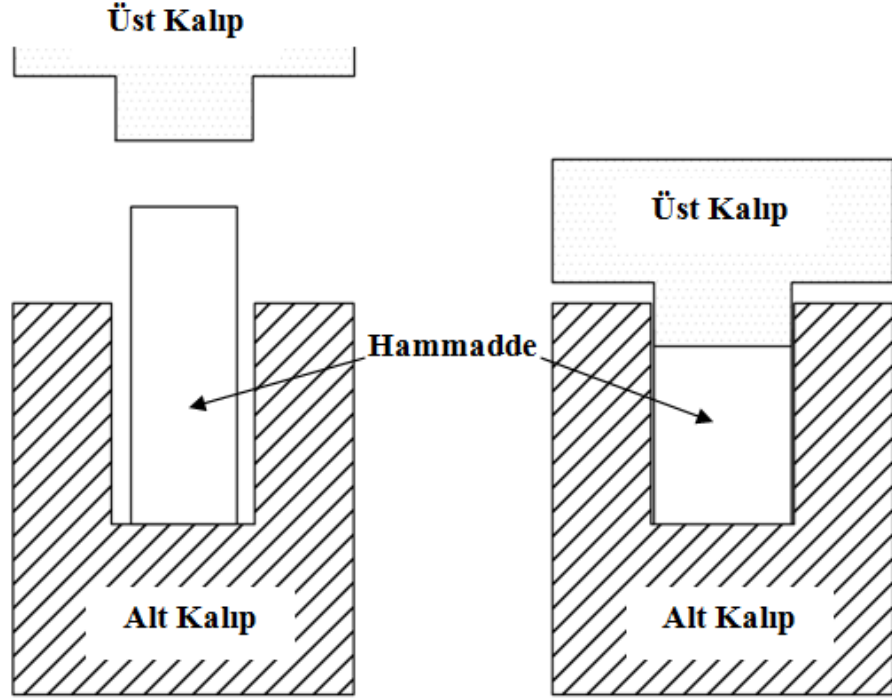
İstenilen şekil geometrisinin tersi formuna göre işlenmiş olan iki yarım kalıp arasında malzemenin basma gerilmeleriyle sıkıştırılarak şekillendirilmesi ve kalıp boşluklarının doldurulması şeklinde tanımlanmaktadır. Bu işlemde malzemenin şekillendirilmesi esnasında kalıpların kenar kısımlarından bir miktar malzeme taşmaktadır. Proses adımları Şekil 3.2' de gösterilmektedir (Groover 2010).



Şekil 3.2 Kapalı Kalıpta Çapaklı Dövme Prosesi

3.1.2.2 Kapalı Kalıpta Çapaksız Dövme:

Kullanılan kalıp sistemlerine göre aralarındaki en hassas toleranslara sahip dövme işlemi olarak ta nitelendirilmektedir. Basit ve simetrik geometrilere sahip parçaların imalatı için uygundur. Dövme işlemi uygulandıktan sonraki malzeme hacminin, dövme parçası malzemesinin hacmine eşit veya çok yakın olması en önemli özelliğidir. Dövme işlemi sırasında çapak vb. malzeme taşmaları gerçekleşmeyeceğinden işlem hassas hesaplama ve kontrol gerektirmektedir. Aksi durumda kalıp veya makinede olumsuzlukların gerçekleşme oranı yüksektir. Proses adımları Şekil 3.3'te gösterilmektedir(Groover 2010).



Şekil 3.3 Kapalı kalıpta çapaksız dövme

Şekillendirme ve dövme prosesleri kalıplara göre sınıflandırılmasının haricince kendi aralarında ayrı olarak üçe ayrılmaktadırlar. Bunlar soğuk, ılık ve sıcak şekillendirme yöntemleridir. Sıcak, yarı sıcak ve soğuk dövme yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 3.1’de belirtilmiştir. Bir plastik şekil değiştirme olayı, yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda meydana gelirse soğuk şekil değiştirme, aksi durumda yani yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda ise sıcak şekil değiştirme söz konusudur (Aran ve Demirkol 1995).

Tablo 3.1 Dövmeye işlemlerine göre işlemlerin karakteristiklerinin karşılaştırılması
(Lange 1988)

	SICAK	ILIK	SOĞUK
ÇELİK SINIFI	Herhangi	Karbon istenir, Diğer alaşım elementleri < %10	Düşük alaşımli çelikler (C< %0.45 diğerleri <%3)
ŞEKİL	Alttan kesme olmadan	Alttan kesme olmadan dönül-simetrik	Alttan kesme olmadan dönül-simetrik
YÜZEY KALİTESİ	Düşük	Orta	Yüksek
ARA İŞLEMLER	Gerekli değil	Yüzey işlemine gerek yok	Ara tavlama ve fosfat kaplama
DEFORMASYON BASINCI	Düşük	Orta	Yüksek
ENERJİ MALİYETİ	Yüksek	Orta	Düşük
TOLERANS	Fazla	Az	En Az
TAKIM MALİYETİ	En Düşük	Yüksek	Yüksek

Soğuk dövme işlemi, herhangi bir malzeme kaybına sebep olmadan, preslerle plastik deformasyon yapılarak gerçekleştirilen bağlantı elemanları üretimi için esastır(Kılıçaslan ve diğ. 2017). Soğuk şekillendirme yöntemi bağlantı elemanları üretiminde diğer yöntemlere kıyasla birçok açıdan daha ön planda kalmaktadır. Buradaki en önemli etkenler yüksek hızlarda üretim ve tolerans aralıklarının en az olmasıdır.

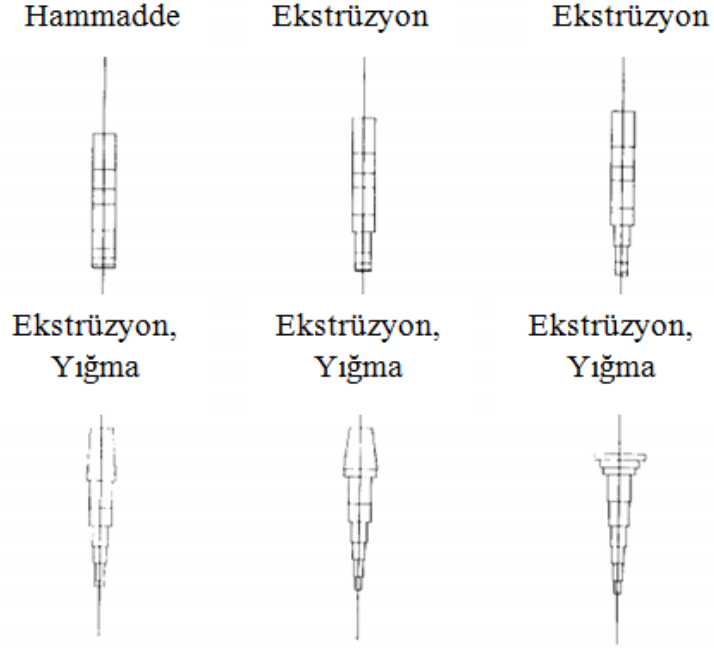
Soğuk şekillendirme ile dövme işleminde başarılı bir şekil değiştirme işlemi sağlayabilmek için malzemenin akışının iyi anlaşılması ve iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. Malzemenin akış doğrultusu, şekil değişim miktarı, ürün ve kalıp sıcaklıklarının son ürün özelliklerine etkisi büyüktür. Ürün malzemesinin şekillenmesi ve yönlenmesi, ürünün mekanik özelliklerini, ürün yüzeyinde veya içerisinde çatlak vb. kusurların oluşumunu etkileyen önemli bir faktördür(Karadağlı 2014). Malzeme akışının bağlı olduğu işlemler aşağıda belirtildiği gibidir;

Kullanılan malzeme cinsi: Malzemenin mekanik ve kimyasal özellikleri malzemenin şekillendirilebilmesinde çok önemli bir rol almaktadır. Malzemenin içyapısı, kimyasal değişimi ve akma sınırlarına bağlı olarak ürün şekillendirilebilmeleri(dövülebilirlikleri) değişmektedir(Karadağlı 2014).

Kalıp ve kullanılan takımlar: Kalıp seçimi şekillendirme işleminde yüksek öneme sahiptir. Çünkü malzemenin şekillenme işlemi esnasında kullanılan kalıbın bu sırada oluşan gerilmelere karşı kırılmadan dayanabilmesi gerekmektedir. Bunun için kalıp malzeme seçimi, kalıp geometrisi, yüzey şartları, kalıba uygulama yapılan ısıl işlem, kalıp sertliği ve tokluğu, kalıp yüzey pürüzlülüğü ve işlem sırasında kullanılan yağlayıcı malzeme şekillendirme işlemini etkileyen faktörlerdir(Karadağlı 2014).

Pres Özellikleri: Malzemenin şekillendirilebilmesi için kalıp seçimi kadar pres seçimi de önemli bir faktördür. Şekillendirilecek malzemenin formuna ve malzeme mekanik özelliklerine göre pres seçimi yapılmalıdır. Örneğin bir ürünün üretiminde presin istasyon sayısı ve yüklerine dikkat edilmeksizin pres seçimi yapıldığında ya üretimde pres özellikleri yetersiz kalacak ve ürün şekillendirilmesi yapılamayacak ya da gereğinden çok fazla istasyon veya yüke sahip pres ile ürünün getirisi ve gideri arasındaki fark olumsuz yönde azalabilmektedir.

K. Sevenler ve arkadaşlarının birlikte yapmış oldukları çalışmada sıcak ve soğuk şekillendirmeye olan ihtiyacın enerji ve malzeme fiyatlarının artmasıyla doğru orantılı olarak arttığını belirtmektedirler. Birden fazla kademeli ve karmaşık olan tasarımların yeterli deneyime sahip tasarımcılar tarafından özel teknikler ile yapılabileceğini savunmuşlardır. Çalışmada prototip bir sistemin geliştirilmesi yapılmış ve bu özel olarak geliştirilen program ile parça geometrisi, makine ve malzeme tipleri dikkate alınarak herhangi bir kullanıcı etkileşimi olmadan şekillendirme sırasının bulunmasını sağlanmıştır(Sevenler ve diğ 1986). Aşağıdaki görselde örnek bir oluşturma dizisi verilmiştir. (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Örnek Oluşturma Dizisi (Sevenler ve diğ 1986)

3.2 Soğuk Şekillendirmenin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajlar (Altan ve diğ. 2004):

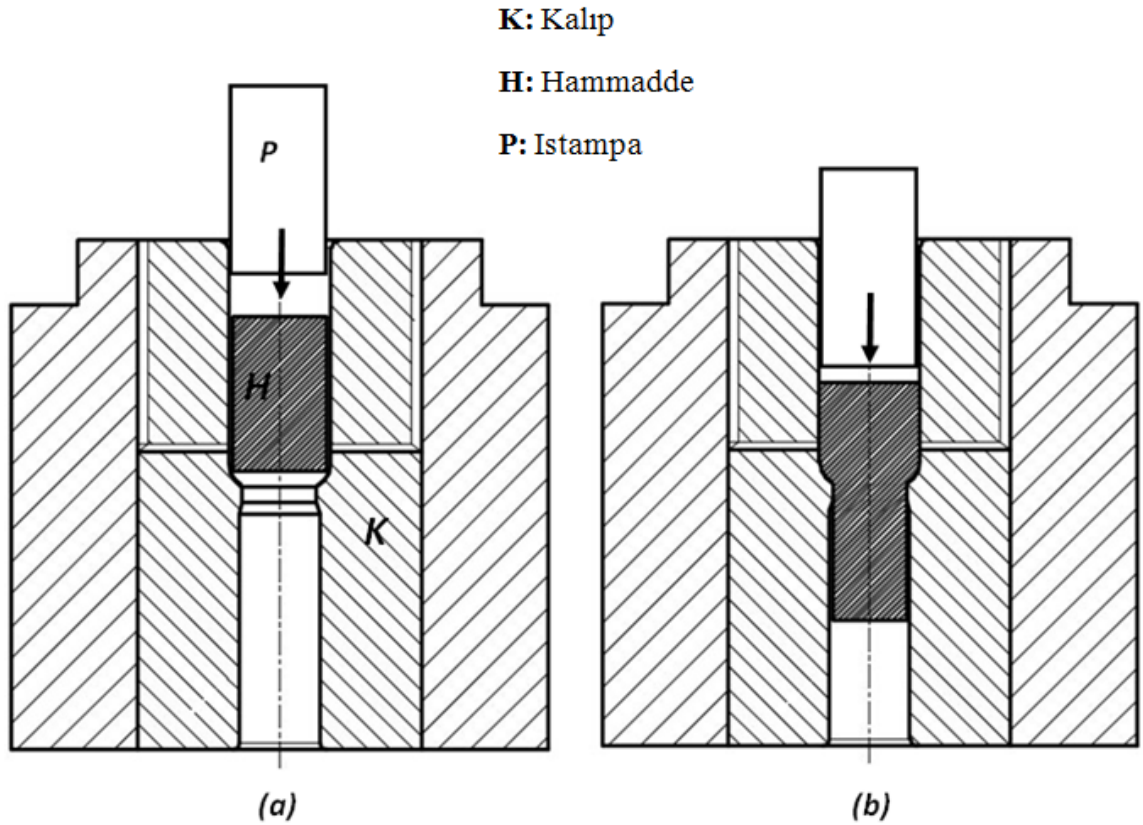
- Soğuk şekillendirme prosesine uygun talaşlı imalat ile üretilen parçaların üretimi yapılmaktadır.
- Boyutsal toleransları çok düşüktür.
- Hammadde sarfiyatı en az derecededir.
- Yüzey kalitesi çok iyidir.
- Soğuk şekillendirme ile tanecikler dislokasyon hareketleri yaptığından bu sebeple pekleşme artmakta ve mukavemeti yükselmektedir.
- Seri üretim yapılabilir.
- Diğer yöntemlere oranla işlem sonrası çıkan talaş miktarı daha azdır.

Dezavantajlar(Altan ve diğ. 2004):

- Ilık ve sıcak dövme işlemleri ile kıyaslandığında daha basit parçalar üretilebilmektedir.
- Diğer yöntemlere göre karmaşık şekilli parça üretimi daha zordur.
- Kalıp sarfiyatı diğer üretim yöntemlerine göre daha fazladır.

Tüm avantaj ve dezavantajlar göz önüne alındığında soğuk şekillendirme üretim yöntemi geçmişten bu yana oldukça yaygın şekilde kullanılmakta olan imalat yöntemidir. Günümüzde ise artan enerji, işçilik ve hammadde fiyatları bu verimli üretim yönteminin daha da yaygın şekilde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

3.3 Soğuk Ekstrüzyon



Şekil 3.5 Soğuk Ekstrüzyon (direkt)

Şekil 3.5.a’ de görülebileceği gibi kalıp (K) içine yerleştirilmiş olan silindirik hammaddeye (H) bir ıstampa (P) tarafından yeterli bir basınç uygulandığı takdirde, malzeme kalıp deliğinden geçmek zorunda kalarak çapı kalıp deliğindeki çapa eşit bir çubuk elde edilir.(Şekil 3.5.b). Malzeme ile ıstampa aynı yönde hareket ettikleri için “direkt” olarak nitelendirilen bu işleme, soğuk dövmede “soğuk ekstrüzyon”

denilmektedir(Çapan 1988). Ekstrüzyon, malzemenin yüksek basınç kullanarak akması için yapılan toplu şekillendirme işlemidir. Deformasyon esas olarak oda sıcaklığında gerçekleşir - soğuk ekstrüzyon - bu şekilde yakın boyutsal hassasiyete sahip plaka-bitmiş iş parçaları elde edilir.

Soğuk şekillendirmede, soğuk ekstrüzyon endüstriyel makine elemanlarının üretiminde oldukça kullanılan bir yöntemdir. Bunun doğrultusunda soğuk ekstrüzyon için kalıp maliyetleri, iş parçasının genel üretim maliyetinin yaklaşık % 5 ila %15'i kadardır. Kesin miktar, iş parçasının karmaşıklığına, malzemesine ve üretilen iş parçalarının sayısına bağlıdır(Lange 1988).

Karmaşık ürünler üretimi için kullanılan ekstrüzyon kalıplarının neredeyse %100'ü yorulma nedeniyle başarısız olmaktadır. Diğer bir yandan, yorulmanın negatif etkisi ilk olarak Reiss tarafından incelenmiştir(Reiss 1987). Reiss tarafından yapılan çalışmada kalıpların ısı işlemlerinin kalıp ömürleri üzerindeki etkilerini incelemek için kapsamlı analizler gerçekleştirilmiştir. Reiss'in önemli gördüğü bir gözlemi, ekstrüzyon üretim döngüleri sırasında ortaya çıkan çatlak davranışlarıdır. Çalışmada incelendiğine göre çatlak uzunluğunun artması ile birlikte çatlak büyüme hızı azalmakta, bu da istikrarlı çatlak büyümelerine yol açmaktadır. A.E Tekkaya'nın yapmış olduğu çalışmada soğuk ekstrüzyon kalıplarının yorulma davranışları incelenmiştir(Tekkaya 1995). Ekstrüzyon kalıbında kalıp girişinin farklı yerlerinde etkili stres yoğunluğu faktörleri sonlu elemanlar yöntemini kullanarak hesaplamıştır. Bununla birlikte çatlak büyümelerini simüle etmiştir. Elde ettiği veriler ile kalıp ömrü tahmini edilmiş ve deneysel sonuçlar ile çatlak sonuçları tatmin edici değerlerde çıkmıştır.

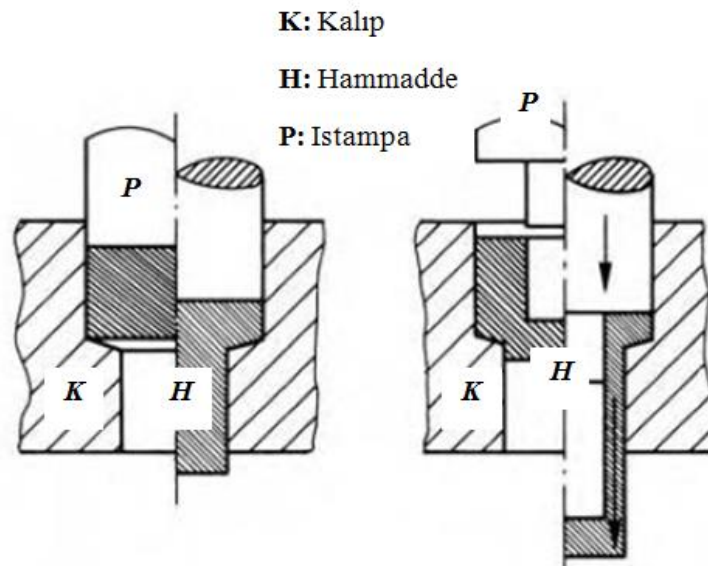
Ekstrüzyon işlemlerinde bir önemli hususta kalıpların yüzeylerinin pürüzlülüğüdür. Yüzeyin pürüzlü olması demek kalıbın içindeki şekillendirilecek malzemenin yüzeye temasının iyice artması ve bu zorlanmayla birlikte daha yüksek yüklere maruz kalarak şekillenmesi demektir. Bunun yanında bir diğer kusurda şekillendirilecek malzeme yüzeyinde oluşabilecek pürüzlü yüzeyin kalmasıdır. P. Grochea ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalarında ekstrüzyon işleminde sürtünme kuvvetlerinin önemine değinmişlerdir. Yapılan çalışmada sürtünme kuvvetlerinin değişmesiyle makine yüklerinin de seçici bir şekilde değiştiğini gözlemlemişlerdir(Groche ve diğ. 2018). Bu sayede de ekstrüzyon kalıplarında

yüzeylerin sürtünme katsayılarının azaltılabilmesi için bir çok proses kullanılmaktadır. Bunların en başında kalıp formu oluşturulmasının ardından taşlama ve ardından parlatma işlemi yapılmaktadır. Bu iki yüzey pürüzlülüğünü en aza indirme işlemi yapılsa bile yüksek ekstrüzyon işlemi yapılacak kalıplarda bu işlemlerin ardından ek olarak yüzey kaplaması yapılmaktadır. Yüzey kaplamasıyla birlikte iyice sürtünmenin azaldığı bilinmektedir.

Soğuk ekstrüzyon yöntemleri 3 alt başlıkta incelenmektedirler. Bunlar ileri ekstrüzyon, geri ekstrüzyon ve kombine ekstrüzyon (ikisinin bir arada gerçekleştiği durum) ‘dur(Tschaetsch 2006).

3.3.1 İleri ekstrüzyon (Forward Extrusion)

Zımbanın hareketi ve malzemenin akışı aynı yöndedir. Ekstrüzyon işlemi sırasında, delginin basıncı, malzemeyi delginin hareketi yönünde akmaya zorlar; bu işlem sırasında, oluşturulan iş parçasının kalıbın içi şeklini alır(Şekil 3.6) (Tschaetsch 2006).

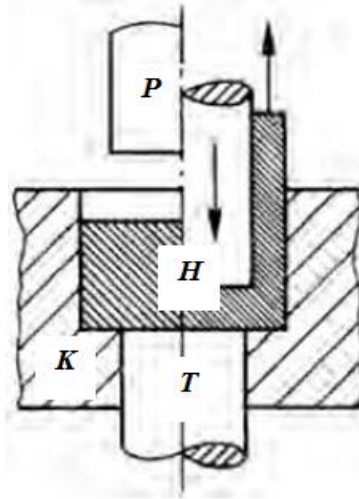


Şekil 3.6 İleri Ekstrüzyon (forward extrusion) (Tschaetsch 2006).

3.3.2 Geri Ekstrüzyon (Backward Extrusion)

Malzemenin akışı, zımbanın hareketine zıt yöndedir. Materyal, delginin akma noktasının üzerindeki basıncı ile akacak şekilde yapılır. Yanal bir kaçış mümkün olmadığından, malzeme, kalıp ile zımba arasında oluşturulan halka boşluktan yukarı doğru akar, zımbanın hareketinin zıt yönünde. Bu yöntem aynı zamanda tüp üretmek için de kullanılır(Şekil 3.7) (Tschaetsch 2006).

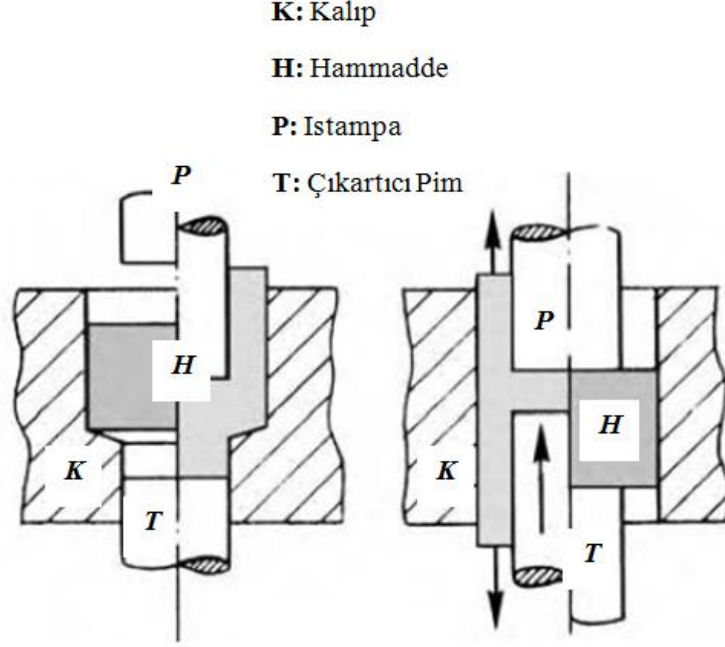
K: Kalıp
H: Hammadde
P: Istamp
T: Çıkartıcı Pim



Şekil 3.7 Geri Ekstrüzyon (backward extrusion) (Tschaetsch 2006).

3.3.3 Kombine Ekstrüzyon (Combined Extrusion)

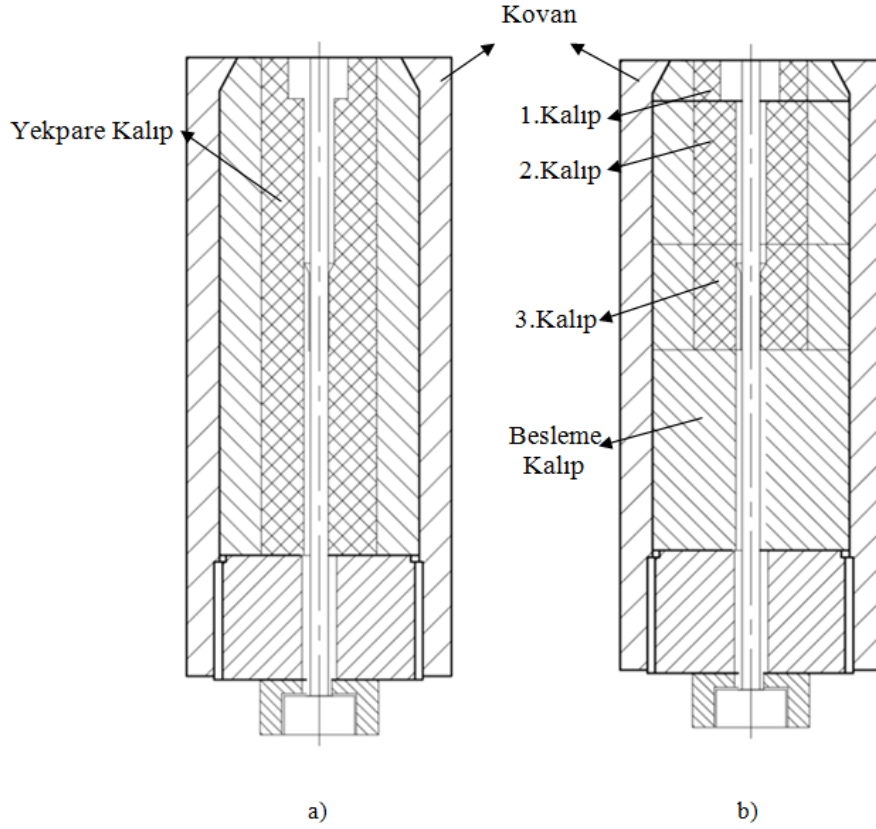
Burada, zımba aşağı vuruşta malzeme hem aynı hem de zımba hareketine zıt yönde akar(Şekil 3.8) (Tschaetsch 2006).



Şekil 3.8 Kombine Ekstrüzyon (combine extrusion) (Tschaetsch 2006)

3.4 Soğuk Dövme ve Ekstrüzyon Kalıpları

Soğuk dövme ile üretimi gerçekleştirilen bağlantı elemanlarında kalıplar üretim esnasında ki kırılmalara karşı değiştirilebilme kolaylığı ve maliyet indirilmesi sağlanması amacıyla birçok parçadan oluşmaktadır. Bu sayede kalıbın bir noktasından kırılma gerçekleştiğinde tümüyle kalıbı değiştirmek yerine kırılan kısmın değiştirilmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte olumlu ve olumsuz etkileri bulunmaktadır. Kalıp üretiminde çap eksenlerinin doğru toleranslarda olmaması sonucu malzeme akışını olumsuz yönde etkilemesi ise parçalı kalıp kullanılmasının olumsuz etkisidir. Bu sebeple bu tip kalıp üretimleri titizlikle yapılmalıdır(Aygen 2006). Aynı kalıbın yekpare ve parçalı olarak kullanılmış teknik resim görünümü Şekil 3.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 a) Yekpare kalıp Tasarımı b) Parçalı kalıp tasarımı

Soğuk dövme esnasında kalıp, malzeme deformasyonuna bağlı olarak yüksek çekme ve basma gerilmelerine maruz kalmaktadır. Deformasyon bölgesindeki gerilmelerin belirlenmesi ve dağıtılması, gelişmiş plastik teorisi ile, özellikle de visioplastisite gibi deneysel-analitik yöntemlerle elde edilebilir (Gusel ve Rudolf 2015). Basma ve çekme gerilmelerini ve bununla birlikte çatlama riskini azaltmak için kalıplar kendi içinde bir dış zarf ve iç çekirdekten oluşmaktadır. Bunun sebebi ise dövme esnasında iç çekirdeğin dövmeden gelen yükler ile genliğini azaltarak yorulma dayanımının artırılması sağlanmaktadır. Bu sayede bası yönünde ek gerilim sağlanarak malzemenin kalıp içerisindeki şekillendirme esnasındaki yükler azaltılmaktadır. Genellikle dış zarflarda DIN 1.2344 çeliği kullanırken, iç çekirdek malzemesi olarak WC/Co toz metalurjisi ile üretilen malzeme kullanılmaktadır (Aygen 2006). WC/Co malzemesinde ise bağlantı elemanı üreticileri tarafından yoğunluklu olarak benimsenip kullanılan birkaç varyasyon bulunmaktadır. Bunların kullanılan isimleri G40, G50, G55'dir. Aralarındaki farklılığı WC ve Co oranı değiştirmektedir. Bu malzemelerin özellikleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

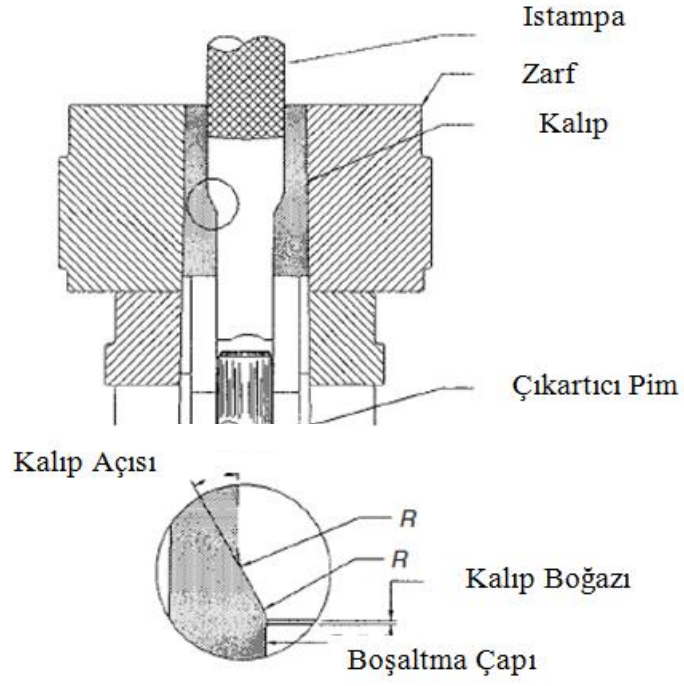
Tablo 3.2 Bağlantı Elemanı üretiminde sıkça kullanılan WC/Co malzemelerinin özellikleri(Lange ve diğ. 2007)

	G40	G50
WC [%Oran]	80	75
Co [%Oran]	20	25
E-Modul [N/mm²]	530.000	490.000
Basma Dayanımı [N/mm²]	4000	3200

Soğuk Dövme ile üretimi gerçekleştirilen bağlantı elemanlarının verimini ve üretim maliyetlerine etki eden birçok faktör olmasıyla birlikte, soğuk dövme kalıplarını oluşturan çekirdek(WC/Co) ve zarf bileşenlerinin sıkı geçme oranları en önemli parametrelerden birisidir(Yurtdaş 2017).

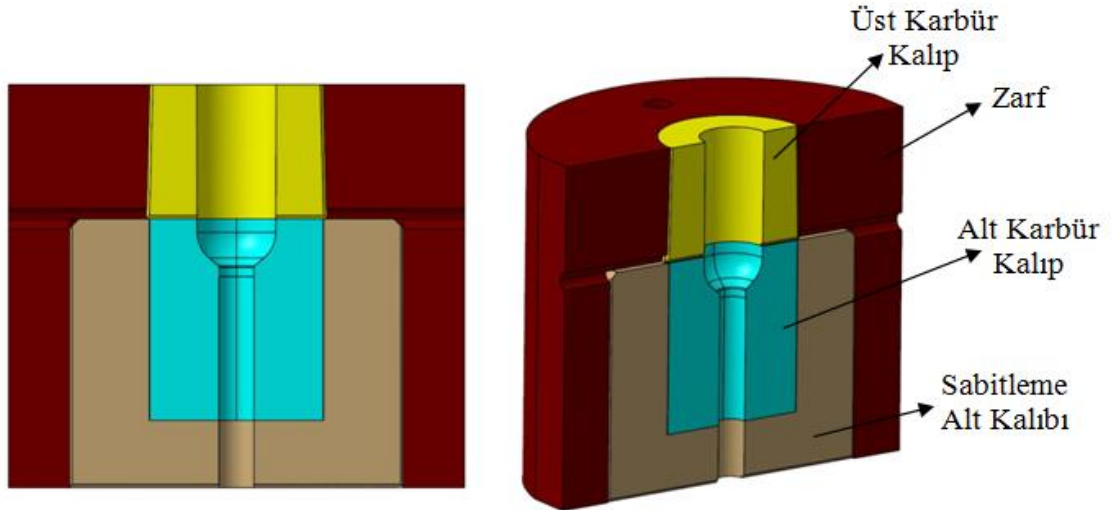
Sıkı geçme işlemlerini de sınırlayan bir diğer parametre ise içteki WC/Co malzemenin basma yönündeki akma noktası ile dıştaki zarf malzemenin çekme yönündeki akma noktasıdır(Lee ve diğ. 2002). Soğuk dövme kalıplarında sıkı geçme işlemlerinde asıl dikkat edilmesi gereken durum ise zarf malzemenin çekme yönündeki akma gerilmesidir(Yurtdaş 2017). Soğuk dövmede genel olarak kullanılan DIN 1.2344 malzemesinin maksimum gerilme direnci 1380 MPa civarında olmaktadır(Kılıçaslan ve İnce 2016).

Ekstrüzyon kalıplarının iç formunda bulunan açılı ve radyus tasarımı ekstrüzyon oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genel olarak ekstrüzyon kalıp açısı 5 ile 30 derece arasında değişmektedir. Daha yüksek açılar ve kademeli olarak ekstrüzyon kullanılırken chevron çatlak oluşumlarına dikkat edilmelidir. Bu yüzden çoklu ileri ekstrüzyon tasarımlarının yapılması ekstra özen gerektirmektedir. Genellikle %35'ten az kesit daralması uygulamalarında açılı redüksiyon kalıpları kullanılırken, %35'ten yüksek kesit daralmalarında açılı yerine radyuslu kalıp formu kullanılır ve bu sayede daha düşük ekstrüzyon yüklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ekstrüzyon kalıpları genellikle tungsten karbür (WC-Co) malzemesi ve onu dıştan saran 1.2344 malzemelerinden üretilmektedir. Ekstrüzyon kalıplarında kullanılan sistemin çizimi Şekil 3.10'da gösterilmektedir(Tschaetsch 2006).



Şekil 3.10 İleri ekstrüzyonda kalıp aparat sistemi(Tschaetsch 2006).

Soğuk dövmede kullanılan bir ekstrüzyon kalıbının Cad görseli Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Soğuk dövme kalıbı kesit alınmış şematik gösterimi

3.5 Soğuk Ekstrüzyon Kusurları

Ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilirken birçok kusur oluşabilmektedir. Bu kusurlar birçok farklı etkene bağlıdır. En önemli etkenler yanlış tasarım, sürtünme ve yağlamadır. Bu unsurlar parçanın ekstrüzyon işleminden doğru sonuç ile çıkmasını önemli ölçüde etkilemektedir(Tschaetsch 2006).

Ekstrüzyon sırasında ortaya çıkabilecek ana kusurlar Tablo 3.3’de özetlenmiştir.

Tablo 3.3 Ekstrüzyon esnasındaki kusurlar ve nedenleri(Tschaetsch 2006).

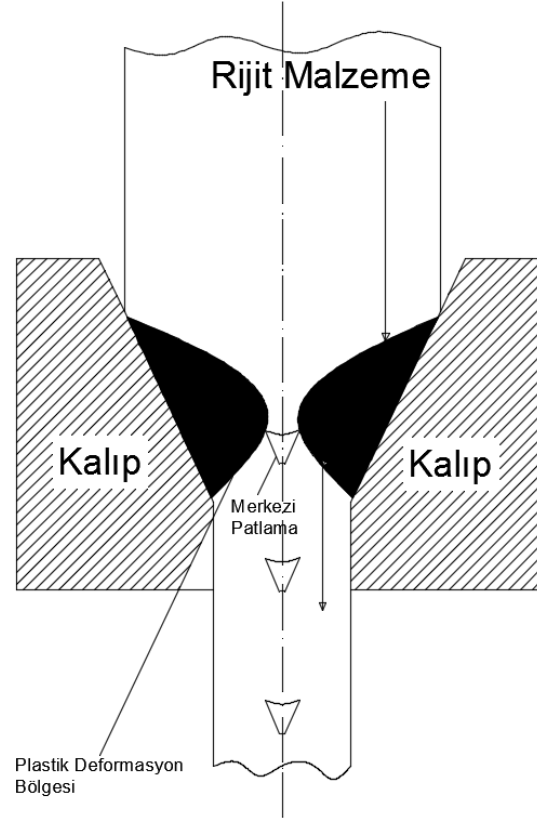
Kusur	Sebebi	Yapılması Gerekenler
İç Yüzey Çatlakları 	Şekil değiştirebilirliğin aşılmasından kaynaklanmaktadır.	Deformasyon iki işleme ayrılmalıdır ve aralarında tavlama yapılmalıdır.
Kayma çatlakları 45 °nin altında 	Deformasyon, ayar işlemi sırasında aşıldı (yığıma) - Kesin bir kütük üretmek için ekstrüzyondan önce işlem yapılmalıdır.	Daha büyük bir başlangıç çapı seçilmelidir.
Dış yüzey çatlakları 	Yanlış yağlama. Ekstrüzyon sırasında kalıptan kaçamayan çok fazla sıvı yağlama maddesi, yağlama maddesinin patlamasına neden olur. Bu çatlaklara neden olur.	Daha az yağlayıcı sıvı kullanılmalıdır.

Bu temel kusurların dışında karşılaşılabilecek birden fazla ekstrüzyon kusuru mevcuttur. En önemli kusurlardan biri malzemenin şekillendirilmesi göz önüne alınmadan yüksek ekstrüzyon oranına maruz bırakılmasıdır. Bunun sonucunda da malzeme üzerinde kırılmalar gerçekleşmektedir.

3.5.1 Chevron Çatlakları

Bir diğer önemli görülen ekstrüzyon kusuru ise chevron çatlağıdır. Ekstrüzyon oranının küçülmesi ve kalıpta ekstrüzyon yüzeyinin artması ile birlikte

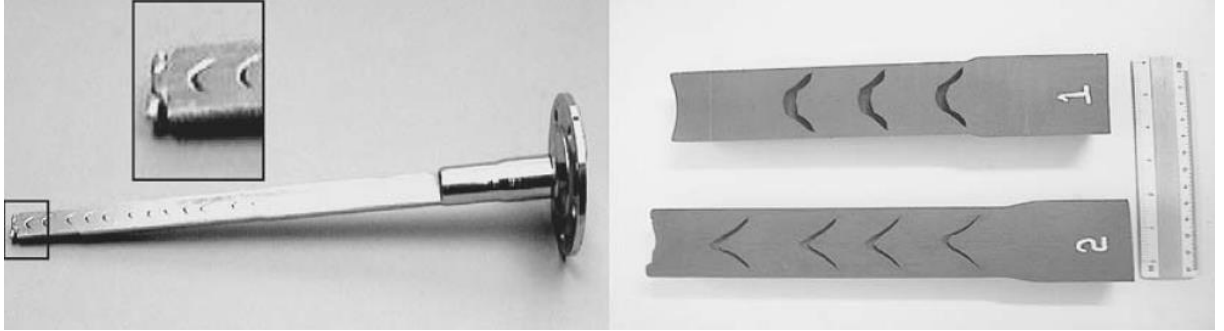
kalıp matris bölgesinde ikincil çekme gerilmelerinin oluşmasına yol açmaktadır ve bu gerilmeler ile birlikte malzeme içerisinde ok formunda çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlak türüne chevron çatlağı denilmektedir. Chevron çatlağı oluşum gösterimi Şekil 3.12’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Chevron çatlağı oluşumu gösterimi

Chevron çatlakları kalıp içinde plastik deformasyonun oluşması esnasında Şekil 3.12’de görüleceği gibi iki plastik deformasyon bölgesinin birleşmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu bölgelerin birleşmemesi ile birlikte malzeme içerisinde boşluklar oluşmaktadır. Plastik şekil değişiminin gerçekleştiği matris açısının düşürülmesi ve yüzde olarak kesit düşürülmenin artırılması ile birlikte oluşan ok formu genişlemektedir. Bu kusurun, sürtünme koşullarının ekstrüzyon kalıbındaki deformasyon bölgesi üzerindeki etkisiyle ilişkili olduğu da gösterilmiştir(Dieter ve Bacon 1988). Otomotiv endüstrisinde, bağlantı elemanları dahil olmak üzere birçok şaft ve şaft benzeri bileşen ileri ekstrüzyon ile üretilmektedir. Bu bileşenlerin bazıları araç güvenliği için kritiktir ve hatasız olmalıdır. Bu kusurlar, turlar veya çatlaklar

gibi görünür dışsallar veya chevron çatlama gibi görünmeyen iç kusurlar olabilir(Hannan ve Altan 2000). Chevron çatlaklarının üretim esnasında bir numunede oluşmuş görüntüsü Şekil 3.13'te gösterilmektedir. Küresel kalıplar bazen güvenlik parçalarının ekstrüzyonu için kullanılır, çünkü köşeler çevresinde daha düzgün tane akışı sağlamakta ve net şekilli yüzeylerde gelişmiş boyutsal kontroller sağlamaktadırlar. Bu nedenle, ekstrüzyonda chevron çatlaklarının oluşumunu küresel kalıplarla incelemek daha faydalıdır(Altan ve diğ. 2004).



Şekil 3.13 Chevron çatlaklarının oluşumu(Hannan ve Altan 2000)

3.6 Soğuk Dövme ile Bağlantı Elemanları Üretiminde Sonlu Elemanlar Yöntemlerinin Kullanılması

Sonlu elemanlar yöntemlerinin tarihçesine bakıldığında 1950 yıllarında, bilgisayarlarında hızlı olarak gelişmesiyle birlikte ilk kullanımı inşaat mühendisliğinde yapılmıştır. Denemelerin ardından, dayanılan ve karşılaştırılan esaslarında birbirlerine yüksek derecede yakın olmasından dolayı akışkanlar mekaniği, uçak mühendisliği, termal analizler ve daha birçok mühendislik alanında kullanılması hızla artmıştır(Fahjan). Günümüzde ise, sonlu elemanlar yönteminin bilgisayarlarda uygulanması ile birlikte hemen her problemin istenilen parametrelerde çok yaklaşık sonuçlar elde edilmektedir.

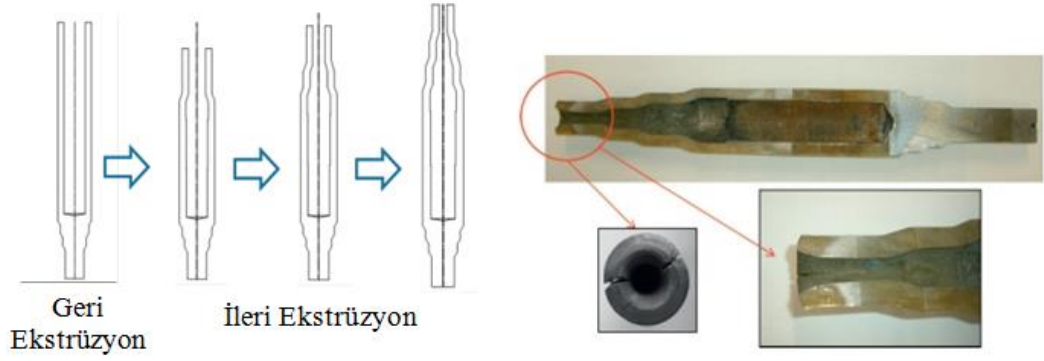
Sonlu elemanlar yönteminin soğuk şekillendirmede kullanılmaya başlamasının ardından, sonlu elemanlar yöntemi bağlantı elemanları üretiminde de önemli bir yer edinmiştir. Bağlantı elemanları üretiminde sayısal benzetim yöntemlerinin kullanılması ile yapılan uygulamalar ile ortaya birçok çalışmalar çıkmış ve bu çalışmalar doğrultusunda yüksek verimler elde edilmiştir.

Soğuk şekillendirme ile bağlantı elemanları üretiminde çoğunlukla geçmişten gelen deneme-yanılma yöntemi ile elde edilmiş bilgiler kullanılmaktadır. Fakat günümüz teknolojilerinin de gelişmesiyle birlikte farklı parçalarla karşılaşıldığında yeni ve ilk kez yapılan tasarımın doğruluğu öngörülemezdir. Bu durum ile doğru orantılı olarak seri üretime geçilen süre uzamakta ve kalıpların dayanımları net olarak tahmin edilememektedir.

Soğuk şekillendirme proseslerinde sayısal benzetim yöntemlerinin kullanılması ile birlikte bu gibi durumların önüne geçebilmek mümkündür. Böylelikle yeni tasarım sürecinde kalıp içerisindeki malzemenin tanecik akışları, gerilim ve gerinim değerleri, temas ve termal özellikleri, üretimi için gerekli olan yükleri hesaplanabilmektedir

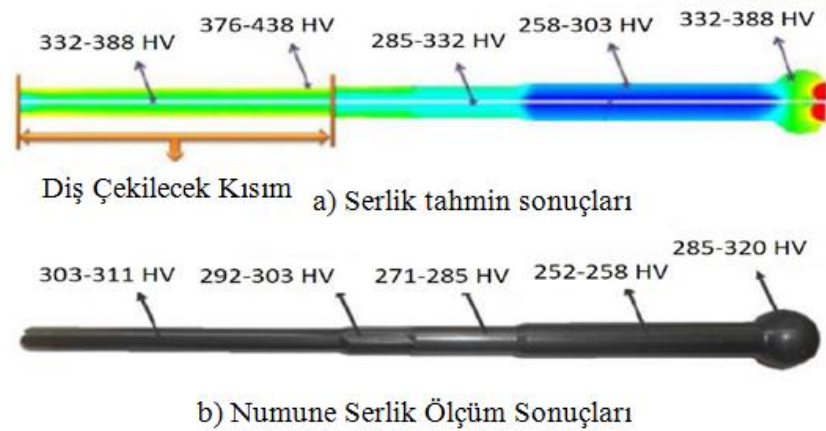
Ar-Ge çalışmalarında edinilen bilgi ve deneyim ile ürün malzemesi ve kalıp analizleri etkin bir şekilde yapılmaktadır. Metal şekillendirme işlemlerinde sayısal benzetim yöntemiyle yapılan uygulamalarda gerek son ürüne oluşabilecek hasarlar, gerilimler, sertlik dağılımları gerekse kalıp ömür tahminleri yapılabilmektedir. Bu gibi parametrelerin ölçümlerinin ve tahminlerinin yapılması için gerekli maliyetler göz önüne alındığında deneme-yanılma yöntemiyle üretimi benimsemek yerine sayısal benzetim ve sonlu elemanlar yöntemi bu açıdan büyük bir önem kazanmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan simufact.forming analiz programı bu işlemleri hızlı ve daha kolay hale getirmektedir. Sayısal benzetim yöntemiyle soğuk dövme uygulamalarının yapıldığı bir çalışmada simufact.forming analiz programındaki sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasında %5-10 arasında sapmalar olduğu gözlemlenmiştir (Erbil ve İnce 2010). Buradaki sapmalarda girilen verilerin bazılarının çözüm süresini kısaltması için basitleştirilmesinden kaynaklanabilmektedir.

Watanabe ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada içi boş bir milin ileri ekstrüzyonunda gerçek kırılma ve simülasyon sonuçlarını eşleştirmişlerdir. Sünek kırılmanın tahmininin doğruluğunu geliştirmek ve sünek kırılmayı bağımsız olarak öngörebilmek için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmadaki gibi karmaşık şekilli bir parçanın sünek kırılma tahmini için yeni bir denklem ortaya koymuşlardır(Watanabe ve diğ. 2014). Yapılan çalışmada çatlak oluşumunun gösterildiği görsel Şekil 3.14'tedir.



Şekil 3.14 İçi boş milin dövme işlemi ve çatlak oluşumu (Watanabe ve diğ. 2014).

T. Yavuzbarut' un yapmış olduğu tez çalışmasında bağlantı elemanları üretiminde malzeme farklılığı olarak mikro alaşımlı çelikler kullanılmıştır. Bu malzemelerin çok vuruşlu preslerle şekil vermesini sağlayarak ısıl işlem gerektirmeksizin 8.8 standart kalite sınıfında üretimini sağlamayı amaçlanmıştır. Çalışmada birçok malzeme denemesi yaparak bunları sonlu elemanlar analiz programıyla desteklemiş ve gerçek üretimle karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde ettiği veriler ile mikro alaşımlı çelikler ile ısıl işlemsiz 8.8 standart kalite sınıfında bağlantı elemanı üretimi yapılmıştır(Yavuzbarut 2018). Yapılan çalışmada simülasyon ile üretim numularının sertlik ve gerilme açısından sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 3.15'de gösterilmiştir. İncelenen değerlere göre gerçekleştirilen üretim sonuçları ile sonlu elemanlar yazılım programında alınan değerlerin birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

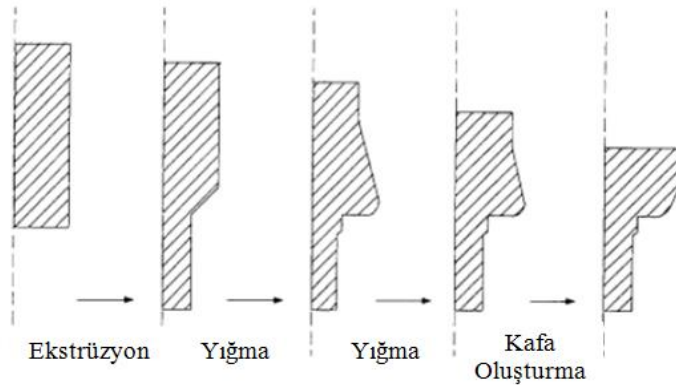


Şekil 3.15 Simülasyon ile üretim numularının sertlik ve gerilme açısından sonuçlarının karşılaştırılması (Yavuzbarut 2018).

A. Behrens'in yapmış olduğu çalışmada soğuk şekillendirme yöntemi ile üretilen bir parçada sonlu elemanlar benzetim yöntemi kullanarak takım ve iş parçası arasındaki gerilmeleri ve birçok parametreyi ele alarak hesaplamalarını yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü, yağlama, stres konfigürasyonu gibi parametrelerle birlikte sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analizlerin gerçeğe çok yakın sonuçlar verdiğini göstermişlerdir(Behrens ve Schafstall 1998)

M Geiger ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ekstrüzyon işlemi sırasında kalıba gelen yükler hesaplanmış ve bu yüklerin azaltılabilmesi için kalıp şeklini değiştirerek farklı optimizasyonlar ile kalıptaki yorulma direncinin artırılmasını amaçlamışlardır. Yapılan çalışmalarda kalıp formunu değiştirerek kalıba gelen yükleri von mises gerilme dağılımına göre incelemişler ve bu incelemeler neticesinde kalıptaki çatlak başlangıcına karşı direnci önemli ölçüde arttırmışlardır. Bu çalışmaları da simülasyon destekli inceleyip farklılığı net bir şekilde göstermişlerdir(Geiger ve diğ. 1992)

Ravi Duggirala ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada otomotiv parçaları için soğuk dövme işlemlerinde proses değişikliklerinin tasarım optimizasyonu için yeni yöntemler ortaya koymuşlardır. Bu sayede şekillendirme ön deformasyon sırasında gerilme kırılmalarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Bunu çalışmalarında bilgisayar destekli mühendislik teknikleri kullanarak malzeme akışı ve kalıp gerilmelerinin anlaşılması için büyük ölçüde başarılı olmuşlardır(Duggirala ve diğ.1994). 4 istasyonlu tasarımı optimize edilmiş bir parça Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 4 İstasyonlu bir parçanın soğuk dövme ile ön deformasyonlarının gösterimi (Duggirala ve diğ.1994)

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Deney Malzemesi

Deney malzemesi olarak EN 10263-4 standardına göre 20MnB4 düşük karbonlu çelik kullanılmıştır(DIN-Handbook 2013). Kullanılan çeliğin kimyasal kompozisyonu Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 EN 10263-4 20MnB4 malzemesinin yüzdesel kimyasal kompozisyonu (Ağırlıkça %)

Çelik Adı	Çelik Numarası	C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Cu max	B
20MnB4	1.5525	0,18-0,23	<0,30	0,9-1,2	0,025	0,025	<0,30	0,25	0,0008-0,005

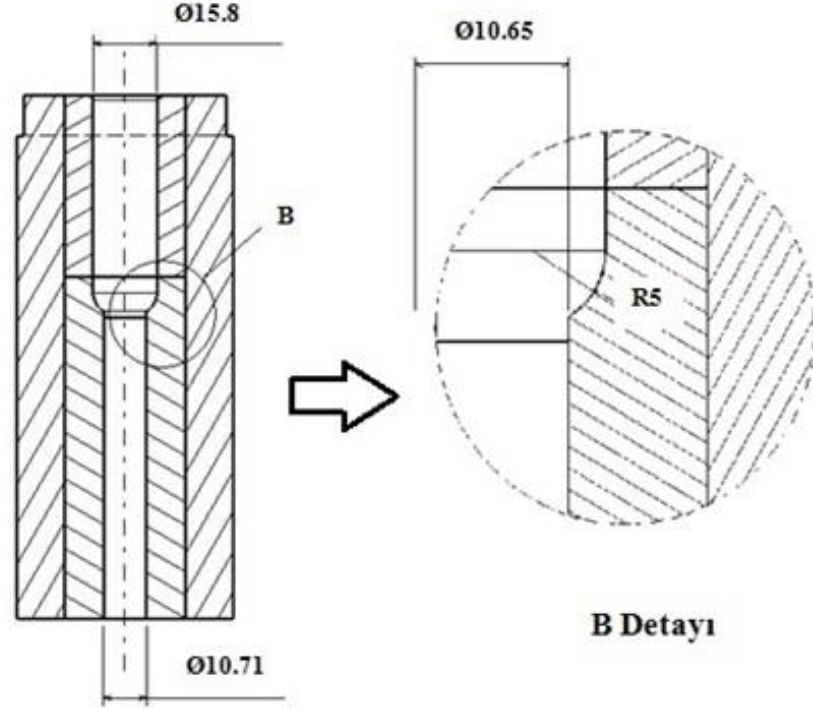
4.2 Ekstrüzyon Kalıp Tasarımı ve Deney Seti

Deney numunelerinin üretilebilmesi amacıyla %54 oranında kesit daralması ile ekstrüzyon yapılacak olan soğuk dövme kalıpları tasarlanmış ve oda sıcaklığında deney gerçekleştirilmek üzere çok vuruşlu yatak pres makineleri kullanılarak deney seti oluşturulmuştur. Pres makinesinin krank çapı 210 mm, biyel kol uzunluğu 495 mm, devri ise 55 dev/dk.’dır.

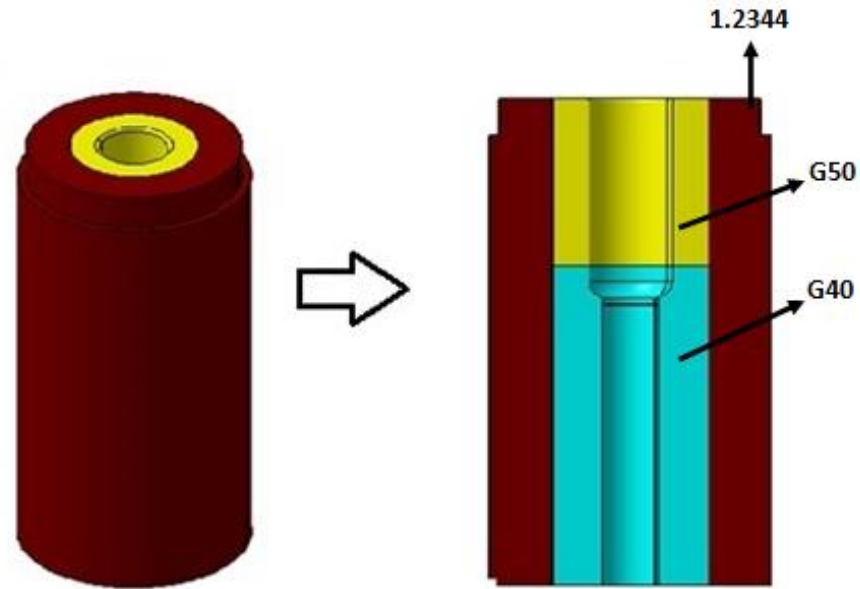
4.2.1 Kalıp Tasarımı

Ekstrüzyon kalıpları tasarımında Autocad ve Catia olarak bilinen Cad programları kullanılmıştır. Kalıp yapımında ise 3 farklı kalıp geometrisi kullanılmıştır. Birinci kalıp malzemesi, tungsten karbür malzemesinin G50 ve G40 tipleridir. Diğer kalıp malzemesi, X40CrMoV5-1 olarak da bilinen 1.2344 sıcak iş takım çeliğidir.

Ekstrüzyon kalıplarının üretiminde üç farklı numune-kalıp geometrisi kullanılmıştır. Sırasıyla kullanılan radyüslü, açılı, radyüs-açılı kalıpların katı modelleri ve teknik resimleri Şekil 4.1-4.3'te gösterilmektedir.

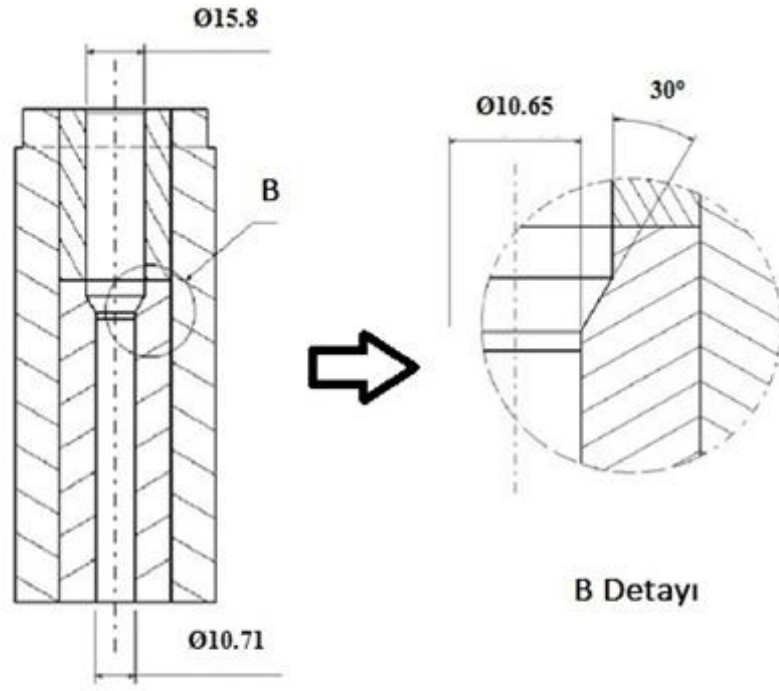


(a)

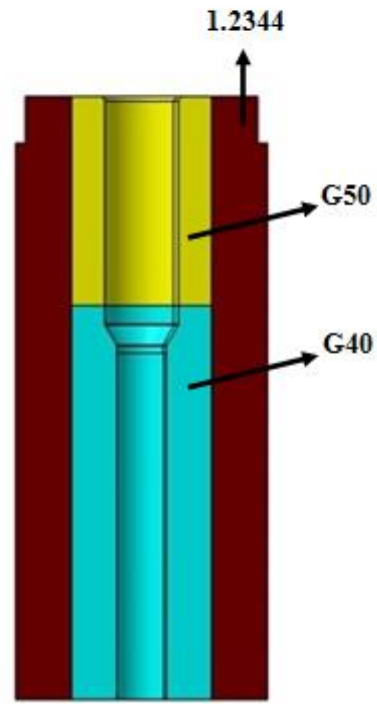


(b)

Şekil 4.1 Radyüslü ekstrüzyon kalıbının şematik gösterimi a) Teknik resim
b) Katı model

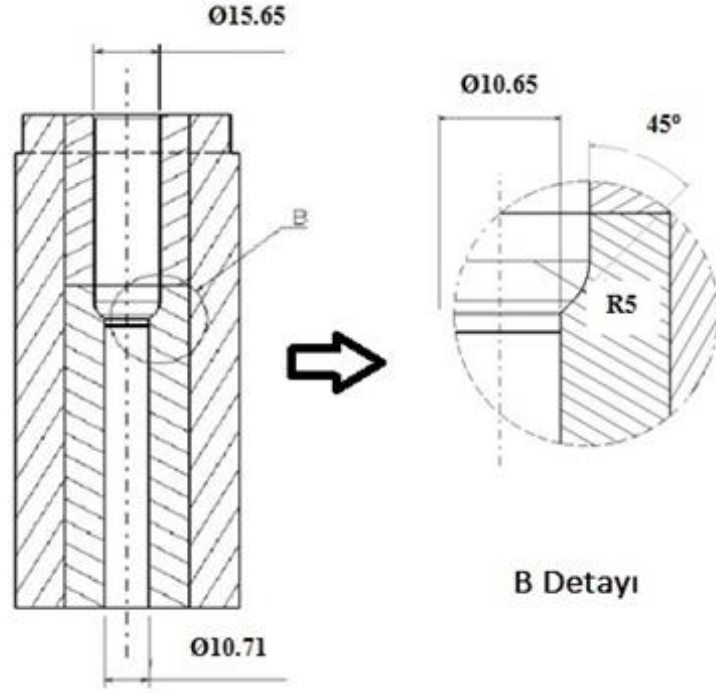


(a)

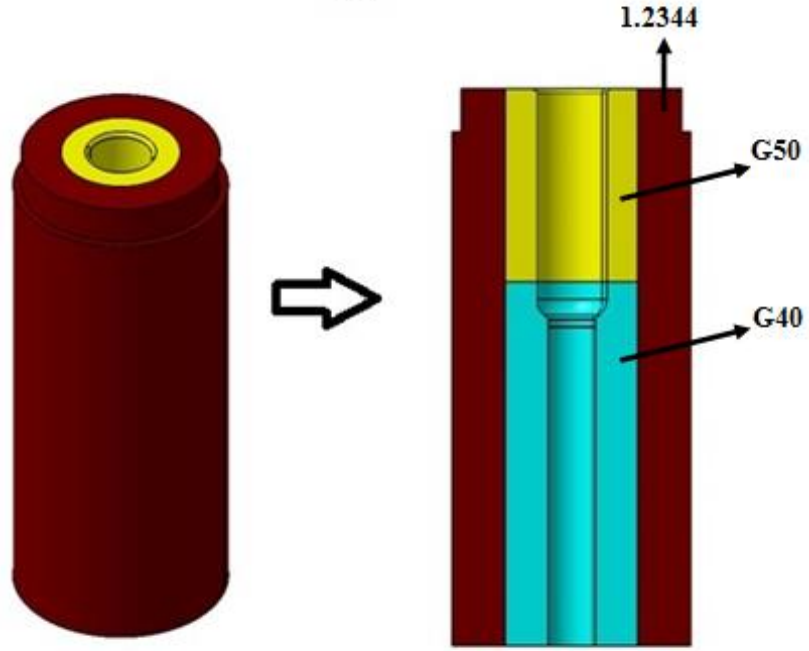


(b)

Şekil 4.2 Açılı ekstrüzyon kalıbının şematik gösterimi a) Teknik resim b) Katı model



(a)



(b)

Şekil 4.3 Radyus-açılı ekstrüzyon kalıbının şematik gösterimi a) Teknik resim b) Katı model

Farklı kalıp-numune form geometrilerine sahip olarak üretilen ekstrüzyon kalıpları ve deney seti Şekil 4.4'te verilmiştir.



(a)



(b)

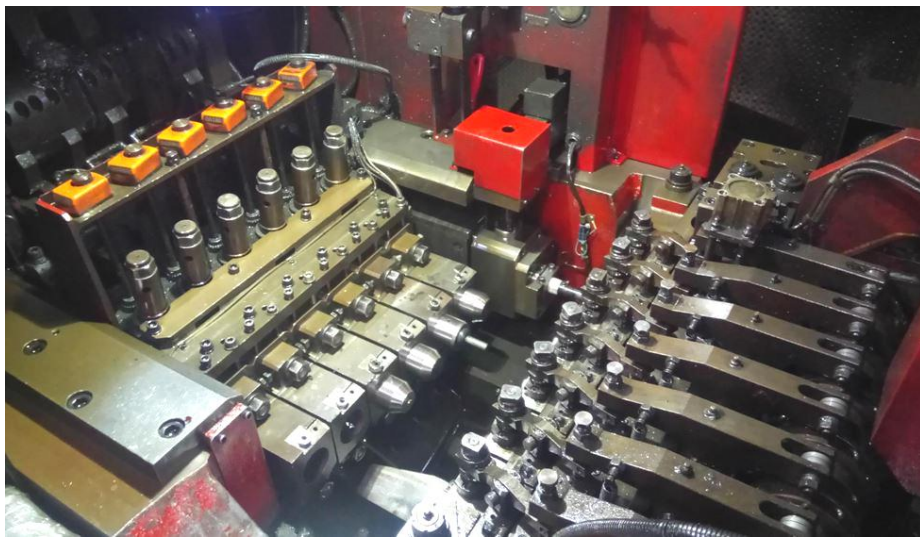


(c)

Şekil 4.4 Üretilen ekstrüzyon kalıpları ve deney kalıp seti (a) Farklı forma sahip ekstrüzyon kalıpları (b) Üretimi yapılmış ekstrüzyon kalıbının kesiti (c) Numune üretiminde kullanılan deney kalıp seti

4.2.2 Deney Seti

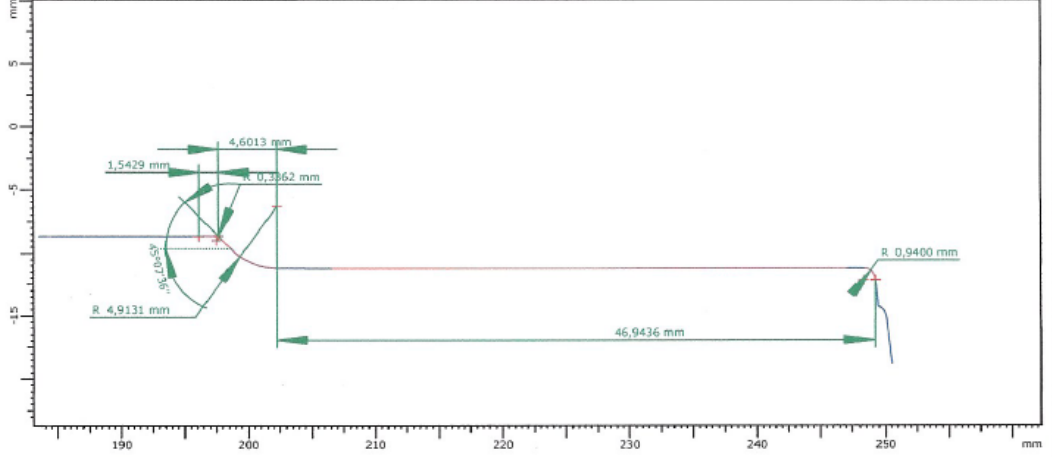
Deney numunelerinin üretiminde, bağlantı elemanlarının üretiminde geleneksel olarak kullanılan çok vuruşlu dövme presleri kullanılmıştır. Deney numunelerinin üretiminde kullanılan deney seti Şekil 4.5 'te verilmiştir.



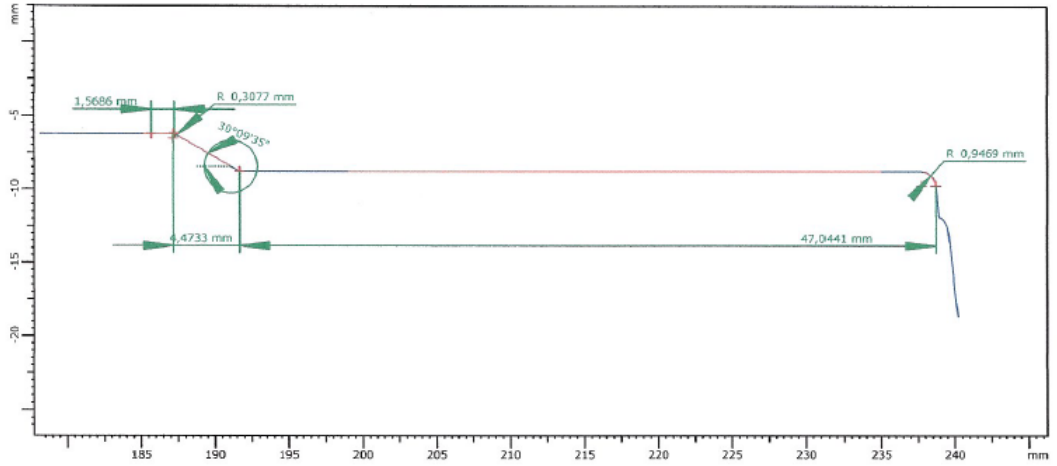
Şekil 4.5 Numune üretiminde kullanılan deney seti

4.2.3 Kalıp Formlarının Ölçüm Raporları

Üretimi gerçekleştirilmiş olan ekstrüzyon kalıplarının geometrik form doğruluğunun kontrolü için MahrWin ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm raporlarından alınan verilere göre ölçüm değerleri Şekil 4.6-4.7 'de gösterilmektedir.



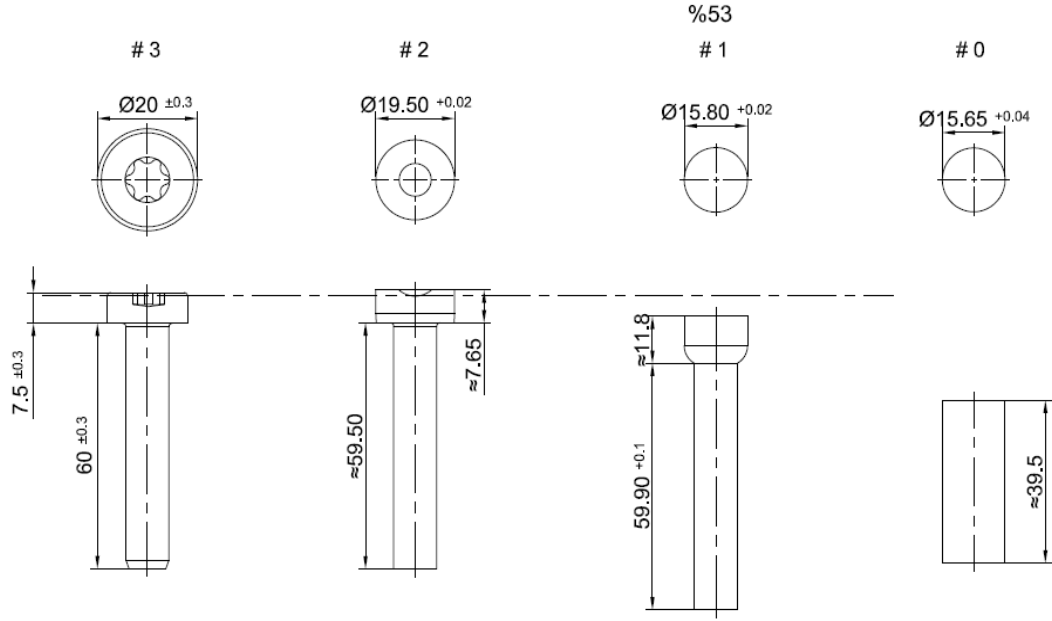
Şekil 4.6 Radyus ve açılı olan kalıbın geometrik form ölçümü



Şekil 4.7 Açılı olan kalıbın geometrik form ölçümü

4.2.4 Deney Numuneleri

Çok vuruşlu yatay preslerde üretimi yapılan setin operasyon adımları Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Üretim prosesini daha anlaşılır hale getirmek amacıyla her istasyonda elde edilen numune resimleri Şekil 4.9'de verilmiştir.



Şekil 4.8 Deney seti operasyon adımları



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.9 Farklı ekstrüzyon kalıp-numune formlarına göre üretimi yapılan numunelerin görüntüleri (a) Radyuslu ekstrüzyon kalıbı kullanılan (b) Açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan (c) Radyus ve açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan

Farklı kalıp-numune formlarına sahip ekstrüzyon numunelerinin bitmiş hal görüntüleri Şekil 3.10 'da verilmiştir.



Şekil 4.10 Farklı ekstrüzyon numuneleri (a) Radyuslu ekstrüzyon numunesi (b) Açılı ekstrüzyon numunesi (c) Radyus ve açılı ekstrüzyon numunesi

4.3 Metalografik İnceleme

Kalıp-numune form özelliklerinin etkisini belirlemek amacıyla her bir istasyondaki tüm deney numunelerinin metalografik incelemeleri yapılmıştır. Metalografik inceleme yapabilmek için numuneler HCl (Hidroklorik asit ile kaynatılarak dağlanmıştır. Nikon marka stereo mikroskop ile görüntüler elde edilmiştir

4.3.1 Sertlik Deneyi

Sertlik testlerinin daha net gerçekleştirilmesi için her bir istasyondaki tüm deney numunelerine sertlik deneyi yapılmıştır.

Standart yüzey zımpara, parlatma ve dağlama işlemlerinin ardından emcoTEST DuraScan marka sertlik cihazı ile numune yüzeylerinden HV1 cinsinden sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Bakalit alınmış numuneler Şekil 4.11’da verilmiştir.



3.İstasyon

2.İstasyon

1.İstasyon

Saplama

(a)



3.İstasyon

2.İstasyon

1.İstasyon

Saplama

(b)



3.İstasyon

2.İstasyon

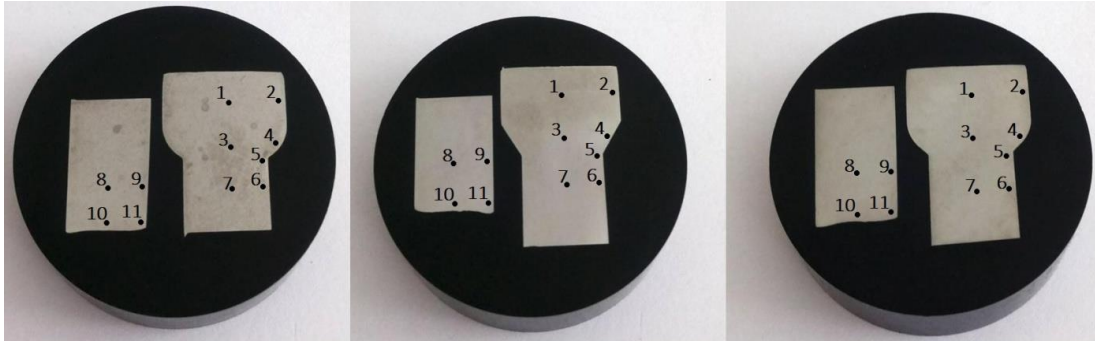
1.İstasyon

Saplama

(c)

Şekil 4.11 Farklı ekstrüzyon kalıplarına göre üretimi yapılan numunelerin bakalit alma işlemi (a) Radyuslu ekstrüzyon kalıbı kullanılan (b) Açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan (c) Radyus ve açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan

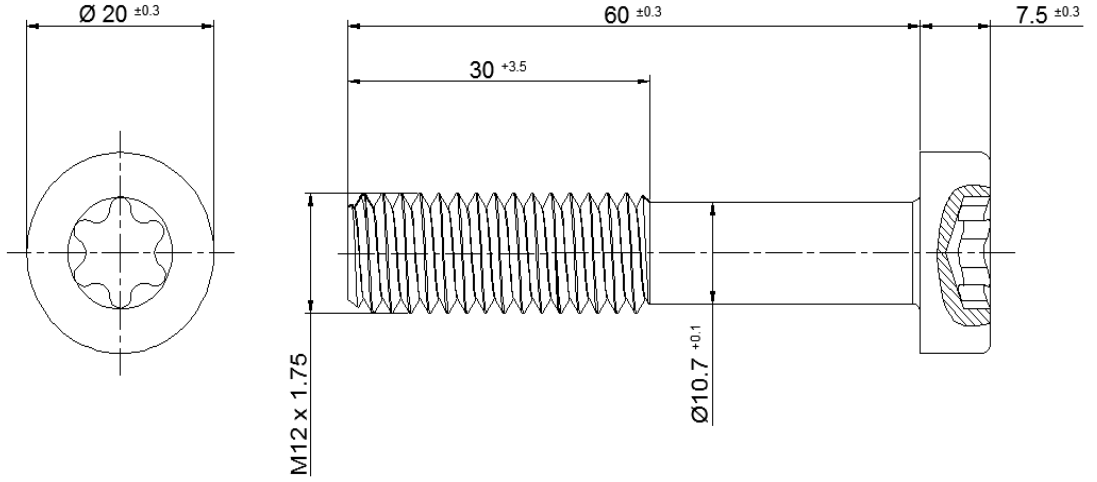
Sertlik ölçüm bölgeleri deney sıralaması Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12 Farklı ekstrüzyon kalıplarına göre üretimi yapılan numunelerin bakalit üzerinde sertlik ölçüm noktaları (a) Radyuslu ekstrüzyon kalıbı kullanılan (b) Açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan (c) Radyus ve açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan

4.3.2 Çekme Deneyi

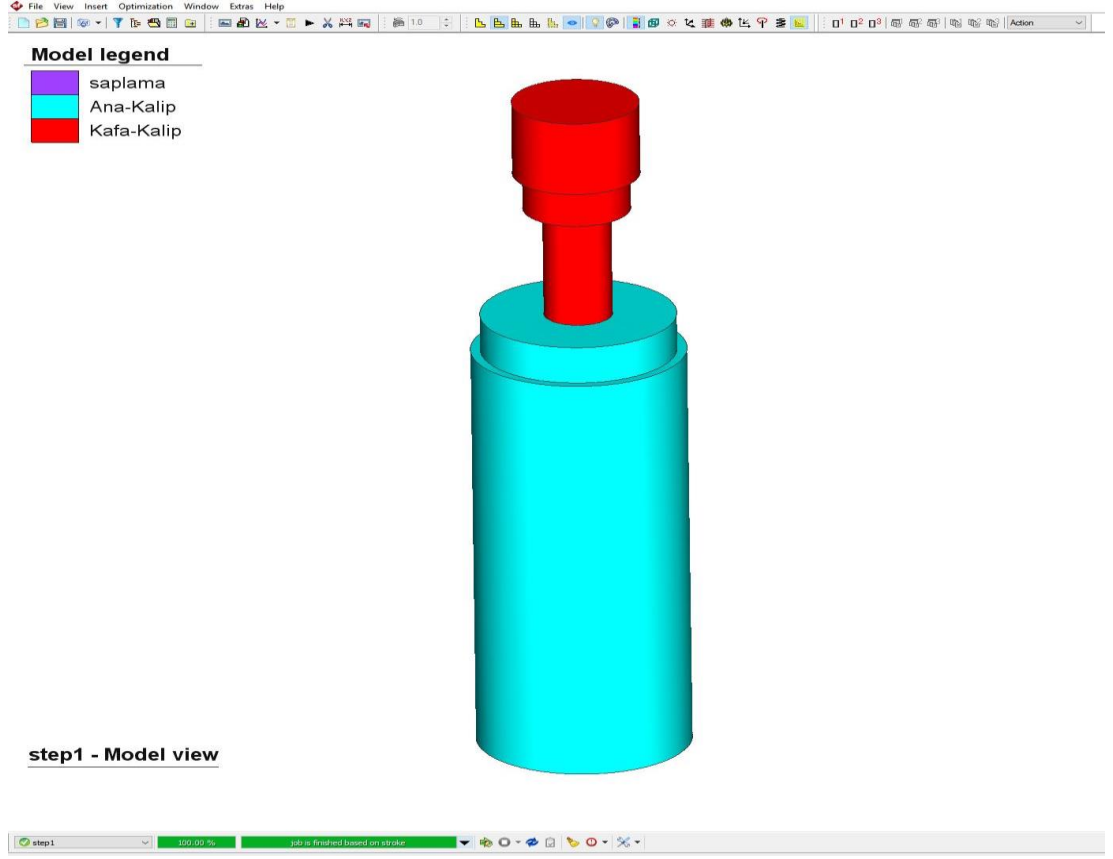
Çekme testleri Zwick/Roell Z250 marka 250 KN çekme ve basma kapasitesine sahip test cihazında gerçekleştirilmiştir. Üç numune deneye tabi tutulmuştur. Çekme testinde kullanılan numune ölçüleri Şekil 4.13’de verilmiştir.



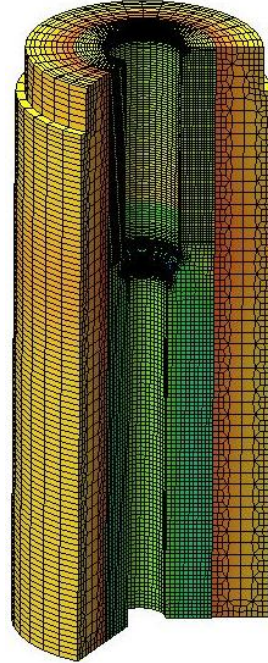
Şekil 4.13 Numune teknik resmi

4.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Optimizasyon Çalışmaları

DeneySEL sonuçları optimize etmek amacıyla simufact.forming sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Şekil 4.15 ‘te gösterilen kalıp ve numune modellerinde kalıpta toplam 2067 adet, numunede toplam 1170 adet quads tipi mesh elemanı kullanılarak nümerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar programında deney setinin parametreleri deney seti konusunda belirtildiği gibi birebir yazılarak nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde soğuk ekstrüzyon gerçekleştirildiği için analizde oda sıcaklığındaki veriler kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yazılımında, numune formlarının stres dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aynı kalıplara gelen yüklemeler değerlendirilmiştir. Kullanılan yazılımın ara yüz görünümü Şekil 4.14’deki gibidir.



Şekil 4.14 Simufact.forming arayüzü



Şekil 4.15 Kalıpların mesh modeli

5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1 Metalografik Sonuçlar

Üretimi yapılan deney numunelerinin makro görüntüleri sırasıyla Şekil 5.1 'de gösterilmiştir.



(a)



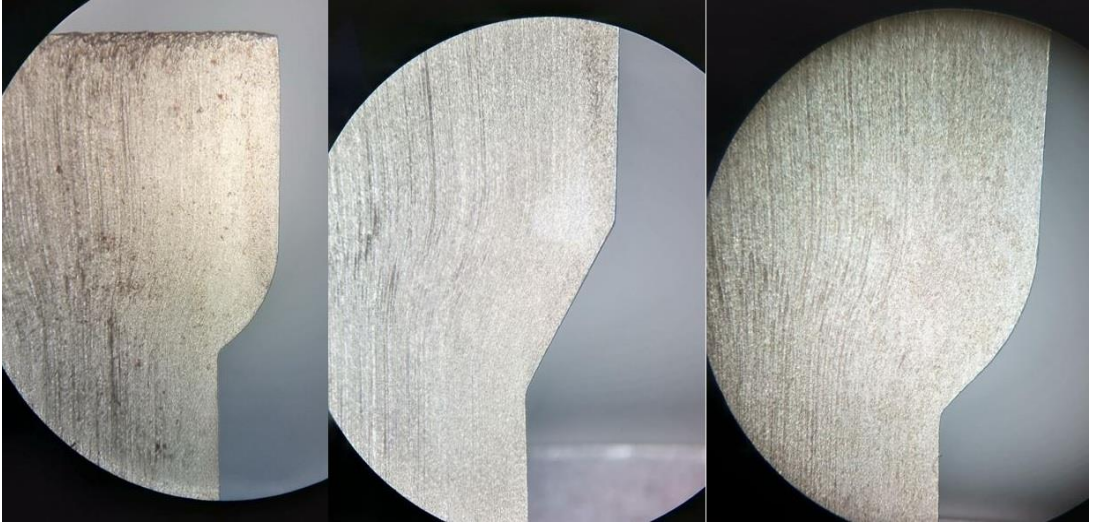
(b)



(c)

Şekil 5.1 Farklı ekstrüzyon kalıplarına göre üretimi yapılan numunelerin makro görüntüleri (a) Radyuslu ekstrüzyon kalıbı kullanılan (b) Açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan (c) Radyus ve açılı ekstrüzyon kalıbı kullanılan

Farklı kalıp-numune formlarına sahip ekstrüzyon numunelerinin bitmiş makro görüntüleri Şekil 5.2 'de verilmiştir.



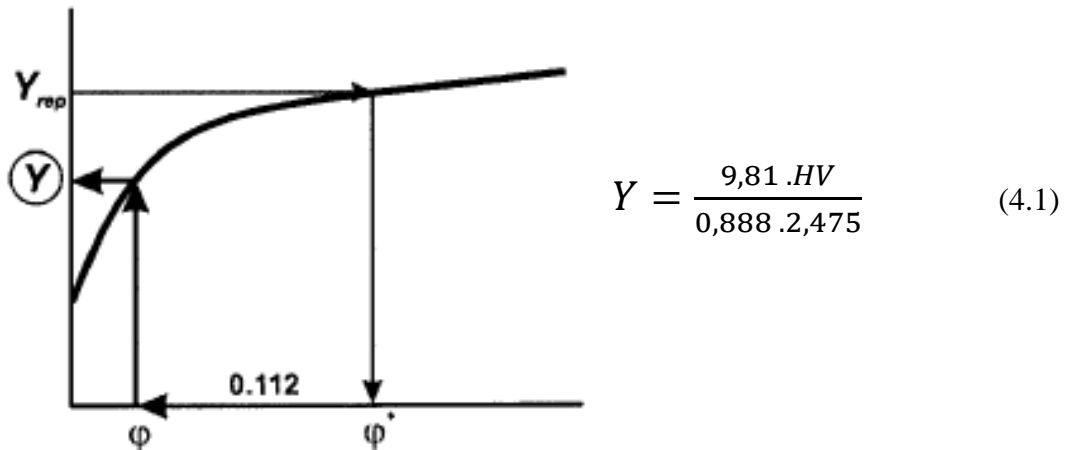
Şekil 5.2 Farklı ekstrüzyon kalıplarına göre üretimi yapılan ekstrüzyon numunelerin makro görüntüleri

Kalıp form özelliklerinin ekstrüzyon akış özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla üretilmiş olan numuneler makro dağılama yapılarak akış formları incelenmiştir(Şekil 5.1- Şekil 5.2).

Şekil 5.2 incelendiğinde ekstrüzyon akış hattının sürekliliğinin en iyi radyus-açılı numunesinde elde edildiği görülmektedir. Bu süreklilik rad-açı numunesinin diğer numunelere göre ekstrüzyon sırasında daha uniform bir kuvvete maruz kalması ile açıklanabilir. Akış hattında meydana gelen bu süreklilikler bu bölgede gerilim yığılmalarında da sebep olmaktadır.

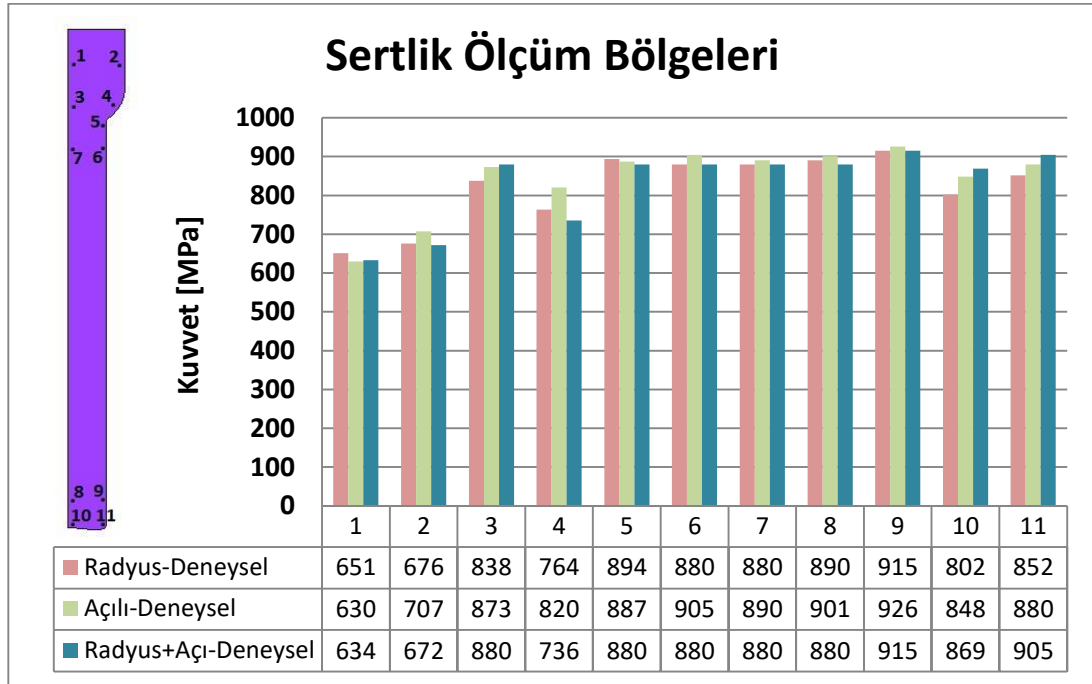
5.1.1 Sertlik Sonuçları

Kalıp form özelliklerinin ekstrüzyon işlemi uygulanan mamül özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla ekstrüze edilmiş numune üzerinden on bir farklı bölgeden (nokta) sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinden elde edilen HV1 sertlik sonuçları E.Tekkaya'nın deneysel olarak yapmış olduğu çalışmaları ile elde ettiği formül kullanılarak bu değerler akma dayanımlarına (MPa) çevrilmiştir(Tekkaya 2000). Kullanılmış olan formül ve tablo Şekil 5.3 'de verilmiştir. Tablodan alınan verilerin formüle çevrilmiş hali 4.1'deki gibidir.



Şekil 5.3 Soğuk şekillendirilmiş parçaların akma dayanımlarının akış eğrisi kullanılarak belirlenmesi (Tekkaya 2000)

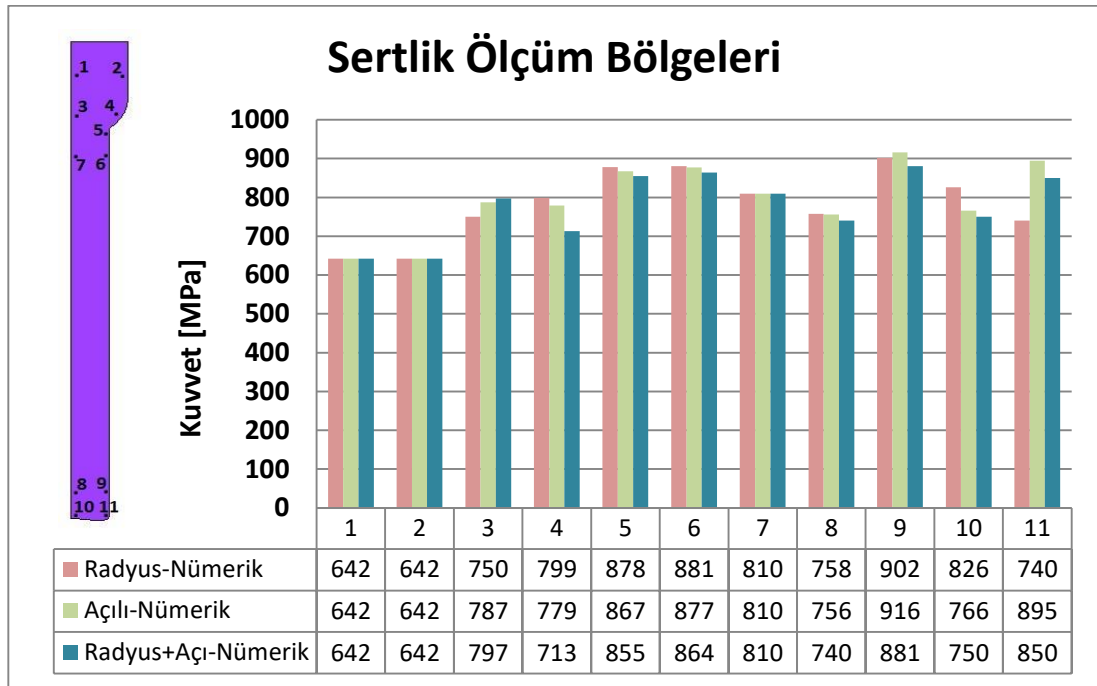
Deneyisel olarak alınmış sertlik sonuçlarından elde edilen akma dayanımları Şekil 5.4’de verilmiştir.



Şekil 5.4 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin deneysel olarak incelenmesi

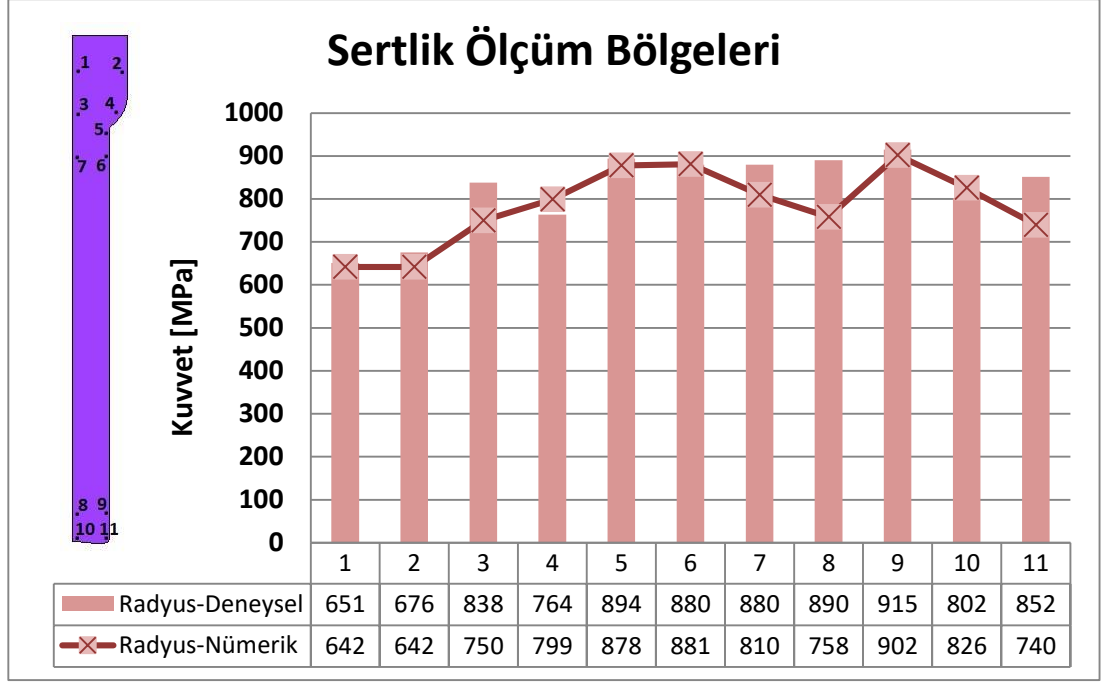
Şekil 5.4 ‘ten de açıkça görüleceği üzere kalıp formu, oluşan sertliği diğer bir ifadeyle pekleşme oranını doğrudan etkilemektedir. Kesit daralmasının başlangıç ve bitiş noktaları göz önüne alındığında en düşük akma dayanım değerleri radyus-açılı numunesinde elde edildiği görülmektedir. Diğer bir taraftan bakıldığında ise yüksek akma dayanım değerleri çoğunlukla açılı kalıp numunelerinde elde edilmiştir. Dikkat çekici bir noktada radyuslu ve radyus-açılı numunelerin birçok noktada benzer akma dayanım değerler gösterdiği belirlenmiştir. Akma dayanımı üzerindeki bu etki, kalıptaki radyus formunun ekstrüzyon sırasında numuneyi daha iyi yönlendirip numune akışını kolaylaştırıcı bir etkiye sahip olması ile açıklanabilir. Tüm numunelerde 9 numaralı bölgede en yüksek akma dayanım değerleri elde edilmiştir. Bu yüksek değerleri, ekstrüzyon sırasında oluşan kesit daralmasının ilk olarak başladığı nokta olmasına atfedilir. Elde edilen değerleri karşılaştırmak amacıyla simufact sonlu elemanlar yazılımının forming modülü kullanılarak nümerik

çözümlemeler yapılmış ve yaklaşık olarak aynı bölgelerden alınan akma dayanım değerleri Şekil 5.5'te verilmiştir.

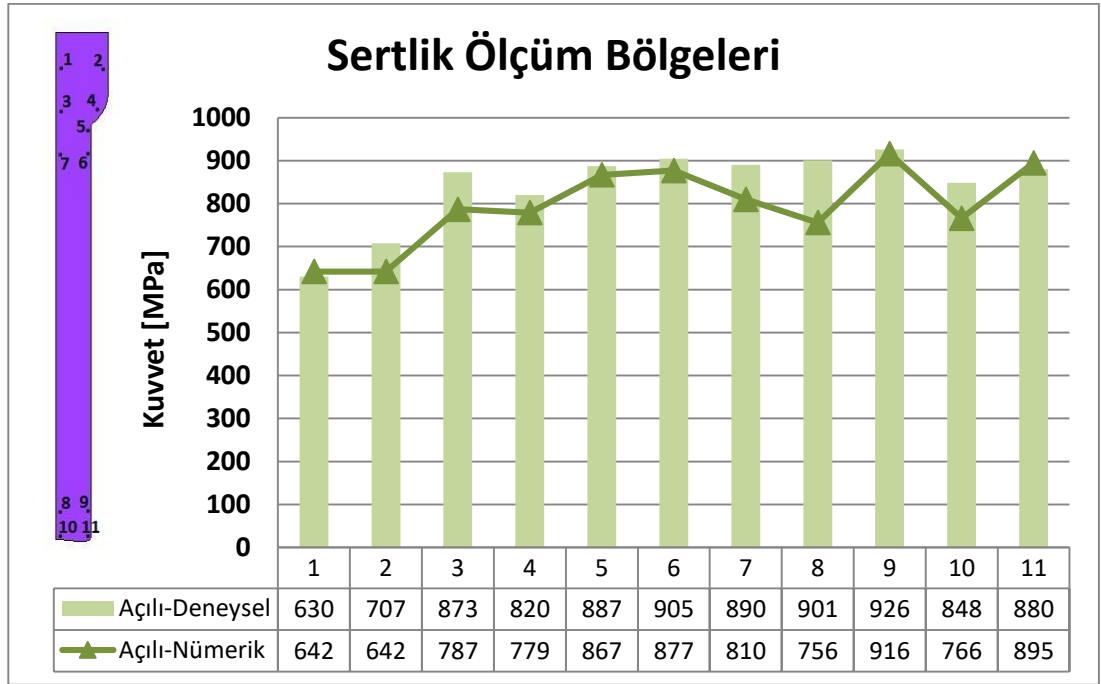


Şekil 5.5 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin nümerik olarak incelenmesi

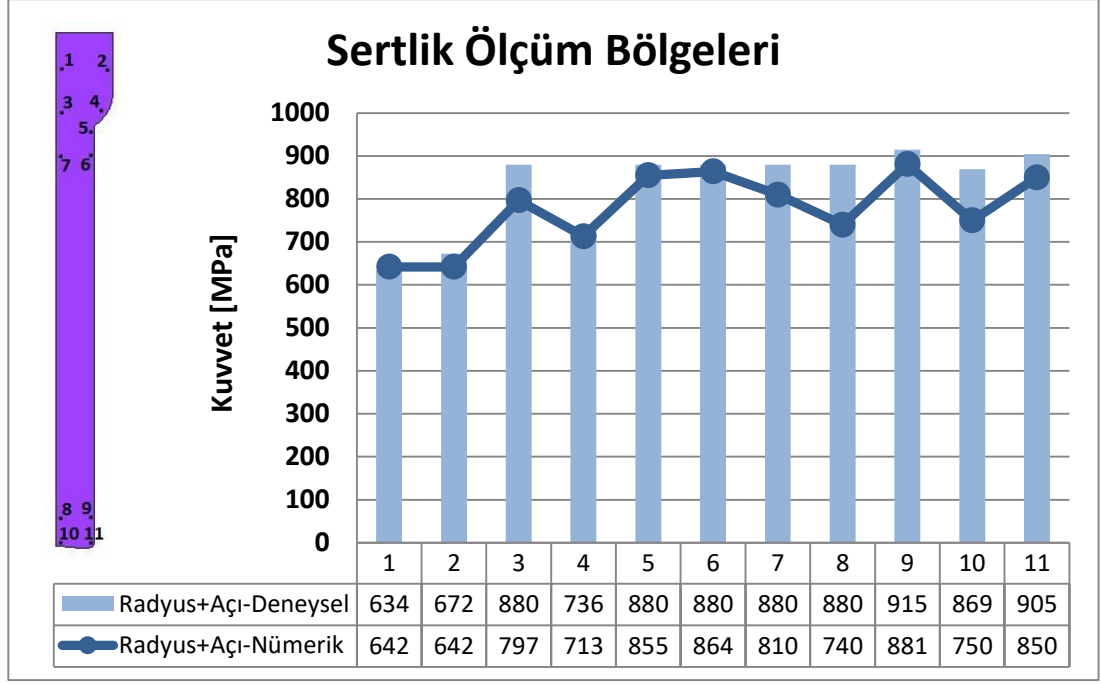
Şekil 5.5 incelendiğinde nümerik sonuçlarda elde edilen verilerin deneysel sonuçlar ile benzer bir eğilim ve yaklaşık değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.5'te de görüleceği üzere nümerik çözümler ile ekstrüzyon sertlik değerleri optimize edilebilir. Nümerik analizdeki sapmalar yapılan meshlemenin kalınlığı ya da inceliği ile açıklanabilir. Nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında 8.bölgede tüm numunelerdeki sapmalar fazla görülmektedir. Sapmanın yükseklik göstermesi mesh boyutundaki farklılıklara ve numunenin deneysel çalışmada kesme işlemi esnasında saplamanın alt ve üst noktalarında ortaya çıkan deformasyon ve pekleşmenin nümerik çözümlerde dâhil edilmediğine dayandırılmaktadır. Tüm numunelerin her birinin kendi içinde deneysel ve nümerik olarak incelemesi Şekil 5.6-5.8'te verilmiştir.



Şekil 5.6 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin radyuslu kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi

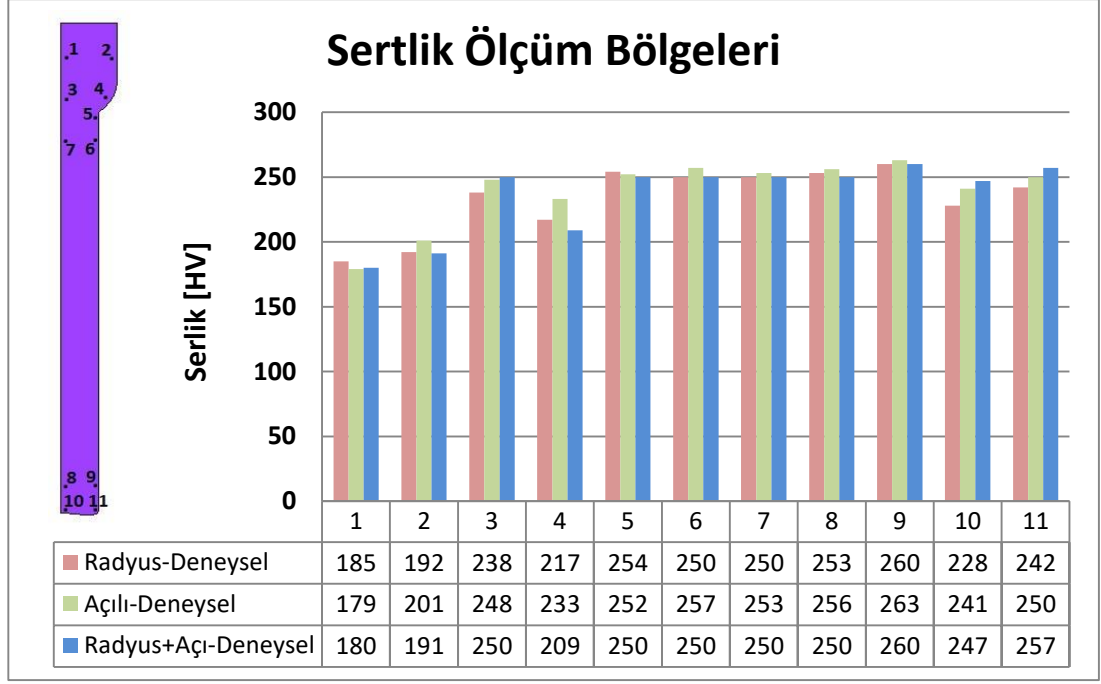


Şekil 5.7 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin açılı kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi



Şekil 5.8 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin radyus-açılı kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi

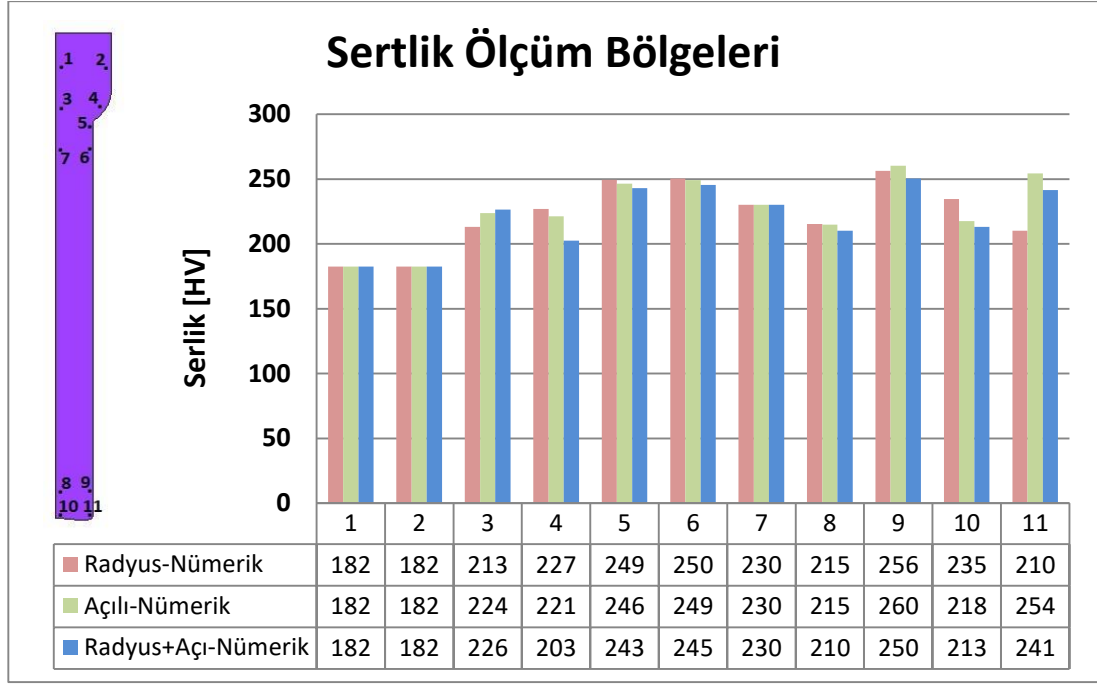
Plastik deformasyon teorilerinde pekleşmenin doğrudan etkilendiği mekanik özellik sertliktir. Kalıp form özelliklerinin ekstrüze edilebilirlik üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla üretimi gerçekleştirilen deney numuneleri üzerinden 11 farklı bölgeden sertlik (HV1) değerleri alınmıştır. Kalıp form özelliklerinin sertlik üzerindeki etkisinin incelendiği grafik Şekil 5.9' da verilmiştir.



Şekil 5.9 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin deneysel olarak incelenmesi

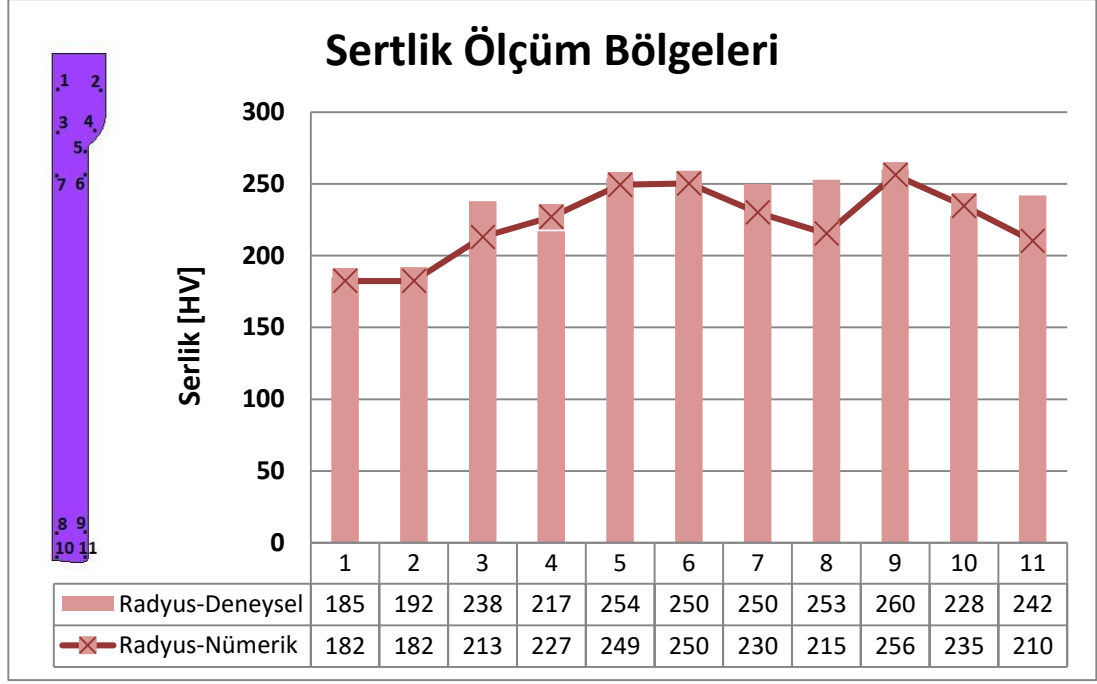
Kalıp form özellikleri ekstrüzyon akış özelliklerini diğer bir ifadeyle sertliği doğrudan etkilemektedir. Tüm numunelerde ekstrüzyonun ilk başladığı bölgelerde en yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Düşük değerlerin çoğunluğu ise radyus-açılı forma sahip numunede elde edildiği belirlenmiştir. Sertlikteki bu farklılık kalıp formunda radyus-açılı eğim kullanılmasının ekstrüzyon esnasında malzeme akışına pozitif bir etki sağlamasına atfedilebilir. Kalıp formunun değişimi pekleşme oranını değiştirmekte ve buda doğrudan ekstrüzyon edilen numunenin sertliğini etkilemektedir.

Deneysel sertlik sonuçlarını optimize etmek amacıyla simufact sonlu elemanlar yazılımında nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizden elde edilen akma dayanım değerleri E.Tekkaya denklemi ile sertlik değerlerine dönüştürülmüştür(Tekkaya 2000). Elde edilen veriler Şekil 5.10’te verilmiştir.

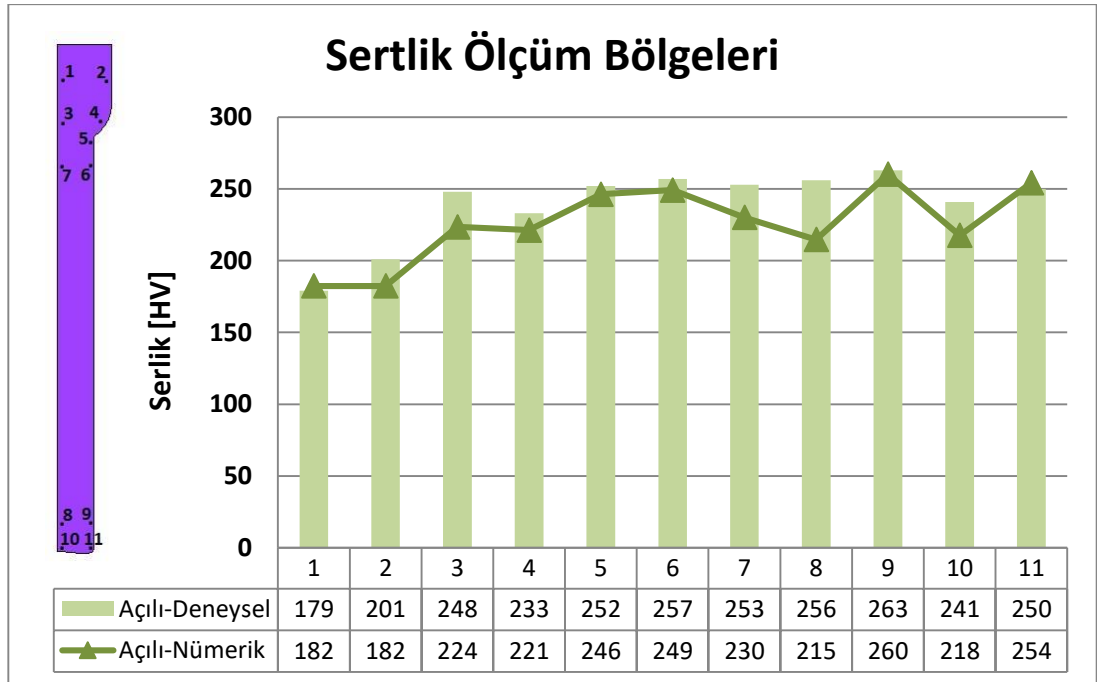


Şekil 5.10 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin nümerik olarak incelenmesi

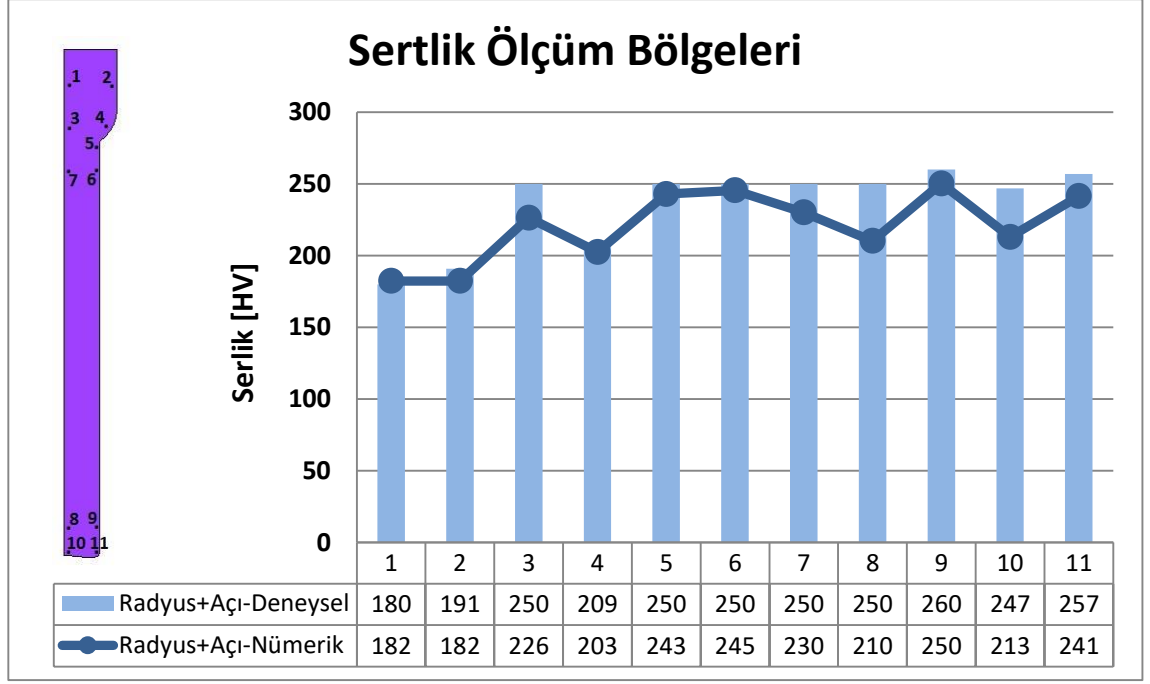
Şekil 5.10 incelendiğinde elde edilen sertlik değerlerinin deneysel sonuçlarda elde edilen veriler ile benzer bir eğilim sergilediği görülmüştür. Tüm numunelerin her birinin kendi içinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi Şekil 5.11-5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.11 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin radyus-açılı kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi



Şekil 5.12 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin radyus-açılı kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi



Şekil 5.13 Sertlik ölçüm bölgelerine göre elde edilen verilerin radyus-açılı kalıp numunesinde deneysel ve nümerik olarak incelenmesi

Deneysel olarak ölçülen sertlik sonuçları ilk nümerik sonuçların yaklaşık %93 oranında tutarlılık gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 5.11-5.13'te görüleceği gibi kalıp form özellikleri ve elde edilen numune sertlik değerleri nümerik analizler kullanılarak optimize edilebilir.

5.1.2 Çekme Deneyi Sonuçları

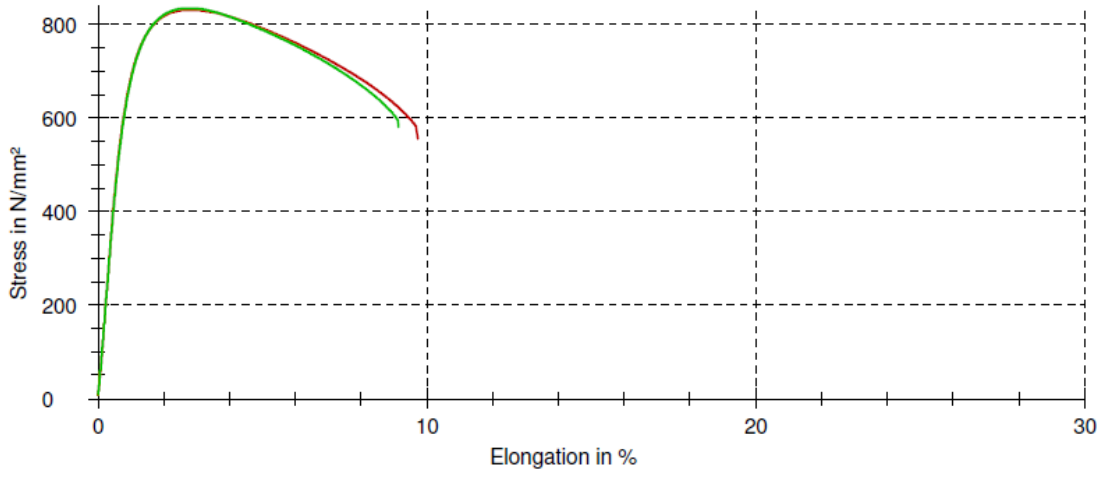
Üç farklı numune ile yapılan çekme deneyinin tablo ve grafik sonuçları Tablo 5.1 ve Şekil 5.15'te verilmiştir. Çekme deneyi uygulanmış numune Şekil 5.14'deki gibidir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde soğuk şekillendirme ile dövme uygulanan numunelerin pekleşme etkisi ile akma mukavemetlerinin de artışı net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.14 Çekme deneyi numunesi

Tablo 5.1 Çekme deneyi test sonuçları

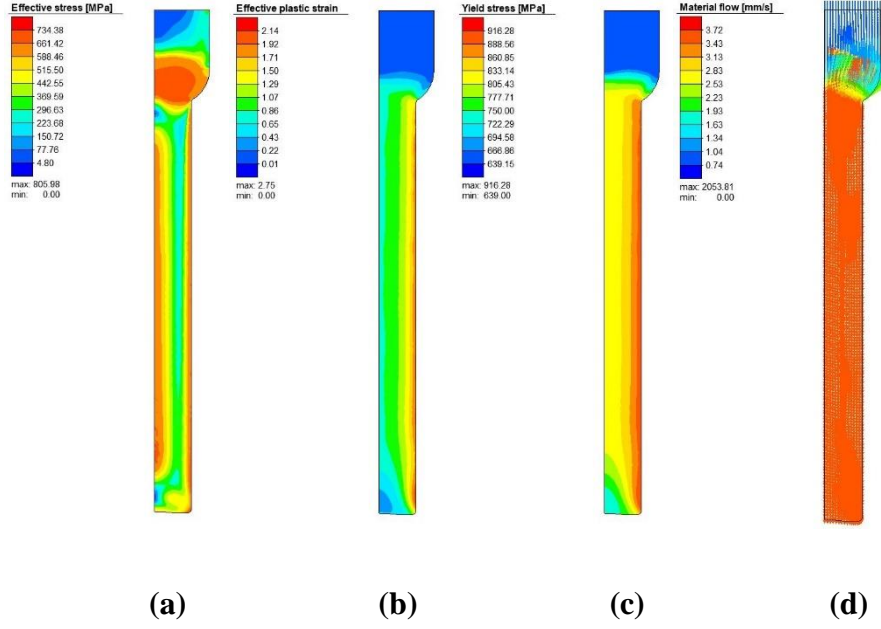
Nr	$R_{p0.2}$ [N/mm ²]	R_m [N/mm ²]	F_m [kN]	S_0 [mm ²]
1	801	831	70,09	84,30
2	802	835	70,42	84,30
3	802	834	70,33	84,30



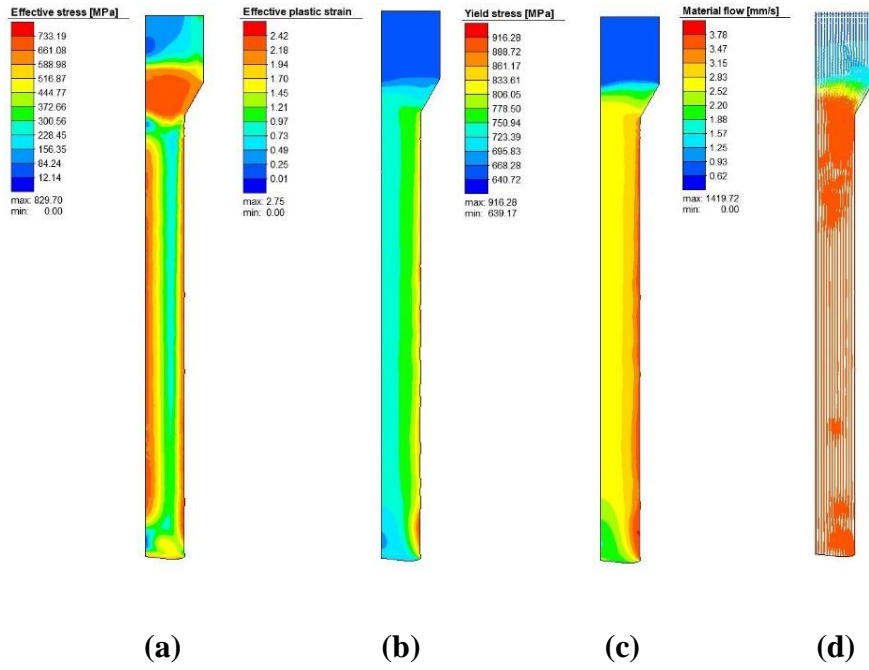
Şekil 5.15 Çekme deneyi test sonuçları

5.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Optimizasyon Çalışmaları Sonuçları

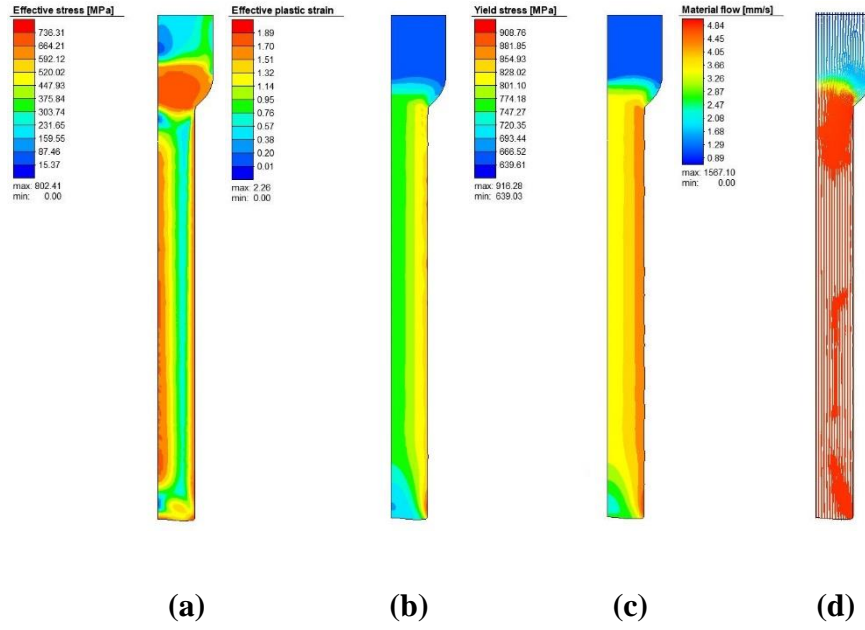
5.2.1 Ekstrüzyon Numunelerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi



(1)



(2)



(3)

Şekil 5.16 (1) Radyuslu kalıp numunesinin nümerik incelenmesi (2) Açılı kalıp numunesinin nümerik incelenmesi (3) Radyus-Açılı kalıp numunesinin nümerik incelenmesi (a) Eşdeğer gerilim (b) Eşdeğer gerinim (c) Akma dayanımı (d) Malzeme Akışı

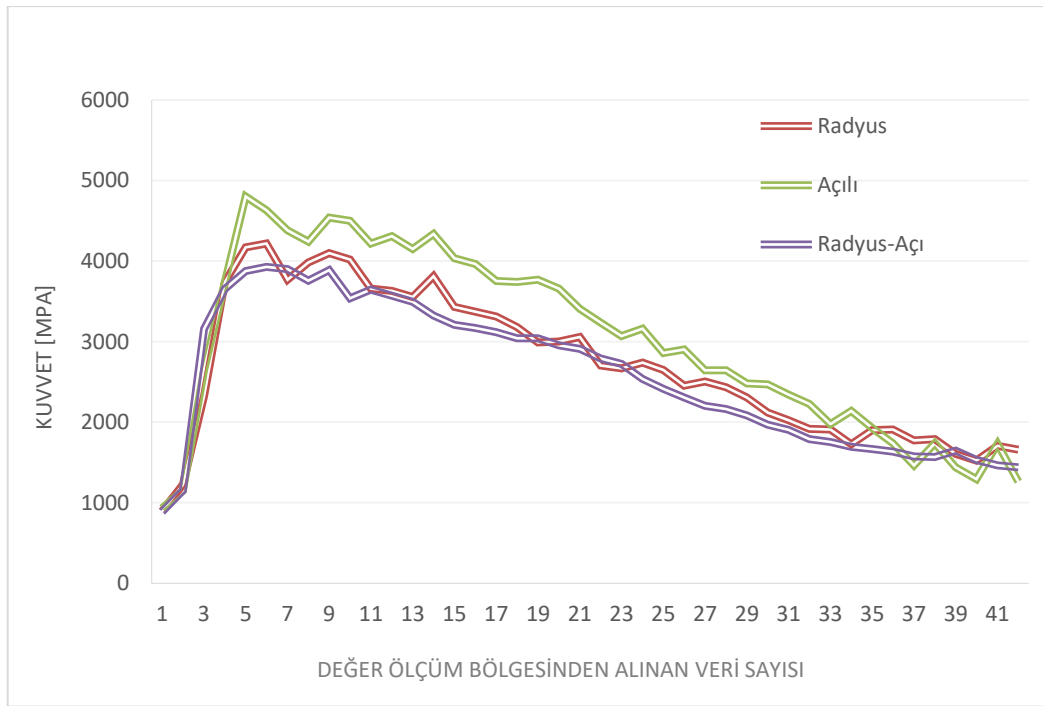
Kalıp form özelliklerinin ekstrüze edilebilirlik üzerinde etkisini belirlemek amacıyla yapılan sonlu elemanlar ile modelleme çalışmalarında elde edilen sonuçlar eşdeğer gerilim, eşdeğer gerinim, akma dayanımı ve malzeme akışı açısından detaylı olarak incelenmiştir(Şekil 5.16).

Şekil 5.16 incelendiğinde kalıp form özellikleri gerilim-gerinim ve malzeme akış özelliklerini etkin bir şekilde değiştirmektedir. Özellikle plastik deformasyon teorilerinde elastik ve plastik bölgenin birbirinden ayrılması büyük önem taşımaktadır. Bu sebepten dolayı eşdeğer gerilim sonuçlarının değerlendirilmesi büyük öneme sahiptir. Radyus, açılı ve radyus-açılı numunelerinin eşdeğer gerilimleri incelendiğinde birbirine yakın değerler elde edildiği belirlenmiştir. Bu sonuç geometri formlarının değiştirilmesine rağmen numunedeki eşdeğer gerilmelerin

benzer olduğunu göstermektedir. Bu sonuç analiz sırasında materyal özelliklerinin değişmemesi ile açıklanabilir.

Diğer yandan malzeme akış görselleri incelendiğinde en yüksek homojen akışın radyus-açılı numunede olduğu görülmektedir. Bu sonuç radyus-açı formunun malzeme akışını kolaylaştırdığı ve pekleşme oranını azalttığını göstermektedir. Radyus-açı numunesi ile de yüksek hacim oranlarında ekstrüzyon sağlanabilir.

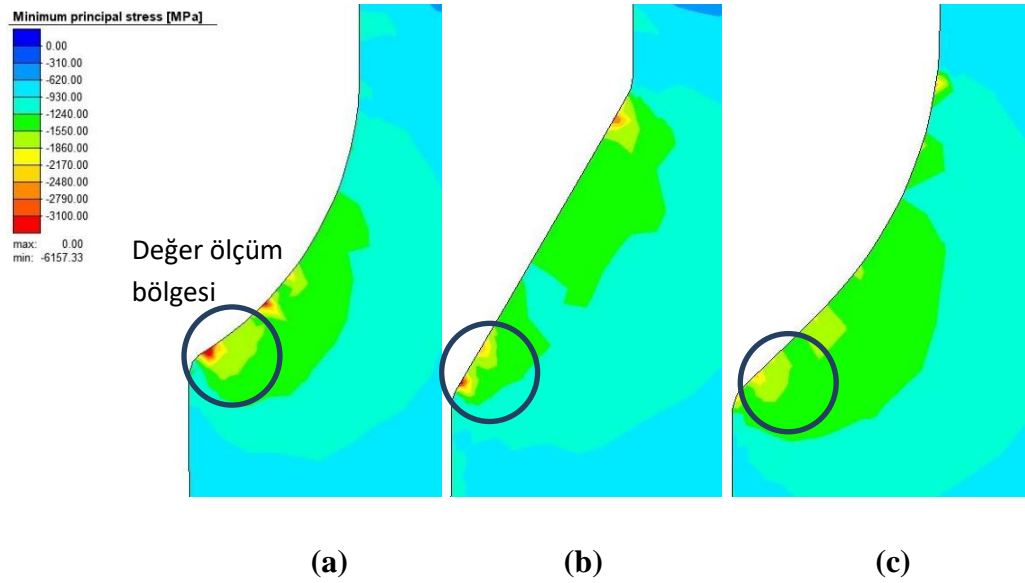
5.2.2 Kalıpların Ekstrüzyon Bölgelerine Gelen Gerilim Dağılımlarının İncelenmesi



Şekil 5.17 Kalıpların ekstrüzyon bölgesine gelen gerilim dağılımları grafiği

Kalıp form geometrisinin ekstrüze edilebilirlik üzerinde etkisini detaylı olarak belirleyebilmek amacıyla kalıp üzerinde belirlenen bölgeye gelen kuvvetler nümerik analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. Şekil 5.17’de üç farklı numune formunun ekstrüzyon ile şekillendirme sırasında kalıp üzerinde oluşan kuvvetlerin şekillendirme boyunca geçirilen zamanda alınan 42 adet veriye göre etkisi verilmiştir. Şekil 5.17’den açıkça görülebilmektedir ki numune form geometrisi kalıp

üzerinde oluşan kuvvetleri doğrudan etkilemektedir. En düşük kuvvet radyus-açı numunesinde elde edilirken en yüksek kuvvet açılı kalıp formunda elde edilmiştir. Radyus kalıp formu diğer iki kalıbın ortalaması olarak değerlendirilebilir. Kuvvetlerdeki değişim ekstrüzyon sırasında kalıp geometrisinin metal akışı üzerindeki etkisi ile açıklanabilir. Radyus-açı numunesinde metal akışı sırasında oluşan gerilim minimum olduğu için kalıp üzerinde oluşan kuvvetle en düşük seviyede gerçekleşmiştir. Şekil 5.17 detaylı incelendiğinde diğer dikkat çekici noktada kalıp form özelliklerinin ekstrüzyon sırasında kalıp üzerinde oluşan kuvvetlerin kararlılığı üzerinde etkisi olmaktadır. Şekil 5.17 genel olarak incelendiğinde kalıp üzerine gelen kuvvetlerin kalıp geometrisinin kontrolü ile doğrudan optimize edilebilmesi açıkça görülmektedir. Kalıp geometrisi doğrudan metal akışını, pekleşme yoğunluğu, ekstrüze edilebilirliği etkilemektedir. Kalıp malzemesini değiştirmeden sadece kalıp form özellikleri ile ekstrüze edilebilirlik optimize edilebilir.



Şekil 5.18 Kalıp geometrilerine göre gerilim dağılımı (a) Radyus (b) Açılı (c) Radyus-Açılı

Ölçüm alınan bölgelerin gerilim dağılımları Şekil 5.18'de verilmiştir. Şekil 5.18'den açıkça görülmektedir ki kalıp üzerinde ölçüm alınan bölgelerdeki gerilim dağılımı ekstrüzyon oranı aynı kalmasına rağmen kalıp formundan doğrudan

etkilenmektedir. Şekil 5.18’de de görüleceği gibi radyus-açılı kalıp formunda gerilim yığılmalarının en az olduğu görülürken açılı kalıp formunda özellikle keskin köşelerde gerilim yığılmalarının olduğu görülmektedir. Bu sonuç ekstrüzyon sırasında daha homojen bir deformasyon sertleşmesi oluşması ile açıklanabilir. Ekstrüzyon sırasında metal akışının homojen olmaması sonucunda bölgesel deformasyon sertleşmesi (pekleşme) oluşmakta buda bölgesel gerilimlerin oluşmasına sebep olmaktadır.

Radyuslu kalıp formunda ise radyus başlangıcı noktasında sahte gerilimlerin olduğu görülmektedir. Bu tip gerilmeler özellikle nümerik analiz yazılımlarında sıklıkla karşılaşılan ve özellikle geometrilerin uyumsuz geçişlerinden kaynaklanmaktadır. Bu sonuç literatür çalışmaları ile de paralellik göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı form özelliklerine sahip (radyus, açılı ve radyus-açılı) kalıplar üretilmiş ve bu kalıplarda ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların yanında farklı formlu kalıpların sonlu eleman analizleri de gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma ve sonlu eleman analizleri ile elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- 1- Kalıp form özellikleri düşük karbonlu çeliklerin ekstrüze edilebilirliklerini doğrudan etkilemektedir.
- 2- Düşük karbonlu çeliklerin ekstrüze edilebilirlikle kalıp özellikleri ile optimize edilebilir.
- 3- Kalıp üzerinde bulunan radyus ve açılı formu doğrudan metal akışını etkilemektedir.
- 4- En yüksek ekstrüze edilebilirlik radyus-açılı formlu kalıplarda gözlemlenmiştir.
- 5- En yüksek gerilim dağılımı açılı formlu kalıp ve numunelerde elde edilmiştir.
- 6- Sonlu elemanlar yöntemi ile ekstrüze edilebilir, eşdeğer gerilim, eşdeğer gerilim ve akma dayanımı kriterleri açısından optimize edilebileceği belirlenmiştir.
- 7- Soğuk ekstrüzyon işleminde, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kalıp üzerine gelen kuvvetler optimize edilebilir.

Öneriler:

- Kalıp üzerine düşen yükler yük hücreleri kullanılarak ölçülebilir.
- Kalıp form geometrileri türü artırılabilir.
- Kalıp malzeme türü ile form özellikleri arasındaki ilişki incelenebilir.
- Sonlu elemanlar yazılımında ekstrüzyon sırasında oluşan ısılar incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

Altan, T., Ngaile, G., Shen, G. “Cold And Hot Forging Fundamentals And Applications” *ASM International*, (2004)

Aran A., Demirkol, M. “İTÜ Makine Mühendisliği İmal Usulleri Ders Notları”, İstanbul, (1995)

Ayer Ö. , “Dişli Benzeri Parçaların İleri Ekstrüzyonunda Teorik Kuvvet Analizi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi, (2006)

Aygen M. , “Die Stress And Friction Behaviour Analysis In Bolt Forming,” , Orta Doğu Teknik Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi*, (2006)

Baygut A. , Başdemir V. , Çulha O. , “Soğuk Dövme Prosesi ile 20MnB4 Hammadde Kullanılarak Üretilen Cıvatanın Isıl İşlem Şartlarının Metalografik ve Mekanik Özelliklere Olan Etkisinin İncelenmesi” , *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (2018)

Behrens A., Schafstall H., “2D and 3D simulation of complex multistage forging processes by use of adaptive friction coefficient”, *Journal of Materials Processing Technology*, (1998)

Calister W.D & Rethwisch D.G, Eight Edition, “Metarial Science and Engineering”, (2014)

Chen J.G. , Zhang Z. X. , Choy C.M. , “New Challenges To The Automotive Fasteners And Cold Formed Parts İn The Chinese Markets” , *Matec Web of Conferences*, (2015)

Chen S. , Qin Y. , Choy, C.M., Chen, J.G. , “Testing an Injection Forging Process for the Production of Automotive Fasteners” *Procedia Engineering*, (2017)

Çapan L. , “Dövme Teknolojisi 2” , İstanbul: Seç Kitap Dağıtım (1988)

Çapan L. , “Giriş, Dövülebilirlik, Açık Kalıpta Dövme,” *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Seminer Notları*, (1991)

Çapan L. , 6.Baskı, , “Metallere Plastik Şekil Verme” , Üçüncü Baskı, İstanbul: Çağlayan Yayınevi, (1999)

DIN Handbook, “Iron and Steel Quality Standard”, (2013)

Dieter G.E , Bacon D., “Mechanical Metallurgy”, McGraw-Hili Book Company, (1988)

Dikicioğlu A. “Mekanik Özellikler”, (<https://docplayer.biz.tr/49668490-Mal-201-mekanik-ozellikler-prof-dr-adnan-dikicioglu-mart-2017.html>), (2017) (26.02.2019’da erişildi.)

Duggirala R., Shivpuri R., Kini S., Ghosh S., Roy S., , “Computer aided approach for design and optimization of cold forging sequences for automotive parts” , *Journal of Materials Processing Technology*, (1994)

Erbil E. , İnce U. , “Sayısal Benzetim Yöntemiyle Soğuk Dövme Uygulamaları” , *Mühendis ve Makine*, (2010)

Fahjan Dr. Y. , “Sonlu Elemanlar Yöntemi” , <http://www.gyte.edu.tr/deprem/> (26.03.2019’da erişildi.)

Geiger M, Hansel M, Rebhan T , “Improving the fatigue resistance of cold forging tools by FE simulation and computer aided die shape optimization” , *Institute of Manufacturing Technology*, University of Erlangen-Nurnberg, (1992)

Groche P., Kramer P., Bay N., Christiansen P., Dubar L., Hayakawa K., Hu C., Kitamura K., Moreau P., “Friction coefficients in cold forging: A global perspective” , *CIRP Annals - Manufacturing Technology* , (2018)

Groover,M.P. “Fundamentals of Modern Manufacturing”, 4, John Wiley & Sons, MA, (2010)

Gusel L. , Rudolf R. , “Shear Stress Distribution Analysis in Cold Formed Material” , *Procedia Engineering*, (2015)

Hannan, D., and Altan, T., “Prediction and Elimination of Defects in Cold Forging Using Process Simulation,”*Tenth International Cold Forging Congress*, (2000)

<https://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerin-mekanik-davranisi/elastik-gerilim-ve-gerinim-iliskisi-hooke-kanunu/> (26.03.2019'da erişildi.)

İnce U. , Güden M. , “Simulation Of The Cold Forging Process In Fastener Manufacture”, *III. International Scientific Technical Conference*, (2008)

Karadağlı Ö. “Soğuk Dövme ile Üretimde Simülasyon Uygulamaları”, *Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi, (2014)

Kılıçaslan C. , “Predicting Material Fracture in Cold Forging”, *Forge*, (2017)

Kılıçaslan C. , İnce U., “Soğuk Dövme Kalıplarında Meydana Gelen Kırılma Sebeplerinin Nümerik Olarak İncelenmesi” , *Mühendis ve Makina*, (2016)

Kılıçaslan C., Yavuzbarut T., İnce U., “Impact of Simulations on Cold-Forging Designs” *Forge*, (2017)

Lange K., Kammerer M., Pöhlandt K., Schöck J. , “Fließpressen: Wirtschaftliche Fertigung metallischer Präzisionswerkstücke” , *Springer-Verla*, (2007)

Lange, K. (Editor), “Umformtechnik. Handbuch für Industrie und Wissenschaft”, Volume 1 (Bulk Forming), 2nd Edition, *Springer-Verlag*, (1988)

Lee Y. , Lee J. , Ishikawa T. , “Analysis of the elastic characteristics at forging die for the cold forged dimensional accuracy” , *Journal of Materials Processing Technology*, (2002)

Önder C. , Aygen M. , “Bağlantı Elemanlarının Soğuk Dövme İle Üretilmesinde Sonlu Eleman Analizi Uygulama Örnekleri”, *Mühendis ve Makine*, (2006)

Reiss, W., “Untersuchung des Werkzeugbruches beim Voll-Vorwärts-Fließpressen”, *Springer-Verlag*, (1987)

Sevenler K., Raghupathi P.S., and Altan T. , “Forming-Sequence Design For Multistage Cold Forging” , *Journal of Mechanical Working Technology* , (1986)

Sheljaskov, S. “Current Level of Development of Warm Forging Technology”, *Journal of Materials Processing Technology*, (1994)

- Tekkaya A.E, “Life Estimation of Extrusion Dies” , *Cirp Annals* , Pages (1995)
- Tekkaya E., “An Improved Relationship between Vickers Hardness and Yield Stress for Cold Formed Materials and its Experimental Verification” , *CIRP Annals* , (2000)
- Tschaetsch H. , “Metal Forming Practise” , *Springer* , (2006)
- Turna Ş., “Gerçek Gerilme Bünye Denklemlerinin İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, (2008)
- Verhoeven J.D., “Fundamentals of Physical Metallurgy” , (1975)
- Watanabe A., Fujikawa S., Ikeda A., Shiga N. , “Prediction of ductile fracture in cold forging” , *Procedia Engineering*, (2014)
- Yavuzbarut T. , “8.8 Kalite Sınıfındaki Bağlantı Elemanlarının Mikro Alaşımli Çelikler Kullanılarak Isıl İşlemsiz Üretilmesi” , *Yüksek Lisans Tezi* , İzmir Katip Çelebi Üniversitesi (2018)
- Yurtdaş S., “Soğuk Dövme Kalıplarındaki Kompozit Sıkı Geçme Çemberlerin Kalıp Ömürlerine Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, (2017)

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat MERMER

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 27.04.1994

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : muratmermer94@hotmail.com

İletişim Adresi : Esentepe Mah. İstiklal Cad. Emsal Apt.
No: 46 Nilüfer/Bursa

Konferans listesi :

- Aktokluk, N. , Mermer, M. , Sakin, A. , “Simülasyon Destekli Soğuk Dövme Yöntemi İle Bağlantı Elemanı Üretiminin Teknoloji Olgunluk Seviyesi Açısından Değerlendirilmesi” , IRDITech Management’19 , (2019)