



1



Saç Metal Şekillendirmenin Tanımı

Nispeten ince metal saçlarda yapılan kesme ve şekillendirme işlemleri

- Saç metal kalınlığı = 0.4 mm - 6 mm
- Levha kalınlığı > 6 mm
- İşlemler genellikle soğuk şekil verme olarak gerçekleştirilir

EDT 231 Üretim Yönetimi – Doç.Dr. Murat YÜKSEL, İTÜ Makina Fakültesi

3



SAÇ METAL ŞEKİLLENDİRME

1. Kesme İşlemleri
2. Bükme İşlemleri
3. Çekme
4. Diğer Saç Metal Şekillendirme İşlemleri
5. Saç Metal Şekillendirme İçin Kalıplar ve Presler
6. Preslerde Yapılmayan Saç Metal İşlemleri
7. Boru Kütlelerinin Bükülmesi

2

EDT 231 Üretim Yönetimi – Doç.Dr. Murat YÜKSEL, İTÜ Makina Fakültesi



Saç Metal ve Levha Ürünler

- Tüketici ve endüstriyel ürünler için metal saç ve levha parçaları; örn.:
 - Otomobil ve kamyonlar
 - Uçaklar
 - Demiryolu vagon ve lokomotifleri
 - Tarım ve inşaat ekipmanları
 - Küçük ve büyük ev aletleri
 - Ofis donanımları
 - Bilgisayarlar ve ofis ekipmanları

4

EDT 231 Üretim Yönetimi – Doç.Dr. Murat YÜKSEL, İTÜ Makina Fakültesi

Saç Metal Parçaların Üstünlükleri

- Yüksek dayanım
- Yüksek boyutsal doğruluk
- İyi yüzey kalitesi
- Nispeten düşük maliyet
- Büyük miktarlarda ekonomik seri üretim

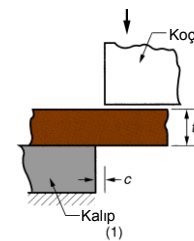
Saç Metal İşlemlerinin Temel Türleri

1. Kesme
 - Büyük saçları ayırmak için kesme
 - Parçaların metal saçın dışındaki çapaklarını kesmek için presleme
 - Metal saçta delik açmak için presleme
2. Bükme
 - Bir düz eksen çevresinde sacı germe
3. Çekme
 - Saçı dışbükey veya içbükey şekle dönüştürme

Saç Metal İşleme Terminolojisi

- Koç ve kalıp – kesme, bükme ve çekme işlemlerini gerçekleştirmek için
- Kesme presi – çoğu metal saç işlemlerini gerçekleştiren makina takımı
- Zımbalama – metal saç ürünler

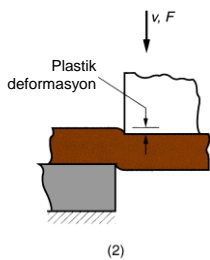
Saç Metal Kesme



Şekil 20.1 İki kesici kenar arasında metal saçın kesilmesi: (1) zımba parçaya temas etmeden hemen öncesi



Saç Metal Kesme

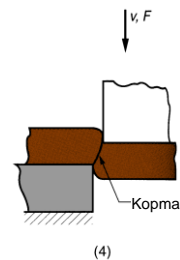


Şekil 20.1 İki kesici kenar arasında metal saçın kesilmesi: (2) zımba, plastik deformasyona neden olarak parçayı itmeye başlıyor.

9



Saç Metal Kesme

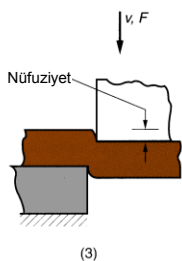


Şekil 20.1 İki kesici kenar arasında metal saçın kesilmesi: (4) saçı ayıran kırılma, karşılıklı kesme kenarlarında başlıyor.

11



Saç Metal Kesme



Şekil 20.1 İki kesici kenar arasında metal saçın kesilmesi: (3) zımba, düz bir kesme yüzeyi oluşturacak şekilde, parçayı sıkıştırıp nüfuz ediyor

10



Kesme, Ayırma ve Zımbalama

Saç metali kesen pres işçiliğindeki üç temel işlem:

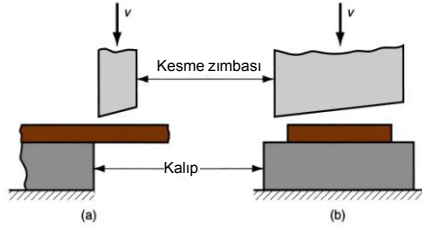
- Kesme
- Ayırma
- Zımbalama

12

Kesme

Saç metal, iki kesici kenar arasındaki düz bir hat boyunca kesme işlemi

- Genellikle geniş saçları kesmekte kullanılır



Şekil 20.3 Kesme işlemi: (a) kesme işleminin yandan görünüşü; (b) Eğimli üst bıçakla donatılmış hareketli bıçakların yandan görünüşü.

13

Saç Metal Kesmede Boşluk

Zimba kesim kenarı ile kalıp kesim kenarı arasındaki mesafe

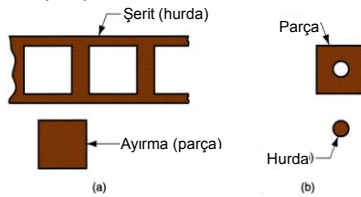
- Tipik değerleri, blok kalınlığının % 4'ü ile % 8'i arasında yer alır
 - Eğer çok küçükse, çift kıvrılmaya ve daha büyük kuvvetlere neden olarak, kırılma hatları birinden diğerine geçer burnishing
 - Eğer çok büyükse, metal kesme kenarları arasında bükülür ve aşırı çapak oluşur

15

Ayırma ve Zımbalama

Ayırma – parçayı çevresindeki kütleden ayırmak için saç metal kesme

Zımbalama – ayırmaya benzer ancak parça hurdaya ayrılır



Şekil 20.4 (a) Ayırma ve (b) zımbalama.

14

Saç Metal Kesmede Boşluk

- Tavsiye edilen boşluk hesabı:

$$c = at$$

burada c = boşluk; a = tolerans; ve t = kütle kalınlığı

- Tolerans "a" metal türüne göre belirlenir

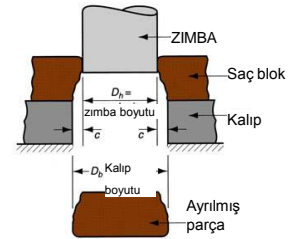
16

Saç Metal Gruplarının Toleransları

Metal grubu	a
1100S ve 5052S alüminyum alaşımları, tüm ısıt işlemler	0.045
2024ST ve 6061ST alüminyum alaşımları; pirinç, yumuşak soğuk haddelenmiş çelik, yumuşak paslanmaz çelik	0.060
Yarı sert, soğuk haddelenmiş çelik; yarı sert ve tam sert paslanmaz çelik;	0.075

Zimba ve Kalıp Boyutları

Şekil 20.6 Kalıp boyutu, ayırma boyutu D_b 'yi belirler; zımba boyutu delik çapı D_h 'yi belirler; c = açıklık



kalıp boyutu

zımba boyutu

Kalıp Ayrılmış parça

19

Zimba ve Kalıp Boyutları

- D_b çaplı yuvarlak bir ayırma için:
 - Ayırma zımba çapı = $D_b - 2c$
 - Ayırma kalıp çapı = D_b
 burada c = boşluk
- D_h çaplı yuvarlak bir delik için:
 - Delik zımba çapı = D_h
 - Delik kalıp çapı = $D_h + 2c$
 burada c = boşluk

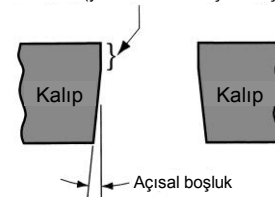
Açısal Boşluk

Amaç: hurda veya parçanın kalıp içinden düşmesini sağlamak

- Tipik değerler: $0.25^\circ - 1.5^\circ$ (her iki tarafta)

Düz kısım (yeniden keskinleştirme için)

Şekil 20.7
Açısal boşluk.



Açısal boşluk

18

20

Kesme Kuvvetleri

Pres boyutunun (tonajının) belirlenmesi bakımından önemli

$$F = S t L$$

burada S = metalin kayma dayanımı; t = blok kalınlığı, ve L = kesme kenar boyu

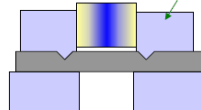
$$F = 0.7 \cdot TS \cdot t \cdot L$$

TS: Çekme Dayanımı

Diğer Kesme İşlemleri



Shaving

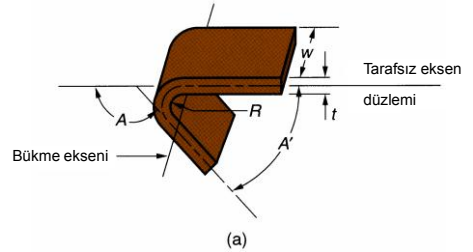


Fine Blanking

21

Saç Metal Bükme

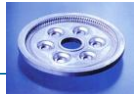
Kalıcı bir büküm oluşturmak için saç metalin bir düz eksen çevresinde gerilmesi



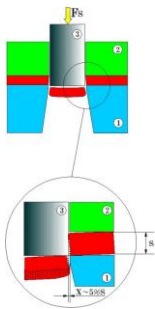
Şekil 20.11 (a) Saç metalin bükülmesi

23

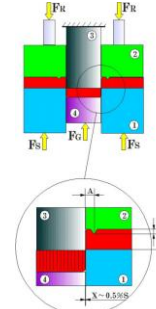
Hassas Kesme



$c=t/10$
Tek etkili,
mekanik pres
%30 kesme,
%70 kopma
Daha hızlı



Geleneksel Kesme



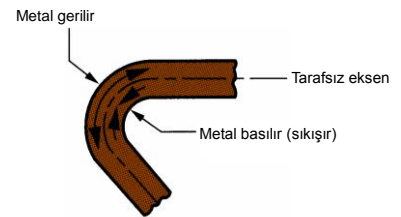
Hassas Kesme

$c=t/100$
Üç etkili,
Hidrolik pres
%100 kesme
Daha yavaş
Daha kalın,
Pürüzsüz kenar
Çatlaksız,
Boyutsal doğruluk
yüksek

22

Saç Metal Bükme

Tarafsız düzlem iç kısmındaki metal sıkıştırılır; tarafsız eksen dışındaki metal gerilir



Şekil 20.11 (b)
Bükmede metalde hem basma hem de çekme oluşur.

(b)

24

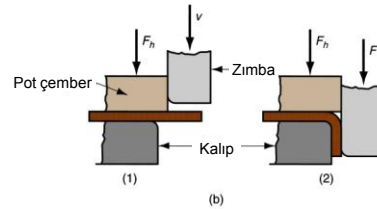
Saç Metal Bükme Türleri

- V-bükme – V-şeklindeki bir kalıpla yapılır
- Kenar bükme – bir giyotin kalıbıyla yapılır



Kenar Bükme

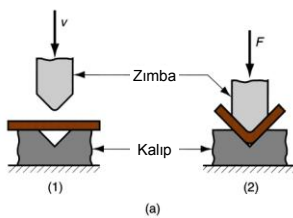
- Çok sayıda imalat için
- Pot çember gerekir
- Kalıplar daha karmaşık ve pahalıdır



Şekil 20.12 (b) kenar bükme.

V-Bükme

- Az sayıda imalat için
- Bir abkant preste gerçekleştirilir
- V-kalıpları basit ve nisbeten ucuzdur



Şekil 20.12 (a) V-bükme;

Bükerek Germe

- Eğer eğme yarıçapı, blok kalınlığına oranla küçükse, bükme sırasında metal gerilme eğilimindedir
- Germe miktarının tahmininde önemlidir; böylece son parça boyu = belirlenen boyut olur
- Problem: bükmeden önce parçanın tarafsız eksen uzunluğunu tahmin etmek



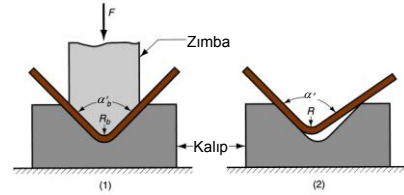
Bükme Tolerans Formülü

$$A_b = 2\pi \frac{\alpha}{360} (R + K_{ba}t)$$

burada A_b = bükme toleransı; α = bükme açısı; R = bükme yarıçapı; t = blok kalınlığı; ve K_{ba} germeyi tahmin faktörüdür

- Eğer $R < 2t$ ise, $K_{ba} = 0.33$
- Eğer $R \geq 2t$ ise, $K_{ba} = 0.50$

Geri Yaylanma



Şekil 20.13 Bükmede, bükme açısında küçülme ve bükme radyüsünde artma olarak görülen geri yaylanma: (1) bükme sırasında parça, bükme açısının radyüsü R_b ve iç açısı α_b 'yi almaya zorlanır, (2) zımba kaldırıldıktan sonra ise parça, R radyüsüne ve α' açısına geri yaylanır.

Geri Yaylanma

Şekillendirici takım kaldırıldıktan sonra, takımın iç açısına oranla bükülen parçanın iç açısındaki artış

- Geri yaylanmanın nedeni:
 - Bükme basıncı kaldırıldığında, elastik enerji, kısmen orijinal şeklini kazanmasına neden olacak şekilde bükülen parçanın içinde kalır

Bükme Kuvveti

Maksimum bükme kuvveti aşağıdaki gibi tahmin edilir:

$$F = \frac{K_{bf} T S w t^2}{D}$$

Burada,

F = bükme kuvveti;

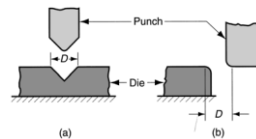
TS = sac metalin çekme dayanımı;

w = bükme eksenine yönünde parça genişliği; ve

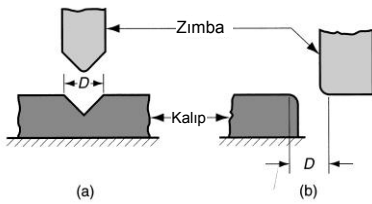
t = blok kalınlığı.

V- bükme için, $K_{bf} = 1.33$;

kenar bükme için, $K_{bf} = 0.33$



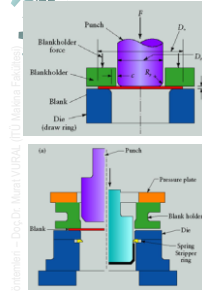
Kalıp Boşluk Boyutu



Şekil 20.14 Kalıp boşluk boyutu D: (a) V-kalıp, (b) kıvrırma kalıbı.

33

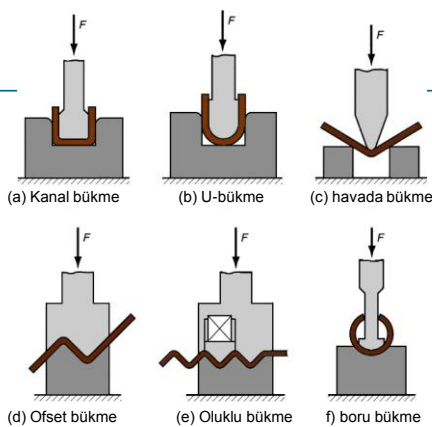
Çekme



- Tüp şeklinli, kutu şeklinli ve diğer karmaşık bükümlü, içi boşaltılan parçaları yapmak için saç metal şekillendirme
- Saç metal parça, kalıp boşluğunun üzerine yerleştirilir ve ardından zımba, metali boşluğa doğru iter
 - Ürünler: içecek kutuları, cephane kılıfları, otomobil gövde panelleri
 - Ayrıca (tel ve çubuk çekmeden ayırmak için) *derin çekme* olarak da bilinir

34

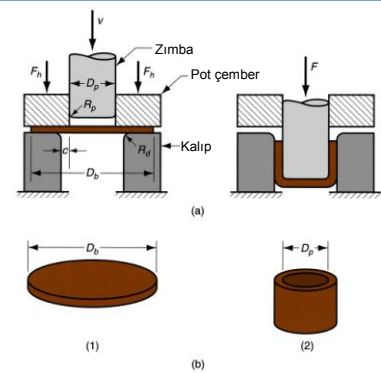
35



Şekil 20-18 Değişik bükme işlemleri

34

Çekme

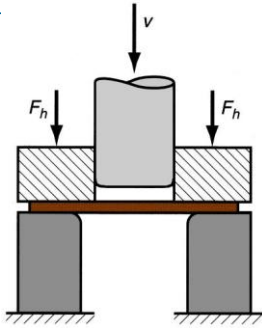


- Şekil 20.19 (a) Tüp şeklindeki parçanın çekilmesi: (1) zımbanın parçaya temasından önce, (2) strokun hemen öncesi; (b) parça: (1) başlangıç saçı, (2) çekilmiş parça.

35

36

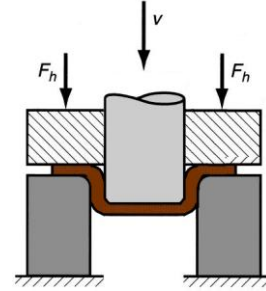
Derin Çekmede İşlem Adımları-1



Zımbanın parçayla ilk teması

37

Derin Çekmede İşlem Adımları-3

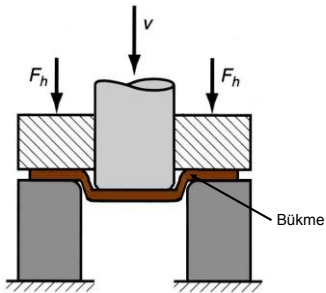


Düzeltilme

Düzeltilme

39

Derin Çekmede İşlem Adımları-2

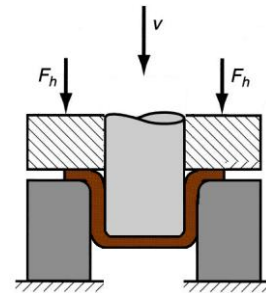


Bükme

Bükme

38

Derin Çekmede İşlem Adımları-4

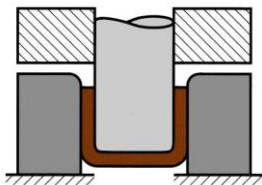


Sıkıştırma ve
flanşın kalınlaşması

Sürtünme ve sıkıştırma

40

Derin Çekmede İşlem Adımları-5



Tüp kenarlarında incelmenin etkisini gösteren son tüp şekli

41

Çekmeye Uygunluğun Testleri

- Çekme oranı
- Redüksiyon
- Kalınlık/çap oranı

43

Çekmede Boşluk

- Bir c boşluğu ile ayrılan, zımba ve kalıp kenarları:
 $c = 1.1 t$
burada t = blok kalınlığı
- Diğer bir deyişle, boşluk, blok kalınlığından % 10 daha büyüktür

42

Çekme Oranı DR

Silindirik şekiller için daha kolay tanımlanır:

$$DR = \frac{D_b}{D_p}$$

- burada D_b = sac çapı; ve D_p = zımba çapı
- Belirli bir çekme işleminin güçlüğünü gösterir
 - Üst limit: $DR \leq 2.0$

44



Redüksiyon r

- Silindirik şekiller için tanımı:

$$r = \frac{D_b - D_p}{D_b}$$

- r değeri 0.50'den daha küçük olmalıdır



Parça Boyutunun Tahmini

- Çekilen şeklin son boyutlarının doğru olması için, başlangıç saç çapı D_b doğru olmalıdır
- Başlangıç saç metal hacmini belirlemek için çözüm = son ürün hacmi
- Hesaplamayı yapabilmek için, parça cidarını ihmal edilebilir varsayın



Kalınlık/Çap Oranı t/D_b

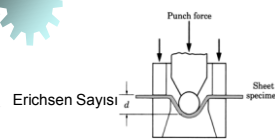
Başlangıç saçının kalınlığının çapına oranı

- t/D_b oranı için istenen değer ratio % 1'den büyük olmalıdır
- t/D_b arttıkça, ondülasyona eğilim artar



Saçların Şekillendirilebilirliği

Erichsen Testi

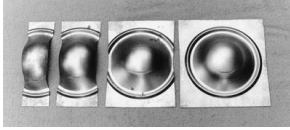


Bir çökertme testi (Erichsen ve Olsen testleri) sacların şekillendirilebilirliklerini belirlemek için kullanılabilir.

d 'nin değeri büyüdükçe şekillendirilebilirlik büyür.

- Geliştirilmiş en eski test
- gerçekleştirilmesi basit
- d 'nin değeri şekillendirilebilirliğin göstergesi
- gerçek operasyonların koşulları tam simüle edilemez

Bulge (Şişirme) Testi

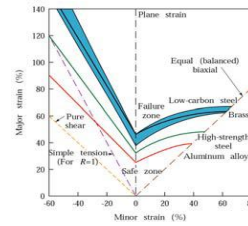


- Çeşitli genişlikteki çelik levhaların Bulge-testi sonuçları.
 - En soldaki numune, temelde basit çekmeye maruz.
 - En sağdaki numune ise eşit iki eksenli çekmeye maruz.
- Sac şekillendirme operasyonları simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır
- Zimba yerine Hidrolik basınç kullanılırsa \Rightarrow sürtünme olmadan iki eksenli uzama gerçekleştirilir.
- sürtünmesiz koşullar altında iki eksenli yüklemeye için etkin gerilme-etkin birim şekil değiştirme eğrilerini elde etmek için kullanılır.

49

Biçimlendirme sınır diyagramları (FLD)

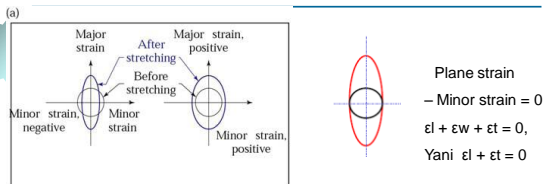
- Grid şekli, deformasyon ve sac şekillendirme esnasında yırtılma.
- Dairelerin majör ve minör eksenleri şekillendirme limit diyagramının koordinatları belirlemek için kullanılır



majör strain her zaman pozitif olmasına rağmen (germe) minör strain pozitif, negatif veya sıfır olabilir

51

Major Strain and Minor Strain



- Sacın gerilmesi sırasında, Hacim sabit, $\epsilon_l + \epsilon_w + \epsilon_t = 0$
- Her zaman Majör strain minör strain'den daha büyük
 - Major Strain 0 'dan büyüktür.(+)
 - Minör strain ya pozitif, negatif veya sıfır olabilir.

50

Silindirik Tüplerin Dışındaki Şekiller

- Kare veya dikdörtgen kutular (evyelerdeki gibi),
- Kademeli tüpler
- Koniler
- Düz tabanlı yerine küresel tüpler
- Düzensiz eğrilikli formlar (otomobil gövde panellerinde olduğu gibi)
- Bu şekillerin her biri, çekmede kendisine özgü teknik problemler doğurur

52

Preslerdeki Diğer Saç Metal Şekillendirmeler

Geleneksel preslerde gerçekleştirilen diğer saç metal şekillendirme işlemleri

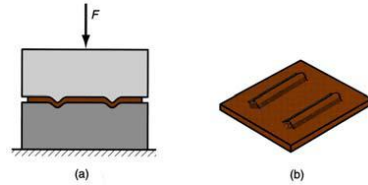
- Metal takımlarla yapılan işlemler
- Esnek lastik takımlarla yapılan işlemler



53

Kabartı Oluşturma

Saçlarda, yüzeyden yükselmiş (veya alçalmış) harfler veya düzlenmiş kaburgalar gibi çıkıntılar oluşturur

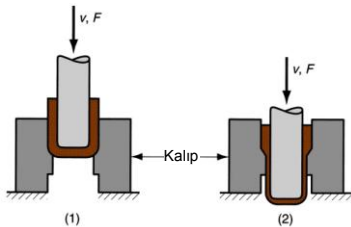


Şekil 20.26 Kabartı oluşturma: (a) Presleme sırasındaki zımba vokalip konfigürasyonunun kesiti; (b) Kabartı halindeki kaburgalar içeren bitmiş parça.

55

Ütüleme

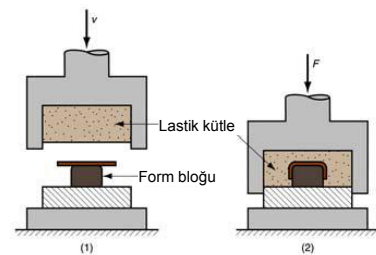
- Silindirik tüplerin cidarını daha üniform hale getirir



Şekil 20.25 Çekilen bir tüpte daha üniform cidar kalınlıkları oluşturmak için ütüleme: (1) işlemin başlangıcı; (2) işlem sırasında. Cidarların incelmeye ve uzamasına dikkat ediniz.

54

Guerin Yöntemi



Şekil 20.28 Guerini yöntemi: (1) önce ve (2) sonra. V F sembolleri, sırasıyla hareket ve uygulanan kuvveti göstermektedir.

56

Guerin Yönteminin Üstünlükleri

- Düşük takım maliyeti
- Form bloğu, şekillendirilmesi kolay olan ahşap, plastik veya benzer malzemelerden yapılabilir
- Lastik kütle farklı form bloklarıyla kullanılabilir
- Yöntem, küçük sayıda üretim için caziptir

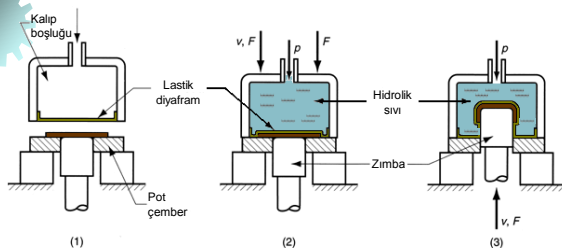
Metal Saç Şekillendirme Kalıpları

- Çoğu pres işlemleri, geleneksel zimba-kalıp takımlarıyla yapılır
- Parçaya özgü tasarlanmıştır
- *Zımbalama kalıbı* terimi, bazen yüksek üretim kalıpları için kullanılır

57

59

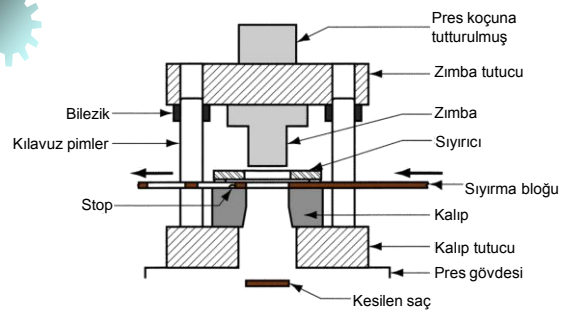
Hidroforming (Sıvıyla Şekillendirme)



Şekil 20-29 Hidroforming yöntemi: (a) başlangıç; kalıp boşluğunda sıvı yok; (2) pres kapanır, kalıp boşluğu sıvı ile basınçlandırılır; (3) zimba parçayı şekillendirmek üzere basınç uygulanır. Semboller: v = hız, F = uygulanan kuvvet, p = hidrolik basınç

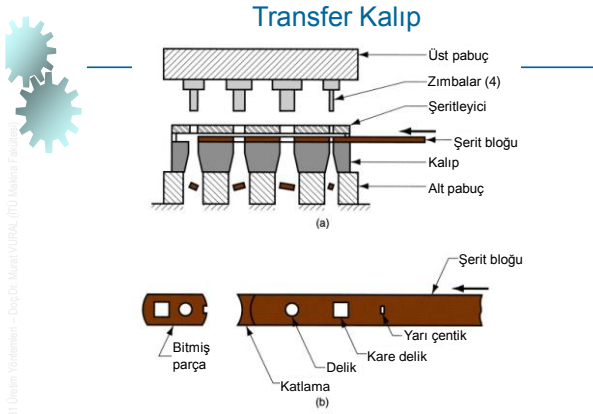
58

Zimba ve Kalıp Bileşenleri



Şekil 20.30 Kesme işlemi için zimba ve kalıbın bileşenleri

60



Şekil 20.31 (a) Transfer kalıp; (b) ilgili şerit oluşumu

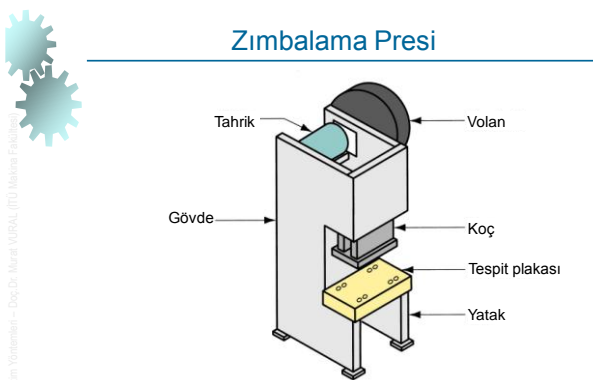
61

Zımbalama Pres Çerçevesinin Türleri

- Açık gövde
 - Genellikle C-gövde olarak adlandırılan ve C harfine benzeyen yapı
- Düz yanlı gövde
 - Daha yüksek tonajlar için kutu benzeri yapı

63

63



Şekil 20.32 Tipik bir mekanik zımbalama presinin bileşenleri

62



Şekil 20.33 Saç metal işleme için açık gövdeli (C-)pres; kapasite = 1350 kN (150 ton)

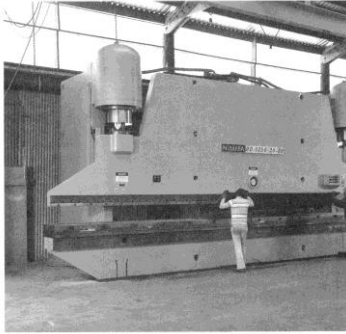
64

64



EDT 231 Üretim Yönetimi – Doç.Dr. Murat VURAL (EÜ) Makine Fakültesi

Şekil 20.34 Abkant pres; yatak genişliği = 9,15 m ve kapasite = 11,200 kN (1250 ton).



65



EDT 231 Üretim Yönetimi – Doç.Dr. Murat VURAL (EÜ) Makine Fakültesi

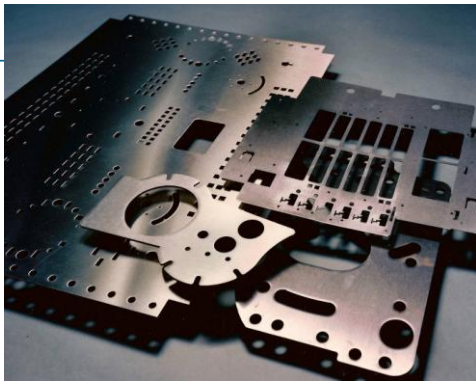


Şekil 20.36 Bilgisayar nümerik kontrol taret presi

67



EDT 231 Üretim Yönetimi – Doç.Dr. Murat VURAL (EÜ) Makine Fakültesi



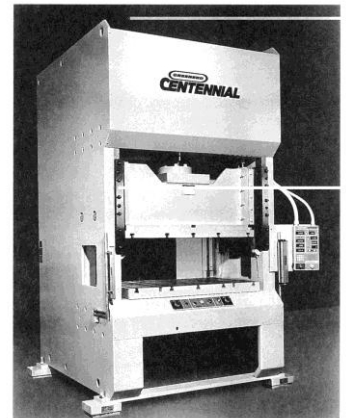
Şekil 20.35 Taret preste yapılması muhtemel delik şekil varyasyonlarını gösteren saç metal parçalar

66



EDT 231 Üretim Yönetimi – Doç.Dr. Murat VURAL (EÜ) Makine Fakültesi

Şekil 20.37
Düz yanlı pres



68

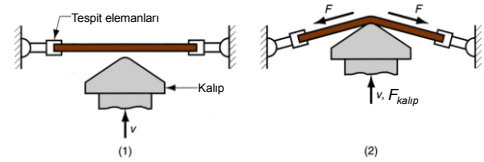
Güç ve Tahrik Sistemleri

- Hidrolik presler – Koçu tahrik etmek için büyük bir piston ve silindir kullanır
 - Mekanik preslere göre daha uzun koç stroğu
 - Derin çekmeye uygun
 - Mekanik preslerden daha yavaş
- Mekanik presler – motorun dönüşünü koçun doğrusal hareketine dönüştürür
 - Stroğun tabanında yüksek kuvvetler
 - Saç kesme ve zımbalamaya uygun

69

Gererek Şekillendirme

Şekil değişikliğine ulaşmak için, saç metal aynı anda hem gerilir hem de bükülür



Şekil 20.39 Gererek şekillendirme: (1) işlemin başlangıcı; (2) form kalıbı, kalıp üzerinde gerilmesi ve bükülmesi için $F_{kalıp}$ kuvvetiyle parçanın içine bastırılır. F = germe kuvveti.

71

Preslerde Yapılmayan İşlemler

- Gererek şekillendirme
- Haddeleyerek bükmesi ve şekillendirme
- Sıvama
- Yüksek enerji girdili şekillendirme yöntemleri

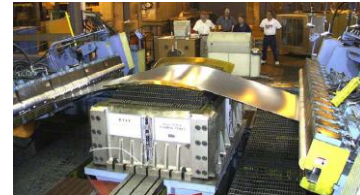
70

Gererek Şekillendirmede Gerekli Kuvvet

burada F = germe kuvveti; L = germeye dik yöndeki saç uzunluğu; t = anlık blok kalınlığı; ve Y_f = parça malzemesinin akma gerilmesi

$$F = LtY_f$$

- F_{die} kalıp kuvveti, dikey kuvvet bileşenlerini dengeleyerek belirlenebilir

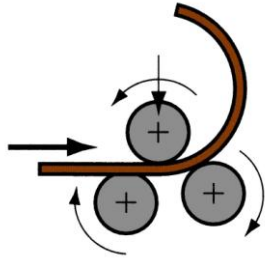


72

Haddeleyerek Bükme

Geniş metal saçlar ve levhalar, merdaneler yardımıyla eğri şekillere dönüştürülür

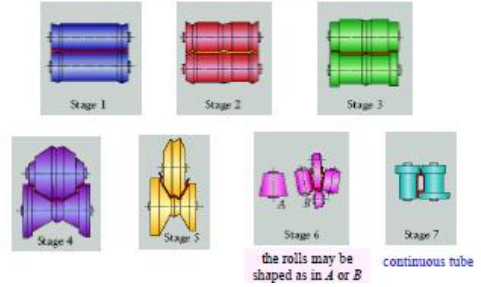
Şekil 20.40 Haddeleyerek bükme.



73

Haddeleyerek Şekillendirme

Saç kapı çerçevesi profilini şekillendirme adımları

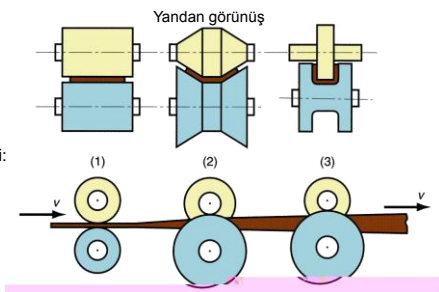


75

Haddeleyerek Şekillendirme

Karşılıklı merdanelerin bobin ve şerit bloklardan uzun profiller ürettiği sürekli bükme yöntemi

Şekil 20.41 Bir sürekli kanal profilin şekillendirilmesi: (1) düz merdaneler, (2) kısmi şekil, (3) son şekil.



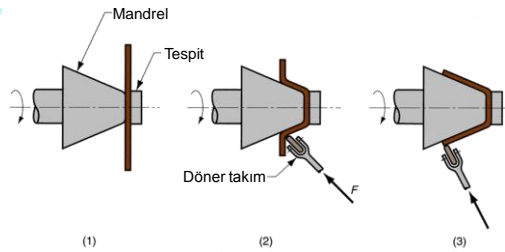
Sıvama

Eksenel simetrik bir parçanın, dönen bir takım veya merdane kullanılarak dönen bir mandrel üzerinde yavaş yavaş şekillendirildiği metal şekillendirme yöntemi

- Üç türü:
 1. Geleneksel sıvama
 2. Kaymalı sıvama
 3. Tüp sıvama

76

Geleneksel Sıvama



Şekil 20.42. Geleneksel sıvama: (1) işlemin başlangıcındaki düzener; (2) sıvama sırasında; ve (3) işlemin tamamlanması.

77

Patlamalı Şekillendirme

Bir saç (veya levha) metali bir kalıp boşluğu içine şekillendirmek için patlayıcı kütlenin kullanımı

- Patlayıcı kütlesi, enerjisini parçayı kalıp boşluğuna zorlamak için ileten bir şok dalgası oluşturur
- Uygulamaları: büyük parçalar, havacılık-uzay endüstrisindeki tipik yapılar

79

Yüksek Enerji Girdili Şekillendirme (HERF*)

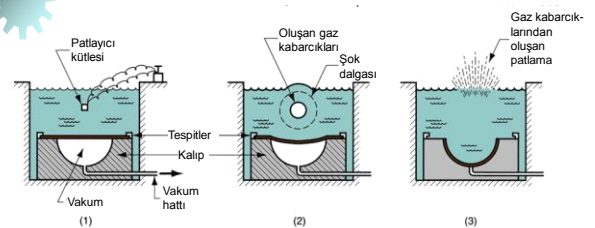
Çok kısa bir sürede yüksek miktarda enerji kullanarak metalleri şekillendirme yöntemleri

- HERF yöntem türleri:
 - Patlamalı şekillendirme
 - Elektrohidrolik şekillendirme
 - Elektromanyetik şekillendirme

*High Energy-Rate Forming

78

Patlamalı Şekillendirme



Şekil 20.45 Patlamalı şekillendirme: (1) düzenek, (2) patlayıcı ateşlenir, ve (3) şok dalgası parçayı şekillendirir ve kabarcıklar su yüzeyinden kaçar.

80

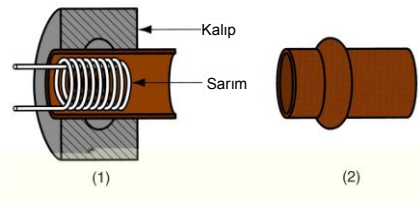
Elektromanyetik Şekillendirme

Saç metal enerji taşıyan bir sarım tarafından parça içinde indüklenen bir elektromanyetik alanın mekanik kuvvetiyle şekillendirilir

- Halen en yaygın kullanılan HERF yöntemi
- Uygulamaları: borsal parçalar

81

Elektromanyetik Şekillendirme



Şekil 20.47 Elektromanyetik şekillendirme: (1) sarımın, kalıp tarafından çevrelenen borsal parçanın içine yerleştirildiği düzenek; (2) şekillendirilmiş parça.

82