



MAK351 İMAL USULLERİ

Doç.Dr. Turgut GÜLMEZ
İTÜ Makina Fakültesi

1



Plastik Şekil Verme

Metal parçaların şeklinin değiştirilmesi için plastik deformasyonun kullanıldığı büyük imalat yöntemleri grubu

- Genellikle *kalıp (die)* olarak adlandırılan takım, metalin akma dayanımını aşan gerilmeler uygular
- Metal, kalıbın geometrisi tarafından belirlenen bir şekil alır

3



PLASTİK ŞEKİL VERMENİN ESASLARI

1. Plastik Şekil Vermeye Genel Bakış
2. Plastik Şekil Vermede Malzeme Davranışı
3. Plastik Şekil Vermede Sıcaklık
4. Şekil Değiştirme Hızına Duyarlılık
5. Plastik Şekil Vermede Sürtünme ve Yağlama

2



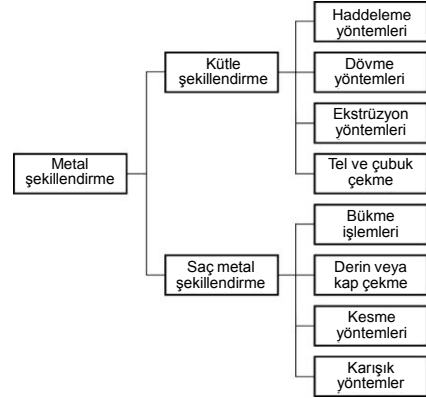
Metal Şekillendirmede Gerilmeler

- Metale plastik şekil veren gerilmeler genellikle basınç türündedir
 - Örnekler: haddeleme, dövme, ekstrüzyon
- Ancak bazı şekillendirme yöntemleri
 - Metali gerer (çekme gerilmeleri)
 - Diğerleri metali bükür (çekme ve basma)
 - Diğer bazıları ise kayma gerilmeleri uygular

4

Metal Şekillendirmede Malzeme Özellikleri

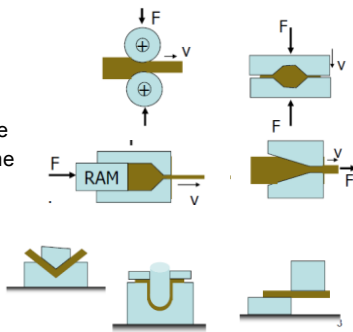
- İstenen malzeme özellikleri:
 - Düşük akma dayanımı
 - Yüksek süneklik
- Bu özellikler sıcaklıktan etkilenir:
 - Parça sıcaklığı arttıkça süneklik artar ve akma dayanımı düşer
- Diğer faktörler:
 - Şekil değiştirme hızı ve sürtünme



Şekil 18-1 PŞV yöntemlerinin temel türleri

PŞV Yöntemlerinin Temel Türleri

1. Kütle şekillendirme
 - Haddeme
 - Dövme
 - Ekstrüzyon
 - Tel ve çubuk çekme
2. Saç metal şekillendirme
 - Bükme
 - Derin çekme
 - Kesme
 - Karışık yöntemler



Kütle Şekillendirme Yöntemleri

- Büyük deformasyonlarla ve masif şekil değişiklikleriyle karakterize edilir
- “Kütle” terimi, yüzey/hacim oranı düşük olan parçalar anlamındadır
- Başlangıç parça şekilleri, silindirik kütükler ve dikdörtgen çubukları içerir



DÖVME:Parça ve Kalıp

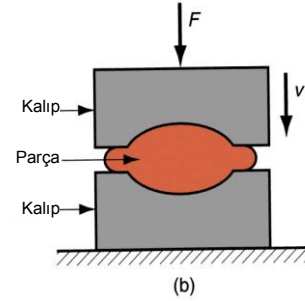


A)Altan üste doğru sıcak dövme ile bir krank milinin şekillendirilme adımları



B)3000 Tonluk bir preste elle besleme yapılan progresif bir krank kalıbı

Dövme



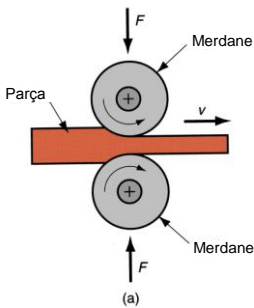
(b)

Şekil 18.2 Temel kütle şekillendirme yöntemleri: (b) dövme

9

11

Haddeleme

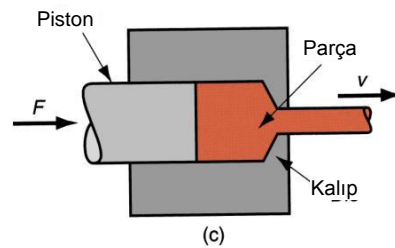


(a)

Şekil 18.2 Temel kütle şekillendirme yöntemleri: (a) haddeleme

10

Ekstrüzyon

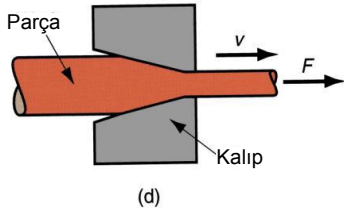


(c)

Şekil 18.2 Temel kütle şekillendirme yöntemleri: (c) ekstrüzyon

12

Tel ve Çubuk Çekme

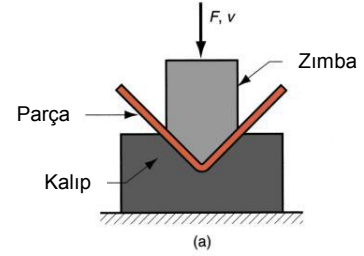


(d)

Şekil 18.2 Temel kütle şekillendirme yöntemleri: (d) çekme

13

Saç Metal Bükme



(a)

Şekil 18.3 Temel saç metal şekillendirme yöntemleri: (a) bükme

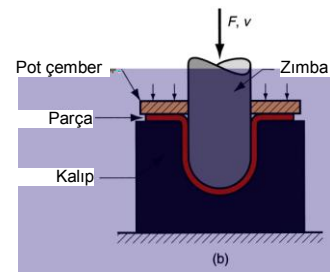
15

Saç Metal Şekillendirme

- Metal saçlar, şeritler ve bobinlere uygulanan şekillendirme ve ilgili işlemler
- Kütle şekillendirmeden farklı olarak yüksek yüzey/hacim oranına sahip başlangıç malzemesi
- Bu işlemleri presler yaptığından genellikle *pres işi* olarak adlandırılır
 - Parçalar genellikle *saç* olarak adlandırılır
 - Yaygın kalıplar: *zimba* ve *kalıp*

14

Derin Çekme

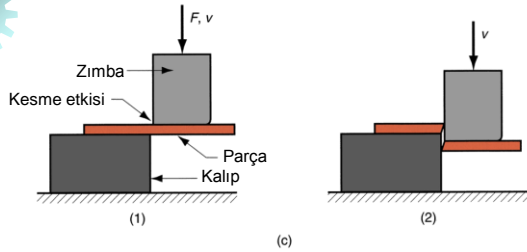


(b)

Şekil 18.3 Temel saç metal şekillendirme yöntemleri: (b) derin çekme

16

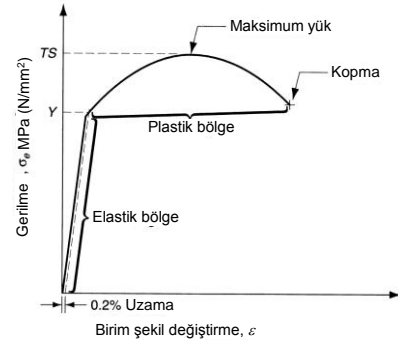
Saç Metalin Kesilmesi



Şekil 18.3 Temel saç metal şekillendirme yöntemleri: (c) kesme

17

Tipik Mühendislik Gerilme-BŞD Eğrisi



19

Metal Şekillendirmede Malzeme Davranışı

- Gerilme-Birim Şekil Değiştirme eğrisinin plastik bölgesi, öncelikli ilgi konusudur; çünkü malzeme plastik olarak şekil değiştirir
- Plastik bölgede, malzemenin davranışı aşağıdaki akış eğrisi ile açıklanır:

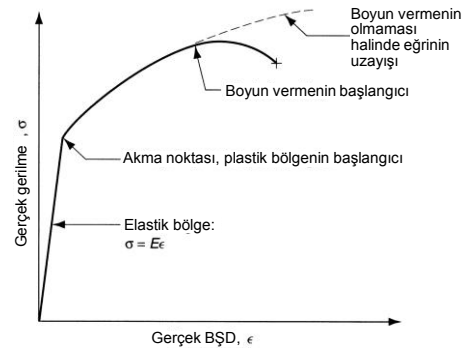
$$\sigma = K\epsilon^n$$

burada K = dayanım katsayısı; ve n = şekil değiştirmede **pekleşme üsteli**'dir

- Akış eğrisi gerçek gerilme ve gerçek birim şekil değiştirmelere dayanır

18

Gerçek Gerilme-BŞD Eğrisi



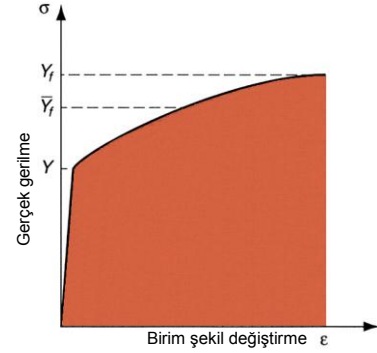
20

Akma Gerilmesi

- Oda sıcaklığında çoğu metal için dayanım, şekil değiştirme sertleşmesi (pekleşme) nedeniyle şekil değiştirdiğinde artar
- **Akma gerilmesi** = malzemenin şekil değişimine devam edebilmek için uygulanması gereken anlık gerilme değeri

$$Y_f = K\varepsilon^n$$

burada Y_f = akma gerilmesi, (flow stress)
yani, birim şekil değiştirmenin fonksiyonu
olarak akma dayanımıdır



Şekil 18-4 Akma eğrisinin integre edilerek ortalama değerinin bulunduğu bölge

21

23

Ortalama Akma Gerilmesi

- Akma eğrisini, "sıfır" ile "ilgilenilen bölgede tanımlanan son birim şekil değiştirme değeri" arasında integre ederek belirlenir

$$\bar{Y}_f = \frac{K\varepsilon^n}{1+n}$$

$$\bar{Y}_f = \frac{\int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon}{\varepsilon_f} = \frac{\int_0^{\varepsilon_f} K\varepsilon^n d\varepsilon}{\varepsilon_f} = \frac{K\varepsilon_f^n}{1+n}$$

burada

\bar{Y}_f = ortalama akma gerilmesi; ve
 ε = şekil değiştirme işlemi sırasındaki maksimum birim şekil değiştirmedir

Metal Şekillendirmede Sıcaklık

- Herhangi bir metal için akma eğrisindeki K ve n sıcaklığa bağlıdır
 - Hem dayanım (K) ve hem de pekleşme, yüksek sıcaklıklarda düşer
 - Ek olarak, yüksek sıcaklıklarda süneklik artar

22

24



Metal Şekillendirmede Sıcaklık

- Herhangi bir şekil verme işlemi, yüksek sıcaklıklarda daha düşük kuvvetlerle gerçekleştirilebilir
- Metal şekillendirmede üç sıcaklık bölgesi vardır:
 - Soğuk şekil verme
 - Ilık şekil verme
 - Sıcak şekil verme

Categories	Temp. Range	Strain-rate Sensitivity exponent	Coefficient of Friction
Cold Working	$<0.3T_m$	$0 < m < 0.05$	0.1
Warm Working	$0.3T_m - 0.5T_m$	$0.05 < m < 0.1$	0.2
Hot Working	$0.5T_m - 0.75T_m$	$0.05 < m < 0.4$	0.4-0.5

25



Soğuk Şekil Vermenin Üstünlükleri

- Daha yüksek doğruluk, daha dar toleranslar
- Daha yüksek yüzey kalitesi
- Pekleşme, dayanım ve sertliği artırır
- Şekillendirme sırasındaki tane akışı, üründe istenen yönlendirilmiş özellikleri sağlayabilir
- Parçanın ısıtılması gerekmez

27



Soğuk Şekil Verme

- Oda sıcaklığında veya hafifçe üzerindeki sıcaklıkta yapılır
- Çoğu soğuk şekillendirme yöntemi, seri üretim işlemlerinde önemlidir
- Genellikle hiç veya çok az talaş kaldırma gerekir
 - Bu işlemler, *net şekil* veya *net şekle yakın* yöntemlerdir

26



Soğuk Şekil Vermenin Zayıflıkları

- Şekillendirme işleminde daha büyük kuvvetler ve güçler gerekir
- Başlangıç iş parçasının yüzeylerinden, hadde curufları ve kirliliklerin uzaklaştırılması gerekir
- Süneklik ve pekleşme, yapılabilecek şekillendirme miktarını sınırlar
 - Bazı durumlarda, ilave şekil verme için metalin tavllanması gerekir
 - Yine bazı durumlarda ise metal, soğuk işlenemeyecek derecede sünek olmayabilir

28



Ilık Şekil Verme

- Oda sıcaklığının üzerinde, ancak yeniden kristalleşme sıcaklığının altında uygulanır
- Soğuk ve ılık şekil verme arasındaki sınır, genellikle erime sıcaklığı cinsinden çizilir:
 - $0.3T_m$ burada T_m = metalin erime sıcaklığı (mutlak sıcaklık)



Sıcak Şekil Verme

- *Yeniden kristalleşme sıcaklığı*'nın üzerindeki sıcaklıklarda şekil verme
- Yeniden kristalleşme sıcaklığı = mutlak sıcaklık cinsinden erime sıcaklığının yaklaşık yarısına eşittir
 - Pratikte, sıcak şekil verme, $0.5T_m$ 'nin *haffiçe üstünde yapılır*
 - Metal, sıcaklık $0.5T_m$ 'nin üzerine çıktıkça yumuşamasını sürdürür; bu seviyenin üzerinde sıcak işlemin üstünlükleri artar



Ilık Şekil Vermenin Üstünlükleri

- Soğuk şekil vermeye göre daha düşük kuvvetler ve güçler
- Daha karmaşık parça geometrileri mümkündür
- Tavlamaya ihtiyaç azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir



Neden Sıcak Şekil Verme?

- Soğuk ve ılık şekil vermeden çok daha yüksek seviyede, metalin temel plastik şekil değiştirmesi için olanak
- Neden?
 - Dayanım katsayısı (K), oda sıcaklığındaki değerinden önemli oranda düşüktür
 - Pekleşme üsteli (n) sıfır'dır (teorik olarak)
 - Süneklik önemli oranda artar



Sıcak Şekil Vermenin Üstünlükleri

- Parça şekli önemli oranda değiştirilebilir
- Daha düşük kuvvet ve güçler gerekir
- Soğuk işlemede genellikle kırılan metaller, sıcak işlenebilir
- Parçanın dayanım özellikleri genellikle izotropiktir
- Parçada soğuk sertleşme nedeniyle dayanım artışı meydana gelmez
 - Parçanın sonradan soğuk şekil verme ile işlenmesi bakımından üstünlük

33



Şekil Değişirme Hızına Duyarlılık

- Teorik olarak bir metal sıcak şekil verme sırasında, pekleşme üsteli $n = 0$ değerine sahip bir mükemmel plastik malzeme gibi davranır
 - Metalin bir kez akma gerilmesi değerine ulaştığında aynı değerde akmaya devam etmesi gerekir
 - Ancak şekil verme sırasında, özellikle de yüksek sıcaklıklarda, ilave olaylar meydana gelir: Şekil değiştirme hızına duyarlılık

35



Sıcak Şekil Vermenin Zayıflıkları

- Daha düşük boyutsal doğruluk
- Daha yüksek toplam enerji gerekir (parçayı ısıtmak için ısı enerjisi nedeniyle)
- Parça yüzeyinde oksitlenme (hadde curufu), daha kötü yüzey kalitesi
- Daha kısa takım ömrü

34



Şekil Değişirme Hızı Nedir?

- Şekillendirmede şekil değiştirme hızı, v şekillendirme hızıyla doğrudan ilişkilidir
- Şekil verme hızı $v = \text{koç (şahmerdan)'}ın hızı veya diğer ekipmanın hareketinin hızıdır$
- **Şekil değiştirme hızının tanımı:**

$$\dot{\epsilon} = \frac{v}{h}$$

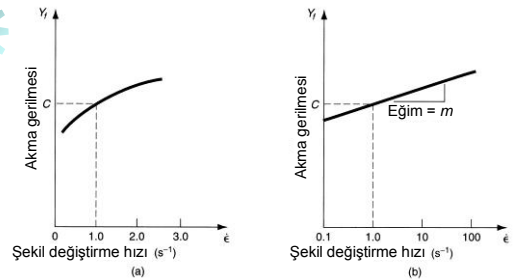
burada $\dot{\epsilon}$ = gerçek şekil değiştirme hızı ve h = şekil verilen parçanın anlık yüksekliğidir

36

Şekil Değişirme Hızının Değerlendirilmesi

- Çoğu pratik işlemden, şekil değişirme hızının değerlendirilmesi aşağıdaki faktörlerle yapılır
 - Parça geometrisi
 - Parçanın farklı bölgelerinde şekil değişirme hızının değişimi
- Bazı metal şekil verme işlemlerinde şekil değişirme hızı 1000 s^{-1} veya daha fazlasına ulaşabilir

Şekil Değişirme Hızına Duyarlılık



Şekil 18.5 (a) Yüksek parça sıcaklığında, şekil değişirme hızının akma gerilmesine etkisi. (b) Aynı ilişkinin log-log koordinatlarında çizimi.

37

39

Şekil Değişirme Hızının Akma Gerilmesine Etkisi

- Akma gerilmesi, sıcaklığın bir fonksiyonudur
- Sıcak şekil verme sıcaklıklarında akma dayanımı, şekil değişirme hızına da bağlıdır
 - Şekil değişirme hızı arttıkça, şekillendirmeye direnç de artar
 - Bu etki, şekil değiştirmeye duyarlılık olarak bilinir

Şekil Değişirme Hızına Duyarlılık Denklemi

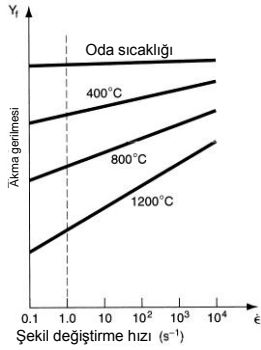
$$Y_f = C\dot{\epsilon}^m$$

burada C = dayanım sabiti (akma eğrisindeki dayanım katsayısına benzer ancak eşit değil) ve m = şekil değişirme hızına duyarlılık üsteli'dir

38

40

Sıcaklığın Akma Gerilmesine Etkisi



Şekil 18.6 Tipik bir metal için sıcaklığın akma gerilmesine etkisi. Artan sıcaklıkla, C sabiti, şekil değiştirme hızı = 1.0'deki kesikli dikey çizgiyle her bir eğrinin kesişme noktasından görüldüğü üzere azalır ve m (her noktanın eğimi) artar.

41

Metal Şekillendirmede Sürtünme

- Çoğu metal şekillendirme yönteminde sürtünme istenmez:
 - Metal akışı zorlaşır
 - Kuvvetler ve güç artar
 - Takım aşınması hızlanır
- Sıcak şekil vermede sürtünme ve takım aşınması daha ciddidir

43

Şekil Değiştirme Hızına Duyarlılık Üzerine Gözlemler

- Artan sıcaklık, C 'yi azaltırken m 'yi artırır
 - Oda sıcaklığında, şekil değiştirme hızının etkisi hemen hemen ihmal edilir
 - Akma eğrisi, malzeme davranışının iyi bir göstergesidir
 - Sıcaklık arttıkça şekil değiştirme hızı, akma gerilmesinin tahmininde gittikçe daha önemli hale gelir

42

Metal Şekillendirmede Yağlama

- Metal işleme yağlayıcıları, sürtünmenin zararlı etkilerini azaltmak amacıyla, çoğu şekil verme yönteminde takım-parça arayüzüne uygulanır
- Faydaları:
 - Azalan yapışma, kuvvetler, güç, takım aşınması
 - Daha iyi yüzey kalitesi
 - Takımdaki ısıyı uzaklaştırır

44



Bir Yağlayıcının Seçimindeki Kriterler

- Plastik şekil verme yönteminin türü (haddeme, dövme, saç metal çekme, vs.)
- Sıcak şekillendirme veya soğuk şekillendirme
- Parça malzemesi
- Takım ve parça metallerinin kimyasal reaktifliği
- Uygulama kolaylığı
- Maliyet