



SAE MÜHENDİSLİK
ENGINEERING & CONSULTING

TEKNİK YAYINLAR • No. 2

Dövme Teknolojisi

Plastik şekillendirme esasları, dövme yöntemleri, kalıp tasarımı, fiber yapı, dövme çelikleri, hata analizi ve kalite kontrol

Hazırlayan: Ahmet Asım ESER — SAE Mühendislik ve Danışmanlık Hizmetleri

Sürüm: 1.0 • **Tarih:** Ağustos 2026 • **saemuhendislik.com**

Bu doküman SAE Mühendislik tarafından özgün olarak hazırlanmıştır. Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

1. Giriş

Dövme; metalin, basma ağırlıklı kuvvetler altında plastik şekil değiştirmesiyle istenen geometriye getirilmesidir. Dökümden farklı olarak malzeme ergitilmez; katı hâlde deforme edilir. Bu sayede döküm kaynaklı porozite ve inklüzyon sorunlarının büyük bölümü baştan elenir, iç yapı sıkışır ve **tane akışı (fiber yapı)** parça geometrisini izleyecek şekilde yönlendirilir.

Sonuç: eşdeğer kimyasal bileşimdeki döküm veya talaşlı imalat parçasına kıyasla **daha yüksek tokluk, süneklik ve özellikle yorulma dayanımı**. Bu nedenle krank mili, biyel, aks, dişli, cıvata ve türbin diski gibi **emniyet kritik** parçalarda dövme ilk tercihtir.

Neden dövme? Dinamik yük altında çalışan bir bağlantı parçası (örneğin bir rot başı ya da biyel) ömrü boyunca milyonlarca yük çevrimi görür. Yorulma çatlağı hemen daima yüzeyden ve kusurdan başlar; dövmenin kusur içermeyen, fiber yapısı yüke paralel iç dokusu tam da bu senaryoda fark yaratır.

2. Plastik Şekillendirme Esasları

2.1 Gerçek gerilme–gerinim ve akma eğrisi

Şekillendirme hesaplarında mühendislik değil **gerçek (true) gerilme–gerinim** kullanılır. Soğuk şekillendirmede akma eğrisi çoğunlukla Hollomon bağıntısıyla temsil edilir:

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

Burada K mukavemet katsayısı, n pekleşme üstelidir. Sıcak şekillendirmede pekleşme yerini **dinamik toparlanma ve yeniden kristalleşmeye** bırakır; akma gerilmesi sıcaklığa ve deformasyon hızına ($\dot{\epsilon}$) güçlü bağlıdır.

2.2 Sıcak, ılık ve soğuk dövme

Rejim	Sıcaklık (T/T_e)	Çelikte tipik aralık	Üstünlük	Sınırlama
Sıcak	$> 0,6$	1100–1250 °C	Düşük kuvvet, yüksek şekillendirilebilirlik	Tufal, dekarburizasyon, geniş tolerans
Ilık	0,3–0,5	650–950 °C	Tufal az, daha dar tolerans	Kalıp yükleri yüksek
Soğuk	$< 0,3$	Oda sıcaklığı	En iyi yüzey/tolerans, pekleşmeyle mukavemet	Yüksek kuvvet, kademeli form gereksinimi

Pratik kural: parça büyüdükçe ve geometri karmaşıklaştıkça sıcak dövmeye, hassasiyet ve mukavemet talebi arttıkça soğuk/ılık dövmeye yaklaşılr.

3. Dövme Yöntemleri

- Açık kalıpta dövme:** Basit düz/şekilli kalıplar arasında serbest şekillendirme. Büyük miller, generatör rotorları; ingot iç yapısının kırılması (kesme oranı $\geq 3:1$ hedefi).

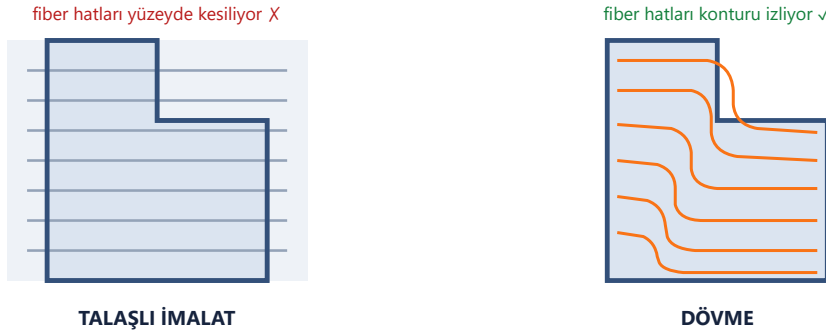
- **Kapalı kalıpta (çapaklı) dövme:** Parça geometrisi kalıp boşluğuna işlenmiştir; fazla metal **çapak** olarak dışarı taşar. Seri üretimin ana yöntemi.
- **Hassas (çapaksız) dövme:** Hacim hassas kontrol edilir, kapalı boşlukta çapaksız form; dış formu dövülmüş dişliler gibi net-shape parçalar.
- **Yığma (upset) dövme:** Çubuk ucunun yatay makinelerde kademeli şişirilmesi; cıvata başı, supap.
- **Halka haddeleme (ring rolling):** Delinmiş ön formun çapının döner merdanelerle büyütülmesi; rulman bilezikleri, flanşlar.
- **Radyal/rotari dövme:** Çevresel çekiçlerle eksenel simetrik inceltme; kademeli miller, namlu üretimi.

3.1 Ekipman: çekiç mi, pres mi?

Ekipman	Karakter	Tipik kullanım
Şahmerdan (çekiç)	Darbeli, enerji sınırlı, esnek	Küçük-orta parçalar, çok boşluklu kalıplar
Mekanik pres (krank/eksantrik)	Strok sınırlı, yüksek tempo	Otomotiv seri dövme hatları
Vidalı pres	Enerji sınırlı, tek etkili vuruş	Orta boy, yüksek şekil hassasiyeti
Hidrolik pres	Kuvvet sınırlı, düşük hız	Büyük parçalar, izotermal dövme (Ti, süper alaşım)

4. Fiber Yapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Sıcak deformasyon sırasında segregasyon bantları ve inklüzyonlar deformasyon yönünde uzayarak **tane akış hatlarını** oluşturur. Doğru tasarlanmış bir dövmede bu hatlar parça konturunu kesintisiz izler; talaşlı imalat ise yüzeyde kesilirler.



Şekil 1. Aynı geometri için talaşlı imalat ile dövmede tane akış hatları (şematik — SAE Mühendislik çizimi).

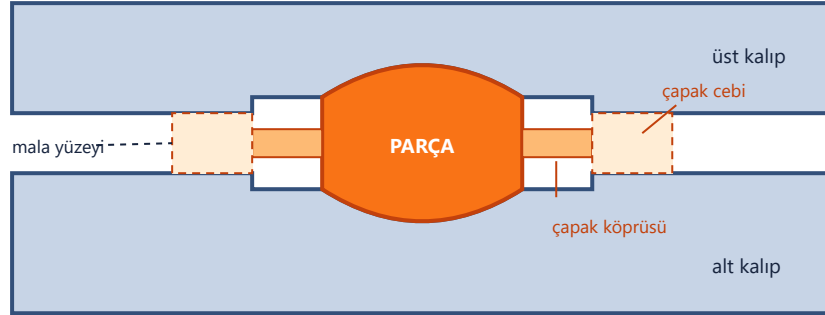
Fiber yönüne paralel doğrultuda süneklik ve tokluk en yüksek, dik doğrultuda en düşüktür. Tasarım kuralı: **ana yük ve gerilme yoğunlaşması doğrultusu fiber yönüne paralel olmalı**; makro dağlama (etch) testiyle doğrulanmalıdır.

5. Kalıp ve Ön Form Tasarımı

5.1 Kalıp elemanları

- **Mala yüzeyi:** Kalıp yarımlarının ayırım düzlemi; fiber sürekliliği ve çapak alma kolaylığı birlikte gözetilir.
- **Eğimler:** Parçanın kalıptan çıkabilmesi için tipik iç yüzeylerde 7–10°, dış yüzeylerde 3–7° (ejektörlü preslerde daha düşük).

- **Radyüsler:** Küçük radyüs; kalıpta erken yorulma, parçada kat (lap) ve dolum sorunu demektir. Kesit geçişlerinde cömert radyüs esastır.
- **Çapak boşluğu (flash land + gutter):** Dar çapak köprüsü basınç oluşturarak boşluğun dolmasını sağlar; taşan metal çapak cebinde toplanır.



Şekil 2. Kapalı kalıpta dövme kesiti: çapak köprüsü ve çapak cebi (şematik — SAE Mühendislik çizimi).

5.2 Ön form (blocker) mantığı

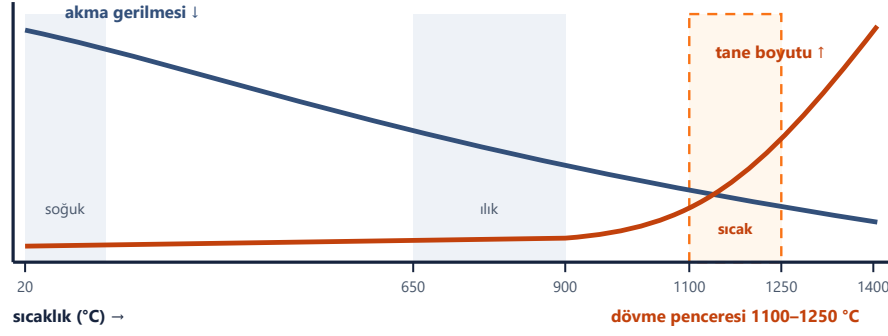
Karmaşık parçalar tek vuruşta dövülmez; **uzatma/toplama** → **ön form (blocker)** → **bitirme (finisher)** kademeleriyle metal, son boşluğa "hazırlanarak" getirilir. İyi ön form; bitirme kalıbında düşük çapak oranı, düzgün dolum ve uzun kalıp ömrü demektir. Günümüzde bu kademelerin tasarımı FEM tabanlı dövme simülasyonu ile doğrulanır.

5.3 Kalıp malzemeleri

Sıcak iş takım çelikleri esastır: **1.2344 (H13) / 1.2343 (H11)**; büyük kalıplarda 1.2714 (55NiCrMoV7). Kalıp ömrünü belirleyen ana mekanizmalar termal yorulma (ısıl çatlak ağsı), abrazif aşınma ve plastik deformasyondur; nitrürleme ve kaynakla dolgu-tamir standart uygulamalardır.

6. Proses Parametreleri

- **Kütük ısıtma:** İndüksiyon ısıtma seri üretimde standarttır (hızlı, az tufallı, otomasyona uygun). Sıcaklık üniformluğu ve aşırı ısıtmadan kaçınma (yanık yapı riski) kritiktir.
- **Tufal yönetimi:** Tufal; kalıba taşınırsa yüzey hatası, temizlenmezse boyut kaybı üretir. Tufal kırıcı/yıkayıcı ve kısa transfer süreleri gerekir.
- **Yağlama:** Sıcak dövmede grafit-su emülsiyonları yaygındır; kalıp soğutma + ayırıcı görev görür. Soğuk dövmede fosfat kaplama + sabun klasik sistemdir.
- **Kalıp ön ısıtma:** 150–300 °C aralığı; soğuk kalıp hem erken çatlar hem yüzeyde soğuk kat riski doğurur.



< ~1050 °C: akma gerilmesi yüksek → pres ve kalıp zorlanır, eksik dolum ve çatlak riski artar
 > ~1300 °C: tane kabalaşması, tane sınırı oksidasyonu ve ergime başlangıcı = **yanık yapı (geri dönüşü yok)**

Şekil 3. Sıcak dövmede çalışma penceresi iki karşıt eğriyle sınırlanır: sıcaklık yükseldikçe **akma gerilmesi düşer** (kuvvet ve kalıp aşınması azalır), ama aynı sıcaklık **taneyi kabalaştırır** ve sonunda tane sınırlarını oksitleyip yanık yapı üretir. Çelikte uygulanabilir aralık bu iki eğrinin dengelendiği yerdir; pencerenin altı pres sorunu, üstü **telafi edilemez malzeme sorunu** doğurur. (şematik — SAE Mühendislik çizimi; sınırlar alışıma göre kayar.)

7. Dövme Malzemeleri

7.1 Çelikler

- **İslah çelikleri (EN 10083):** C45, 42CrMo4, 41Cr4, SAE 5140 (41Cr4 muadili). Dövme sonrası su verme + temperleme (islah) ile 850–1100 MPa çekme dayanımı; aks, mil, pim ve civata gibi makine ve taşıt parçaları.
- **Mikroalaşımlı (ferritik-perlitik) çelikler (EN 10267):** 30MnVS6, 38MnVS6. V(C,N) çökeltileriyle **kontrollü soğutma sonrası ısıl işlemsiz** islah çeliği mertebesinde mukavemet; enerji ve proses maliyetinde ciddi kazanç. Otomotiv dövmeciliğinde krank ve biyel gibi parçaların standardı hâline gelmiştir.
- **Sementasyon çelikleri (EN 10084):** 16MnCr5, 20MnB4, 20MnCr5; dişli ve mil uygulamalarında dövme + sementasyon rotası.

Saha notu: Mikroalaşımlı çelikte mekanik özelliğin sigortası kimyasal analiz değil, **dövme sonrası soğutma hızıdır**. Konveyör üzeri kontrollü soğutma bölgesinin hava debisi ve parça diziliş sıklığı değiştiğinde, aynı döküm sertifikalı malzemede dahi sertlik bandı dışına çıkılabilir.

7.2 Demir dışı alaşımlar

- **Alüminyum:** 6082, 6061 (taşıt şasi ve bağlantı parçaları) ve yüksek mukavemetli 7075 (havacılık). Dövme sonrası T6 ısıl işlemi tipiktir.
- **Titanyum:** Ti-6Al-4V; β-transus'a göre yürütülen α+β veya β dövme rotaları mikroyapıyı (eş eksenli/lamellar) belirler. Fan diski, kanat, ortopedik implant.
- **Süper alaşımlar:** Inconel 718 vb.; dar sıcaklık pencereleri nedeniyle izotermal dövme ve hassas proses kontrolü gerektirir.

8. Dövme Sonrası Isıl İşlemler

- **Normalizasyon:** Dövme sonrası kaba ve heterojen taneyi inceltir; işlenebilirlik ve tokluk için temel.

- **Islah (su verme + temperleme):** Islah çeliklerinde nihai mukavemet/tokluk dengesini kurar.
- **Kontrollü soğutma:** Mikroalaşımlı çeliklerin "ısıt işlemi"; dövme sıcaklığından hedeflenen hızla soğutma hattı üzerinde yapılır.
- **Gerilim giderme / yumuşatma:** Soğuk dövme kademeleri arasında rekristalizasyon tavlama; kademeler arası şekillendirilebilirliği geri kazandırır.

9. Dövme Hataları: Tanı ve Önleme

Hata	Tipik görünüm	Kök neden	Başlıca önlemler
Kat (lap / fold)	Yüzeye paralel, oksitli ince süreksizlik; MT/PT'de çizgisel iz	Metalin kendi üstüne katlanması: kötü ön form, keskin radyüs	Ön form revizyonu, radyüs artırma, simülasyonla akış kontrolü
Eksik dolum	Kalıp boşluğunun dolmayan köşeleri	Yetersiz hacim/enerji, düşük sıcaklık, geniş çapak kaçışı	Kütük hacmi, çapak köprüsü daraltma, sıcaklık
Boru / merkez gevşekliliği	Kesit merkezinde süreksizlik (UT ile)	İngot çekintisinin yetersiz kesme oranıyla kapanmaması	Kesme oranı $\geq 3:1$, nitelikli yarı mamul
Sıcak yırtılma / yanık	Tane sınırlarında oksitlenmiş çatlak	Aşırı ısıtma (ergime başlangıcı), kükürt etkisi	Isıtma kontrolü, uygun sıcaklık penceresi
Tufal izi	Yüzeyde basılmış oksit çukurları	Tufalın kalıba taşınması	Tufal temizliği, kısa transfer, yağlama düzeni
Dekarbürizasyon	Yüzeyde yumuşak ferritik katman	Uzun/oksitleyici ısıtma	Hızlı indüksiyon ısıtma, atmosfer kontrolü, işleme payı
Kaçıklık (mismatch)	Mala yüzeyinde iki yarım arasında kayma	Kılavuz boşluğu, pres/kalıp ayarı	Kalıp kilitleri, bakım, EN 10243 tolerans takibi
Su verme çatlağı	Islah sonrası keskin, taneler arası çatlak	Sert su verme + gecikmiş temper, kesit geçişleri	Uygun ortam (polimer/yağ), derhâl temper

Ayırt etme ipucu: Kat hatası kırık yüzeyinde **oksitli, deformasyon izli ve eski** bir yüzey olarak görünür; su verme çatlağı ise **temiz, parlak ve taneler arasındadır**. Hatanın "doğum anını" (dövme mi, ısıt işlem mi) çoğu zaman bu basit fraktografik ayırım söyler.

10. Kalite Kontrol ve Muayene

- **Boyut ve şekil:** EN 10243 (çelik kapalı kalıp dövme toleransları); kaçıklık, çapak artığı, eğiklik kontrolleri.
- **Yüzey muayenesi:** Manyetik parçacık (MT) çelik dövmede standarttır; demir dışında penetrant (PT).
- **İç yapı:** Ultrasonik muayene (UT) özellikle büyük serbest dövmelerde zorunlu; kritik havacılık parçalarında tam hacim taraması.
- **Makro dağılama:** Kesit alınıp dağılanarak fiber akışının çizime uygunluğu doğrulanır (özellikle emniyet parçalarında).
- **Mekanik testler:** Çekme, darbe (özellikle ıslah sonrası), sertlik taraması; mikroalaşımlıda sertlik bandı takibi.

- **Başlıca standartlar:** EN 10243-1/2, EN 10083, EN 10267, EN 10084, ASTM A788 (çelik dövme genel şartlar), AMS 2380 vb. havacılık spesifikasyonları.

11. Simülasyon ve Güncel Eğilimler

Sonlu elemanlar tabanlı dövme simülasyonu; kalıp dolumu, kat oluşumu, kalıp yükleri ve tane akışını döküm öncesi görünür kılarak kademe tasarımını deneme-yanılmadan kurtarmıştır. Güncel başlıklar: **servo mekanik presler** (programlanabilir strok profili), net-shape/near-net-shape dövme ile talaş oranının düşürülmesi, otomasyon ve hat içi izlenebilirlik (parça başı proses verisi), elektrikli araç dönüşümüyle birlikte hafif alaşım dövme hacminin artışı.

12. Yararlanılan Temel Kaynaklar

1. Altan, T., Ngaile, G., Shen, G., *Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications*, ASM International, 2005.
2. ASM International, *ASM Handbook Vol. 14A: Metalworking — Bulk Forming*, 2005.
3. Dieter, G.E., *Mechanical Metallurgy*, SI Metric ed., McGraw-Hill, 1988.
4. Tschaetsch, H., *Metal Forming Practise*, Springer, 2006.
5. Groover, M.P., *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 7. baskı, Wiley, 2019.
6. İlgili standartlar: EN 10243-1/2, EN 10083, EN 10267, EN 10084, ASTM A788.