



# FORJAMENTO

Prof. M.Sc.: Anael Krelling

É um dos processos mais antigos de transformação dos metais, utilizados por primitivos ferreiros. O processo consiste em dar uma forma útil aos materiais através de prensagem ou martelamento.

Sofreu uma grande evolução durante a Revolução industrial onde deixou de ser um processo meramente manual, passando a ser mecanizado, permitindo atualmente fabricar desde peças pequenas, como um parafuso, até bastante grandes, como a asa de um avião.



Um processo de forjamento é composto por uma série de passos típicos:

Corte → Aquecimento → Forjamento Livre ou Forjamento em matriz → Rebarbação → Tratamento Térmico

A maioria das operações de forjamento são efetuadas a quente, embora certos metais possam ser forjados a frio.

O processo de forjamento subdivide-se em duas categorias:

- Forjamento livre, ou em matriz aberta;
- Forjamento em matriz fechada, conhecido apenas como forjamento em matriz.

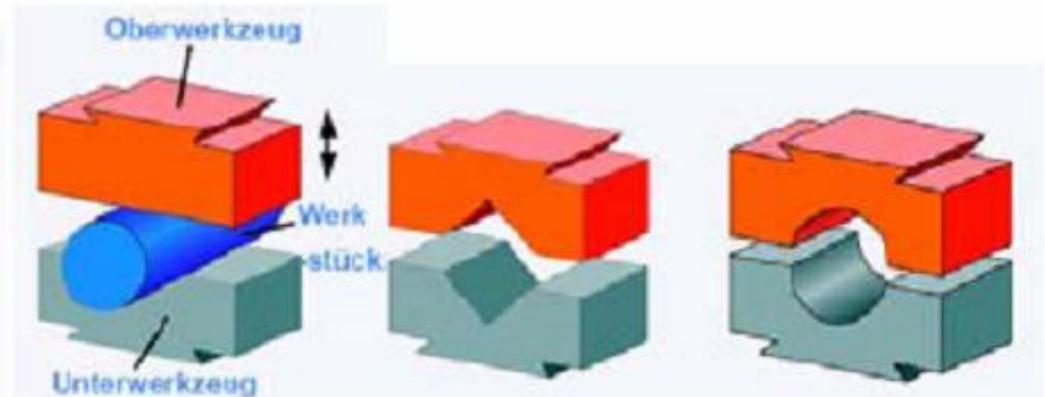
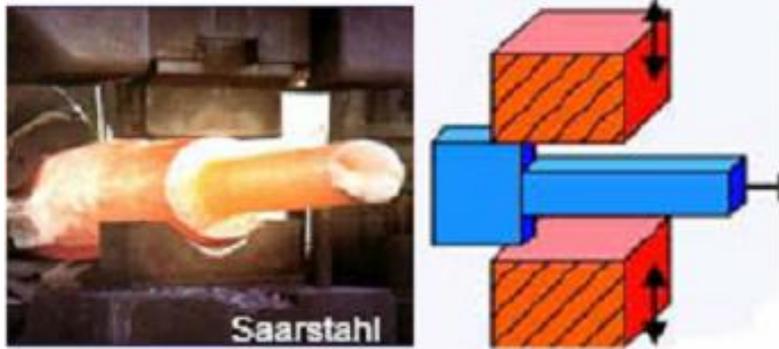
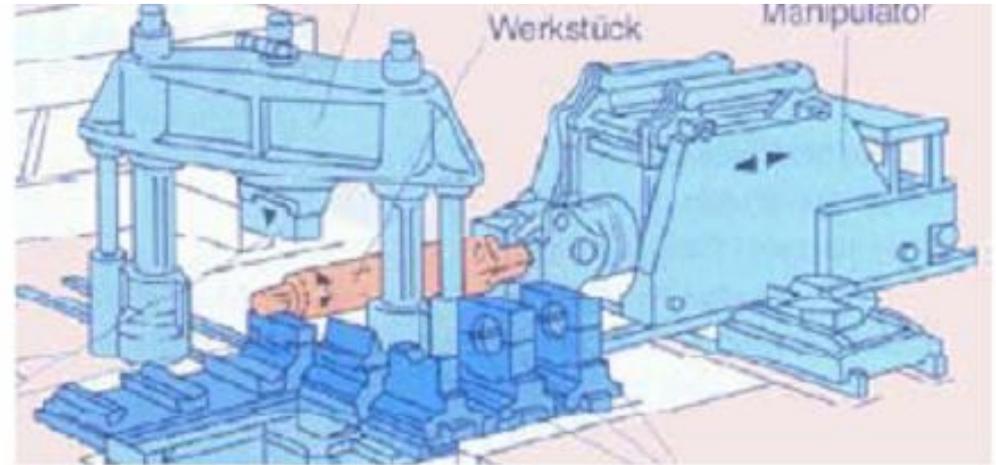
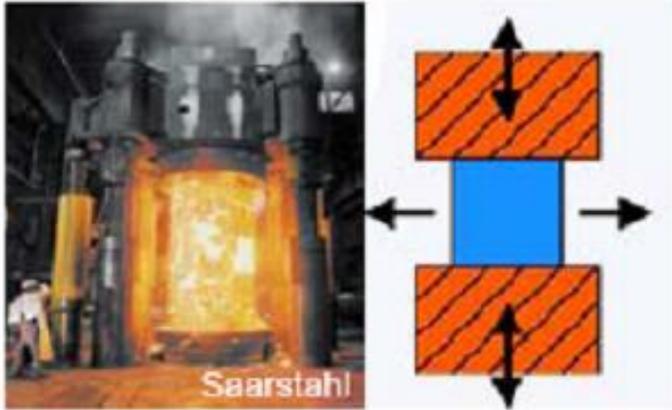
# FORJAMENTO EM MATRIZ ABERTA

O material é conformado entre matrizes planas ou de formato simples, que normalmente não se tocam. É usado geralmente para fabricar peças grandes, com forma relativamente simples (eixos de navios e de turbinas, ganchos, âncoras, alavancas, correntes, etc.) e em pequeno número; e também para pré-conformar peças que serão submetidas posteriormente a operações de forjamento mais complexas.

Conformação  
Forjamento em Matriz Aberta







flat back gage | acuminate back gage round back gage

## OPERAÇÕES UNITÁRIAS

São operações relativamente simples de conformação por forjamento empregando matrizes abertas ou ferramentas especiais com a finalidade de:

- Produzir peças acabadas de feitio simples;
- Redistribuir a massa de uma peça bruta para facilitar a obtenção de uma peça de geometria complexa por posterior forjamento em matriz.

### **Recalque**

Compressão direta do material entre um par de ferramentas de face plana ou côncava, visando primariamente reduzir a altura da peça e aumentar a sua seção transversal.



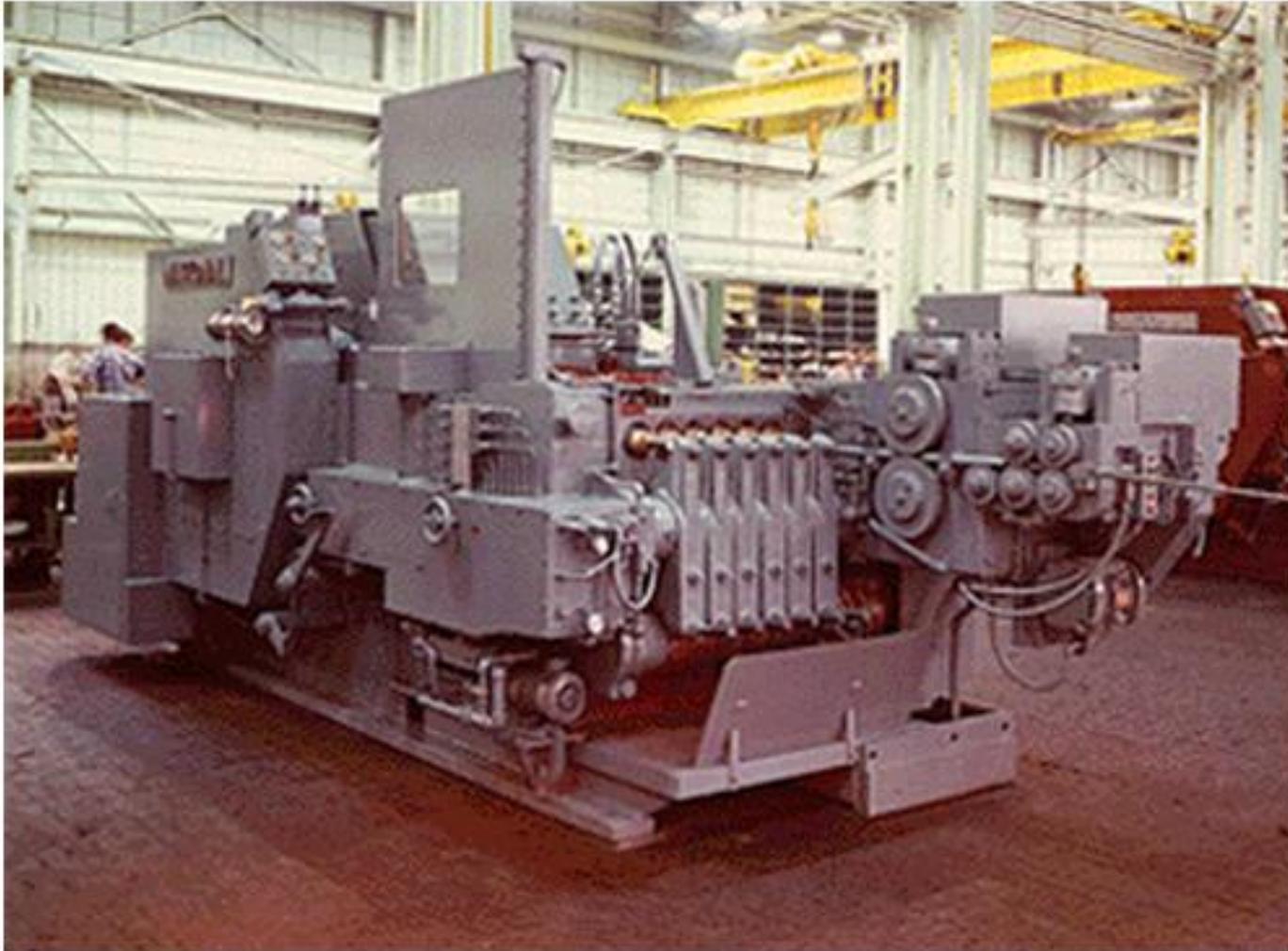
Conformação  
Recalque





Seqüência de passes de recalque para obtenção de parafuso sextavado de rosca métrica M9. Da esquerda para a direita: etapa 1 (tarugo), etapa 2 (recalque da cabeça), etapa 3 (recalque da cabeça) e etapa 4 (corte).

Máquinas de conformação a frio de parafusos são tipicamente prensas horizontais nas quais o arame é alimentado, cortado no comprimento devido e então transferido para uma série de ferramentas para ocorrer a deformação desejada.



# Estiramento

Visa aumentar o comprimento de uma peça às custas da sua espessura.

Conformação  
Estiramento



# Encalçamento

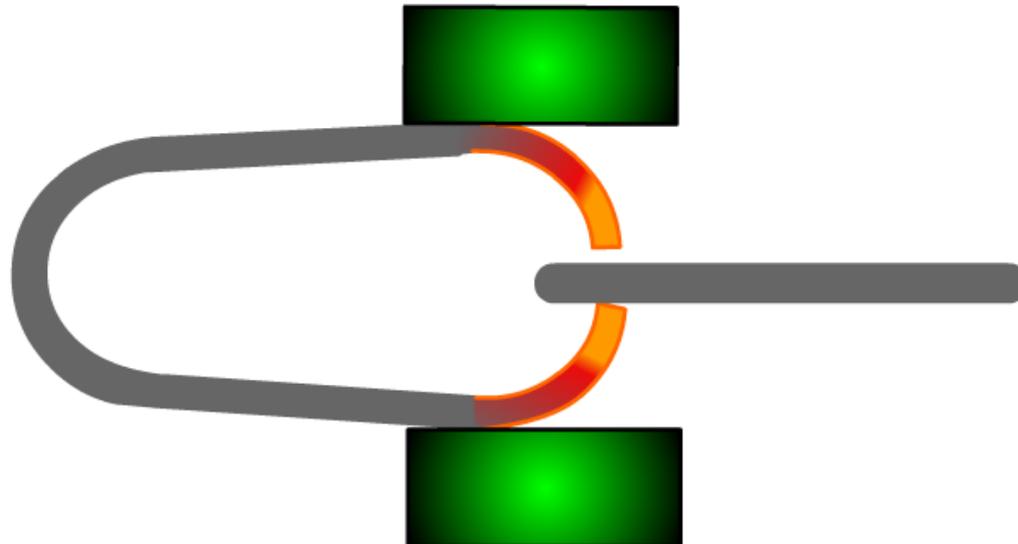
Variedade de estiramento em que se reduz a seção de uma porção intermediária da peça, por meio de uma ferramenta ou impressão adequada.

Conformação  
Encalçamento

# Caldeamento

Visa produzir a soldagem de duas superfícies metálicas limpas, postas em contato, aquecidas e submetidas a compressão.

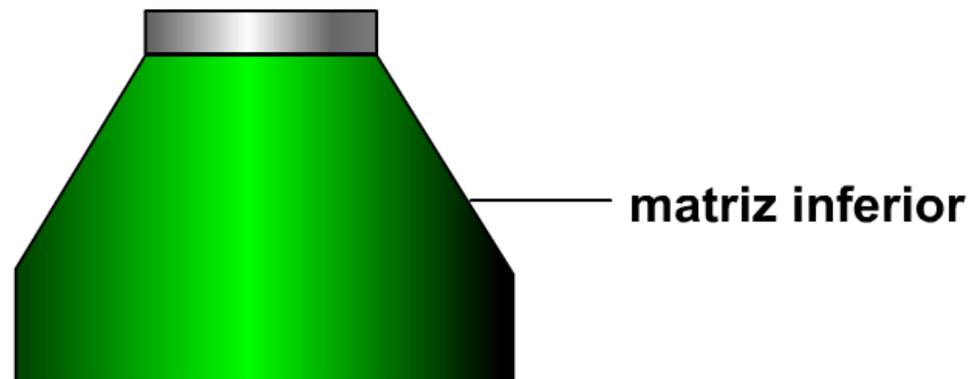
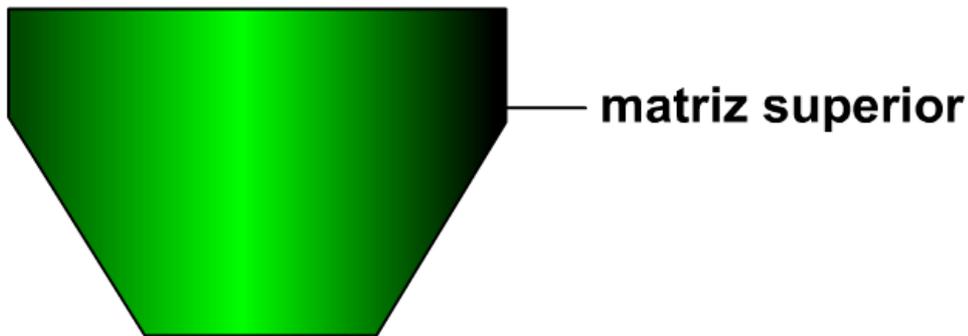
## Caldeamento Fabricação de elo de corrente



# Cunhagem

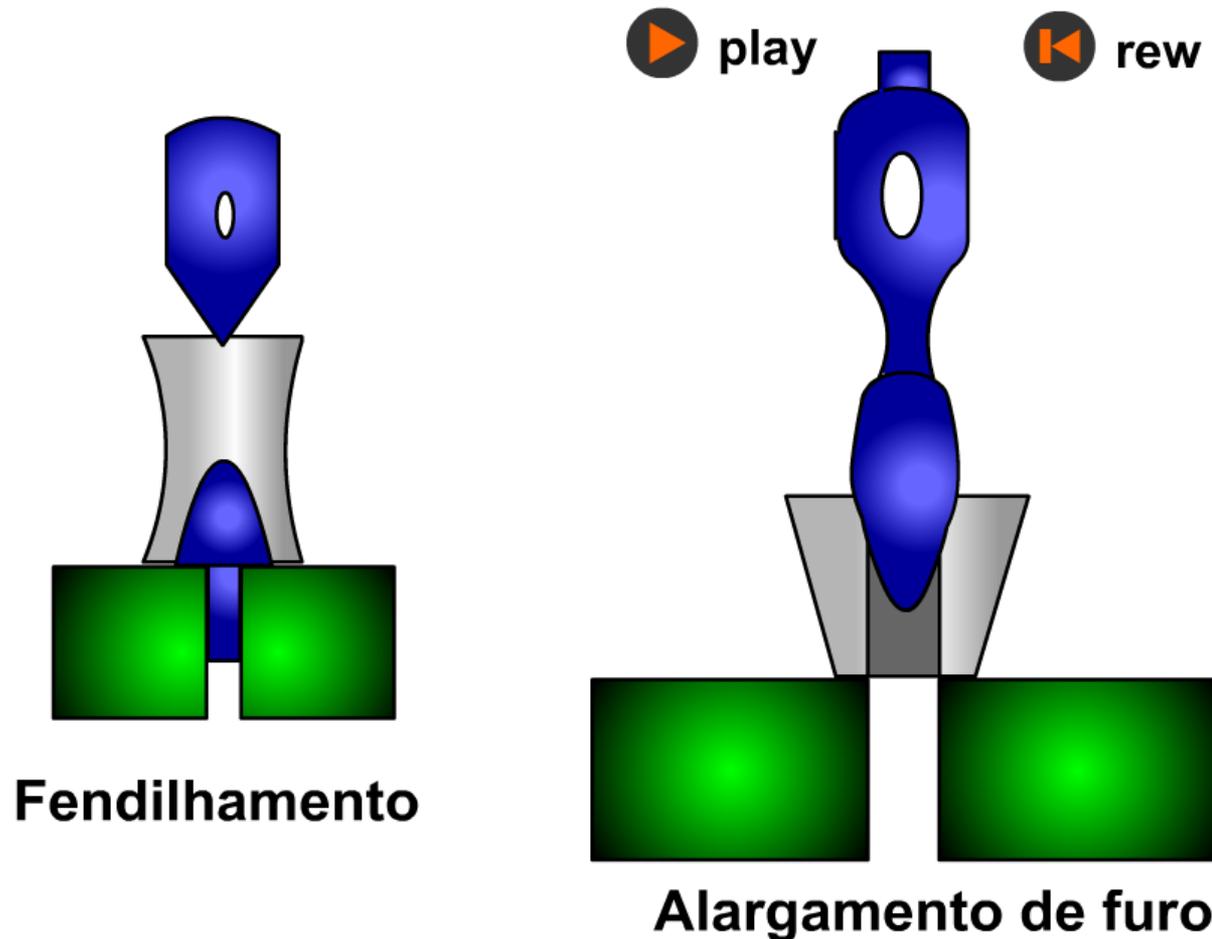
Geralmente realizada a frio, empregando matriz fechada ou aberta, visa produzir uma impressão bem definida na superfície de uma peça, sendo usada para fabricar moedas, medalhas talheres e outras peças pequenas, bem como para gravar detalhes de diversos tipos em peças maiores.

## Cunhagem



## Fendilhamento

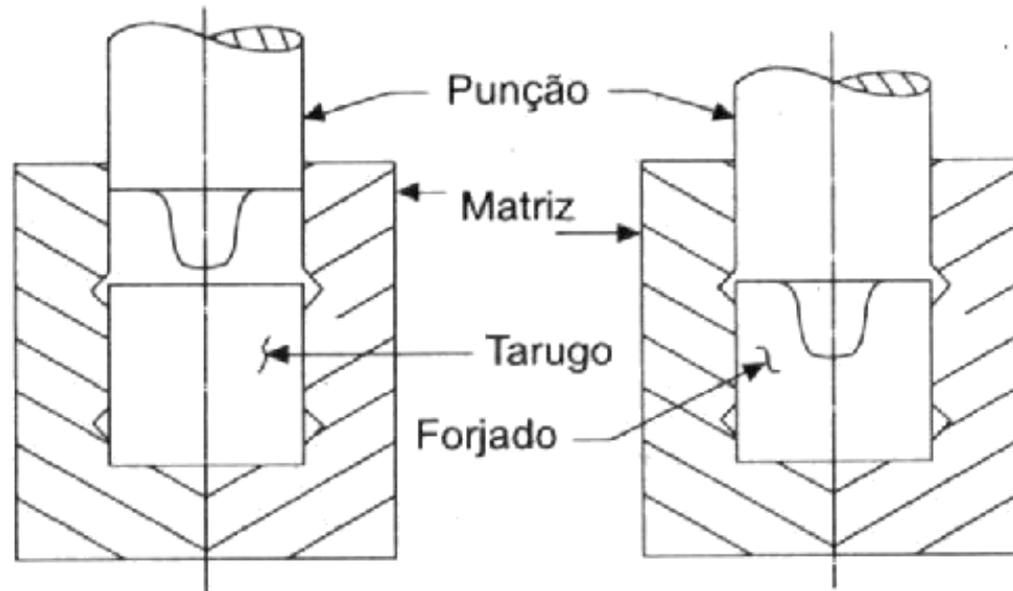
Consiste em separar o material, geralmente aquecido, por meio de um mandril de furação provido de gume; depois que a ferramenta foi introduzida até a metade da peça, esta é virada para ser fendilhada do lado oposto.



# FORJAMENTO EM MATRIZ FECHADA

O material é conformado entre duas metades de matriz que possuem impressões com o formato que se deseja fornecer à peça. A deformação ocorre sob alta pressão em uma cavidade fechada ou semi-fechada, permitindo obter peças com tolerâncias dimensionais menores do que no forjamento livre.

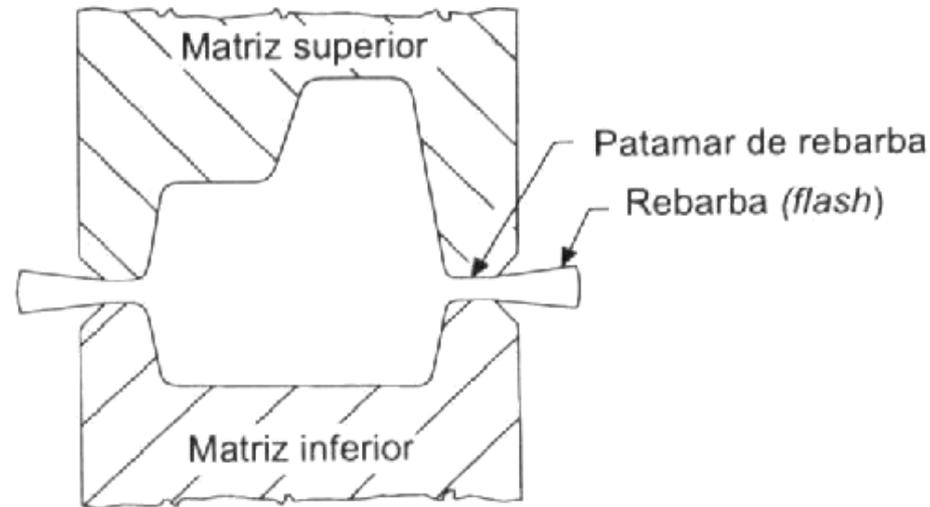
Conformação  
Forjamento em Matriz Fechada



Nos casos em que a deformação ocorre dentro de uma cavidade totalmente fechada, sem zona de escape, é fundamental a precisão na quantidade fornecida de material: uma quantidade insuficiente implica falta de enchimento da cavidade e falha no volume da peça; um excesso de material causa sobrecarga no ferramental, com probabilidade de danos ao mesmo e ao maquinário.

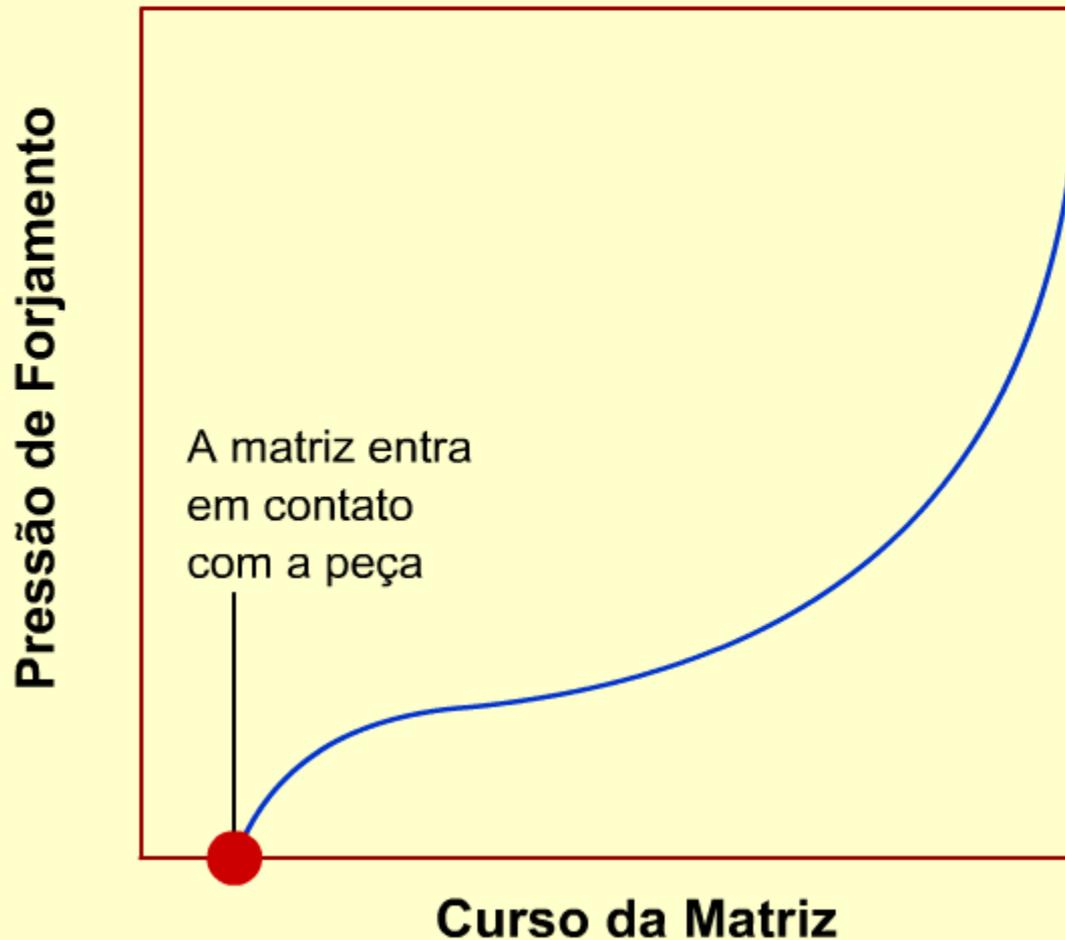
Dada a dificuldade de dimensionar a quantidade exata fornecida de material, é mais comum empregar um pequeno excesso. As matrizes são providas de uma zona oca especial para recolher o material excedente ao término do preenchimento da cavidade principal. O material excedente forma uma faixa estreita (rebarba) em torno da peça forjada. A rebarba exige uma operação posterior de corte (rebarbação) para remoção.

Conformação  
Forjamento com Rebarba



Neste processo, um tarugo é conformado (a quente) em matrizes (normalmente bipartidas) de modo que o fluxo de metal na cavidade da matriz seja restrito. O excesso de material é extrudado através de uma folga estreita e aparece como um rebarba ao longo de todo o contorno do componente na divisão do estampo.

# Curva típica de pressão de forjamento, para o forjamento com formação de rebarba.



As operações de obtenção das formas intermediárias de uma peça constituem a conformação intermediária, que se compõe normalmente de três etapas:

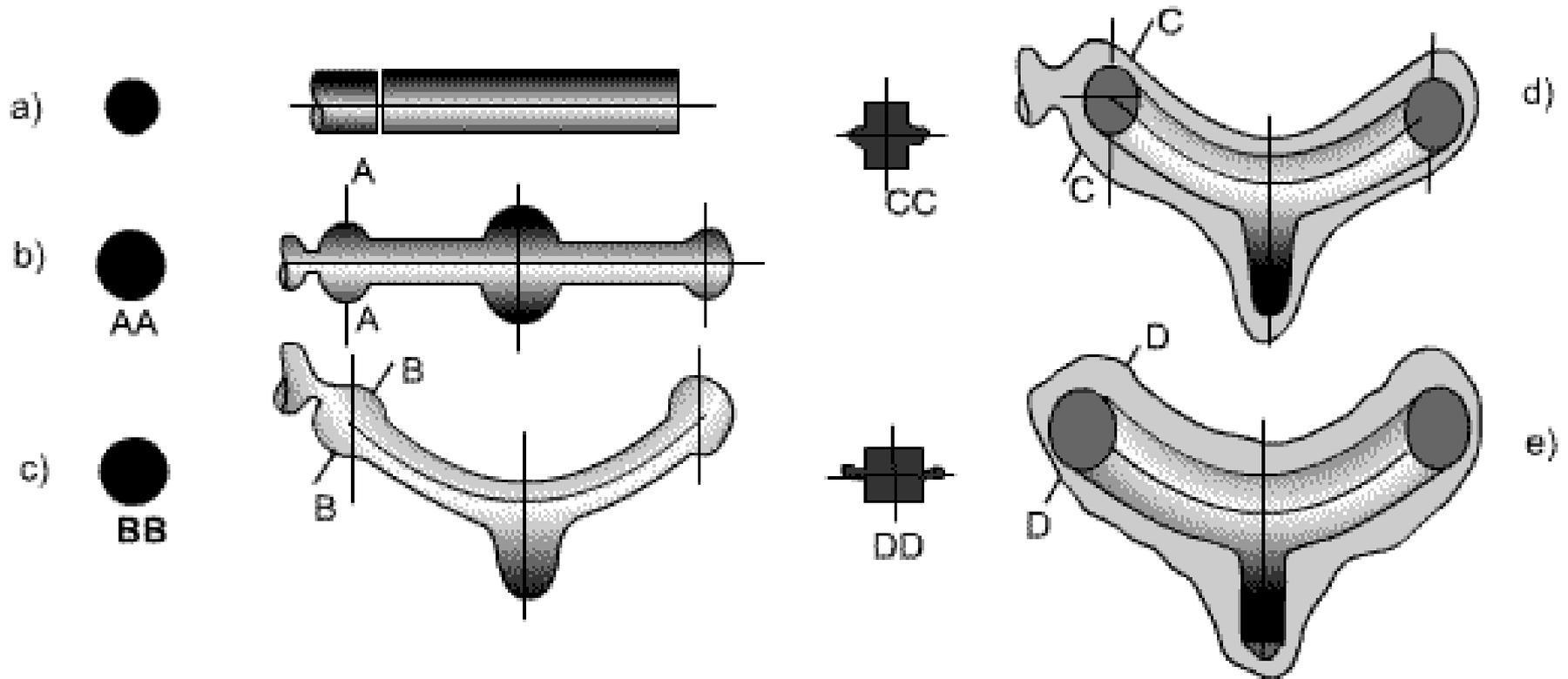
- distribuição de massas;
- dobramento (se for o caso);
- formação da seção transversal.

Na etapa de distribuição de massas se procede à retirada de material das porções nas quais a seção transversal deva ser reduzida, e o acúmulo do material nas posições onde a seção deva ser aumentada (fase (b))

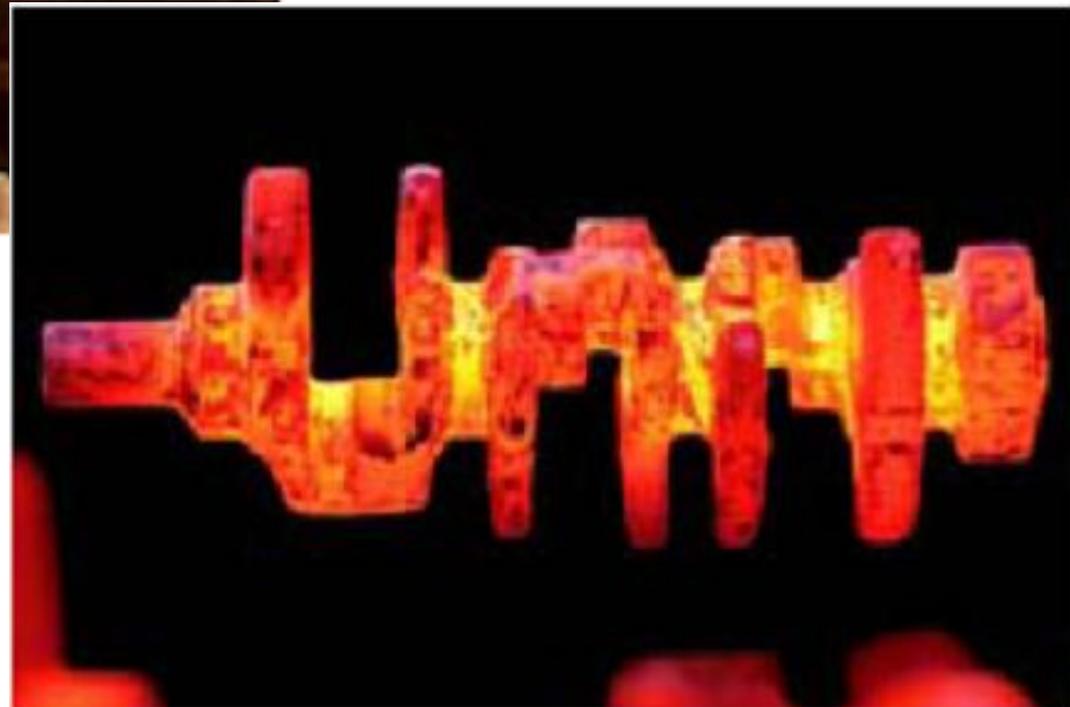
As operações mais empregadas para esta etapa são: o estiramento, o encalcamento, o alargamento, a laminação, a extrusão e o rolamento, sendo o recalque usado para aumentar a secção transversal.

O dobramento (segunda etapa), pode ser executado durante o forjamento, sem um estágio especial, quando for paralelo ao movimento da ferramenta. Em caso contrário, é efetuado numa etapa específica durante (fase (c) da figura abaixo) ou mesmo após o forjamento da peça.

## Etapas do Forjamento de uma Peça em Matriz









<b>MÁQUINA</b>	<b>FAIXA DE VELOCIDADE (m/s)</b>
Martelo de queda livre	3,3 a 4,8
Martelo de dupla-ação	3.0 a 9,0
Prensa excêntrica	0,06 a 1,5
Prensa hidráulica	0,06 a 0,3

<b>MATERIAL</b>	<b>FAIXA DE TEMPERATURA (°C)</b>
Ligas de alumínio	320 – 520
Ligas de cobre (latões)	650 – 850
Aços de baixo teor de C	900 – 1150
Aço de médio teor de C	850 – 1100
Aço de alto teor de C	800 – 1050
Aço liga com Mn ou Ni	850 – 1100
Aço liga com Cr ou Cr-Ni	870 – 1100
Aço liga com Cr-Mo	850 – 1050
Aço inoxidável (18/8)	750 - 1100