

# FORJAMENTO

## Metalurgista Industrial

outubro 2019

[www.metalurgistaindustrial.com.br](http://www.metalurgistaindustrial.com.br)

O milenar forjamento, que se confunde com a própria história dos metais, é um processo de conformação mecânica que utiliza forças localizadas de compressão para obter uma alteração geométrica em um metal. O forjamento é realizado a quente ou a frio. O forjamento a quente é processado a temperaturas acima das de recristalização, tipicamente  $0,5T_f$  ou acima, onde  $T_f$  é a temperatura de fusão. Forjamento morno é feito a temperaturas na faixa de  $0,3T_f$  a  $0,5T_f$ , ou seja, usualmente acima das temperaturas de endurecimento por trabalho a frio. O forjamento a frio refere-se ao realizado à temperatura ambiente e concorre com vantagens de bom acabamento superficial, maior resistência e precisão dimensional, mas demanda cargas mais elevadas. O forjamento morno combina as vantagens do forjamento a frio de qualidade superficial e precisão dimensional.

Quando se aborda o tema forjamento a quente, sempre emerge a comparação com os produtos de fundição. O forjamento a quente resulta em recristalização e refino de grão e propicia uniformidade de composição e estrutura como resultado do ciclo térmico e processo de deformação. Como consequência, os forjados adquirem maior resistência, maior ductilidade e tenacidade e mais elevada resistência à fadiga do que os produtos fundidos. A operação de forjamento faculta a selagem de trincas, o caldeamento de espaços vazios no interior dos metais e a quebra e redistribuição de inclusões não metálicas. A Resenha de Casos Fundamentos para a Produção de Barras de Qualidade Especial aprofunda essas características do forjamento a quente em relação a taxas de redução da operação de laminação, que é igualmente um processo de conformação mecânica.

Já a fundição, por sua vez, não impõe limites em peso dos produtos processados, permite a fabricação de partes e componentes complexos e é uma operação menos custosa.

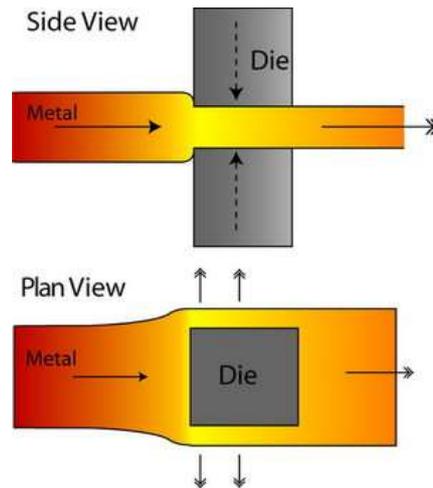
### Tipos de forjamento

Na operação de forjamento o material é deformado pela aplicação de carga de impacto (forjamento por martelo ou *hammer forging*) ou gradual (por prensagem ou *press forging*).

Dependendo do tipo de matriz, o processo de forjamento é classificado como em matriz aberta ou forjamento livre (*open die forging*) e em matriz fechada (*closed die forging*).

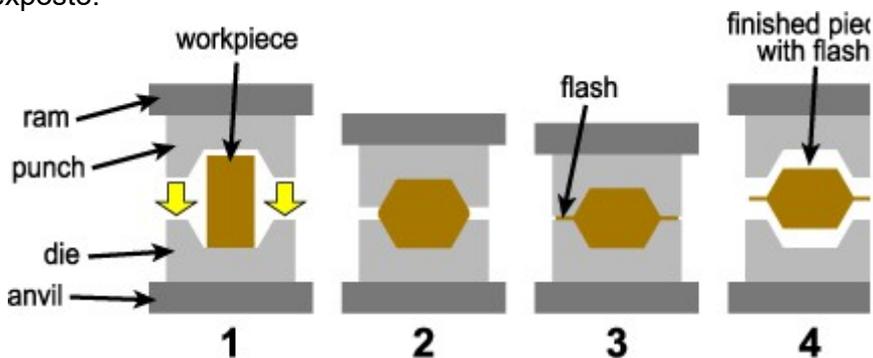
No forjamento em matriz aberta, ilustrado na figura em prosseguimento, a conformação se dá entre matrizes planas ou de formato simples, e não são impostas restrições aos fluxos laterais dos materiais.

Esse tipo de forjamento é geralmente utilizado na fabricação de peças e componentes de grandes dimensões com formas relativamente simples tais como discos, blocos, cilindros, cubos, eixos, redondos, planos, barras hexagonais, alavancas e ferramentas agrícolas, e na pré-conformação de materiais que serão posteriormente submetidos a operações mais complexas de forjamento.



No forjamento em matriz fechada, a matriz e o punção possuem impressões gravadas em baixo-relevo dos formatos a serem obtidos. Quando o forjamento é realizado em uma cavidade totalmente fechada, torna-se necessário um acurado dimensionamento da quantidade de material a ser processado de modo a se evitar falhas volumétricas por falta de enchimento por insuficiência de material. Um eventual excesso de material provoca sobrecargas que podem provocar danos no ferramental de forjamento.

A situação mais usual é o emprego de um pequeno excesso de material, sendo reservada uma pequena cavidade (*gap*) entre as matrizes por onde escoar esse excedente, que forma uma rebarba (*flash*) em torno do material forjado. Esse excedente é posteriormente removido por corte em uma operação de rebarbação. A figura a seguir ilustra o exposto:



## Forjabilidade

Forjabilidade é definida como a capacidade de um material sofrer deformação sob compressão sem apresentar trincamento ou ruptura. A forjabilidade aumenta com a temperatura até um ponto em que origina uma segunda fase, como por exemplo a transformação de ferrita em austenita nos aços ou o crescimento dos grãos se torna excessivo.

Os metais que apresentam baixa ductilidade possuem forjabilidade reduzida a elevadas taxas de deformação, enquanto que metais de elevada ductilidade não são fortemente afetados por taxas crescentes de deformação.

A tabela a seguir oferece um ordenamento de metais em ordem decrescente de forjabilidade:

| Metal or alloy               | Approximate range of hot-forging temperatures (°C) |
|------------------------------|--|
| Aluminum alloys              | 400-550  |
| Magnesium alloys             | 250-350  |
| Copper alloys                | 600-900  |
| Carbon- and low-alloy steels | 850-1150   |
| Martensitic stainless steels | 1100-1250  |
| Austenitic stainless steels  | 1100-1250  |
| Titanium alloys              | 700-950  |
| Iron-based superalloys       | 1050-1180  |
| Cobalt-based superalloys     | 1180-1250  |
| Tantalum alloys              | 1050-1350  |
| Molybdenum alloys            | 1150-1350  |
| Nickel-based superalloys     | 1050-1200  |
| Tungsten alloys              | 1200-1300  |

### Defeitos

Defeitos de manufatura que eventualmente podem ocorrer em produtos forjados incluem:

- Falta de redução, caracterizada pela penetração incompleta do metal na cavidade da ferramenta.
- Trincas superficiais, causadas por trabalho excessivo na periferia do produto forjado em temperaturas baixas ou por mecanismo de fragilização a quente.
- Trincas nas rebarbas, provocadas pela presença de impurezas nos metais ou rebarbas com tamanhos insuficientes.
- Trincas internas originárias no interior do produto forjado provocadas por tensões devidas a grandes deformações.
- Gotas frias, que são descontinuidades originadas por dobras de superfície sem a ocorrência de caldeamento causadas por fluxos anormais de material quente dentro das matrizes, incrustações de rebarbas e posicionamento inadequado do material na matriz.
- Incrustações de óxidos, causadas pela camada de óxidos que se formam durante o aquecimento, que normalmente se desprendem, mas ocasionalmente podem ficar presas ao produto forjado.
- Descarbonetação, consistindo na perda de carbono na superfície dos aços provocada pelo aquecimento.
- Queima (*burning*) pela penetração de gases oxidantes nos limites dos contornos de grãos formando películas de óxidos em condições de aquecimento próximas aos pontos de fusão.