

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

MATRIZES PARA O FORJAMENTO À QUENTE

Profº Dr. Luiz Romariz Duarte



SÃO CARLOS

1977

1) INTRODUÇÃO

O forjamento a quente, industrialmente falando, pode ser realizado de duas maneiras diferentes quanto à existência ou não de matrizes com impressão. Quando o forjamento é realizado em matriz com impressão é dito: forjamento em matriz fechada, matriçagem, forjamento forçado, ou simplesmente forjamento em matriz. Quando não há impressão na matriz, o forjamento é dito: em matriz aberta, forjamento livre, ou ainda forjamento sem matriz.

A operação de forjamento é feita desde que o homem conhece o ferro e o aço. Na Idade Média, essa operação tomou até um aspecto industrial seriado, tal o número de espadas, lanças e outros objetos destinados às guerras daquele belicoso período. Não havia matrizes, o material era forjado, moldando-o à marteladas em bigornas primitivas. Ainda hoje existem os ferreiros, alguns dos quais, verdadeiros artistas do martelo, que forjam em bigorna.

Desde que a peça seja simples, sem necessidade de escoar material com certa precisão, como por exemplo eixos para navios, locomotivas e grandes máquinas blocos para matrizes etc., o forjamento pode ser efetuado em prensas hidráulicas em matriz aberta. Grandes manipuladores, substituem o trabalho do forjador, virando os tarugos para que estes apresentem a face oportuna ao recalçamento.

Qualquer oficina, já de certo porte, possui seu martelete a vapor ou a ar, para recalcar barras a quente; são oficinas de manutenção que forjam rapidamente ferramentas pesadas para uso cotidiano.

As fábricas de ferramentas agrícolas como enxadas, enxadões, picaretas, possuem baterias de pequenos marteletes de balancim, o forjado sendo controlado por gabaritos colocados ao alcance do operador.

O forjamento a quente em matriz fechada - matriçagem - tem larga aplicação no setor industrial, como produção altamente seriada e está intimamente ligado às indústrias: automobilística, ferroviária, naval e de equipamentos pesados.

No Brasil, somente há poucos anos atrás, é que teve início a formação de *plants* industriais de tipo de *Drop Forging* e

upsetter-forging. Há portanto grande carência de técnicos brasileiros no assunto, como tive ocasião de verificar pessoalmente. Mesmo quanto à terminologia adequada em português, nada há praticamente, persistindo ainda grande número de termos em inglês. Os americanos procuraram sistematizar as operações e o ferramental de forjaria, por intermédio do seu órgão especializado *American Drop Forging Association*. Mas é sem dúvida nos alemães e principalmente nos russos, que se encontra o mais completo trabalho de sistematização e normalização dos assuntos referentes à deformação a quente.

Neste presente trabalho, somente serão apresentados aspectos relativos ao ferramental (matrizes, blocos, insertos, punções, etc..) de forjaria, ficando o estudo sobre as máquinas e outras questões, para trabalhos futuros.

2) APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DA MATRIÇAGEM

É vastíssimo o campo de aplicação da indústria de forjados. Pode-se dizer que, desde que convenha, e o material seja dúctil, pode-se forjar qualquer peça.

Os ensaios nos laboratórios de pesquisa, demonstram que a resistência à tração e a resistência à fadiga, praticamente não se alteram na peça forjada, ao passo que as propriedades dúcteis variam bastante: em outras palavras, a resiliência aumenta. Nem sempre a especificação de forjado é comandada por fatores físicos, ou características mecânicas, mas sim por conveniências comerciais. Conheço certa indústria que usinava suas peças a partir de barras e, de um determinado tempo em diante, passou a forjar essas peças usinando depois o excesso de material do forjado: o tempo e a produção foram as variáveis que comandaram este caso.

Na Fig. 1 pode-se ter uma visão do conjunto dos variados tipos de peças forjadas realizadas em *upsetter* (recalcadora).

Mesmo, em se falando de máquinas de forjaria, há certos fatores que orientam a escolha da operação, se nesta ou naquela máquina, inclusive também o fator comercial. Na Fig. 1, por exemplo, existem várias peças que podem ser forjadas em martelos ou prensas. Entretanto se a produção requerida for bastante seriada, convém economicamente falando, operar com *up-setter*.



Figura-1

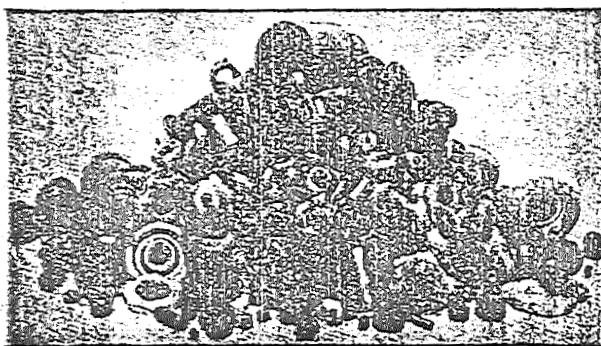


Figura -2

3) MATRIZES PARA MARTELOS DE QUEDA.

Essas matrizes podem ter suas impressões usinadas no próprio bloco, ou então este servirá como porta-matriz, a matriz mesma sendo colocada em cavidade aberta no bloco e travada por meio de chavetas. Este último tipo, Fig. 2, é muito usado para peças pequenas, corpos de revolução; apenas um par de blocos servindo para centenas de tipos de forjados, poupando-os, dessa maneira, quanto ao desgaste. Terminado o programa de uma peça, retiram-se os blocos (superior e inferior) da máquina, dele sacando-se as matrizes que serão substituídas por outras de novo programa. O desgaste dar-se-á na matriz propriamente dita, que pode ser recondicionada colocando-se depois calços nas cavidades dos blocos com altura correspondente ao rebaixo das matrizes. O peso dessas matrizes é bastante diminuto, o que facilita todas as operações. Seu custo é bastante reduzido. O tempo para a troca de ferramental é, entretanto, um pouco maior comparando-se com o caso de blocos matrizes.

Na Fig. 2 está representado o conjunto inferior para forjamento de uma tampa.

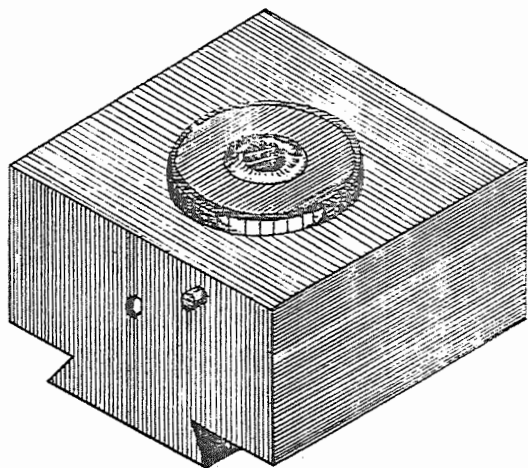


Figura - 2

Quando o forjado exige várias formas intermediárias até chegar à sua forma final, lança-se mão então, do bloco matriz que conterá em sua superfície as impressões necessárias a moldar o material desde o recalçamento, o curvamento, pré-formação e formação final. Na Fig. 3 aparece um conjunto (superior e inferior) com todas as impressões necessárias do forjamento de uma biela.

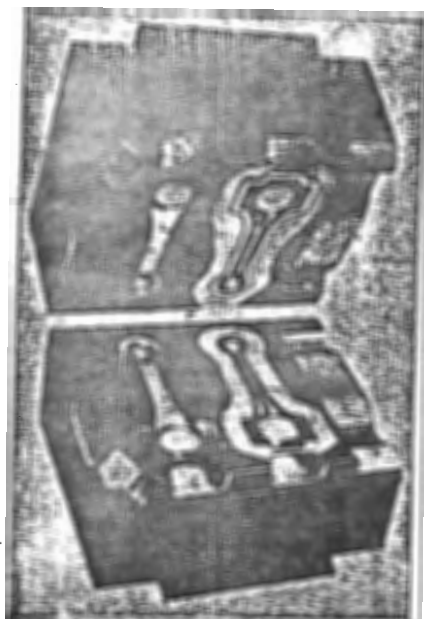


Figura - 3

Essas impressões são abertas nos blocos por fresas copiadoras cujo palpador passeia em um modelo (em geral de chumbro) revestido de dura camada de resina sintética.

A escolha da máquina de forjar (martelo ou prensa) é ainda uma questão de controvérsia entre os produtores e utilizadores. Mas, como observei numa fábrica que dispunha dos dois tipos em franca produção, a escolha sofrerá influência dos fatores:

- a) produção
- b) dimensões da peça

- c) capacidade (ton) da prensa
- d) potência requerida do motor elétrico
- e) energia avaliada para o trabalho.

As prensas dão produção maior e, se possuírem capacidade maior que os martelos, podem atender ao forjamento de peças maiores, poupando dessa maneira a estrutura do martelo, assim como seus acessórios. Em suma, a escolha resultará de um estudo equilibrado do assunto. (O leitor encontrará em ⁽⁹⁾ um estudo interessante do problema).

O trabalho do forjamento em martelos de queda, é feito por golpes sucessivos, até que o material tenha preenchido totalmente as cavidades da matriz, com conseqüente formação da rebarba. O número de golpes dependerá de vários fatores, e principalmente - o que é um defeito - dependerá da atenção e prática do operador.

4) MATRIZES PARA PRENSAS

Usualmente temos dois tipos de prensas:

a) prensas hidráulicas

b) prensas mecânicas (de excêntrico)

As primeiras são mais versáteis, e em geral usadas para forjamento livre de grandes peças, o que exige grande capacidade da máquina.

As prensas mecânicas de comando pneumático munidas de discos de fricção, são bastante usadas na fabricação seriada para forjados menores. Apresentam sobre tipo (a) a desvantagem de engripar com o forjado entre as matrizes.

As matrizes são projetadas com muito cuidado, principalmente se, se deseja tolerâncias menores que $1/32''$, no forjado final.

Também para as prensas, existem as possibilidades de uso de blocos matrizes e blocos porta-matrizes, com maiores vantagens ainda para estes últimos, uma vez que os blocos para prensas são de grandes dimensões (em relação às dos martelos) e por isso mesmo cerca de 4 a 5 vezes mais onerosos, dado às várias fases de usinagem a que estarão sujeitos.

Também influe o problema da troca de ferramental, que acresce em dificuldade, exigindo empilhadeiras mais potentes para seu transporte. Assim o sistema de blocos porta-matrizes é bastante vantajoso para as prensas. Esses blocos contêm, na sua superfície, cavidades que alojarão as matrizes dos vários estágios do forjamento (Fig. 4). A troca dessas matrizes, é feita sem que se desloquem os blocos, de sua fixação às bases da máquina.

O trabalho de forjamento é realizado nas etapas necessárias, sendo que o material é prensado uma vez apenas em cada matriz, decorrendo daí o cuidado a ser tomado no projeto do ferramental para prensas.

Para ter-se idéia da diferença de produção, citarei um caso que sucedeu em Equipamentos Clark, Valinhos, Estado de São Paulo. A

peça era um cubo de sincronizador, de formato cilíndrico com cêrca de 3 3/4" de altura e 3 1/8" de diâmetro externo, que era forjada em mar_ telo de 2500 lb de massa; a produção mēdia era de 100 peças por dia de 9 1/4 horas de trabalho. A mesma peça, no mesmo horário de traba_ lho, com a mesma equipe, forjada em prensa mecânica de 2000 ton. de capacidade, com blocos porta-matriz, contendo 2 estâgios prē- formado res e um final, acusava a produção diãria mēdia de 900 unidades.

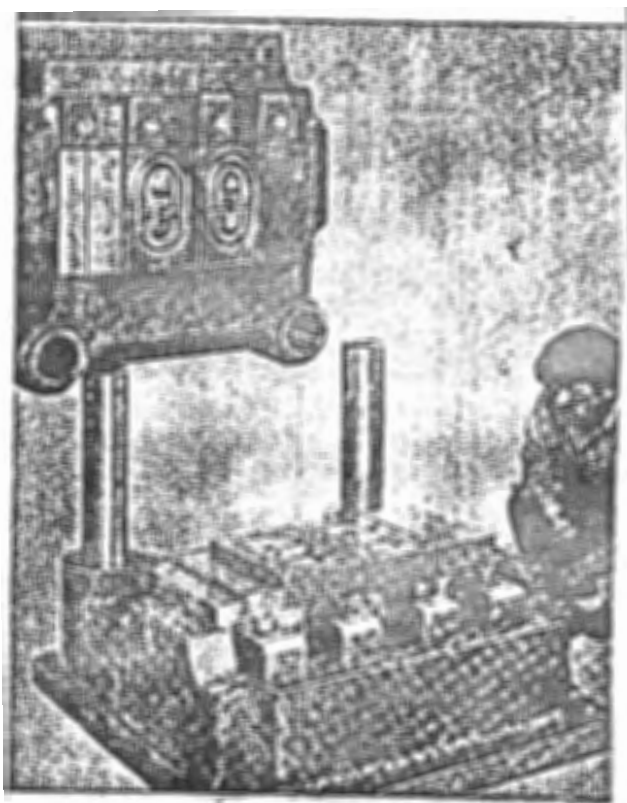


Figura - 4

5) MATRIZES PARA RECALCADORA (UP-SETTER)

A recalçadora é uma máquina de forjar, cuja ação de compressão do material no estado plástico é no plano horizontal (Fig. 5).

É composta de matrizes mordentes que fechando-se aprisionam o tarugo em sua impressão. O tarugo assim nessa posição, recebe a ação de compressão do punção recalçador, que o pressiona até que o material encha todas as cavidades da matriz. Há então, no plano vertical um jôgo de matrizes mordentes e um correspondente jôgo de punções recalçadores; o operador vai mudando a peça à medida que o forjado vai adquirindo sua forma final. Também nas recalçadoras o material é prensado apenas uma vêz, o que exige cuidados no projeto e confecção das matrizes.

Vê-se na Fig. 5 a vista superior do conjunto destas ferramentas e seus possíveis movimentos. Essas máquinas são bastante ágeis e são usadas principalmente se se deseja produção bastante seriada, peças com variações bruscas de secção, variações estas, contida ou não entre as extremidades das peças como pode-se ver na Fig. 6.

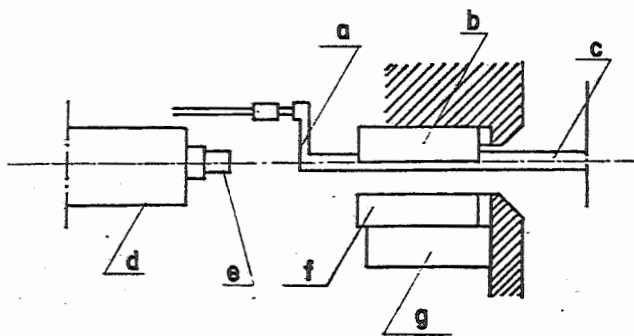


Figura - 5

- a) Expulsor;
- b) Matriz Fixa;
- c) Barra;
- d) Cabeçote Movel;
- e) Punção Recalcador;
- f) Matriz Movel;
- g) Porta Matriz Movel.

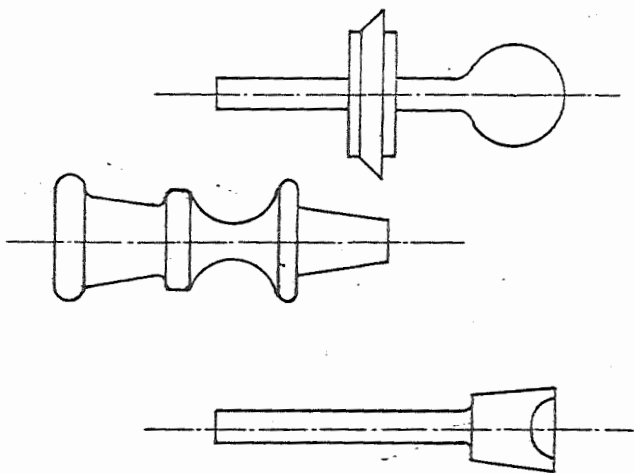


Figura - 6

Na Fig. 7 pode-se ver o conjunto de matrizes mordentes com os respectivos punções recalçadores.

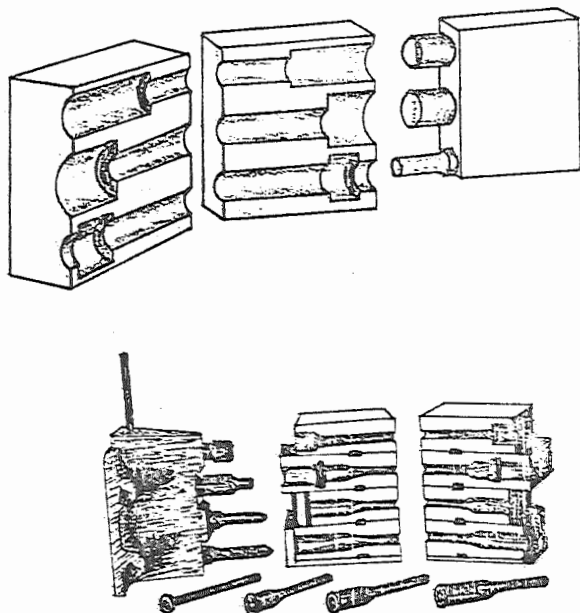


Figura - 7

6) MATRIZES PARA MÁQUINA DE ROLOS DE FORJAR

As ferramentas apresentam-se sob a forma de coquilhas semi-circulares para os laminados clássicos (Fig. 8).

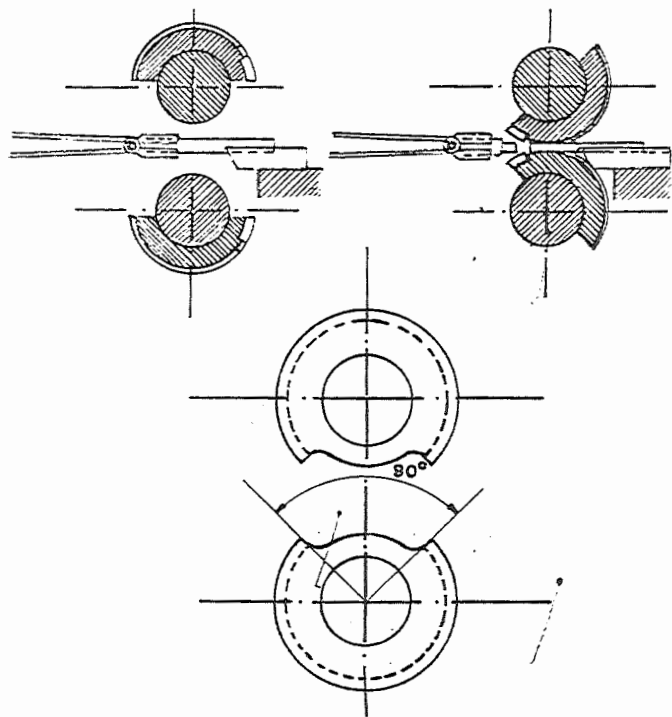


Figura - 8

Sua função é reduzir o trabalho do martelo ou prensa, pois a máquina de rolos de forjar é capaz de fazer a pré formação com apenas uma passada. A peça é então transferida para a impressão semi-acabadora da matriz do martelo ou prensa. Essas máquinas estão associadas, com martelo ou prensa, no *layout* da oficina.

A Fig. 9 ilustra a pré-formação em 2 estágios para o forjamento de um par de bielas em prensa. Em primeiro plano, o par pronto com a rebarba.



Figura - 9

7) LÂMINAS PARA TESOURAS (QUILHOTINAS)

Como essa máquina está associada às máquinas de forjar, é oportuno também que se fale alguma coisa de suas matrizes. Estas originam-se de blocos de aço-liga, que contêm em uma de suas faces a impressão cortante que alojará o vergalhão a ser cortado. Em geral o corte é a frio (temperatura ambiente) mas poderá ser a quente. Na Fig. 10 pode-se ver o conjunto (superior e inferior) destinado ao corte de barra redonda. A lâmina inferior não se movimenta e recebe o vergalhão que descança na impressão; a superior desloca-se no sentido vertical de cima para baixo e cisalha o material.

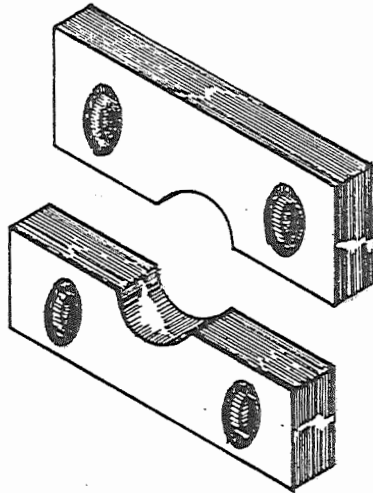


Figura - 10

8) MATERIAL PARA O FERRAMENTAL

Na aciaria, costuma-se aproveitar o calor (6) dos lingotes, destinados para blocos de matrizes, estripando-os a cêrca de 800°C e colocando-os em seguida em fornos, com aquecimento uniforme; daí saí rão uma vêz atingida a temperatura de forjamento para as prensas, a fim de serem forjados nas dimensões requeridas.

Como não podia deixar de ser, os lingotes devem possuir cabeça quente, e sofrer o descarte de 20% na cabeça e 5% no pê, para eli minação de vazios, de chupagem.

A redução de secção do lingote, segundo as especificações a mericanas, é recomendada ser da ordem de 1/3, o que garantirá a des truição da estrutura bruta de fusão.

Os blocos de matrizes para martelo de queda são, apôs o cor te, forjados nas 6 faces para eliminação de efeitos de direcionabi lidade.

Apôs estas operações, os blocos já forjados são esfriados lentamente em poços. Começa então a fase de inspeção superficial, ã procura de defeitos, e inspeção por ultra-som ou magna-flux.

Na Fig. 11, vê-se o forjamento em matriz aberta de um bloco para martelo.

Na Fig. 12, o bloco é submetido ao teste de dureza.

FORJAMENTO EM MATRIZ ABERTA
DE UM BLOCO PARA MARTELO

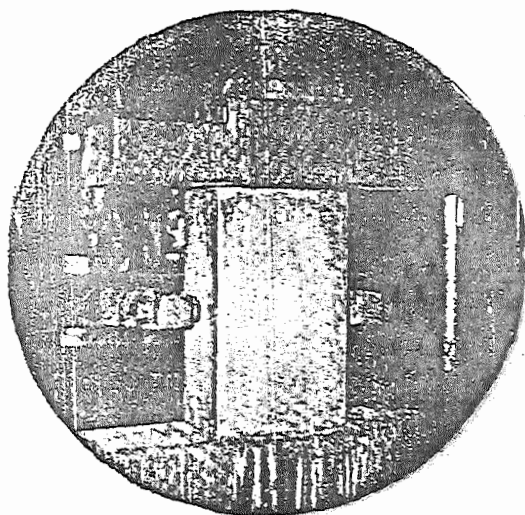


Figura - 11

FORJADOR TESTANDO A DUREZA DE UM BLOCO



Figura - 12

Na Fig. 13 observa-se a inspeção com ultra-som, para detecção de defeitos internos.



Figura - 13

Os aços para matrizes de forjamento a quente, deve atender a vários requisitos, os quais podem ser destacados:

- a) alta resistênciã a choques (resiliênciã elevada);
- b) resistênciã elevada ã deformaçãõ mecânica;
- c) boa profundidade de tẽpera;
- d) característicã de conservaãõ de suas propriedadẽs, a altas temperaturã;
- e) boa usinãbilidãde;
- f) resistênciã ãs mudanãas bruscas de temperatura.

Essas característicãs sãõ podem estar, de certo modo, todas reunidas em aços-ligã, especialmente concebidos para o trabalho a quente.

Utilizam-se aços cuja composição química, em carbono, oscila no intervalo de 0,5 a 0,9% e, em geral, aços Cr-Ni-Mo cuja composição média (2) é dada na tabela 1.

Tabela - 1

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%W	%V	%Mo	%Ni
0,4	0,2	0,15	<0,03	<0,03	0,60		opcio	0,3	1,30
0,5	0,4	0,30			0,75		nal	0,6	1,70

Na tabela 2, nota-se uma variação que de certa maneira, leva em conta a máquina onde se deve usar a matriz.

É importante observar que as composições são valores médios, e não valores indicados por fabricantes de aço.

Tabela - 2

	%C	%Mn	%Si	%Cr	%V	%W	%Mo	%Ni
a	0.65	0.30	0.30	4.0	0.75	-	0.50	-
b	0.35	0.30	1.00	5.0	0.40	1.25	1.50	-
c	0.40	0.30	1.00	5.0	0.40	5.0	-	-
d	0.50	0.65	0.25	1.0	0.10	-	0.30	1.60
e	0.55	0.60	0.85	1.0	0.10	-	0.75	2.0

(aços para martelos e prensas)

Os tipos d e e são os mais indicados para martelos de queda, e os tipos a, b, c, para prensas. Essa escolha resultou da comparação desta tabela com outras de características mecânicas e metalúrgicas e a experiência assim o tem comprovado.

A adição do manganês acima do teor (0,50%), visa aumentar bastante a temperabilidade e diminuir a velocidade crítica de tempera. O Crômio é outro elemento adicionado para coadjuvar a ação do manganês. Quanto ao níquel, seu papel na matriz é comunicar-lhe tenacidade. O tungstênio até 5% melhora a resistência à abrasão. Finalmente o molibdênio evita a fragilidade ao revenido, o que é importante, e aumenta a temperabilidade.

A tabela 3 dá a composição média recomendada ⁽³⁾ para o feramental de recaladoras, muito em uso em nossas forjarias.

Tabela - 3

	%C	%Mn	%Si	%Cr	%V	%W	%Mo	%Ni
a	0.55	0.60	0.85	1.00	0.10	-	0.75	2.00
b	0.55	0.25	1.00	1.25	0.25	2.50	0,50	-
c	0.90	0.30	0.30	4.00	0.75	-	0.50	-
d	0.35	0.30	1.00	5.00	0.40	1.25	1.50	-
e	0.40	0.30	1.00	5.00	0.40	5.00	-	-
f	0.40	0.25	0.50	3.75	0.75	1.00	5.75	-

(aços para recaladoras)

Os tipos a, b, c, d, são indicados para matrizes mordentes (gripper dies); os tipos a, b, c, d, e, indicados para matrizes (header dies) e, finalmente d, f para punções recaladores.

Os aços para matrizes de rebarbas têm também uma discriminação especial, que não faço constar deste trabalho, uma vez que na prática trabalha-se com aço ao carbono com 0.30 a 0.45% de C, contendo nos contornos destinados a cortar a rebarba, solda dura como stelite ou solda de eletrodo RD-10.

Quando há desgaste da faca, enche-se novamente com solda, u sinando-se depois nas dimensões e tolerâncias desejadas. Quando jã apenas um pequeno desgaste, com arredondamento dos cantos vivos da faca, uma simples passada com esmeril resolve o problema, podendo-se rebarbar ainda grande número de forjados.

A tabela 4 fornece a composição média para punções, utiliza dos em operação conjunta de rebarbação e punctionamento, ou em opera ções separadas.

Tabela - 4

	%C	%Mn	%Si	%Cr	%V	%W	%Mo
a	0.55	0.40	1.00	-	0.25	-	0.50
b	0.55	0.80	2.00	0.30	0.25	-	0.40
c	0.55	0.25	0.25	1.25	0.25	2.50	0.50

(aços para-punções)

A título de complementação, seguem-se as tabelas 5 e 6, indica tivas da composição química média⁽³⁾ para lâminas de guilhotinas, e matrizes para cunhagem a frio, respectivamente.

Tabela - 5

	%C	%Mn	%Si	%Cr	%V	%W	%Mo	%Ni
a	2.15	0.35	0.35	12.0	1.0	1.00	-	0.50
b	0.85	0.35	0.35	12.0	0.5	-	0.80	-
c	1.50	0.35	0.35	12.0	0.5	-	0.80	-

(aços para tesouras)

Com respeito a tabela 5 pode-se dizer que os vários aços-ligas estão condicionados ao material a ser cortado.

Assim tem-se⁽³⁾:

CLASSIFICAÇÃO	MATERIAL A SER CORTADO
Trabalho pesado	dimensões de 3/4" a 4" ou mais no diâmetro, ou espessura
Trabalho médio	dimensões de 1/2" a 3/4" no diâmetro ou espessura
Trabalho leve	dimensões não maiores que 1/4" no diâmetro ou espessura

Para o corte a frio, a porcentagem de carbono dos aços é 0.75% para trabalho pesado, 0.85 para médio, e 1.0% para trabalho leve. Para o corte a quente, o conteúdo de carbono é usualmente 0.65% para trabalho pesado e 0.75% para trabalho médio.

Tabela - 6

	%C	%Mn	%Si	%Cr	%V	%W	%Mo
a	0.90	1.20	0.25	0.50	0.20	0.50	-
b	0.90	1.60	0.25	0.35	0.20	-	0.30
c	1.20	0.25	0.25	0.50	0.25	1.75	0.25
d	0.90	2.50	0.30	1.50	-	-	1.00
e	1.00	0.50	0.25	5.00	0.50	-	1.00
f	1.50	0.35	0.35	12.00	0.50	-	0.80

(aços para materiais de cunhagem a frio)

Esses são os tipos mais indicados⁽³⁾ para matrizes de cunhagem a frio, que devem possuir dureza em camada profunda, como prevenção às deformações e afundamentos sob cargas pesadas.

9) PROJETO DE MATRIZES

9.1.) INTRODUÇÃO

A qualidade do forjado, depende quase que exclusivamente, do projeto e execução das matrizes.

O projetista ao receber o desenho do forjado, estabelece se o forjamento, será feito em apenas um estágio, ou se deve haver mais de um estágio. Indicarão também, o material para a construção da matriz a dureza necessária, a ser obtida no tratamento térmico, tolerâncias de usinagem, espessura da rebarba, ângulos de saída, raios de concordância.

9.2) FUNDAMENTOS DA DEFORMAÇÃO A QUENTE

É muito importante no processo de recalçamento, a marcha adequada do processo, para que se possa garantir uma distribuição conveniente de fibras na peça. Fibras irregulares ou quebradas, devidas a uma marcha incorreta no recalçado podem comprometer notavelmente a qualidade do forjado. O perigo aumenta na fabricação, na razão direta da relação de recalçamento, pelas podem ser formadas sem prévio recalçamento em uma fase, não há o que temer. Tornam-se oportunas, portanto, as considerações que se seguem.

Se se estabelecer uma relação, entre o comprimento do tarugo e seu diâmetro,

$$r = \frac{L}{D}$$

vê-se que a fabricação será tanto mais sensível, quanto menor for a relação do recalçamento. A variação de forma na direção do forjamento, significa o encurtamento experimentado pelo material, durante o processo de recalçamento, pode ser expressa por (a); resulta conveniente, também utilizar a forma logarítmica para caracterizar a variação de forma na direção do forjamento.

Este valor toma o nome de *grau de recalçamento* (b); a proporcionalidade entre o recalçamento e o grau de recalçamento é dada pela Fig.14.

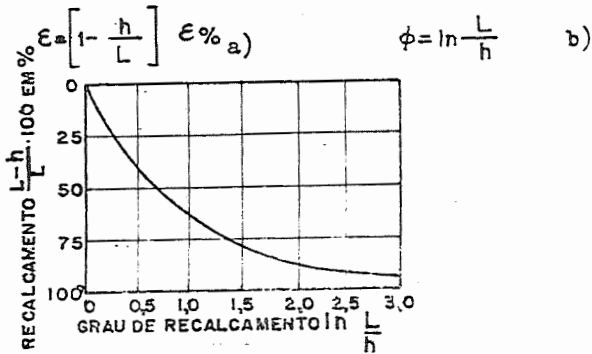


Figura - 14

Devem também ser levados em conta, as considerações de variação de forma em um corpo forjado nas direções transversais.

O aumento de secção, referido à secção final, neste caso, é:

$$s = \frac{D^2 - d^2}{D^2} \cdot 100 (\%)$$

Para um tarugo cilíndrico esta grandeza corresponde ao valor de recalçamento, de sorte que neste caso as variações de forma coincidem nas direções principais. Para peças prensadas não cilíndricas, estas condições são distintas. Neste caso a variação de forma já não corresponde às variações das dimensões exteriores da peça.

O processo⁽⁷⁾ suposto de variação de forma para formar uma esfera, ou setor esférico ou tronco de cone, dá lugar a diferentes formações nas diversas partes do forjado, as quais aumentam ao aumentar o diâmetro da secção correspondente. (Fig. 15).

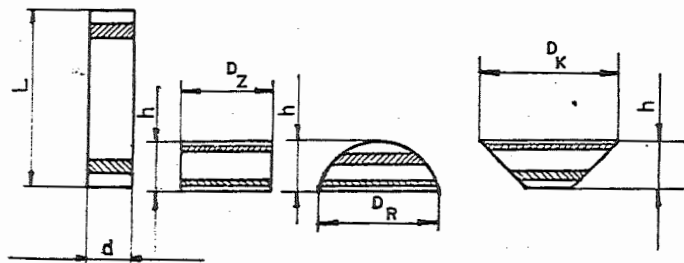


Figura - 15

No plano do círculo de base, é portanto, aonde a variação de forma alcançará seu valor máximo, que com frequência sobrepuja a formação média da peça.

A diferença entre a variação máxima e a média, será tanto menor quanto mais se aproxima do caso do cilindro. O valor da variação máxima pode ser determinado como a relação entre a secção máxima do tarugo recalçado e a secção de partida.

$$S_{\max} = \frac{D_{\max}^2 - d^2}{D_{\max}^2} \cdot 100 (\%)$$

Também aqui vai bem a representação logarítmica e a variação máxima de forma, fica caracterizada pela expressão:

$$\phi_{\max} = \ln \frac{D_{\max}^2}{d^2}$$

A variação média e máxima possuem significado prático, que é o seguinte: quanto maior é a variação média de forma, tanto mais se acha submetido a esforços a totalidade do material. Sendo assim⁽⁷⁾, os aços com uma capacidade de formação insuficiente, mostram com frequência, para uma elevada variação média de forma, gretas devidas a esforços tangenciais na superfície da peça recalcada. Pelo que se vê é melhor utilizar materiais desta classe quando se trata de variações de forma bem diminutas. Por outro lado, o valor da variação máxima de forma, não constitui um critério para a presença de gretas, devidas a esforços tangenciais quando o esforço total é baixo, porque o valor máximo só se apresenta em uma zona muito limitada. Em troca, a amplitude das gretas longitudinais ocasionadas pelos defeitos superficiais, depende de ambas as grandezas, e vem por isso, influenciada pela variação máxima de forma. Os materiais que em relação a uma formação mais intensa, mostram tendência à formação de gretas, em geral apresentam defeitos se os esforços são pequenos.

Pelo que se viu, os corpos, ou as suas várias partes, se transformam mediante uma sensível formação paraleleípeda, ao passar da forma inicial à final. Entretanto, esta maneira de considerar é apenas aproximada. Já que, como era de esperar, as condições reais se afastam das suposições, e o verdadeiro processo de variação de forma tem lugar de maneira diversa à da Fig. 15. Há a considerar a influência do atrito entre as superfícies em contato do forjado e a matriz. Na Fig. 16, são mostrados os deslocamentos do material, ao recalcar cilindros de aço e, pode-se notar a irregularidade das variações de forma. Este esquema foi obtido copiando-se impressões dadas pela macrografia em corpos forjados.

Desenvolvem-se zonas, como se nota, na superfície de pressão, nas quais a variação de forma se acha fortemente impedida pelo atrito das superfícies em contato (I). Assim a formação tem lugar primeiramente na zona média (II), produzindo-se fortes tensões nas zonas que se estendem até os cantos do forjado. As zonas (III) intervêm muito pouco na variação de forma. Existem escalas de tonalidades, que representam a situação e distribuição das variações de forma reais (7) pag.111 Fig. 72).

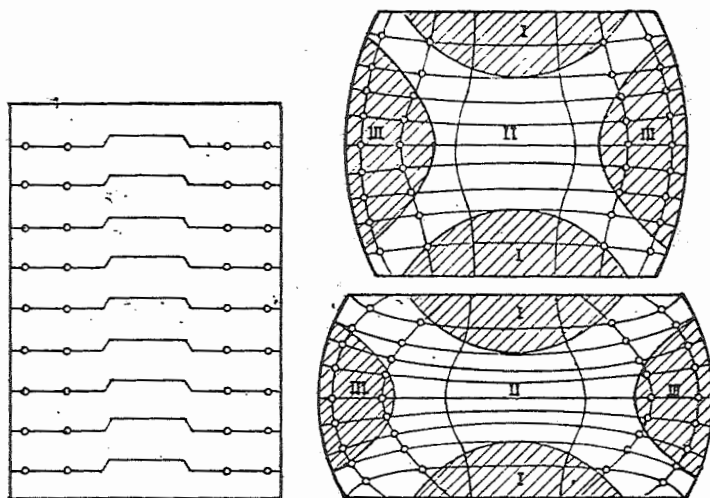


Figura - 16

Não deve ser esquecida a influência da velocidade de formação dada a sua importância no processo de forjamento. A Fig. 17 mostra a influência deste fator sôbre a resistência e a variação de forma a diversas temperaturas.

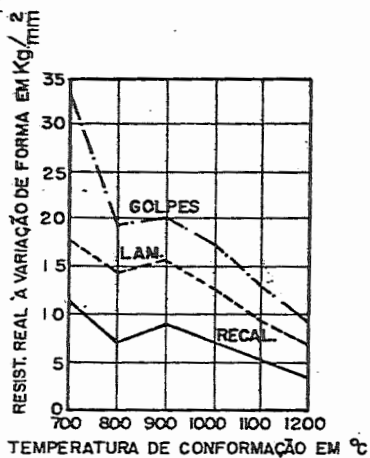


Figura - 17

Deduz-se do gráfico que uma deformação dinâmica aumenta a resistência em 200, 300% em relação à deformação estática. Aí está um fato, que deve ser levado em conta na escolha da máquina, um dos fatores de que cogitará o projetista. Pode-se fazer uso da diminuição de velocidade, (usando prensas) para diminuir a resistência à variação de forma, substituindo-se os martelos por prensas.

O gráfico da Fig. 18 também ilustra o problema.

Uma explicação do fenômeno reside no fato de que na deformação a quente, também se produz previamente, um aumento de resistência do material, à qual é eliminada imediatamente pela temperatura reinante. Para velocidades muito elevadas, a perda de resistência não se alcança totalmente durante o tempo de que se dispõe. Certos materiais, especialmente quando se acham submetidos a esforços de choque encruam, ou seja, comportam-se como na deformação a frio. Produz-se então um aumento da resistência. A queda de resistência só tem lugar mais tarde no esfriamento das peças forjadas. É o caso das ligas de alumínio, que não podem ser trabalhadas a grandes velocidades sem apresentarem defeitos.

O problema deve ser estudado em cada caso, pois também para a deformação estática, com uma conseqüente variação lenta de forma, pode dar lugar a um esfriamento excessivo, do material na matriz e por esta razão aparecerá uma elevação nociva na resistência comprometendo a distribuição das linhas de fluxo de material já citadas.

Quando à perda de temperatura por contato, fator igualmente importante no trabalho a quente de metais, vale o gráfico da Fig. 19.

Observa-se que particularmente na zona prensada a quente, este problema toma corpo, de modo que especialmente nos processos de pequena velocidade de deformação, onde se conta com tempos grandes de contato, é desejável operar com máquinas tipo martelo, desde que naturalmente não fiquem comprometidos os outros fatores que são levados em conta na escolha da máquina.

As peças com formação de cascas de óxido, se esfriam mais lentamente, durante a deformação, que as peças limpas.

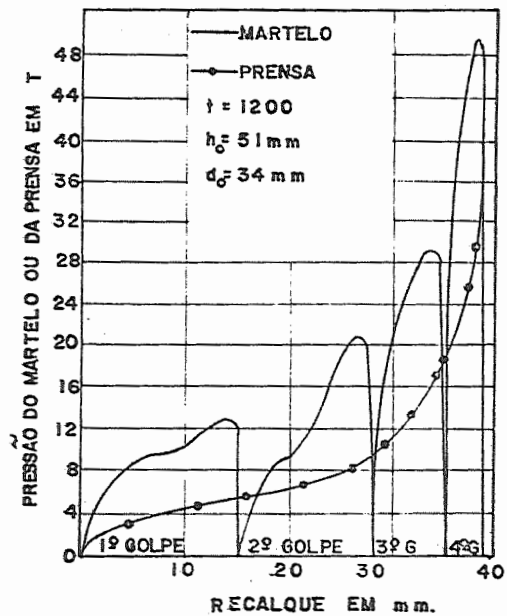


Figura - 18

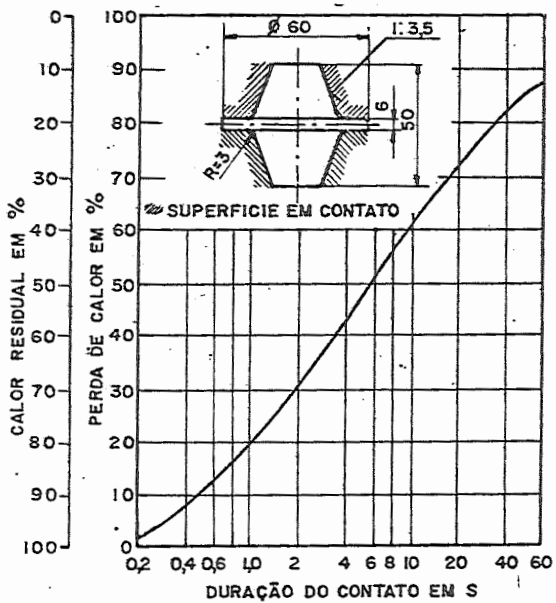


Figura - 19

O gráfico da Fig. 20, ilustra a influência da casca no esfriamento precoce do material durante o processamento.

Observa-se também o interessante fenômeno de crescimento rápido da velocidade de esfriamento, ao se colocar o material na matriz antes de operá-lo; alcança em seguida um valor máximo, e vai diminuindo cada vez mais, à medida que aumenta o esfriamento da peça.

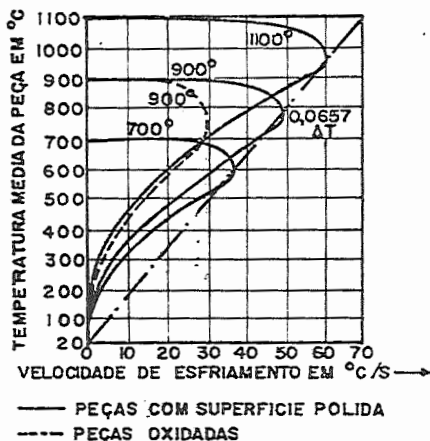


Figura- 20

A capacidade de esfriamento, e assim também a perda de calor, aumenta linearmente⁽⁷⁾ entre a temperatura do tarugo no início do forjamento, e a temperatura da matriz. Para peças cilíndricas, forjadas entre superfícies planas, a expressão analítica da lei é:⁽⁷⁾

$$v_{\max.} = 0,0657 \Delta T \text{ (}^{\circ}\text{C/s)}$$

Pela expressão acima, vê-se que a velocidade de esfriamento não depende do valor real da temperatura de início de forjamento, mas somente de diferença de temperaturas do tarugo e da matriz. Por isso pode-se usar com vantagens o processo de pre-aquecimento da matriz, que além de preservar a mesma contra choques térmicos violentos diminui a velocidade de esfriamento consideravelmente.

ã guisa de exemplo⁽⁷⁾, um material a temperatura de 1000 °C a ser forjado, colocado em matriz pré-aquecida a 150 °C reduz a velocidade em 13% e com um pré-aquecimento de 300 °C a redução é de 28%.

Algumas considerações sobre o atrito são igualmente úteis ao projetista, pois na conformação a quente, especialmente, em se tratando da fabricação de peças complicadas, são levadas em conta as condições de atrito entre o forjado e a ferramenta.

Dados sobre os coeficientes de atrito, e sobre as suas variações em face das condições de trabalho são úteis ao projetista e ao engenheiro de produção.

O gráfico da Fig. 21, ilustra a relação entre o coeficiente de atrito e a temperatura de conformação⁽⁵⁾.

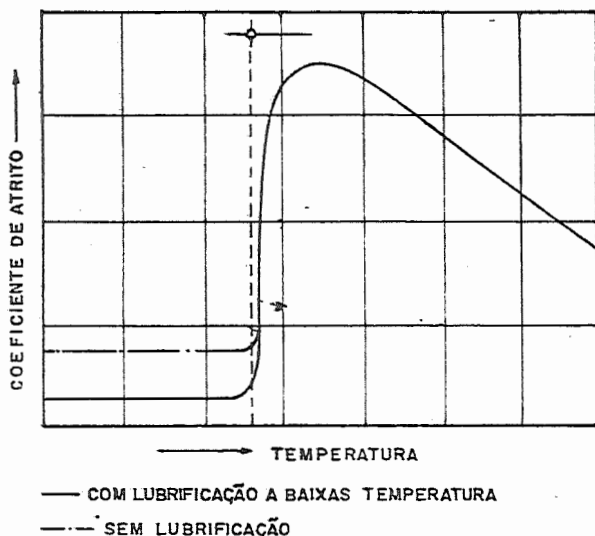


Figura- 21

A grandeza dos coeficientes de atrito no recalçamento e na prensagem, podem ser deduzidos com suficiente exatidão, daqueles deduzidos na laminação, por exemplo. Ganha importância desde já, o acabamento superficial das matrizes, e também dos tarugos, sobre o assunto de atrito.

Para o acabamento superficial normal, coeficiente de atrito na conformação a quente oscila entre 0.2 e 0.7. A influência da temperatura sobre os coeficientes está representada na Fig. 21, e no trabalho com aço, o coeficiente, diminui ao passar dos 700°C, a medida que aumenta a temperatura (t) sendo válida a seguinte fórmula:

$$\mu = 1,05 - 0.0005 t$$

A comparação dos valores de μ a quente com os valores a frio conduzem as diferenças para mais a quente. Este fato se explica porque a temperaturas elevadas, o que vai ocorrer não é mais atrito de aço, mas sim entre aço e a casca de óxido. Aos 700°C o coeficiente é muito elevado, sendo da ordem de 0.7.

O projetista também deverá ater-se com o problema do material para o forjamento, se bem que este pertença ao departamento de Engenharia e Processos, mas é costume deixar a cargo do engenheiro de projetos a indicação das dimensões dos tarugos para produzir determinada peça. As variáveis que entram no problema são, perdas nas pontas, rebarba, casca de óxido, puncionamento.

O cálculo exato destas perdas é extremamente complicado, e os valores que serão dados neste trabalho, são fornecidos pela longa experiência de forjadores europeus e americanos. Para a rebarba os alemães⁽⁷⁾ fornecem um nomograma (Fig. 22) por onde pode-se conhecer as perdas das rebarbas sem necessidade de cálculo. Sem bem que, tal gráfico foi construído para trabalho a frio, pode ser utilizado como referência também para a conformação a quente, uma vez que as circunstâncias são semelhantes. Sobre a Fig. 22:-

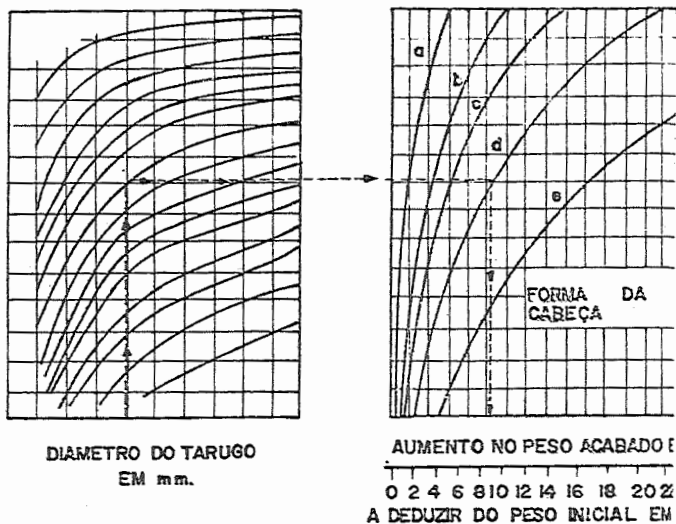


Figura - 22

- a) Peças recalçadas de cabeça pequena e rebarba delgada.
- b) Peças recalçadas de tamanho médio e rebarba delgada.
- c) Peças de tamanho grande e rebarba delgada.
- d) Peças recalçadas com maior desperdício de rebarba.
- e) Peças recalçadas com grande desperdício de rebarba.

Na Fig. 22 consta um exemplo: parafuso de cabeça hexagonal normalizado M8 x 40, a perda da rebarba é 10.4 % do peso acabado, ou seja 9.4 % do peso de partida.

Para o caso da perda pela camada de óxido (casca), não se pode dar cifras exatas e de caráter geral, pois muitas são as variáveis em jogo: tipo do forno, atmosfera reinante no mesmo, tipo do material, dimensões do forno, dimensões dos tarugos. Como valores aproximados, posso citar (7)(9) uma perda de 2 a 3% para barras aquecidas somente na extremidade, e 5% para tarugos totalmente aquecidos, o qual utilizei pessoalmente.

Alguns forjadores utilizam até 7% para temperaturas elevadas, mas sou de opinião de que basta controlar a temperatura e o

tempo de aquecimento e o consumo de óleo, para baixar este fator.

9.3) ENERGIA NECESSÁRIA À DEFORMAÇÃO

Com relação à Fig. 23, a energia cinética E_c , transmitida pela massa superior, do pêso Q , é expressa por

(1)

$$E_c = \eta \frac{I}{2} \cdot \frac{Q}{g} V^2$$

onde Q = pêso do sistema superior que cai

V = velocidade no instante do choque

η = rendimento do martelo

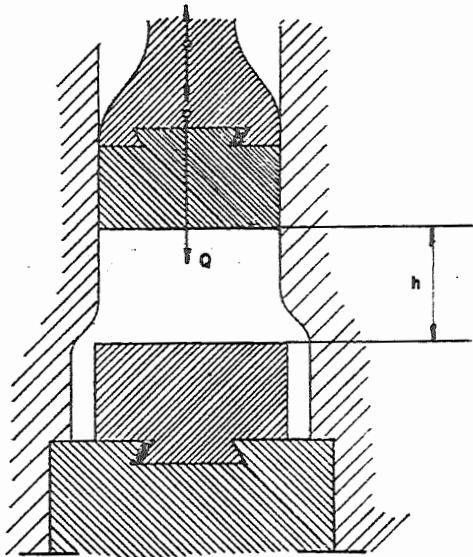


Figura - 23

Caíndo a massa da altura h , pelo pêso próprio, (caso dos martelos de queda livre), ter-se-ã:

$$v^2 = 2 gh \quad (2)$$

e, a expressão 1 transforma-se em:

$$E_c = \eta Qh \quad (3)$$

Pode-se igualar o trabalho das forças de inércia ao trabalho das forças externas. Para tanto, considere-se a Fig. 24, que representa um paralelepípedo deformado. O volume deslocado é $ABCD A' B' C' D'$. Sabe-se que a energia necessária à deformação de um corpo plástico é igual ao volume deslocado, multiplicado pela resistência à deformação.

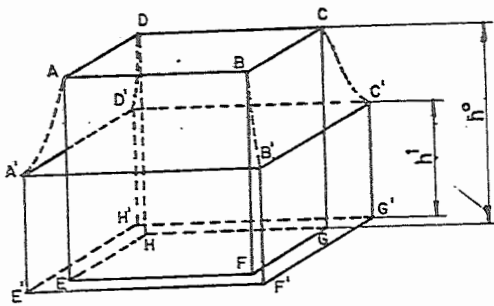


Figura - 24

Para um acréscimo dh , a energia é $rd S dh$ onde rd é a resistência unitária à deformação. Para um acréscimo $\Delta h = h_0 = h_1$ a energia será:

$$\mathcal{L} = \int_{h_0}^{h_1} rd S dh$$

O volume $V = Sh$ permanece constante durante a deformação, o que permite escrever:

$$\mathcal{L} = \int_{h_0}^{h_1} rd \frac{V dh}{h}$$

ou seja:

$$\mathcal{L} = Vrd \log \frac{h_0}{h_1} \quad (4)$$

A expressão (4) representa o trabalho das forças externas, para deformar o paralelepípedo da Fig. 24.

Para simplificação serão feitas as seguintes transformações:

$$h_0 - h_1 = \epsilon \quad F = rdA$$

(onde A é a secção inicial do paralelepípedo)

Tem-se então com boa aproximação

$$L = \text{Ard} \frac{h_0 - h_1}{h_1} = F \epsilon \frac{h_0}{h_1}$$

Tendo em conta que ϵ é pequeno comparativamente a h_0 , vem:

$$L = F \epsilon \tag{5}$$

Igualando as expressões (3) e (5), e prescindindo das deformações elásticas:

$$F \epsilon = \pi Qh \tag{6}$$

Pela expressão (6), pode-se calcular o peso necessário, caindo livremente de uma altura h , para deformar um material no estado plástico, rebaixando-o da quantidade ϵ .

Para a avaliação da força necessária para prensar a quente, um cilindro de raio r e altura h (secção $S = \pi r^2$) vale a expressão :

$$P = S r d \left[1 + \frac{2}{3} \mu \frac{r}{h} \right] \tag{7}$$

μ = coeficiente de atrito entre o material e a matriz já citado ($\mu = 0,2 \sim 0,5$)

rd = resistência unitária à deformação que segundo L'Hütte depende de dois fatores

$$rd = nK$$

n = fator que leva em conta os efeitos das velocidades de deformação (tabela 7).

K = fator que leva em conta o material e as temperaturas de forjamento (Kg/cm^2) Tabela 8.

Valor de n	VELOCIDADE DA DEFORMAÇÃO
1	prensas de ação lenta
1,5	prensas de ação rápida
1 ~ 3	laminadores e rolos de forjar
2 ~ 5	martelos

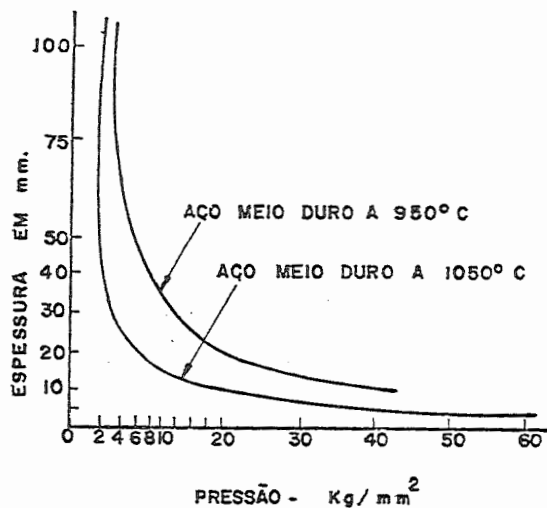


Figura - 25

Tabela 8

Material	Temperatura em °C						
	a frio	500	600	700	800	900	1000
Aço fundido	4500	2500	1500	1000	900	700	600
Cobre	2400	600	-	-	-	-	-
Alumínio	1160	55	35	-	-	-	-
Ferro doce	4000	2000	1000	850	800	-	-

Valores de K em Kg/cm²

M. Chartron⁽⁸⁾, estudou as variações da pressão de deformação em função da espessura e dos diâmetros, o que está bem próximo da realidade.

A fórmula adotada é:

$$f = K_1 \left(1 + q \frac{D}{h} \right)$$

na qual K_1 é função linear de D e q depende do estado da superfície e da lubrificação.

O gráfico da Fig. 25 é bastante ilustrativo, fornecendo uma idéia bem próxima da real.

Falando em termos de resistência à deformação a quente, a expressão (7) pode ser transformada, dividindo-se ambos os membros por S :-

$$R = rd \left(1 + \frac{2}{3} \mu \frac{r}{h} \right) \quad (8)$$

onde R é em Kg/mm^2 . Verifica-se que a resistência aumenta, ao aumentar o coeficiente de atrito e ao aumentar a relação r/h . Chamando o termo entre parentesis da expressão (8), de N vem:-

$$R = rdN \quad (9)$$

e a expressão (7) fica também

$$P = SrdN \quad (10)$$

Tanto a equação (9) como a (10) podem ser operadas rapidamente utilizando-se as curvas da Fig. 26, que dão os valores de N em função da relação r/h , para vários valores de μ .

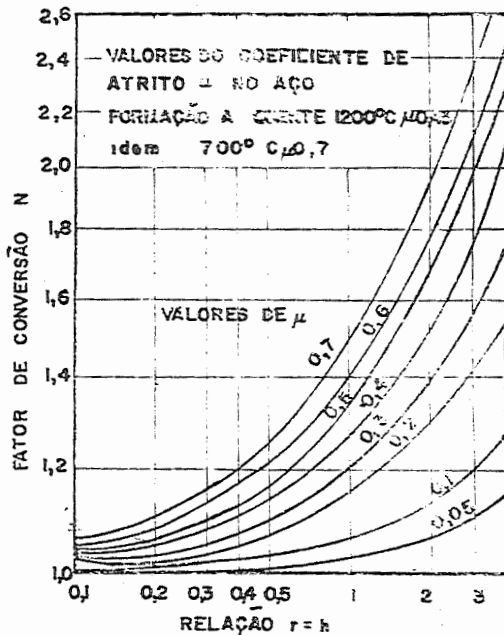


Figura - 26

Para a avaliação prática da energia necessária para forjar uma peça, é muito interessante (pessoalmente tive a ocasião de usar) o emrêgo da relação que se segue: se chamarmos a energia nominal da máquina de forjar, aquela que é calculada pelo efeito de um choque único. utilizando ao máximo todas as suas características, sem intervenção do rendimento pode-se escrever:-

$$8 \text{ Kgm/cm}^2 < \frac{E_n}{S_r} < 18 \text{ Kgm/cm}^2$$

onde E_n é a energia nominal da máquina em Kgm.

S_r é a secção da peça. ao nível da linha de rebarba, em cm^2 .

Sabendo-se que, quanto mais espessa é a peça, menor é a resistência unitária à deformação (rd), ou em outras palavras que as peças chatas de pequena espessura, exigem grandes pressões de deformação, ficam adotados os valores: (8):

Kgm/cm^2	PEÇAS
8	peças espessas
9 a 10	virabrequins
12 a 14	eixos
16 a 18	peças planas pouco espessas

9.4.) PRINCÍPIOS E NORMAS A SEREM OBSERVADOS NO PROJETO

Processamento da Sequência de Projeto

- 1) Escolha da máquina que vai forjar
- 2) Determinação da forma da secção e cálculo das dimensões do tarugo geratriz.
- 3) Determinação dos estágios de forjamento

- 4) Dimensionamento das matrizes destes estgios
- 5) Dimensionamento da matriz de rebarbar e dos acessrios.

Para o melhor entendimento, forneço um exemplo:
 peça para a fabricação de uma capa de sincronizador de caixa
 de mudanças de caminhão Fig. 27.

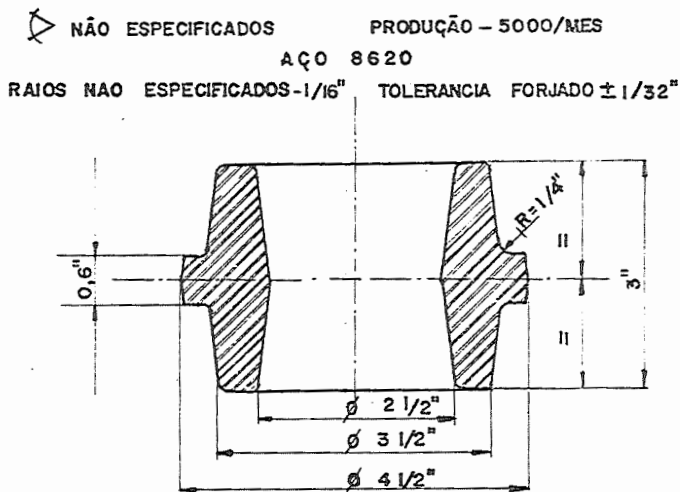


Figura- 27

A Fig. 27 é o desenho do forjado que é recebido pelo projetista. Neste desenho, consta o material e as tolerâncias, especificados pelo Departamento de Engenharia e Processos da Fábrica e, a produção requerida.

- 1) Prensa mecânica 2000 ton.
- 2) Tarugo redondo $\phi 3 \frac{1}{2}'' \times 6 \frac{1}{2}''$.



- a) recalçamento com matrizes
- b) 1º estágio pré-formador (blocker die)
- c) semi-acabamento (blocker die)
- d) acabamento com rebarba e núcleo (finish die)

O ítem 4 será mais adiante, amplamente discutido com exemplos reais.

É de importância fundamental o dimensionamento das matrizes de semi-acabamento: a vida da matriz acabadora, e a qualidade do forjado, dependem quase que exclusivamente, da distribuição criteriosa de dimensões nas matrizes semi-acabadoras. Intervêm então uma série de regras práticas que a experiência longa, de vários engenheiros estrangeiros nos transmitem.

Estas regras e princípios que vão ser mencionados, são gerais, não dependendo do tipo de máquina forjadora que se use.

1º Princípio (sobre a rebarba)

A formação da rebarba é essencial no ato de forjar, sendo como garantia de que há material suficiente para encher a matriz, mas como a certeza de que realmente o metal escoou perfeitamente em todas as cavidades da matriz, pois a rebarba - uma vez formada - impede a saída do material plástico, obrigando-o a penetrar a impressão aberta na matriz.

Pesquisadores estabeleceram regras sobre a formação da rebarba.

- a) o forjado semi-acabado deve conter rebarba mínima.
- b) a rebarba deve ser no máximo, a diferença entre os volumes do forjado final e do semi-acabado.

Quanto ao formato da rebarba, a Fig. 28 ilustra o tipo universalmente usado. O desenho mostra as duas matrizes juntas após o último golpe.

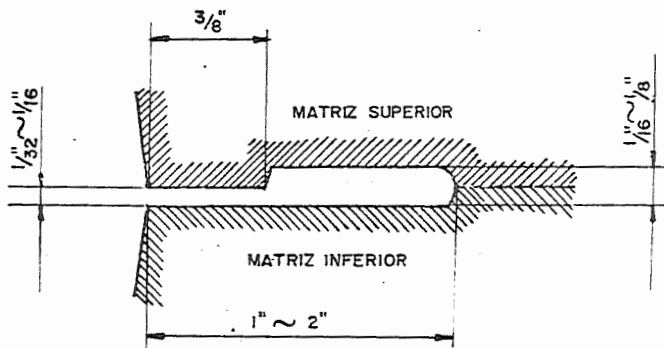


Figura - 28

Para o estabelecimento da espessura da rebarba, em casos especiais, que não se encontram no intervalo $1/32'' - 1/16''$ pode-se usar⁽⁶⁾ a relação:

$$h = 0,015 S \text{ (mm)}$$

onde S é a área da projeção sem a rebarba.

Aproveitando a oportunidade, serão incluídos alguns detalhes referentes à rebarbação propriamente dita. A Fig. 29 ilustra três formatos de machos de rebarbar (trimmer punch).

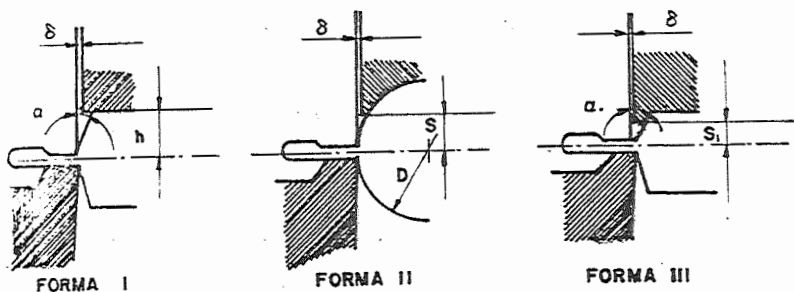


Figura - 29

É recomendado⁽⁶⁾ o uso das tabelas abaixo que dão a folga entre o macho e a faca de rebarbar.

Formato I	
h(mm)	δ (mm)
≤ 5	0.3
5 a 10	0.5
10 a 19	0.8
19 ~ 24	1.0
24 ~ 30	1.2
> 30	1.5

Formato II	
D(mm)	δ (mm)
≤ 20	0.3
20 ~ 30	0.5
30 ~ 48	0.8
48 ~ 59	1.0
59 ~ 70	1.2
> 70	1.5

Para que a forma do macho acompanhe o contorno da matriz na região do corte, recomenda-se⁽⁶⁾ o dimensionamento:

$$\text{Formato II} \quad S = 0,2 D + e$$

$$\text{Formato III} \quad S = \frac{3,3 - 0,03}{1ga}$$

29 Princípio (da distribuição de volumes)

É de todo interessante proceder à determinação do diagrama - da distribuição de volumes, (ou massas) pois que a partir dele pode-se estabelecer a forma e dimensões da matriz pré-formadora. Tome-se como exemplo a alavanca da Fig. 30.

Sobre o desenho da peça, traçam-se linhas perpendiculares a seu eixo principal, mais próximas quanto mais variarem de secção as linhas externas da peça. Considerando cada uma delas como o traço de um plano secante normal à peça, determina-se a área S em milímetros quadrados de cada secção, seja pelo cálculo seja com auxílio do planímetro ou do papel milimetrado, se a forma é muito complicada.

A raiz quadrada \sqrt{S} , ou lado do quadrado de mesma área, é transportado de um lado e de outro do eixo OX , em ponto deste correspondente ao traço do plano secante. Obter-se-á assim para cada seção um par de pontos simétricos em relação ao eixo OX , que unidos darão uma linha contínua, que dará a forma teórica da impressão da matriz pré-formadora.

A curva traço-ponto da Fig. 30 representa a envolvente dos pontos obtidos, tomando-se as superfícies S em ordenadas acima de OX , e os comprimentos correspondentes, em milímetros nas abscissas. A área delimitada por esta curva e o eixo dos x é a soma das superfícies $S \times dl$; ela representa o volume da peça e, pode ser avaliada com o planímetro, por exemplo. Este método dá com boa aproximação, o peso da peça e é bastante rápido. Uma vez que o cálculo das diferentes seções já foi efetuado para a obtenção do esboço pré-formador.

Há casos em que o eixo principal da peça é curvo, e então será necessário desenhar a peça, primeiramente com o eixo retificado.

3º Princípio (da direção do escoamento)

É preciso ter em mente, que existe uma relação muito importante entre a dimensão do eixo principal da peça e as dimensões resistentes. Quanto maior for esta relação, tanto maior será a resistência do material em fluir na direção do eixo principal, pois o metal tenderá a fluir no sentido da superfície externa mais próxima, ou em outras palavras, a tendência será de fluir na direção normal ao eixo principal. Assim o enchimento da cavidade da matriz seguirá as etapas de 1º fluir normalmente ao eixo longitudinal; 2º encontrado o obstáculo da parede da matriz (e posteriormente da rebarba) acaba por fluir longitudinalmente.

Durante todo este trabalho de escoamento forçado do metal, criam-se forças de atrito (assunto já comentado em 9.2) responsáveis pelo desgaste da matriz daí a necessidade de se ter a impressão semi-acabadora com as dimensões tão próximas quanto possível das da impressão final, pois com isso diminui-se o esforço nesta que poderá funcionar com garantia de boa tolerância.

Em se tratando de peças que contenham partes assimétricas⁽⁶⁾ em relação ao eixo longitudinal, faz-se primeiro a distribuição simétrica em relação a este eixo, para logo em seguida fazer o deslocamento. A Fig. 31 dá exemplos destes casos.

Caso importante na fabricação é o do curvamento. Há certas peças que exigem a operação do curvamento do esboço pré-formador e a matriz deverá conter entalhes para este serviço, ou a fábrica deverá ter máquinas auxiliares.

Os russos sistematizaram este caso classificando o curvamento em 3 tipos:-

- a) curvatura sem variação grande na secção transversal.
- b) curvatura com redução na secção transversal e alongamento simultâneo.
- c) curvatura com o fito de deslocar o metal para o lado (deslocamento).

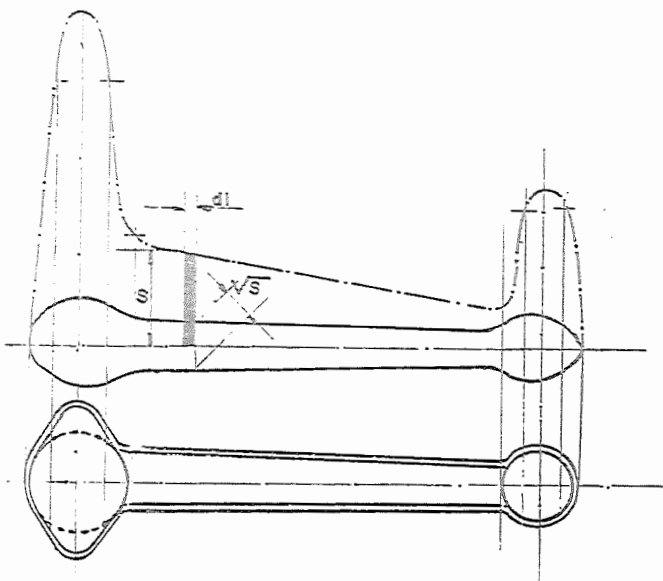


Figura - 30

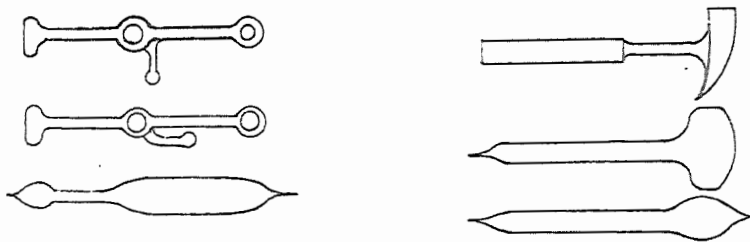


Figura - 31

A figura 32 dá um aspecto para casos de manivelas e virabre
quins.

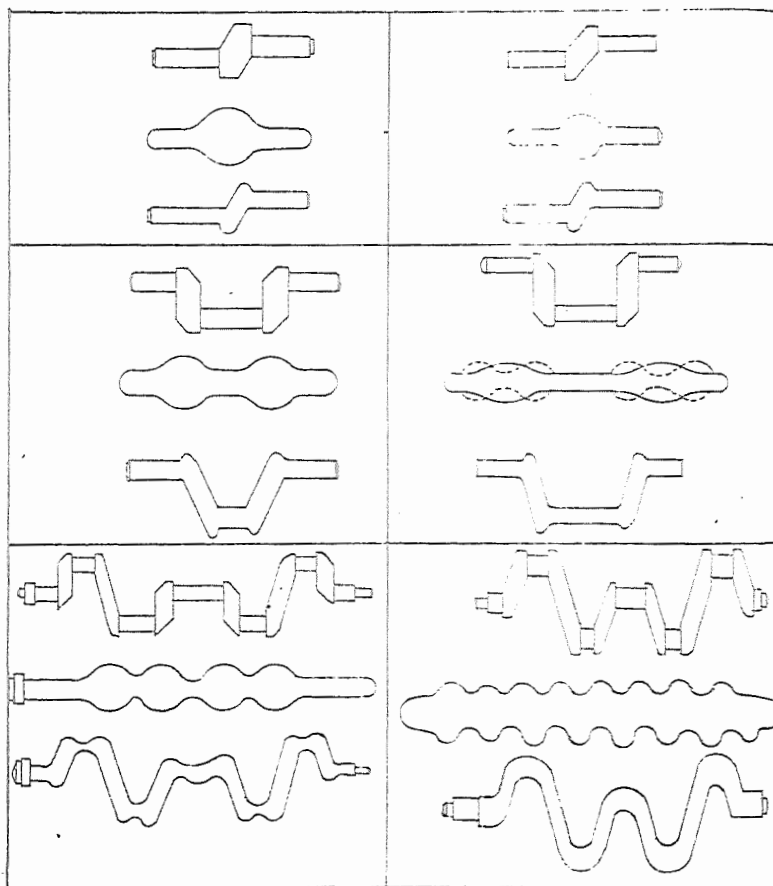


Figura - 32

Subsistem as seguintes regras:

- a) Comparando uma secção transversal da impressão final, po de-se dizer que aquela deve ter dimensões maiores na direção paralela ao movimento do esrampo e, menor na direção transversal. Em outras palavras, considere-se uma peça com o formato da Fig. 33, cuja direção é a reta pontilha da a-a. Deve-se ter

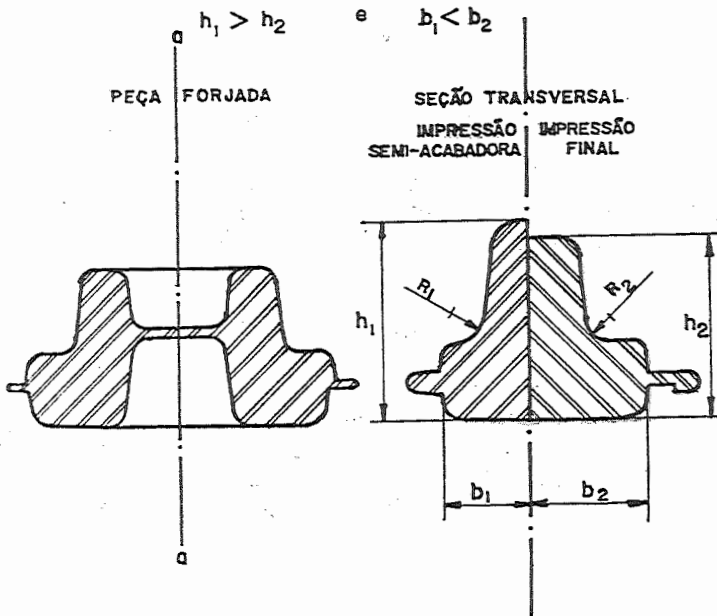


Figura - 33

- b) Todos os raios de curvatura da impressão pré-acabadora de
vem ser maiores que os da impressão final.

referência Fig. 33: $R_1 > R_2$

Estas regras devem ser aplicadas sucessiva e progressivamen
te aos vários estágios do forjamento.

O projetista fará estas aplicações rapidamente após ter ad
quirido boa sensibilidade do problema real.

Quanto a recalçadores (up-setters) o projetista deverá obede
cer as regras abaixo, que são o resultado da experiência dos america
nos (American Drop Forging Association).

Estas regras são aplicáveis à maioria dos trabalhos de forja
ria com recalçadores e, são usadas como guia na prática de projeto.

Regra Nº 1 - Fig. 34

"O limite do comprimento, do tarugo em balanço, que pode ser
recalcado de uma sõ vêz sem entortamento, não pode ser maior que três
vêzes o seu diâmetro" (Fig. 34).

A Fig. 35, mostra o que ocorre quando esta regra não é obser
vada. A regra prática recomendada deve ser $D \leq 2,5d$ e está de acor
do com as condições admissíveis da flambagem da peça:

Regra Nº 2 - Fig. 36

"Comprimentos do tarugo maiores que três vêzes o seu diâme
tro podem ser recalçados de uma sõ vêz sem entortamento desde que o
diâmetro da impressão não seja maior que 1 1/2 vêzes o diâmetro do
tarugo" (Fig. 36).

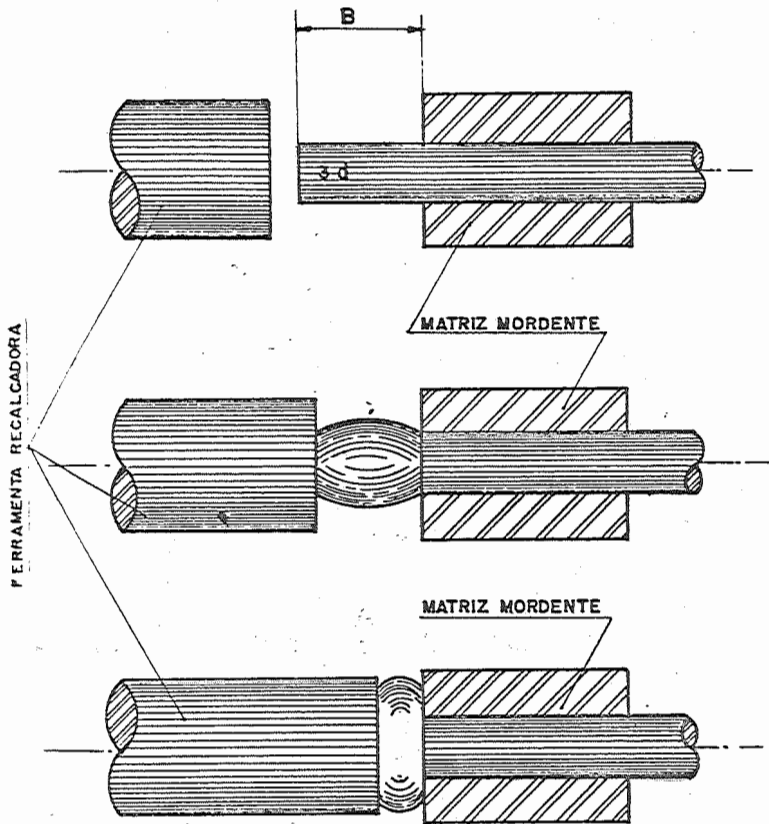


Figura - 34

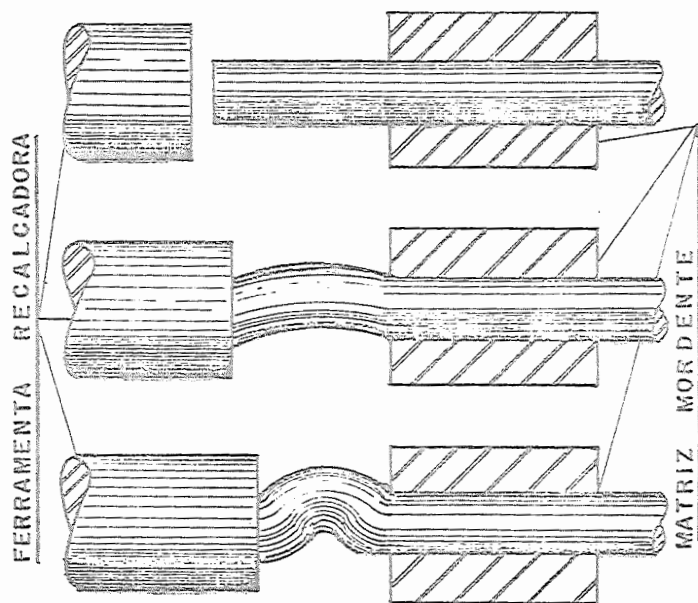


Figura - 35

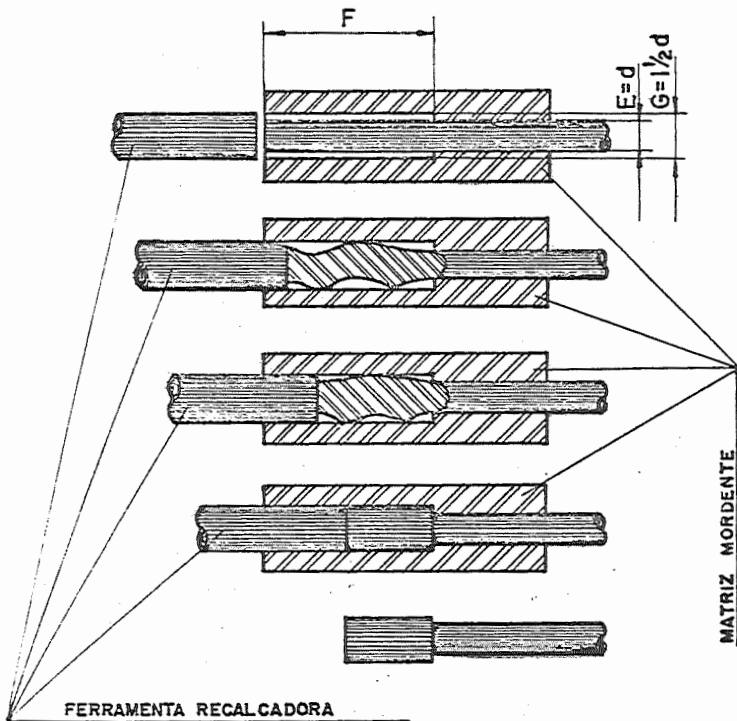


Figura - 36

Esta regra será bem entendida com o exemplo a seguir⁽⁹⁾; suponhamos que o diâmetro do tarugo seja de 1", o comprimento em balanço dentro da impressão G (Fig. 36) seja $F = 6"$, e o diâmetro G do furo seja $G = 1\ 1/2"$. Quando o punção comprimir, o pedaço em balanço começará a se entortar, mas tendo em vista o limitado diâmetro e o recalçamento terá êxito. Não chega a haver mudança brusca de direção do eixo longitudinal, pois o material logo entra em contato com as paredes da impressão.

A não observância da regra nº 2 pode ser vista na Fig. 37.

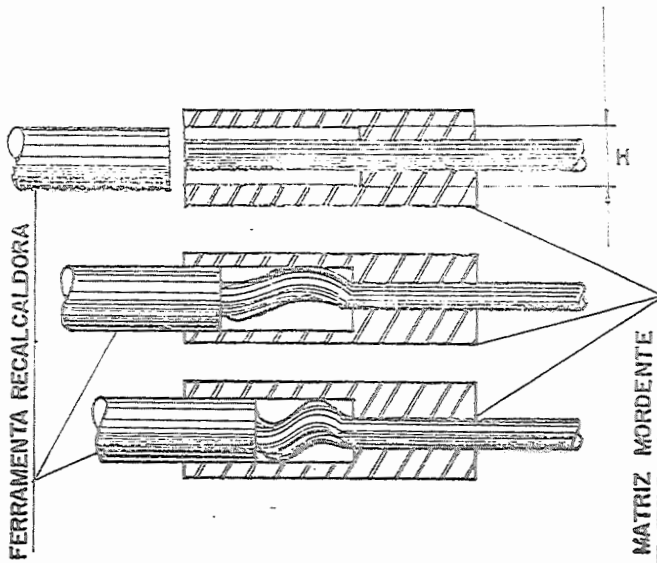


Figura 37

No caso da Fig. 37 o furo $\bar{H} > 1\ 1/2''$ e o entortamento \bar{e} inevitável, ocasionando defeito do forjado final.

Esta regra \bar{e} importante e encontra aplicação também no caso de recalçamento de tubos. (Fig. 38)

Entra em consideração neste caso, a espessura da parede do tubo forjado.

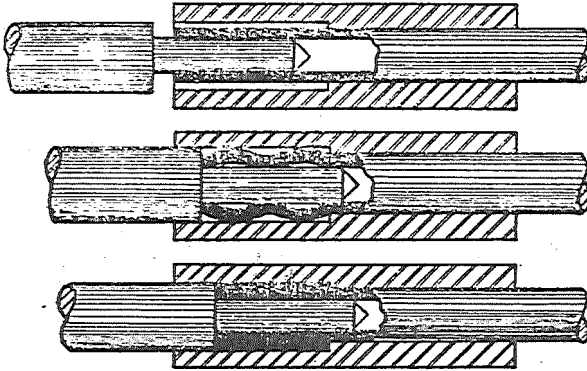


Figura - 38

Para um recalçamento externo, aonde o aumento na espessura da parede do tubo \bar{e} acrescido do aumento do diâmetro externo, a espessura não deve ser aumentada além de $1\ 1/2$ vezes a espessura inicial.

Segue um exemplo⁽⁹⁾:- o diâmetro externo do tubo \bar{e} $2''$ e a espessura da parede $1/4''$, o comprimento do tubo a ser recalçado \bar{e} $6''$. \bar{E} necessário então que o diâmetro do furo da matriz não seja maior de $2\ 1/4''$ para que a espessura final das paredes do tubo seja $1\ 1/2$ vezes a sua inicial, ou seja $3/8''$. Se houver um grande aumento então ocorrerá o que se observa na Fig. 39.

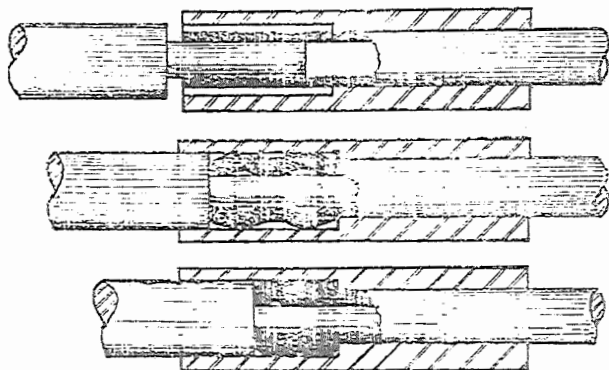


Figura - 39

"A extremidade do tarugo em balanço pode ser recalçada num comprimento maior que três vêzes, sem entortamento, se o diâmetro da abertura (das matrizes mordentes, ou punções recalçadores de impressão interna cônica) não for maior que $1 \frac{1}{2}$ vêzes o diâmetro do tarugo, e o pedaço em balanço além das faces externas da matriz, não exceder 1 diâmetro do tarugo".

Pode acontecer que as impressões sejam cônicas ou cilíndricas, ou que estejam nos punções recalçadores ou nas matrizes mortentes a regra será válida e resulta de uma combinação das regras nº 1 e nº 2.

Na Fig. 40a) suponhamos, por exemplo⁽⁹⁾, que o tarugo tenha 1" de diâmetro, por 6" de comprimento, e o diâmetro do furo na matriz seja $1 \frac{1}{2}$ ", então o pedaço em balanço U além das faces da matriz deve ser $U < 1^2$. Entretanto, se o diâmetro do furo na matriz, for reduzido abaixo de $1 \frac{1}{2}$ vêzes o diâmetro do tarugo, o comprimento da parte em balanço pode ser aumentado proporcionalmente (Fig. 40b).

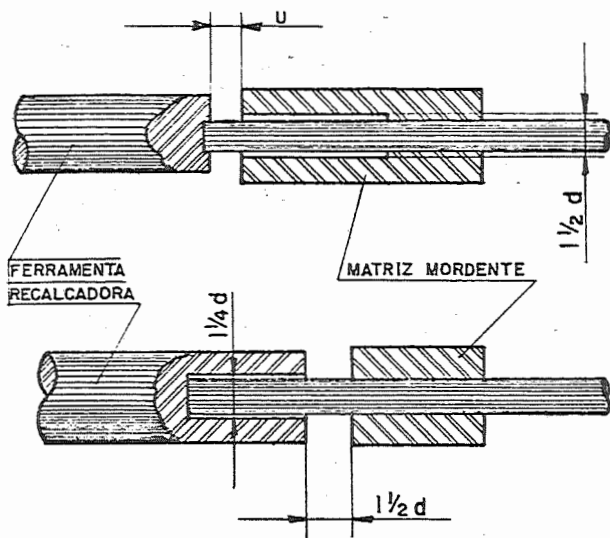


Figura - 40

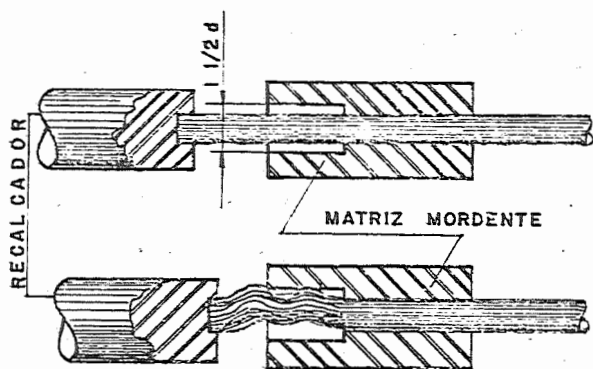


Figura - 41

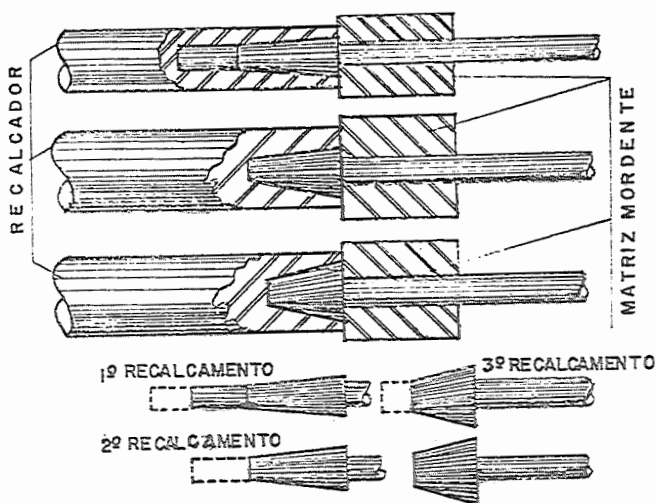


Figura - 42

Na figura 41 pode-se observar o que acontecerá se for violada a regra nº 3, isto é, se o comprimento ultrapassar 1 diâmetro do tarugo, conservadas as outras características como no enunciado da regra.

Seguem alguns exemplos de recalçamento progressivo.

Na Fig. 42, vê-se o forjamento de um pinhão cônico, de acordo com as leis do escoamento já exposta em capítulo anterior, e de acordo com as regras impostas para recalçadoras. Enquanto a 1.ª impressão da matriz é limitada ao diâmetro do material, por sua vez serão as dimensões do recalçado que governarão as dimensões das demais impressões e não mais o diâmetro do tarugo em si⁽⁹⁾.

Outro exemplo⁽⁹⁾ aparece na Fig. 43.

É comum o uso dos *sliding dies* (matrizes deslizantes) como coadjuvantes no ato do recalçamento. Certos forjados exigem mesmo o uso de tais matrizes.

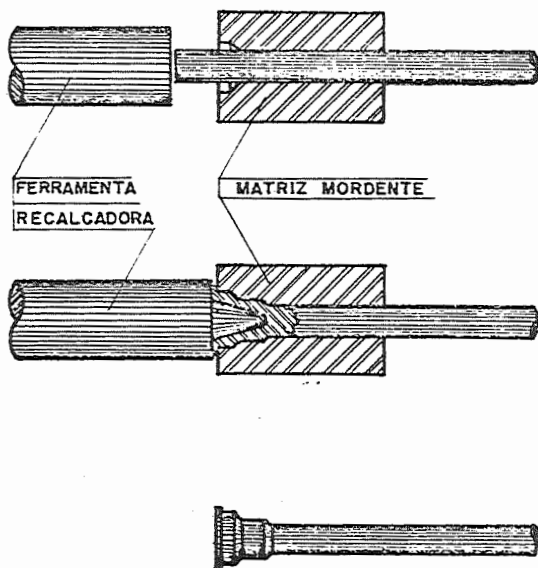


Figura - 43

Por este método⁽⁹⁾ o material é bloqueado em duas secções, permitindo que no recalçamento pelo punção, o metal preencha as cavidades das impressões entre a matriz deslizante e a matriz mordente e a matriz mordente.

Um exemplo simples pode ser visto na Fig. 44.

Também o forjamento em etapas é feito com *sliding dies* como se vê na Fig. 45.

Quando o forjado exigir mais de uma mudança em sua secção transversal, então pode-se usar mais de uma matriz deslizante⁽⁹⁾ como mostra a Fig. 46.

Também a operação conjunta de recalçamento e perfuração do forjado é realizada com sucesso pelas recalçadoras. Na Fig. 47 aparece o desenho do ferramental e dos produtos que resultam dos vários estágios de forjamento.

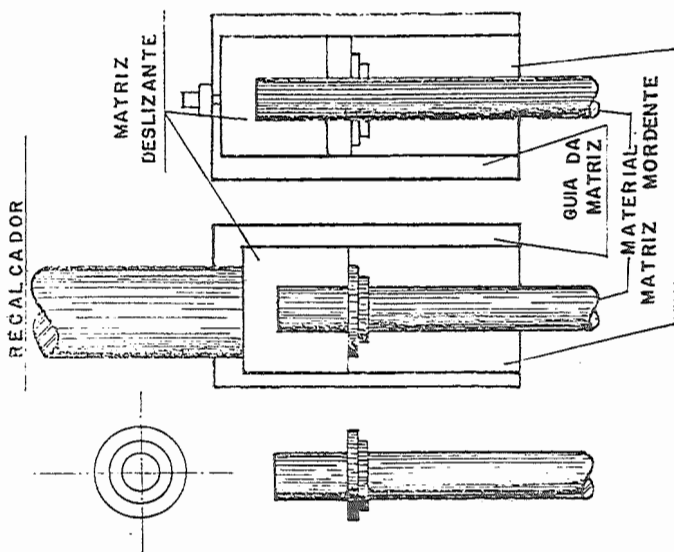


Figura - 44

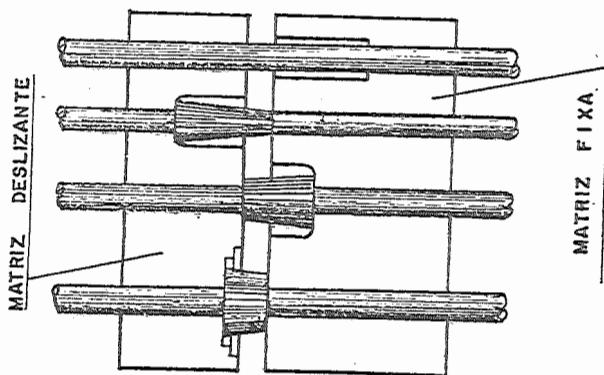


Figura - 45

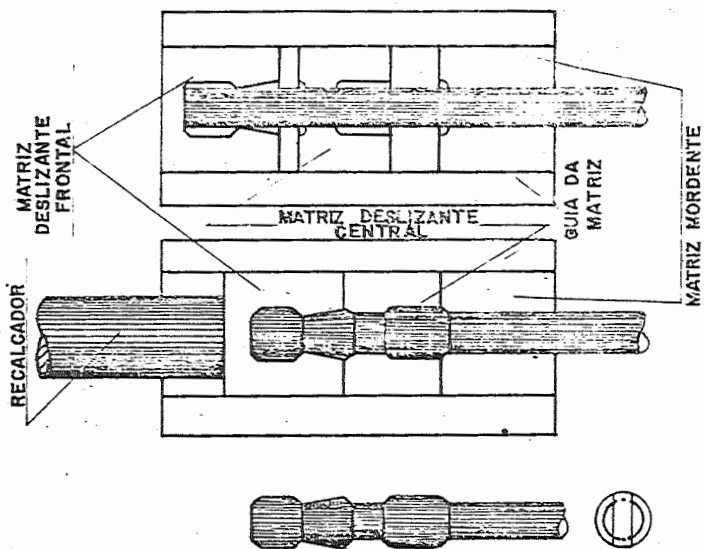


Figura - 46

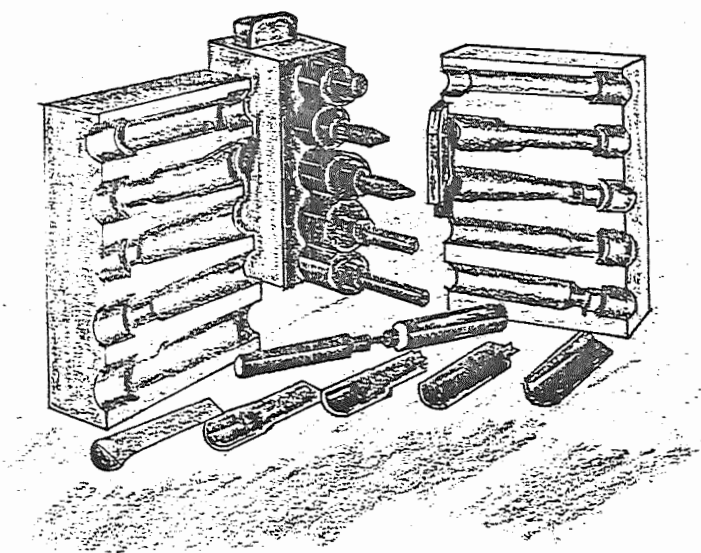


Figura - 47

Hã a comentar, que ẽ necessãrio cuidado nestes casos para não acontecer o que se observa na Fig. 48A (entortamento).

"O comprimento do material no espaço entre a parte recalçada e a parte onde o tarugo ẽ bloqueado não deve exceder três vêzes o diãmetro do tarugo como mostra a Fig. 48B".

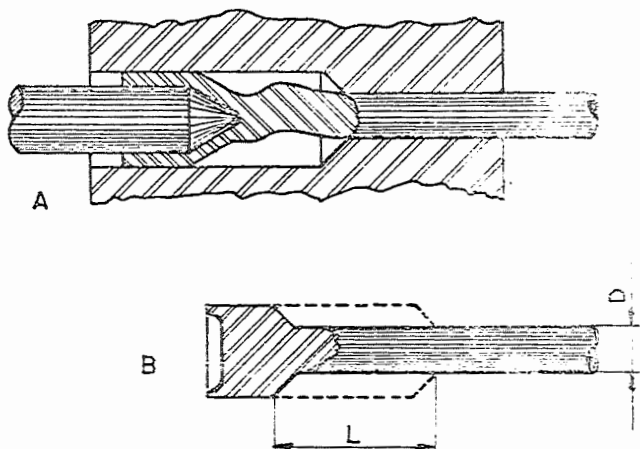


FIG-48

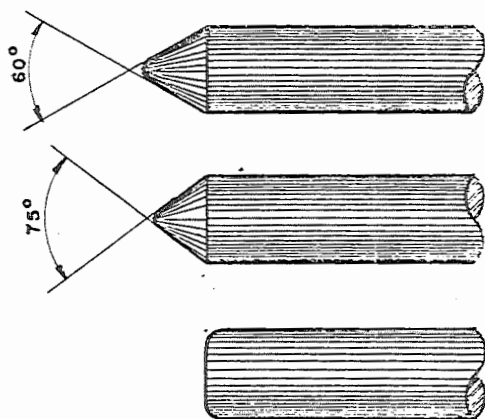


Figura - 49

Para o projeto dos punções perfuradores (piercing punches) a experiência tem indicado⁽⁹⁾ que o melhor ângulo da abertura do cône é da ordem de 60° (Fig. 49), mas se o puncionamento deve ser usado para tornar quadrada a extremidade do forjado por pressionamento do material contra a extremidade de uma lâmina, então o ângulo deverá ser de 75° ⁽⁹⁾, entretanto, neste caso o comprimento do tarugo a ser operado não deve exceder 1 diâmetro do mesmo.

A Fig. 50 mostra exemplos das fases de forjamento seguidas do cisalhamento separando-se assim o forjado do tarugo-geratriz.

O cisalhamento pode ser feito na própria máquina e em operação conjunta com a última fase de recalçamento e perfuração.

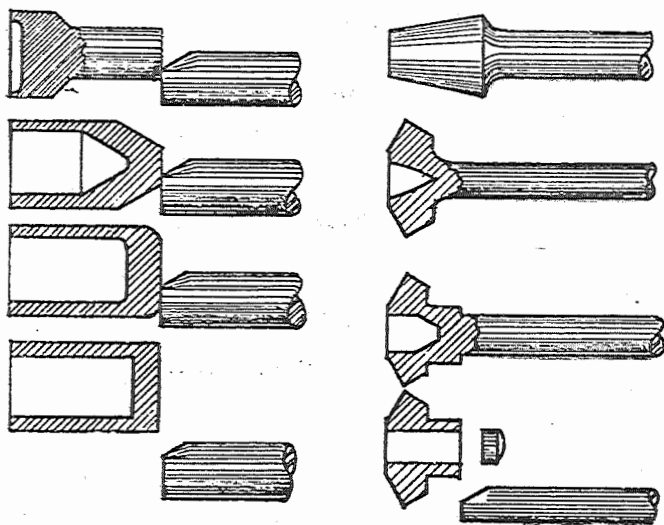


Figura 50

Estudaremos agora o caso em que intervêm reduções de espessuras por passes nos rolos de forjar.

Considere-se a Fig. 51.

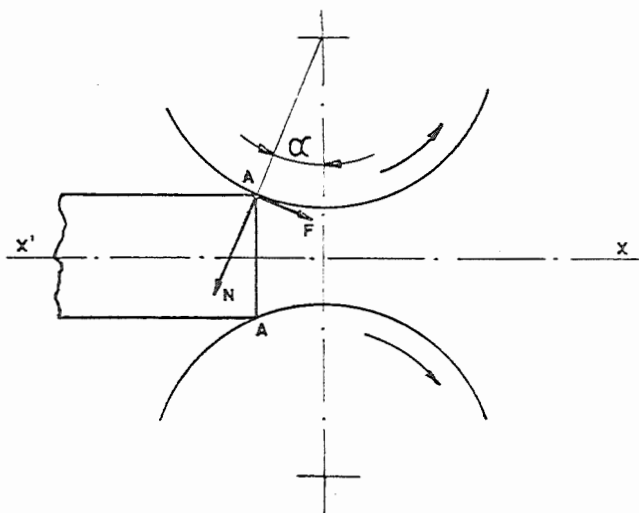


Figura- 51

Observe-se para fixar idéias, os pontos de contato A e A' da Fig. 51. Sobre uma secção infinitamente pequena, pode-se admitir que em A o tarugo está sujeito a duas forças:

- 1.^a) N que é normal a uma tangente ao rolo naquele ponto, e que tende a repelir o tarugo.
- 2.^a) F que tende a tracionar o tarugo e, que nada mais é se não esforço de atrito cujo valor é $N\mu$ dado μ é o coeficiente de atrito. (vide valores aconselhados em considerações anteriores sub-capítulo 9.2).

Para que o tarugo seja laminado, é necessário que a projeção de F sobre xx' seja maior que a projeção de N sobre o mesmo eixo ou

em outras palavras:

$$N \mu \cos \alpha - N \sin \alpha > 0$$

$$\mu > \operatorname{tg} \alpha$$

Observando a Fig. 52, uma v \hat{e} z que o tarugo j \hat{a} est \hat{a} compreen-
dido entre os dois rolos o metal est \hat{a} submetido a f \hat{o} r \hat{c} as id \hat{e} nticas
ao longo de todo o arco AB. Neste caso para que a passagem se proces-
se sem deslizamento \hat{e} necess \hat{a} rio que

$$\mu \geq \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

Nos rolos da Fig. 52, por f \hat{o} r \hat{c} a da forma das coquilhas, o ta-
rugo \hat{e} pr \hat{e} so desde o come \hat{c} o.

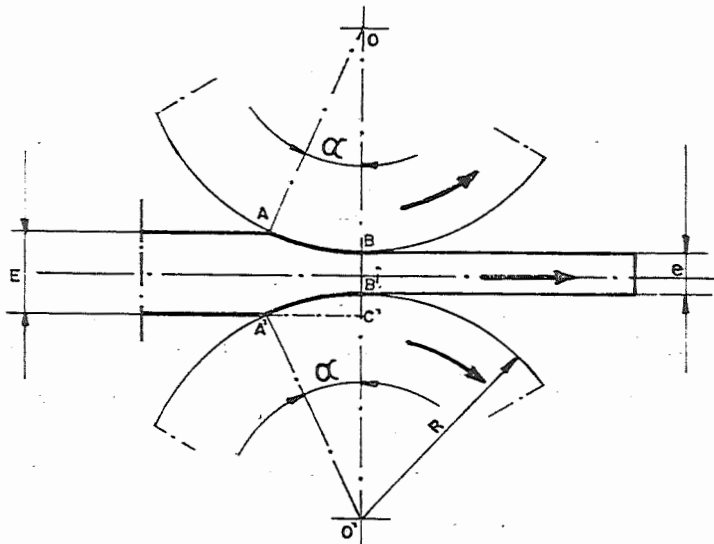


Figura - 52

Pode-se então aplicar a expressão precedente para deduzir o valor de ângulo α .

$$0,23 = \mu \geq \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

donde $\alpha \cong 29^{\circ}$

A redução de espessura que é igual a 2 vezes $B' C'$, na Fig. 52 tem o valor:-

$$2 (R - R \cos \alpha) = 2 R (1 - \cos 29^{\circ})$$

A máxima redução de espessura que se pode obter é:-

$$\underline{\underline{D (1 - 0,9)}}$$

ou seja um décimo do diâmetro das coquilhas.

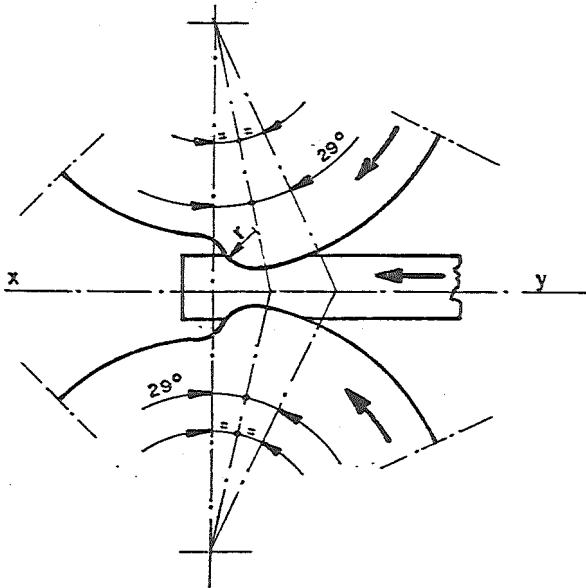


Figura - 53

Barras laminadas, tem sua secção alargada (Fig. 54) em consequência se alongam.

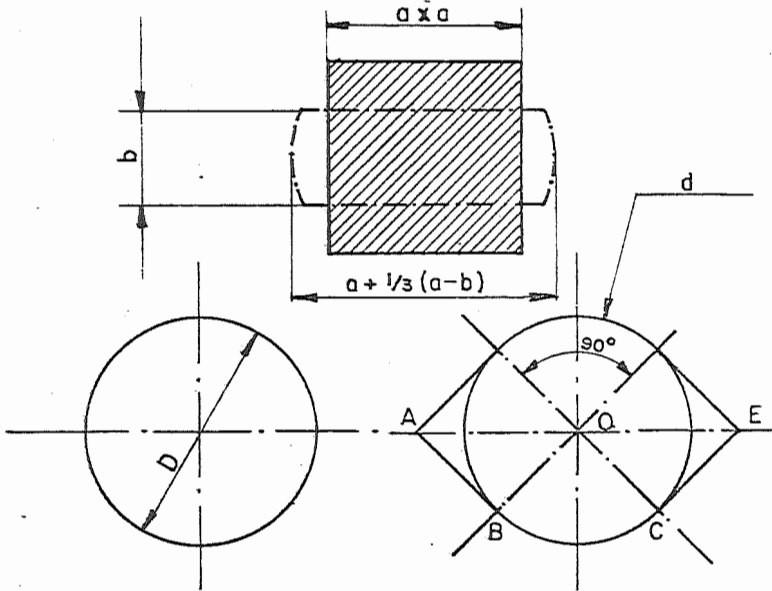


Figura 54

Praticamente, entre cilindros lisos pode-se admitir:-
alargamento = 1/3 redução da espessura.

De acordo com ⁽⁶⁾ o coeficiente de esticamento (relação entre as secções, inicial e final) depois do rolamento, dentro do mesmo entalhe nos rolos, não deve ultrapassar 1,45. Quando este coeficiente é menor que 1,45 o rolamento pode ser feito numa única ranhura. Entretanto, pode-se dar o caso de este coeficiente ser maior que 1,45, mas a modificação na secção se dá num único sentido (Fig. 55a), então o rolamento ainda será efetuado em apenas uma ranhura.

Em outro caso qualquer, em que o coeficiente de esticamento for maior que 1,45 deverão ser lançados mão de várias ranhuras cujo número vem regulado pela fórmula de Aristow ⁽⁶⁾

$$n = \frac{\log S_g - \log S_f}{\log K_e}$$

onde

Sg = secção inicial do forjado.

S = secção final do forjado.

Ke = coeficiente de esticamento, que deve ser mantido entre 1,2 e 1,3.

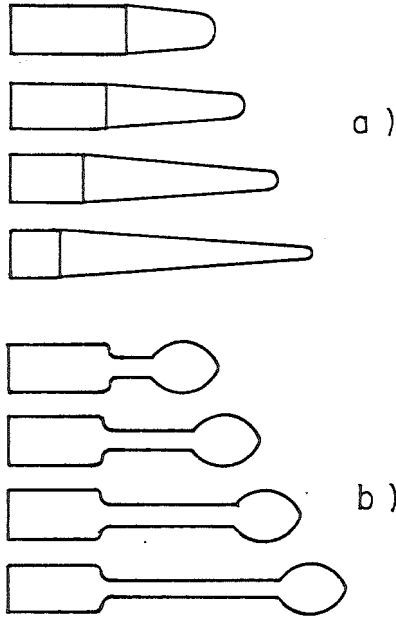


Figura - 55

ainda de acordo com⁽⁶⁾, o plano de separação das impressões (plano de separação da secção transversal entre os setores superior e inferior) é, ao rolar-se perfis simétricos, fixado segundo o eixo de simetria, e em perfis assimétricos pela linha que divide aproximadamente a peça em partes iguais.

A folga entre os dois setores deve ser de 1 a 3 mm, variando de acordo com a profundidade (Fig. 56)

A inclinação das paredes dianteira e traseira, deverá ser

duas v̄ezes maior que a das paredes laterais. Essa inclinaç̄o deve au-
mentar na direç̄o do operador.

Para os raios internos de arredondamento das impress̄oes⁽⁶⁾
sugere:-

$$R_1 = 0,5 (h_0 - h) \text{ e para os externos } R_2 = 0,2$$

a 0,3 (h_0 - h) (na linha de separaç̄o)

Ap̄os a exposiç̄o destas principais observaç̄es, regras e
princ̄pios, que norteiam o projeto (principalmente as indicadas para
martelos e prensas) seguem-se algumas normas, e tamb̄m tolerâncias re-
lativas a forjados, das quais pode-se colher informaç̄es precisas, pa-
ra o andamento do projeto.

Serão indicadas normas americanas (American Drop Forging
Association) e normas alemãs (DIN) e o leitor poderã comparar algumas
para seu maior proveito.

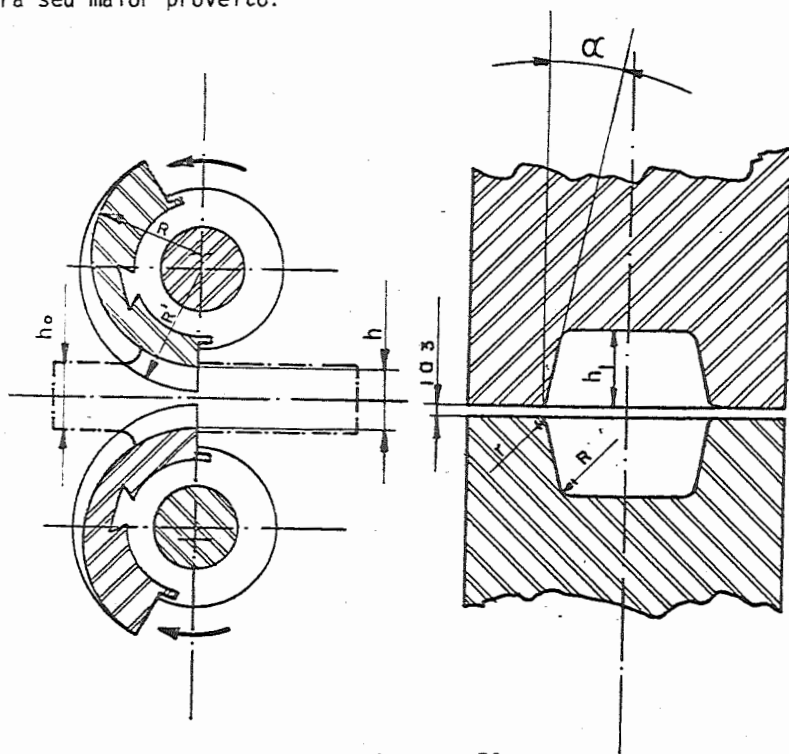


Figura - 56

NORMAS E TOLERÂNCIAS

As tolerâncias do forjado para a usinagem (sobre metal) dependem de vários fatores como: dimensões da altura e da base, proporção entre o comprimento e espessura, número de furos e concavidades.

Para uma regra geral, forjados pequenos pesando um pouco acima de 1,35 kg requerem 1/32" de tolerâncias de sobre-metal, para cada superfície que será usinada, até 3/64"⁽¹⁾.

A tabela 9, dá uma visão mais detalhada de acordo com⁽¹⁾.

Tabela 9

Peso em kg forjado	Sobre-metal para usinagem
≥ 1,35	1/32" a 3/64"
≥ 1,8	1/16"
≥ 4,5	3/32"
≥ 9,0	1/8"

Metals Engineering Process

OBS:- Pequenas superfícies achatadas podem ter tolerâncias mais fechadas, pela cunhagem a quente ou a frio.

Sugestões (de acordo com⁽¹⁾) para mínimos raios dos cantos e bolsas, e espessuras para forjados tipo "Drop Forging" (Fig. 57 e Tabela 10).

OBS:- Fica claro, que tudo que se disser a respeito do forjado vale para as impressões das matrizes, uma vez que o desenho destas é baseado no desenho daqueles.

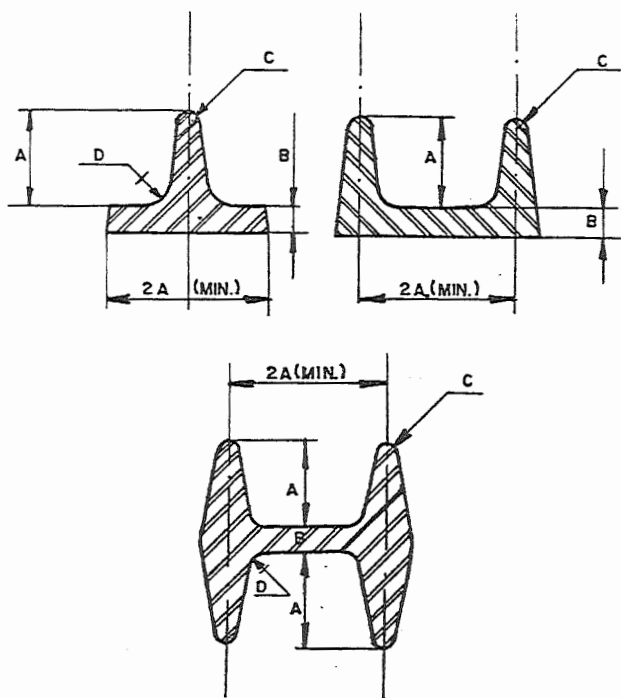


Figura - 57

TABELA 10

A	1/4	3/8	1/2	3/4	1
B	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16
C(raio)	1/32	1/32	3/64	1/16	5/64
D(raio)	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8

A	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3
B	7/32	1/4	5/16	3/8	1/2
C(raio)	3/32	7/64	1/8	5/32	3/16
D(raio)	1/2	9/16	5/8	1 1/16	3/4

DETERMINAÇÃO DA LINHA DIVISÓRIA

A linha divisória é a linha que determina as partes do forjado que deverão preencher as cavidades convenientes das matrizes, superior e inferior. Existem critérios para a determinação desta linha:

- a) Sempre que possível manter a linha divisória das matrizes num mesmo plano.
- b) Na colocação da linha divisória, procurar aproveitar as saídas naturais do forjado.

As figuras 58 e 59 dão alguns exemplos do problema.

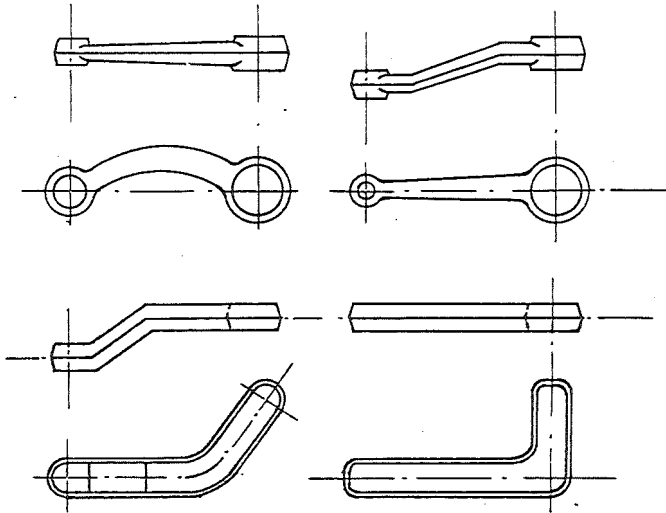
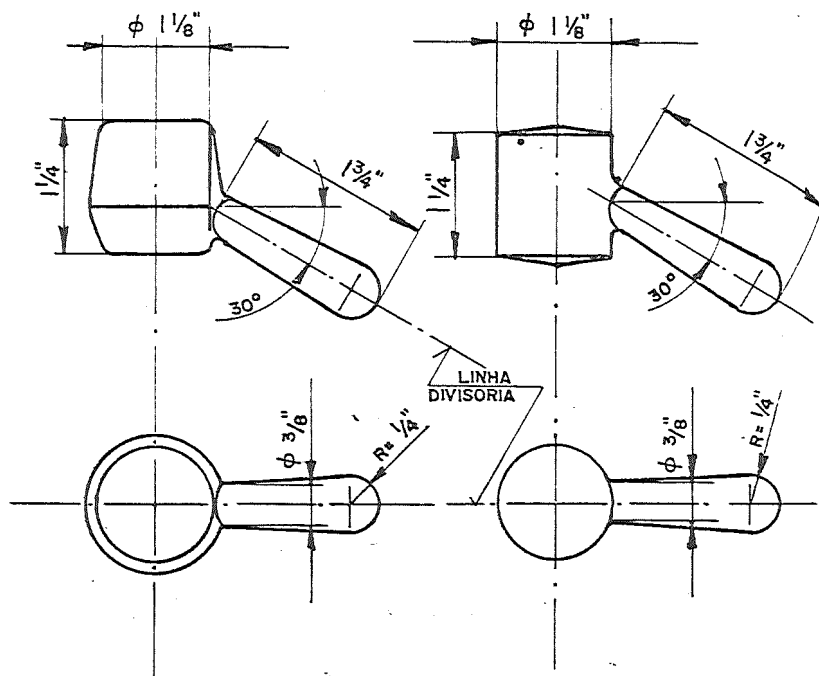


Figura - 58

A Fig. 59, dá duas possibilidades de colocação da linha divisória para a mesma peça.



Ângulo de saída

Figura- 59

É absolutamente necessária a sua presença para permitir a saída do forjado das cavidades da matriz.

Conforme desenhos da Figura 60, vê-se que o ângulo de saída varia de acordo com as dimensões e a forma do forjado.

A tabela 11 dá os ângulos de saída de acordo com a norma americana.

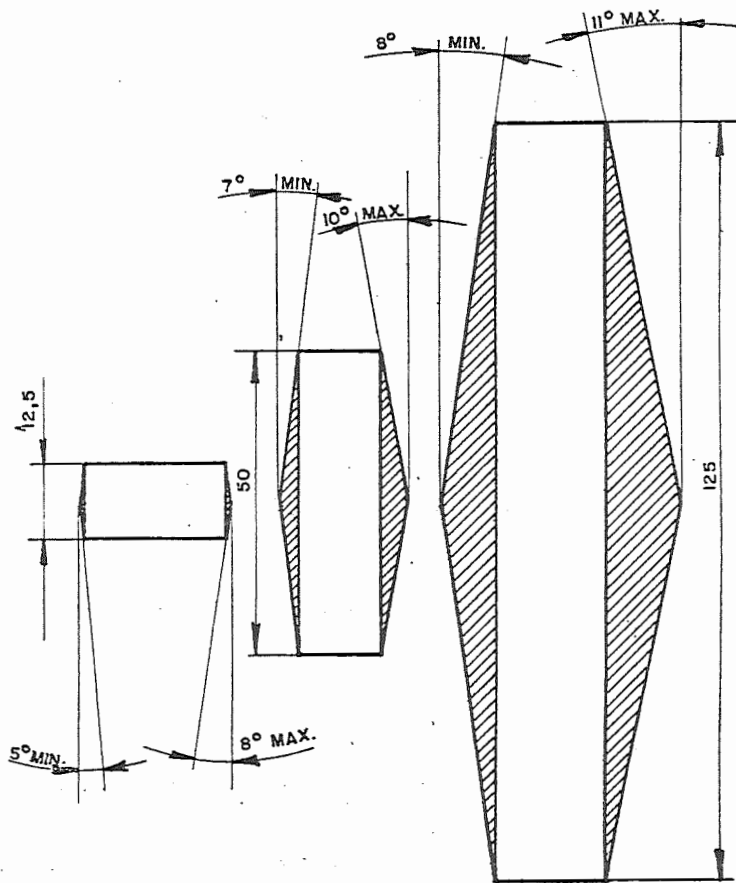


Figura - 60

A tabela 11 dá os ângulos de saída de acordo com a norma americana.

TABELA 11

Altura ou profundidade da saída em polegadas	Ângulo	Norma Tolerância* + (graus)	De precisão	
			Ângulo	Tolerância* + (graus)
SAÍDA EXTERNA				
1/4 a 1/2	-	-	3	2
1/4 a 1	5	3	-	-
1/2 a 1	-	-	5	2
1 a 3	7	3	5	3
3	7	4	7	3
SAÍDA INTERNA				
1/4 a 1	7	3	5	3
1	10	3	10	-

* A tolerância para menos é zero.

A tabela 12 refere-se ao mesmo assunto, de acordo com a norma alemã.

TABELA 12

Em	tolerâncias de saída ¹⁾					
	superfícies internas			superfícies externas		
	Inclinação	Angulo inter.	condições de emprêgo	condições	angulo intern	condições de emprêgo
A Martelo	1:6	9°	normal	1:6	9°	em saliências altas
	1:10	6°	com punção curto	1:10 1:20	6° 3°	normal em peças circulares achatadas (bolachas)
B Prensa	1:6	9°	em partes fundas	1:10	6°	em peças circulares achatadas
	1:10 1:20	6° 3°	normal com extrator	1:20 1:50	3° 1°	normal com extrator
C Recalcadora	1:20 até	3°	conforme a profundidade, furo ou concavidade	1:20	3°	em concavidades laterais (1)
	1:50	0 até 1°		1:50	1° 0°	normal em superfície de encosto (2)

1) Concavidades entalhadas nos mordentes (normais ao movimento de punção).

2) Superfícies frontais em relação ao movimento de punção.

Na prática entretanto, os ângulos de saída são usualmente de 7° para as partes verticais exteriores e 10° para o perímetro interno constituído por bolsas e furos⁽¹⁾.

É possível, e às vezes até desejável (do ponto de vista econômico), diminuir os ângulos externo de 7° e interno de 10°, toda a vez que a altura vertical é pequena em comparação com a área plana, como no caso de tampas e peças achatadas.

Forjados de considerável altura e com bolsas e furos profundos requererão ângulos maiores que os preconizados.

Para raios dos cantos e quinas de forjados, o suplemento

1955 da ASM Metals Handbook especifica (Fig. 61):

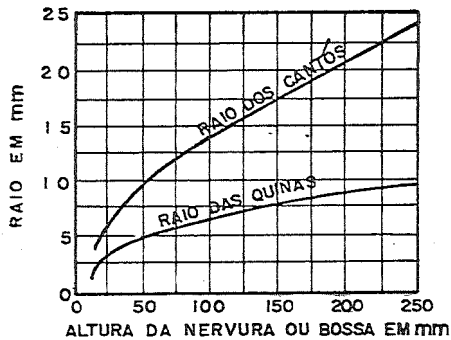
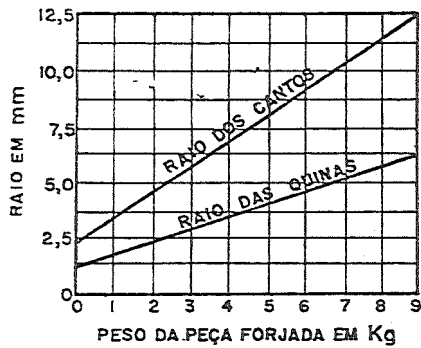
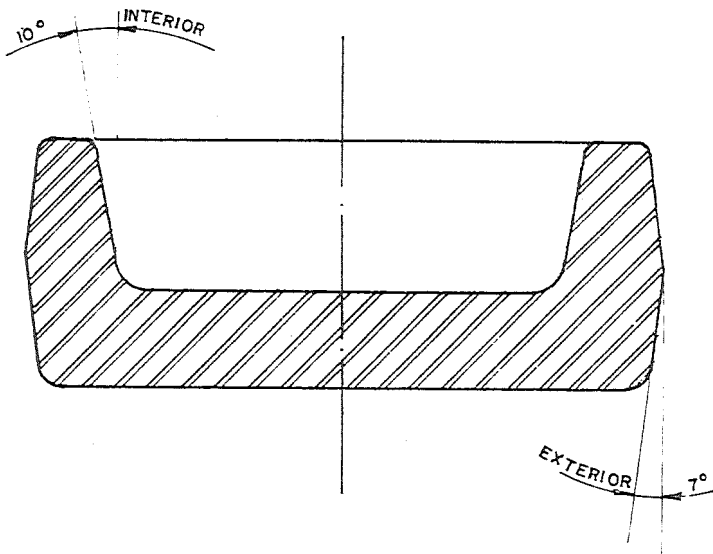


Figura - 61

Seguem-se algumas tabelas de tolerâncias para forjados de acôrdo com a "American Drop Forging Association", compiladas de⁽⁹⁾, que ajudam tanto ao projetista como ao Contrôle de Qualidade de Forjado.

Maiores detalhes podem ser colhidos em ⁽⁹⁾.

TOLERÂNCIAS DE ESPESSURA

Aplicáveis a todas as dimensões dos forjados. Para martelos, as tolerâncias referem-se a espessuras medidas na direção perpendicular ao plano de divisão da matriz. Para recalçadoras, as tolerâncias referem-se à espessura na direção paralela à direção do avanço do cabeçote. (Tabela 13).

TABELA 13
Tolerâncias de espessura
(Dimensões em polegadas)

Pesos netos até	Comercial		De precisão	
	-	-	+	+
.2	.008	.024	.004	.012
.4	.009	.027	.005	.015
.6 ^{1/2}	.010	.030	.005	.015
.8 ^{1/2}	.011	.033	.006	.018
1	.012	.036	.006	.018
2	.015	.045	.008	.024
3	.017	.051	.009	.027
4	.018	.054	.009	.027
5	.019	.057	.010	.030
10	.022	.066	.011	.033
20	.026	.078	.013	.039
30	.030	.090	.015	.045
40	.034	.102	.017	.051
50	.038	.114	.019	.057
60	.042	.126	.021	.063
70	.046	.138	.023	.069
80	.050	.150	.025	.075
90	.054	.162	.027	.081
100	.058	.174	.029	.087

T A B E L A 14
Tolerâncias de Contração e Desgaste da Matriz (Polegadas)
Contração mais Desgaste

Larguras ou comprimentos até ..poleg.	Comercial De precisão			Pêso neto até ..lbs.	Comercial De precisão		
	+ ou -	+ ou -	-		+ ou -	+ ou -	-
1	.003	.002		1	.032	.016	
2	.006	.003		3	.035	.018	
3	.009	.005		5	.038	.019	
4	.012	.006		7	.041	-.021	
5	.015	.008		9	.044	.022	
6	.018	.009		11	.047	.024	
Para cada polegada adicional some	.003	.0015		Para cada 2 lbs. adicionais some	.003	.0015	
Por exemplo				Por exemplo			
12	.036	.018		21	.062	.031	
18	.054	.027		31	.077	.039	
24	.072	.036		41	-.092	.046	
36	.108	.054		51	.107	.054	

Tolerâncias de contração e desgaste da matriz

Não são aplicáveis separadamente mas sim como a soma das duas como consta da tabela 14. Também não são aplicáveis de modo a incluir saída ou variação correspondente.

TOLERÂNCIAS DE DESENCONTRO

Não incluem deslocamentos causados pela variação da espesura do forjado, mas somente o deslocamento em um plano paralelo ao plano principal de divisão da matriz. Tabela 15.

TABELA 15

Pêso neto até.. lbs.	Comercial	De precisão
1	.015	.010
7	.018	.012
13	.021	.014
19	.024	.016
Para cada 6 lbs. adicionais some		
	.003	.002
	Por exemplo	
37	.033	.022
55	.042	.028
79	.054	.036
97	.063	.042

Tolerâncias de ângulo de saída (vide tabela 16)

TABELA 16

Tolerâncias de ângulo de saída para forjados em martelos de queda			
	(Graus) Ângulo Nominal	Comercial (limite máximo)	De precisão (limite máximo)
Externo	7	10	8
Furos e depressões internas.			
Limites comerciais	10	13	-
Limites de precisão	7	-	8
Tolerâncias do ângulo de saída para forjados em recalçadora			
	(graus) Ângulo nominal	Comercial (limite máximo)	De precisão (limite máximo)
Externo	3	5	4
Furos e depressões internas.	5	8	7

9.5) PROJETO DE MATRIZES PARA FORJAR UMA ENGRENAGEM
EM MARTELO DE QUEDA LIVRE.

Na Figura 62, tem-se o desenho do forjado.

MATERIAL: AÇO SAE 8620 — TOLERANCIA DO FORJADO: $\pm 1/16$ "
ANGULOS NÃO ESPECIFICADOS: 7° — RAIOS NÃO ESPECIFICADOS: $1/16$ "
ESPESSURA DA REBARBA: $3/32$ " — PESO LIQUIDO: 2,780Kg —
PRODUÇÃO: 4000/MES

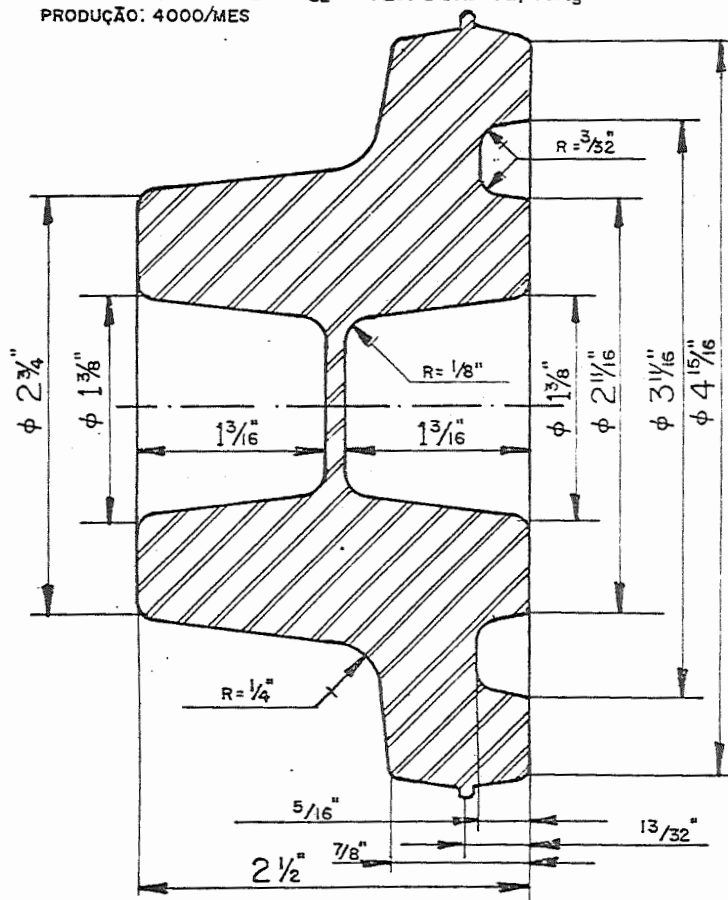


Figura - 62

Tendo em vista o formato do forjado, deve-se partir de um tarugo redondo. (cujas dimensões serão indicadas mais adiante).

A matriz será do tipo indicado na Figura 2 da página 8 e conterá apenas a impressão final. O tarugo será recalçado, entre as faces planas dos blocos porta-matriz, até uma altura desejável para ser colocado na impressão final. As matrizes da Fig. 63, estão aptas para forjar 7000 peças, sem recondicionar; a matriz superior poderá sofrer três recondicionamentos de 1/8" de profundidade de cada um, e a inferior poderá sofrer até 5 reusinagem de 1/8" de profundidade. Pela forma da impressão da matriz inferior, tudo indica que ela sofrerá desgaste mais rapidamente que a superior. Será interessante testar a dureza de vários pontos da impressão após as reusinagens. Outros detalhes, o leitor colherá do exame da Figura 63, que representa o corte longitudinal das matrizes superior e inferior.

A Figura 63 encontra-se na página seguinte.

O peso do tarugo deverá ser: peso líquido do forjado + perdas = 3,340 Kg., ou seja, um tarugo de 2 3/8" de diâmetro por 6" de comprimento, de aço SAE 8620.

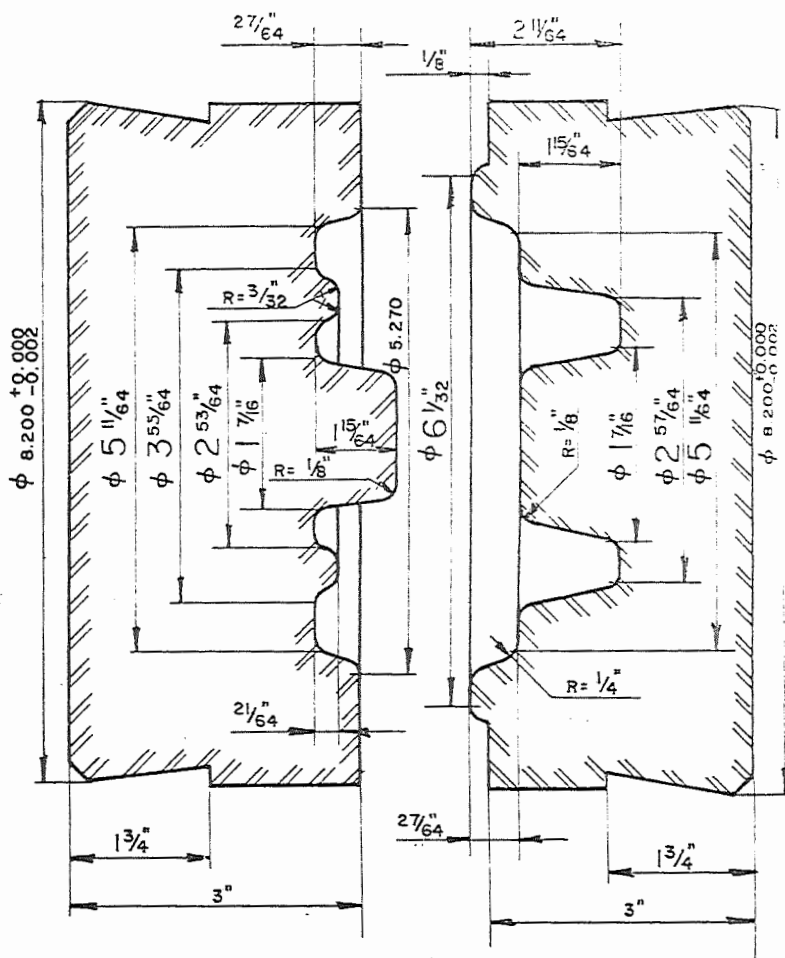
O diâmetro do tarugo foi escolhido, mas o comprimento foi determinado, usando-se o monograma do capítulo 12 construído com o propósito de calcular os comprimentos de barras de secção circular.

9.6) PROJETO DAS MATRIZES PARA FORJAR A MESMA PEÇA ANTERIOR EM PRENSA MECÂNICA.

Já que cada estágio é realizado com apenas um golpe da prensa, é conveniente e oportuno adotar a solução de 2 estágios preparatórios, para a obtenção de peças com boa tolerância na impressão final. Assim será feito um recalçamento prévio, depois o estágio semi-acabador e em seguida o forjado é terminado na impressão final.

Na figura 64, (página 85), pode-se ver o corte longitudinal das matrizes de recalçamento prévio. Sua forma e dimensões são

tais que pré-formam o tarugo de acordo com os princípios de 9.4.



MATERIAL: AÇO COMPOSIÇÃO TABELAII Nº d
OU AÇO VMO

DUREZA: 38-43 RC
ESPESSURA DA REBARBA: $1/16$ "
ANGULOS NÃO ESPECIFICADOS: 7°
RAIOS NÃO ESPECIFICADOS: $1/16$ "
TOLERANCIA DE USINAGEM: $1/64$ "

Figura - 63

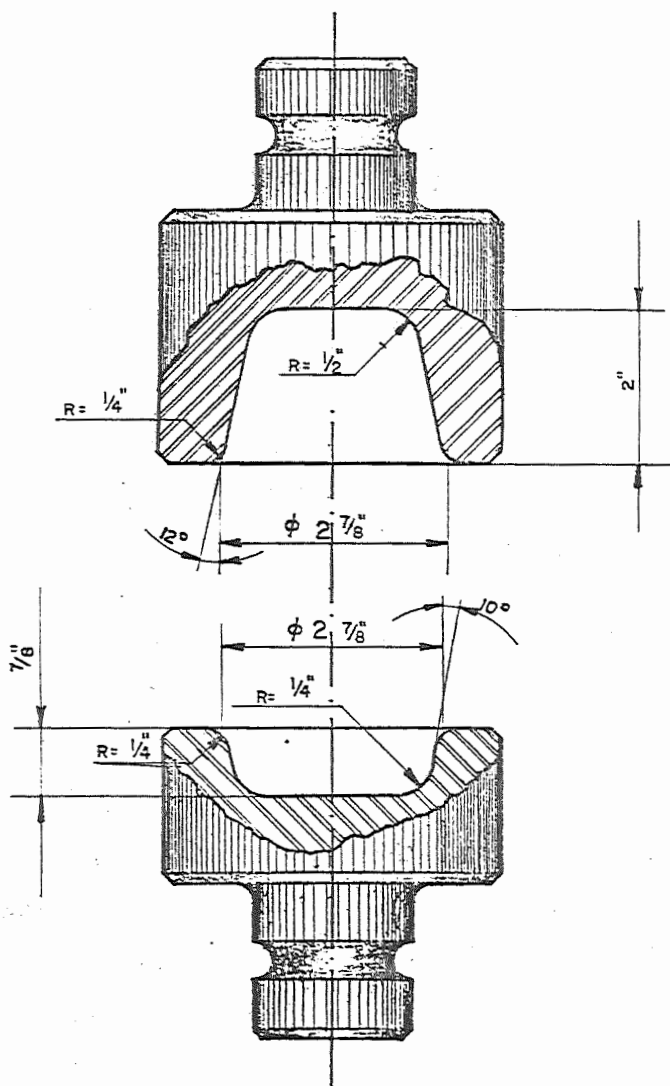
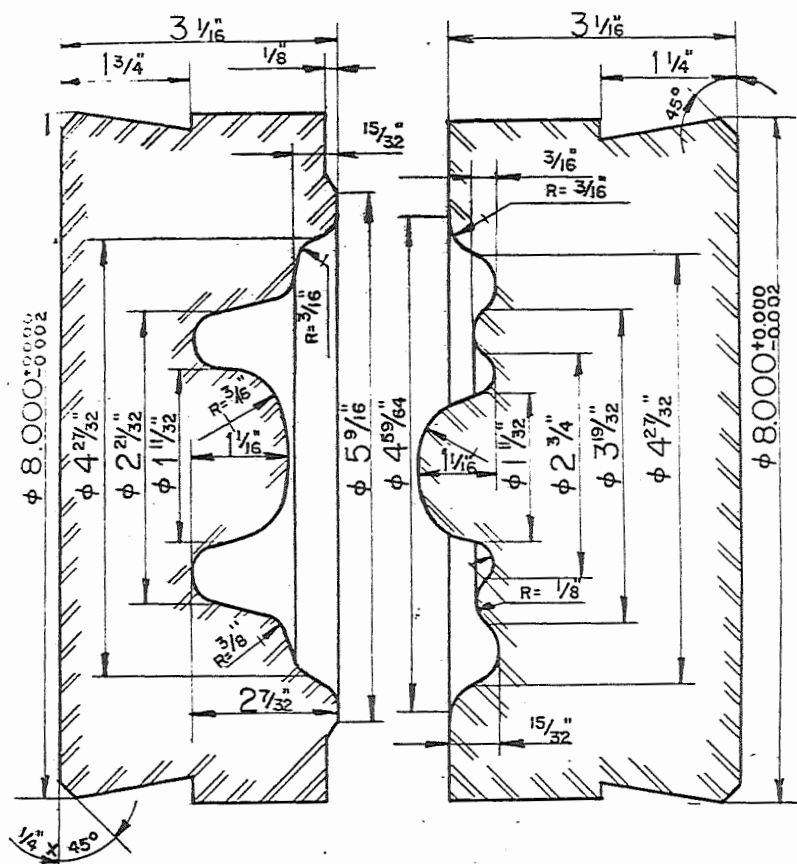


Figura - 64

NA Figura 65, comparece o corte longitudinal das matrizes se
mi-acabadoras (blocker).



MATERIAL : AÇO VMO
DUREZA : 38-43 RC
ESPESURA DA REBARBA : $\frac{3}{32}$ "
ANGULOS NÃO ESPECIFICADOS $\frac{7}{8}$ "
RAIOS NÃO ESPECIFICADOS $\frac{3}{32}$ "
TOLERANCIA DE USINAGEM ± 0.015

Figura - 65

Não é necessário mostrar o corte das matrizes acabadoras, por quanto estas contêm exatamente as mesmas dimensões das impressões já apresentadas em 9.5. A única diferença está no diâmetro externo e na altura da matriz que são os mesmos da Figura 65.

É oportuna uma observação no caso. Para o caso da prensa mecânica, seria possível fazer a operação de rebarbação na própria prensa, adaptando-se nela (lateralmente) a matriz de rebarbar e o macho. Isto evitaria o uso de uma outra prensa de menor capacidade só para rebarbar e puncionar. Entretanto se a produção requerida é grande não é vantagem o processo citado, pois o operador da prensa perde o tempo em rebarbar que poderia ter sido aproveitado em começar o recalçamento de novo tarugo.

9.7) PROJETO DAS MATRIZES PARA FORJAR UMA ALAVANCA EM MARTELO A AR.

Na Figura 66, aparece o forjado e a curva de volumes da qual já se fez menção (as cotas são em mm). O peso da peça foi calculado, utilizando-se a curva (Peso = 1,100 Kg).

O forjamento neste caso será efetuado em bloco matriz com todas as impressões necessárias. Os estágios são os seguintes:-

- a) esticamento (Fullering);
- b) formação das bossas (Edgering);
- c) semi-acabamento (Blocking);
- d) acabamento (finishing), conforme a figura 67.

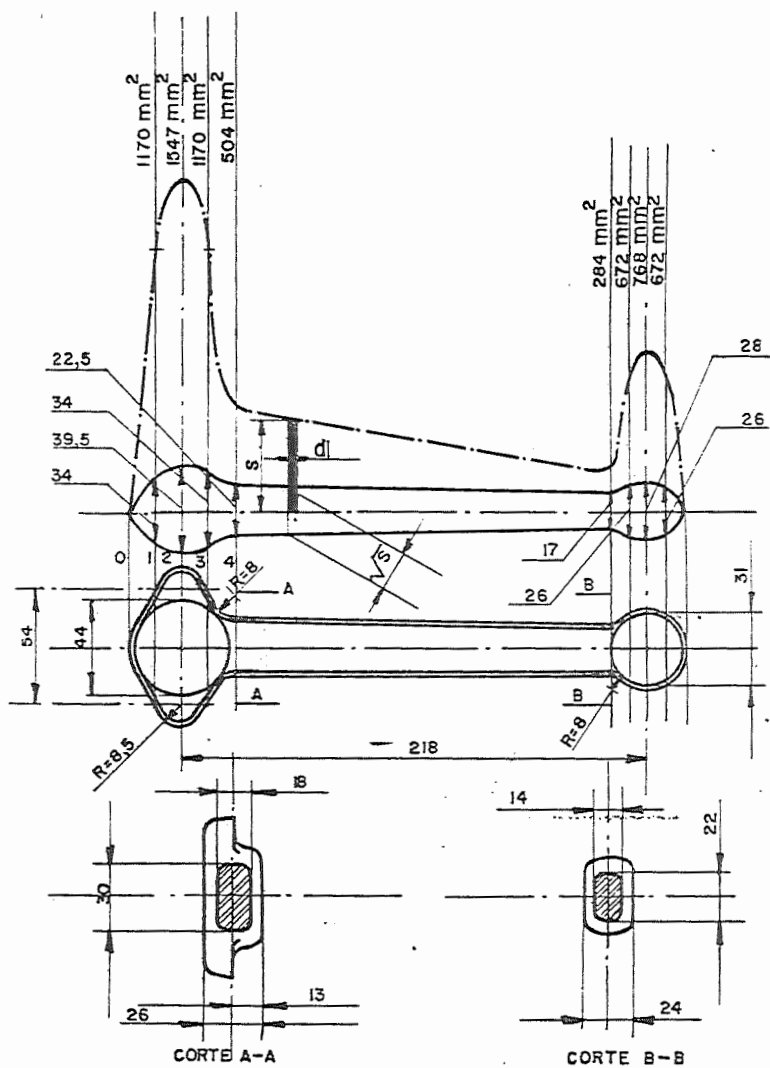


Figura - 66

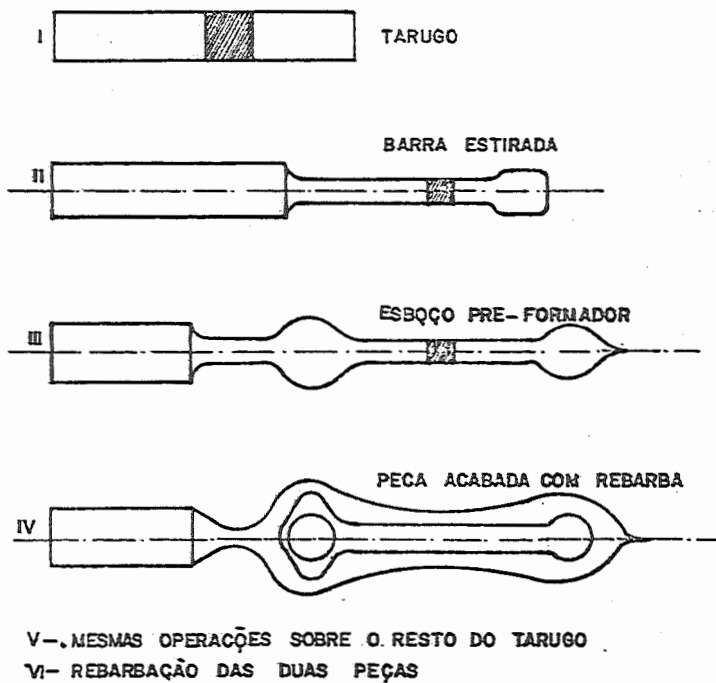
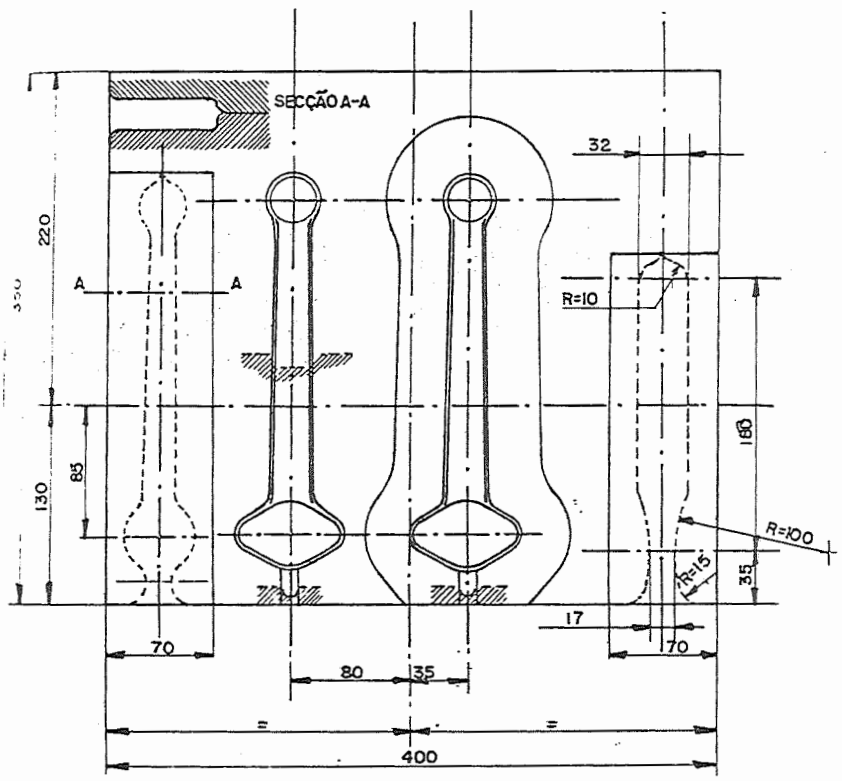


Figura - 67

A vista superior da face de trabalho da matriz pode ser vista na Figura 68, onde o leitor encontrará detalhes do tratamento térmico e usinagem*.



*) As cavidades de esticamento e esboçamento já estão representadas em perfil na figura 68.

Figura - 68

A Figura 69, mostra um corte longitudinal na impressão formadora das bossa (Edger). O corte se propõe a dar detalhes construtivos que diferem um pouco do esboço teórico da Figura 66.

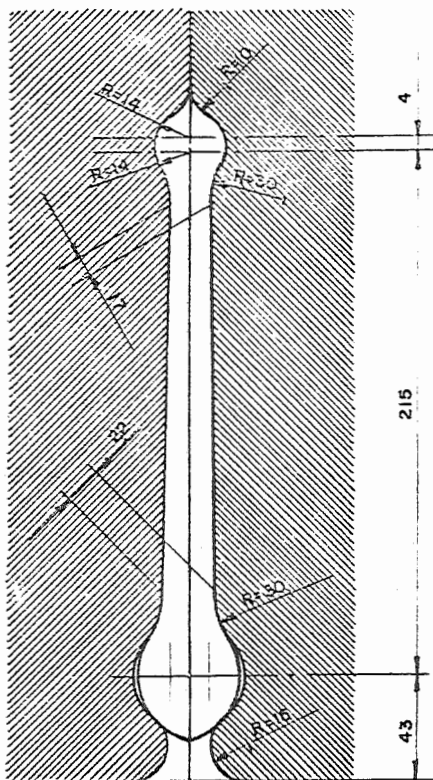


Figura - 69

As Figuras 70 e 71 mostram os cortes longitudinais nas pressões semi-acabadoras e acabadoras respectivamente.

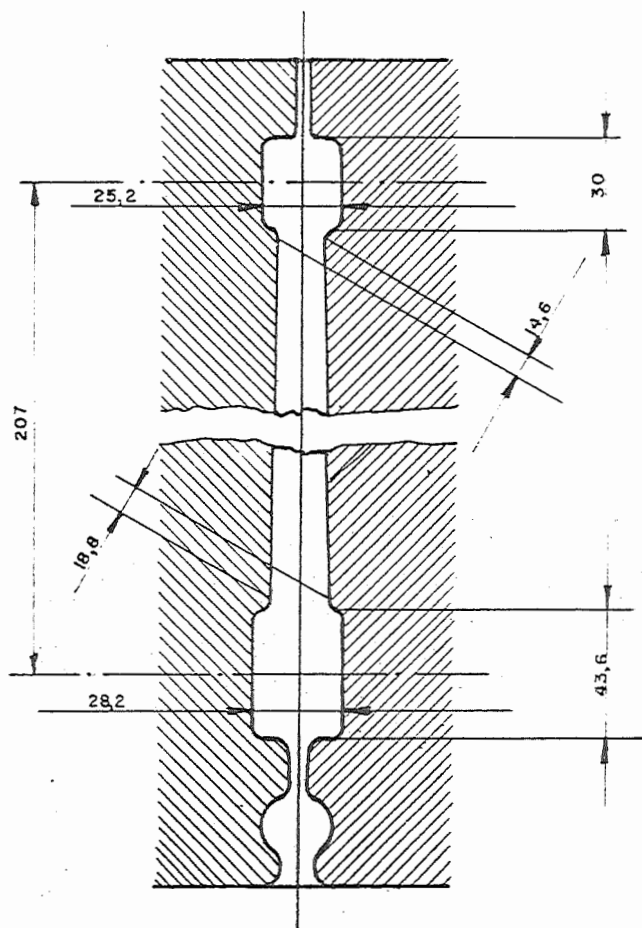


Figura - 70

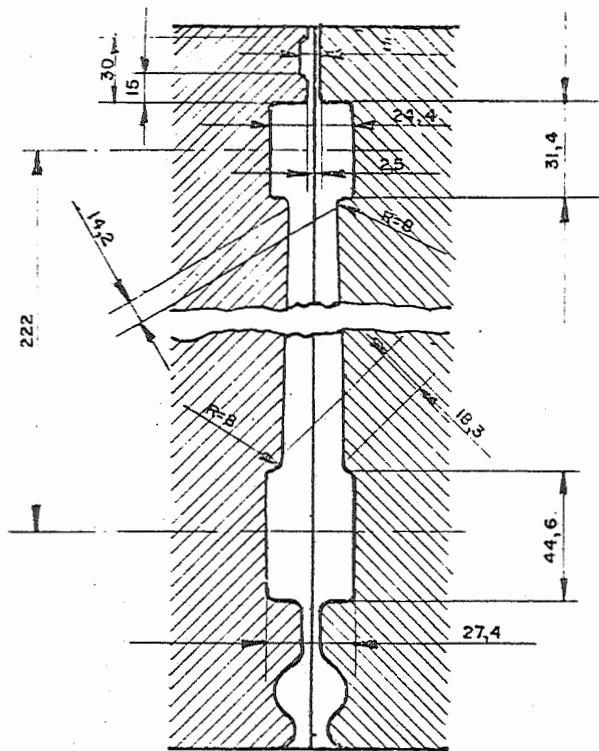


Figura - 71

Finalmente a Figura 72, mostra dimensões construtivas do ra de andorinha e cavidade para formação da bossa da tenaz (tonghold) vide capítulos 10 e 12).

O tarugo será de secção quadrada medindo $1 \frac{5}{8}$ " x $1 \frac{5}{8}$ " com um comprimento de $6 \frac{3}{8}$ ".

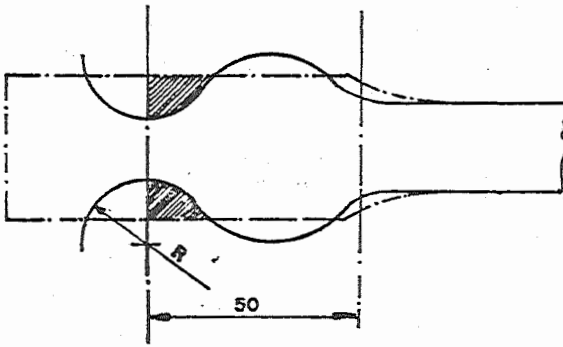
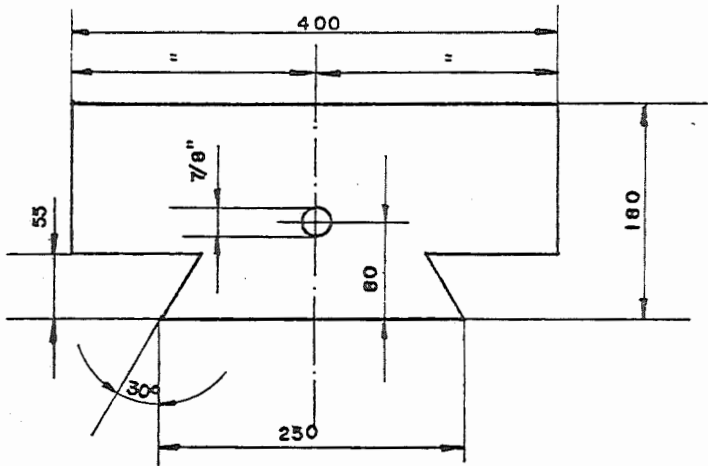


Figura - 72

10) TRATAMENTO TÉRMICO DO FERRAMENTAL

É de importância fundamental, o tratamento térmico das matrizes, pois dele depende o aproveitamento total, da capacidade de trabalho do aço. Mesmo com todos os cuidados tomados pelo fabricante do aço, não se pode impedir, os defeitos causados por tratamentos inadequados, por parte do utilizador.

RECOSIMENTO

É de todo conveniente submeter os aços destinados à fabricação das ferramentas, ao tratamento térmico de recosimento, mesmo antes da têmpera. Este recosimento deve ser o mais lento possível, nunca se colocando os blocos no forno a uma temperatura superior a 260°C. A temperatura de recosimento deve ser conseguida lenta e uniformemente. A velocidade de aquecimento será tanto menor quanto mais elementos de liga tiver o aço. O tempo de aquecimento deve ser⁽⁹⁾ no máximo uma hora por polegada de espessura média do aço ou mais apropriadamente⁽¹⁰⁾ 20 minutos por cm de espessura média da peça. Deve-se notar⁽¹⁰⁾ que o aquecimento pode ser feito também em banhos de sais fundidos, o que facilitaria o controle dos fenômenos de descarbonetação e oxidação.

Ainda quanto à velocidade de aquecimento, de acordo com⁽¹⁰⁾, deve-se elevar lentamente a temperatura até 650-700°C para os aços carbono e 750°C para os aços-liga destinados ao trabalho a quente e elevar em seguida rapidamente à temperatura própria de recosimento.

A temperatura de recosimento é muito importante para a obtenção de uma austenitização completa para os aços hipoeutetóides e eutetóides sem causar crescimento excessivo dos grãos⁽¹⁰⁾.

As finalidades do tratamento de recosimento para o caso de forjamento são: remoção de tensões e amolecimento do material. Neste caso não há uma modificação profunda nas características existentes e as tensões a serem eliminadas podem ter sido produzidas durante o forjamento dos blocos na siderúrgica, ou na usinagem das faces e impressões do bloco matriz. Em qualquer caso é boa norma efetuar-se o

recosimento. Após a usinagem é interessante fazer o recosimento a fim de evitar maiores concentrações de tensões durante a têmpera.

Sobre a descarbonetação a Fig. 73 mostra as curvas da ação descarbonetante do CO_2 , ar, e vapor d'agua.

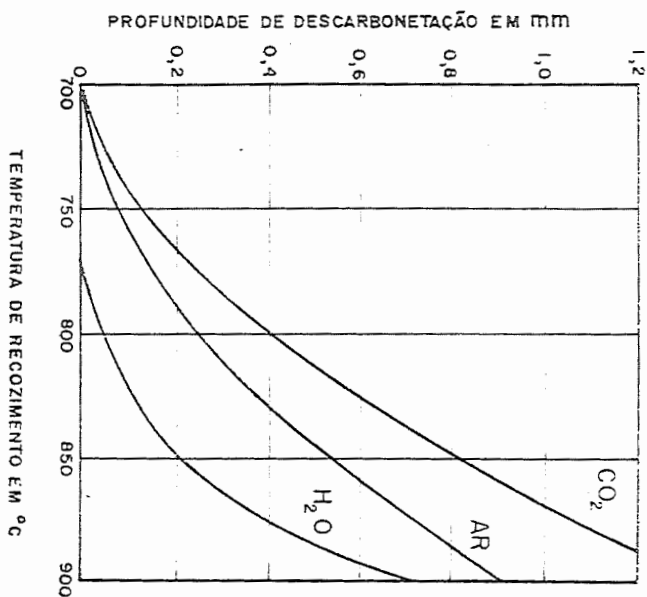


Figura - 73

A proteção das peças contra a ação descarbonetante pode ser feita de várias maneiras. Já foi observado que o aquecimento em banhos de sal é boa norma de conduta. Pode-se trabalhar também em fornos com atmosfera controlada (mais oneroso). Entretanto, a prática comum é a proteção das peças em caixas com carvão de madeira ou coque queimado. Utilizam-se também em menor escala, misturas de areia pura de quartzo de grão grosso e carvão vegetal em pedaços grandes.

O coque queimado apresenta os melhores resultados para aços de trabalho a quente; além disso serve⁽⁷⁾ como proteção às peças de tratamentos térmicos cujas temperaturas são superiores a 800°C. O coque é queimado a 1200°C ao ar dando-se assim a eliminação do enxofre; em seguida é triturado no tamanho de grão desejado.

A Fig. 74 mostra caixas de recosimento com proteção de coque para ferramentas de recaladoras.

TÊMPERA

Também na têmpera deve-se cuidar para que a velocidade de aquecimento seja lenta e uniforme. Sabendo-se que a condutibilidade térmica dos aços-ferramenta, piora ao aumentar o conteúdo de elementos de liga, deve-se aquecer o material tanto mais lentamente quanto mais alto for o teor de elementos de liga. O aquecimento rápido daria lugar a fortes deformações, favorecendo por seu turno, o aparecimento de tensões indesejáveis a um aço destinado a trabalhar a quente sobre choques ou fortes pressões.

O aquecimento uniforme é conseguido em câmaras de pré-aquecimento, e a temperatura é abaixo da têmpera (entre 600 - 800°C seg.⁽⁷⁾). Uma vez atingida a temperatura de pré-aquecimento, a matriz é introduzida no forno de têmpera já aquecido à temperatura adequada.

Aconselho sobretudo os banhos de sal, por protegerem o material contra a descarbonetação e por atingirem mais rapidamente a temperatura de têmpera.

Quanto às temperaturas de recosimento e têmpera, a tabela 17 (encontra-se na pag.120) fornecida por⁽⁹⁾ dá as indicações para

alguns tipos de aços-liga mais utilizados.

Duração da tēpera: Para aços carbono ou mesmo de baixa liga, é conveniente admitir-se 5 min. por cada 4 polegadas de espessura mēdia da matriz.

Para aços com cromo, silício, ou enfim aços-liga para o trabalho a quente deixa-se mais tempo: 10 min. por cada 4 polegadas de espessura mēdia da matriz⁽⁷⁾.

Se se utilizam os banhos de sal podem contar-se valores mais baixos, uma vēz que sua transmissão de calor é menor.

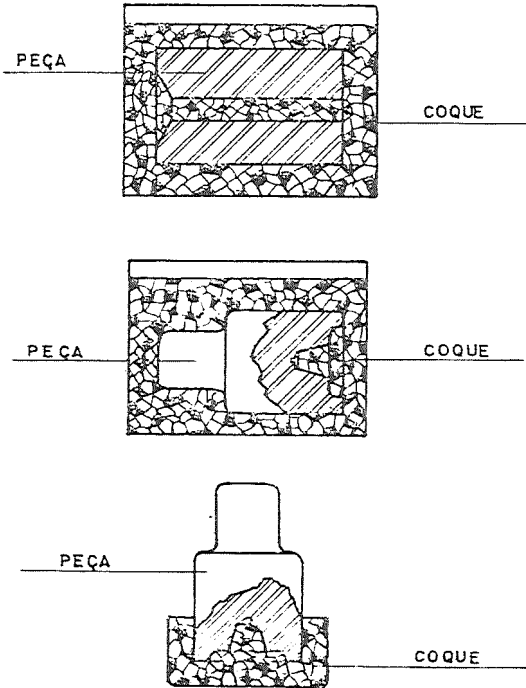


Figura - 74

TABELA 17
Composição média de aços-liga para blocos e insertos

Aplicação ou tipo		C	Mn	Cr	Ni	Mo	V
1	martelo de queda	0.50-0.70	0.50-0.90	0.60-1.30	1.00-2.00	-	opcional
2	martelo de queda	0.50-0.70	0.50-0.90	0.75-1.00	-	0.15-0.25	-
3	martelo de queda	0.50-0.70	0.50-0.90	0.50-1.00	1.00-2.00	0.15-0.35	opcional
4	prensas ou recal- cadoras	0.50-0.70	0.50-0.80	0.75-1.00	1.50-2.50	0.60-0.90	opcional

Tratamento térmico de aços-liga para blocos e insertos

Recosimento °C		Meio de resfriamento	Têmpera °C	Meio de Têmpera
1	750-800	fornó	800-845	óleo
2	750-800		800-845	
3	750-800		800-845	
4	750-800		800-845	

A questão do tempo de permanência é importante e a experiência tem demonstrado que obtêm-se resultados diferentes quando se trabalha com o mesmo aço para várias ferramentas colocadas no forno e, esfriadas umas depois das outras, o que dá tempos de permanência desiguais e fora dos valores indicados.

O esfriamento dos aços-ligas, para trabalho a quente, pode ser feito em óleo, água ou óleo-água.

Na Fig. 75 vê-se 3 matrizes diferentes sendo esfriadas em óleo. As ferramentas são agitadas durante 3 minutos neste banho de óleo sendo retiradas para completar o esfriamento.

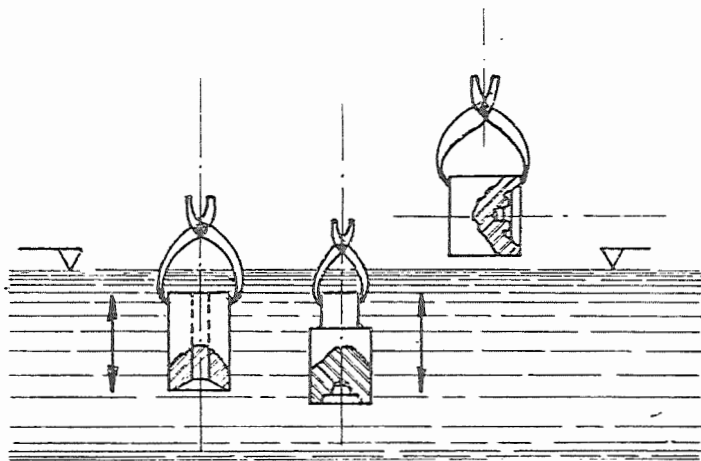


Figura - 75

As superfícies de trabalho das matrizes de aço para têmpera em óleo-água, são esfriadas bruscamente no óleo, passando-se em seguida a um forte jôrrro de água, como mostra a Fig. 76.

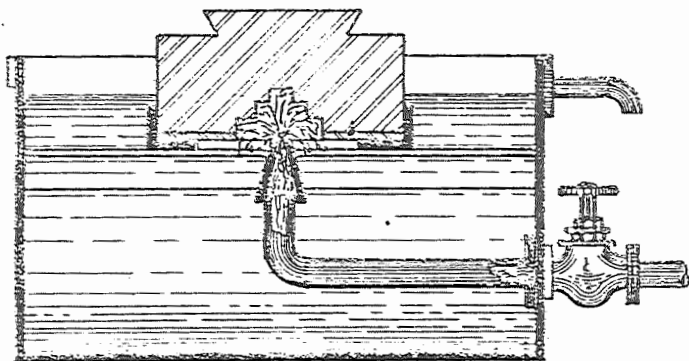


Figura - 76

O meio de têmpera influe na velocidade de esfriamento e esta na dureza e propriedades da matriz. Uma determinada peça pode não tomar têmpera no óleo e ficar temperada se for esfriada na água. Os diversos meios de têmpera podem então ser classificados pela *Severidade de Têmpera* que é proporcional à capacidade do banho em extrair calor da peça ^{(10)*}.

* O leitor poderá encontrar maiores detalhes em (10)

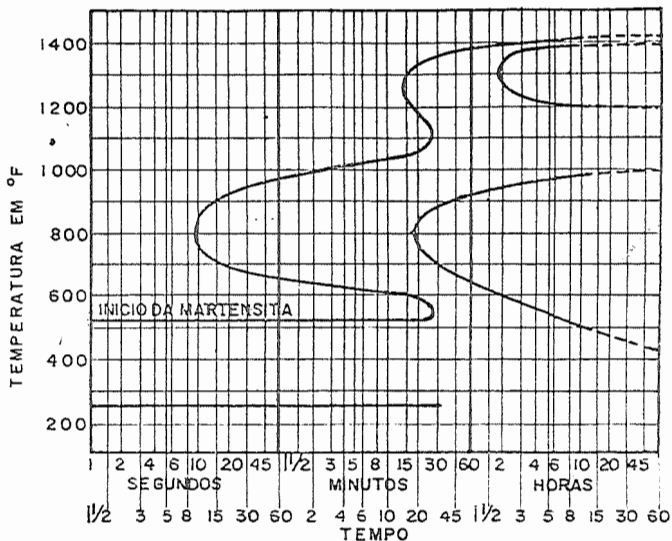


Figura - 77
Para tipo 3 da tabela 17

Faço constar desta publicação algumas curvas TTT no intuito de fornecer maiores detalhes no que diz respeito à tempera dos aços-ligas para forjamento.

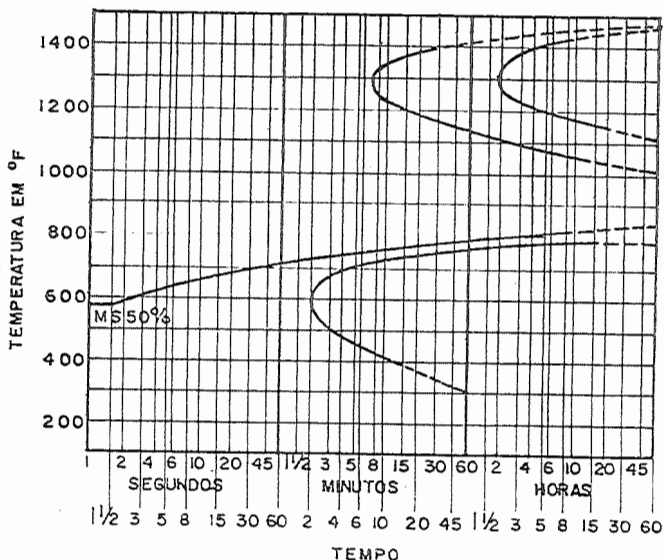


Figura - 78
para tipo (a) da tabela 2

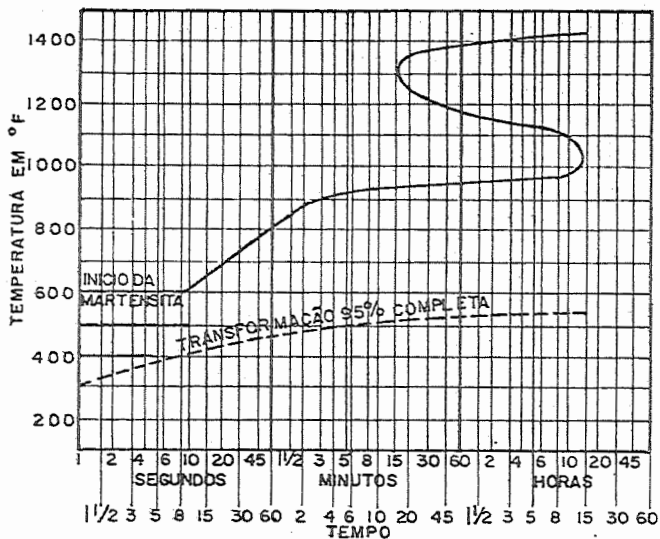


Figura - 79

para tipo (c) da tabela 4

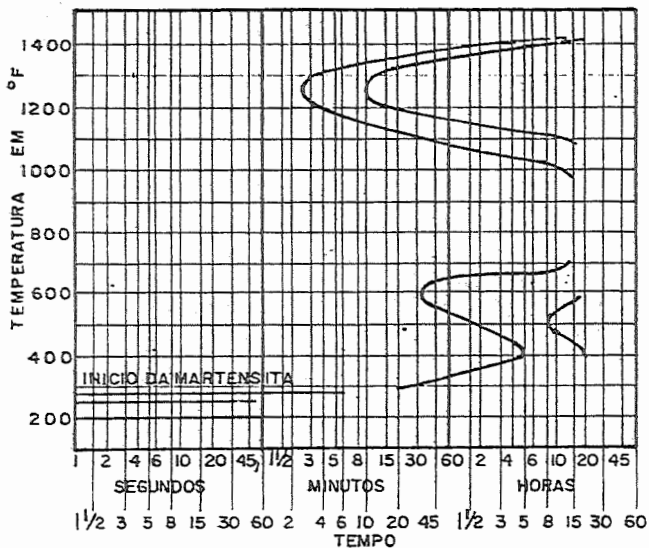


Figura - 80

para tipo (a) da tabela 5

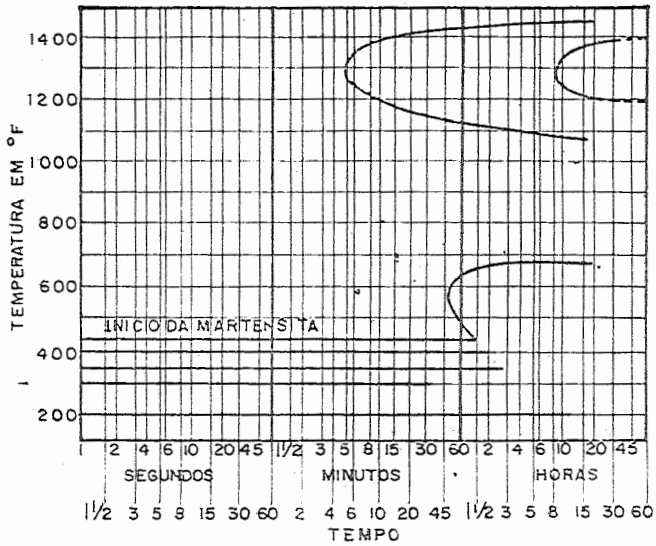


Figura - 81
para tipo (c) da tabela 5

De acordo com⁽¹⁰⁾ a dureza máxima obtida pela tēpera é influenciada somente pelo teor de carbono (Fig. 82).

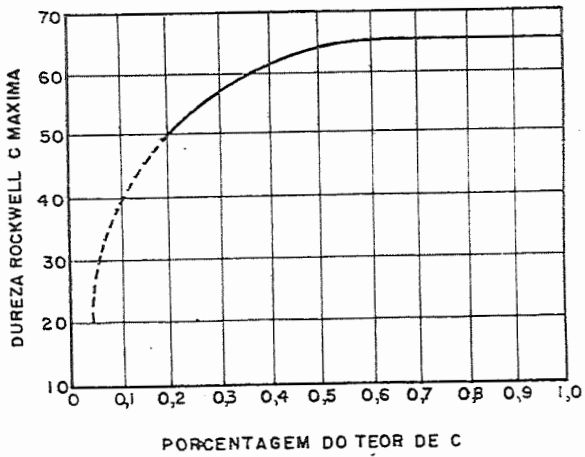


Figura - 82

Os elementos de liga tornam o aço mais facilmente temperável, atrasando⁽¹⁰⁾ o início da transformação austenita-perlita (afastamento da curva em S para a direita) assim como torna mais lenta a velocidade de transformação; no entanto não influem na dureza máxima.

Na Fig. 82 para se obter 60 RC_{max} é necessário contar, pelo menos, com um teor de 0.4%C, e a maioria dos aços para matrizes têm teores maiores de C; além disso a dureza usual de uma matriz deve ser da ordem de 40-50 RC no máximo. Abaixo destes teores o aço é em geral deformável nos martelos e, acima torna-se frágil.

O teor de carbono também afeta o deslocamento da curva S.

Quanto mais alto é o seu teor⁽¹⁰⁾ mais facilmente se tempera o aço.

Ainda de acordo com⁽¹⁰⁾, uma peça constituída com determinado aço e que não toma têmpera, mesmo num meio de alta severidade de têmpera, pode ser refeita com outro aço cuja têmpera se possa fazer mesmo ao ar, por exemplo.

Este aço tem então, o que se chama de alta temperabilidade - (susceptibilidade de desenvolver estrutura martensítica). A temperabilidade é medida pela profundidade de têmpera (método Jominy ou Grossmann).

Quando se encomenda material para confecção das matrizes, devem ser levados em conta os fatos comentados (sobre recosimento e têmpera) além do que deve-se ter as instalações adequadas para os tratamentos.

REVENIMENTO:

Por intermédio deste tratamento, aumenta-se a tenacidade e elasticidade das matrizes, e também controla-se a dureza desejada na superfície de trabalho. É de todo interessante realizar este tratamento logo após a têmpera para que as tensões originadas durante o processo de esfriamento, sejam eliminadas o mais rapidamente possível.

As matrizes devem ser retiradas do banho de t e mpera (meio de resfriamento) ainda o suficientemente quentes para vaporizar a a \u00e7ua ou o o \u00edleo.

Tamb\u00e9m no tratamento de revenido o aquecimento deve ser conseguido com pequena velocidade, j\u00e1 que os a\u00e7os temperados, especialmente os a\u00e7os-ligas, s\u00e3o sens\u00edveis a um aquecimento r\u00e1pido.

Quando se introduz as matrizes em fornos j\u00e1 aquecidos, deve -se cuidar que sua temperatura n\u00e3o esteja al\u00e9m de 250 $^{\circ}$ C. Deixa-se as ferramentas em repouso, durante algum tempo no forno para que se igualem as temperaturas, e s\u00f3 ent\u00e3o se faz o aquecimento \u00e0 temperatura de sejada de revenimento.

Devido \u00e0s temperaturas relativamente baixas (sempre abaixo da zona cr\u00edtica) n\u00e3o h\u00e1 preocupa\u00e7\u00f5es quanto a descarboneta\u00e7\u00e3o e forma\u00e7\u00e3o de casca de \u00f3xido, tanto que pode-se usar fornos de circula\u00e7\u00e3o de ar; tamb\u00e9m com frequ\u00eancia se usa banhos de \u00f3leo e sal fundido.

Estes tratamentos s\u00e3o feitos geralmente entre as temperaturas de 100 - 650 $^{\circ}$ C e seu efeito varia diretamente com estas e com o tempo de perman\u00eancia a temperatura⁽¹⁰⁾.

Quando se trabalha entre 220 $^{\circ}$ - 320 $^{\circ}$ C pode-se usar as chamadas cores do revenido, para determinar a temperatura atingida⁽¹⁰⁾.

Esta tabela de cores \u00e9 pr\u00e1tica e \u00fatil para o a\u00e7o comum. Os a\u00e7os-liga⁽¹⁰⁾ tamb\u00e9m se colorem em meio oxidante. As temperaturas para obten\u00e7\u00e3o dessas cores variam com os elementos de liga e seus teores.

A temperatura mais favor\u00e1vel para o revenimento de matrizes de forjamento n\u00e3o \u00e9 f\u00e1cil de determinar; para cada caso indicam os autores, 30 a 50 $^{\circ}$ C acima da temperatura superficial de ferramenta durante seu trabalho, o que \u00e9 muito vago, pois para os diversos sistemas de trabalho e m\u00e1quinas, estas temperaturas variam de acordo com a temperatura do tarugo, velocidade de trabalho (martelo, prensa) e refrigera\u00e7\u00e3o da ferramenta.

Para os a\u00e7os cromo - molibdenio com as composi\u00e7\u00f5es m\u00e9dias da tabela 18, que se encontra na p\u00e1gina 108, segundo a norma alem\u00e3

DIN⁽⁷⁾: valem as curvas da figura 83, sobre as temperaturas⁽⁷⁾ de revenimento:

TABELA 17

Côres	Temperatura °C
Amarelo - claro	220
Amarelo - ouro	240
Pardo-avermelhado	260
Roxo	280
Azul	300
Azul - claro	320

TABELA 18

Desig. seg. DIN 17007	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%V	%W
2603	0.45	0.6	0.4	1.5	0.5	-	0.8	0.5
2323	0.45	0.3	0.7	1.5	0.7	-	0.3	-
2311	0.40	0.3	1.5	2.0	0.2	-	-	-

aços para o trabalho a quente seg. DIN

Certos aços-carbono apresentam a chamada *fragilidade de revenido* quando aquecidos entre 270^o e 370^oC e sob a ação de choques.

Segundo⁽¹⁰⁾, esta fragilidade parece ser devida à existência de nitrogênio e oxigênio.

Outro fato interessante dá-se com os aços Cr-Ni, que sendo revenidos (após a tempera) entre 430^o e 600^oC e esfriados lentamente tornam-se frágeis contrariamente ao que acontece quando seu resfriamento é brusco (tornam-se dúcteis). Dá a necessidade de se ter molibdenio nos teores de 0,2 a 0,5%, pois, este elemento elimina a fragilidade por evitar a formação de carbetos (seg.⁽¹⁰⁾ os carbetos parecem ser os responsáveis pelas anormalidades citadas).

TABELA 19

Designação Seg. DIN 17007	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%V	%W
2766	0.35	0.2	0.5	1.4	0.3	4.0	-	-
2714	0.55	0.3	0.7	1.0	0.5	1.7	0.1	-
2713	0.55	0.3	0.6	0.7	0.2	1.7	0.1	-

Também para os aços cromo-níquel-molibdenio⁽⁷⁾ (mais adequados para martelos e prensas), cujas composições médias comparecem na tabela 19, valem as curvas de revenimento⁽⁷⁾ da Fig. 84.

A duração do revenimento, deve ser a máxima possível, uma vez que os fenômenos de revenido para obter um estado permanente da estrutura e para eliminação de tensões internas, requerem muito tempo. A duração deve ser de 1 hora por cada polegada de espessura média da matriz.

TEMPERA

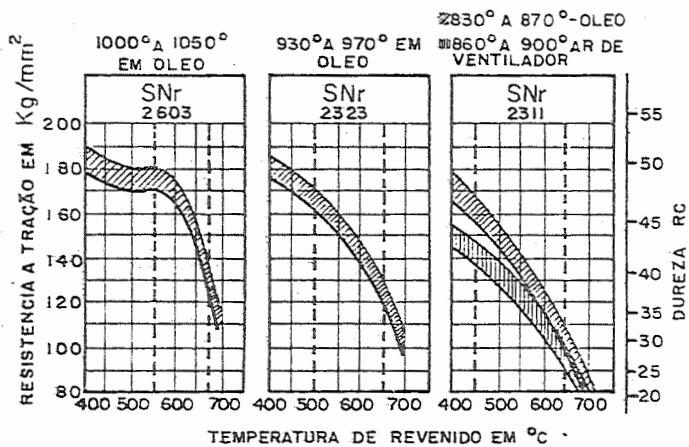


Figura - 83

TEMPERA

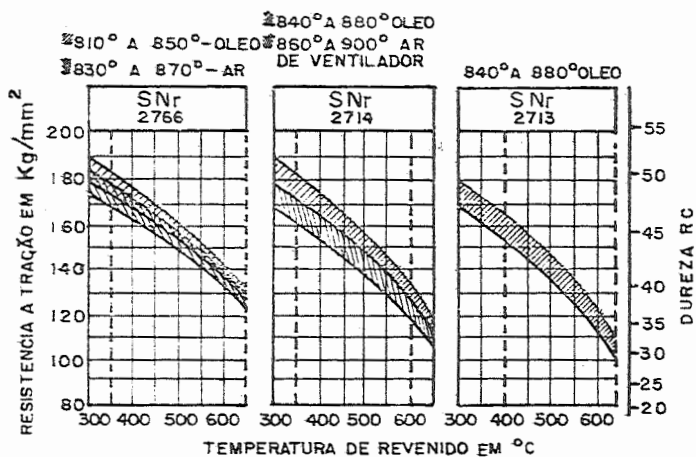


Figura - 84

É um ponto importante, este de duração da temperatura de revenimento. Em muitos departamentos de tratamentos térmicos de fábricas, é habitual cortar-se o tempo de duração para abreviar a operação já que é uma das últimas a ser feita, alegando razões de economia. É um erro grave, pois está sendo comprometida a vida da ferramenta. Além disso o tempo de operação de revenimento é pequeno em comparação com o tempo destinado à usinagem da matriz.

Chamo pois a atenção dos utilizadores para estes aspectos. Outro ponto capital do tratamento das matrizes de forjamento é duplo-revenimento que nem sempre é feito pelos fatos acima expostos.

Entretanto, para se alcançar uma grande duração da ferramenta, é conveniente processar-se um segundo revenimento em continuação ao primeiro. Esta segunda operação é realizada à temperaturas que dependem da profundidade das impressões da matriz.

Por exemplo: para uma matriz de aço Soderfors 85 com 4 1/2 " de espessura (%C = 0.5; %Si = 0.3; %Mn = 0.6; %Cr = 0.8; %Mo = 0.2 ; %Ni = 3.2), o tratamento é o seguinte: logo após a têmpera, antes da matriz ter atingido a temperatura ambiente, deve ser feita o primeiro revenimento a cêrca de 160°C durante 4 horas (Eliminação de tensões da têmpera) seguido de resfriamento ao ar.

Em seguida procede-se ao segundo revenido, durante 5 horas, à temperatura de 470°C para obtenção da dureza de 45 ROCKELL C. O segundo revenido do aço-liga tem a finalidade de comunicar-lhe a tenacidade máxima.

Outro exemplo será para lâminas de guilhotina espessura 3" : aço tipo (a) tabela 5. O revenido deve ser feito imediatamente após a têmpera. O 1º revenido feito a 190°C durante 3 horas e o segundo para dureza de 60 Rockwekk C a 300°C se foi temperado a 905°C em ôleo ou ar, e 250°C se foi temperado a 935°C em ôleo. (O tempo de duração é 4 horas).

Aconselho, como boa prãtica, repetir o tratamento de revenimento, depois de certo tempo de trabalho em produção. A temperatura desta eliminação preventiva de tensões deve ser 50°C abaixo da do primeiro tratamento.

11) - CONSTRUÇÃO DA MATRIZ

Na usinagem de matrizes redondas, a primeira operação é ser a barra do aço-liga no comprimento desejado. Forma-se em seguida no torno a superfície exterior nas medidas de acabamento, ao passo que as superfícies internas, que constituem as impressões da matriz são usinadas em dimensões bastante próximas das requeridas. Isto deve ser feito porquanto, a ferramenta ao ser temperada pode empenar um pouco. Sendo assim, ela volta para a ferramentaria para sofrer o último passe que pode ser uma breve retífica ou um polimento bem feito. Este cuidado deve ser tomado principalmente no caso de se ter aços de tempera na água cuja matriz contenha furos ou bolsas profundas.

Os perfis de ferramentas de secção distinta do círculo, obtêm-se por intermédio da fresa. Junto às máquinas verticais de fresar, a ferramentaria deve contar com fresas universais para matrizes, com cabeçote móvel e dotado de movimento giratório. Mas, sem dúvida nenhuma, uma matrizaria moderna deve contar com fresas copiadoras a comando hidráulico e dotadas de grande automação.

Quando a matriz tem formas simples e simétricas (matrizes para corpos de revolução) o acabamento superficial das impressões pode ser dado utilizando-se o torno ou a retífica. Entretanto se a superfície a ser acabada é complicada, não se pode prescindir do acabamento à mão. É um fato que encarece a usinagem pelo tempo que leva e pela necessidade de se ter um operário bastante especializado. Em algumas forjarias do país, existem técnicos norte-americanos contratados para este fim.

Existem também máquinas portáteis de retificar e fresar, nas quais são fixadas pequenas ferramentas na extremidade de um eixo flexível.

Nos Estados Unidos a fabricação chegou a tal ponto que para se evitar a operação de desbaste do tarugo redondo, a fim de se obter o diâmetro externo da matriz, passou-se a adquirir as barras estiradas a frio com tolerâncias estreitas. Mas o caso geral (o caso do Brasil também) a barra vem laminada ou forjada. Neste estado devido ao tratamento prévio, incluindo o recosimento, o material apresenta oxí

dação e descarbonetação, mais ou menor intensa, que impediria uma têmpera uniforme da ferramenta acabada. É prudente portanto fazer o pedido do material com excesso correspondente sobre as medidas de usinagem da ferramenta.

Na Fig. 85 pode-se observar algumas ferramentas utilizadas - pelas máquinas de matrizarias.

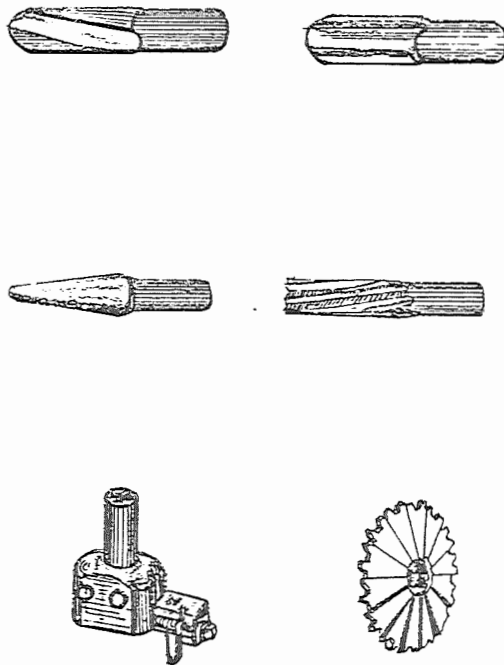


Figura - 85

Na figura 86 estão representadas algumas ferramentas utilizadas manualmente por operários especializados.

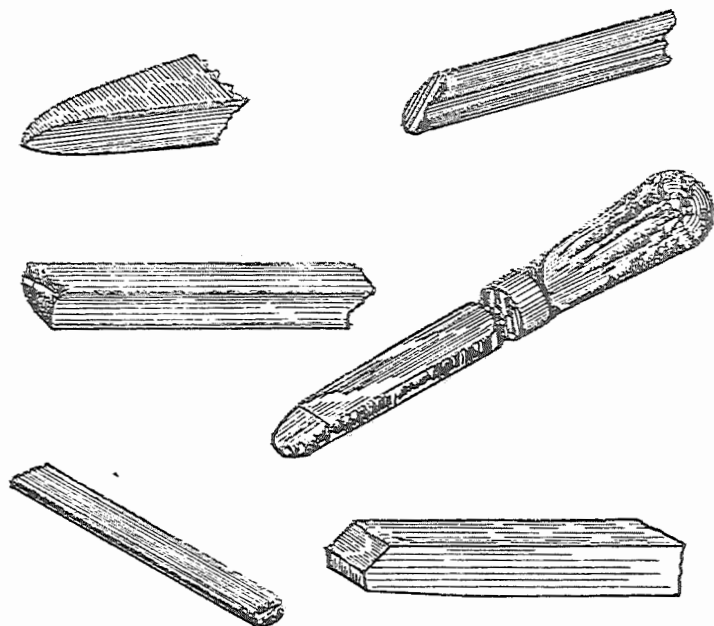


Figura-86

Ao receber o bloco matriz (Fig.87) a primeira operação a ser feita, é o furo, por onde mais tarde a matriz vai ser manipulada na forjaria. Feito isto passa-se ao desbaste das faces laterais, usando a plaina, usando também o rabo de andorinha Fig. 88.

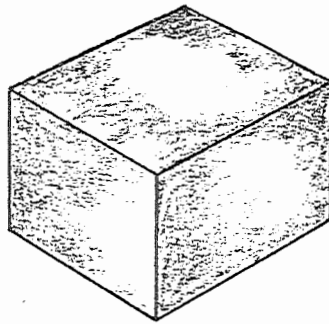


FIG. - 87

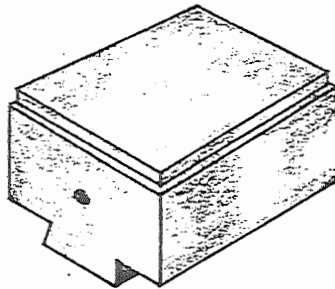


Figura - 88

Geralmente é removido cerca de 1/4" de cada face do bloco, a fim de garantir o desaparecimento da superfície descarbonetada e cheia de casca de óxido. Ainda na Fig. 88 vê-se na parte superior do bloco mais uma fase de usinagem que servirá para referência nas fases seguintes e para centragem e alinhamento dos blocos, superior com o inferior. A abertura da impressão da matriz será feita, como já foi dita em tornos, fresas ou fresas copiadoras, conforme as impressões sejam destinadas a forjar corpos de revolução ou completamente assimétricos.

Enquanto prossegue a usinagem, as dimensões são verificadas de tempos em tempos por meio de gabaritos. Estes gabaritos são construídos de aço temperado e possuem a forma da porção da matriz, pois

não é fácil medir as impressões com os instrumentos convencionais. É colocado na superfície pó de azul da Prússia e o gabarito é inserido na impressão sendo submetido a esforços com um martelo. ao ser retirado o gabarito, remove-se o pó de azul da Prússia e os pontos por ele deixados indicam as partes que devem ser ainda removidas.

Na figura 89 pode-se ver a matriz já com a impressão acabada terminada, e o canal.

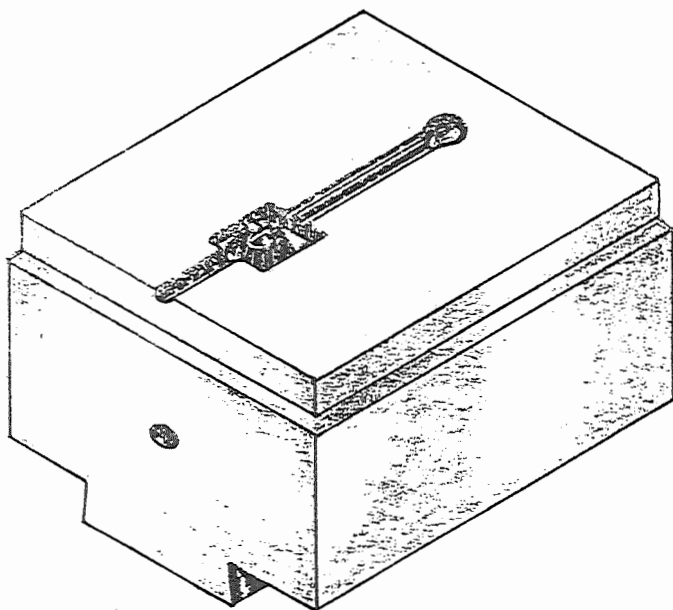


Figura - 89

Após os testes com o gabarito, e conseguidas as dimensões finais da impressão, passa-se ao teste de chumbo. As duas matrizes (superior e inferior) são alinhadas através das suas faces de referência e juntadas como mostra a Fig. 90.

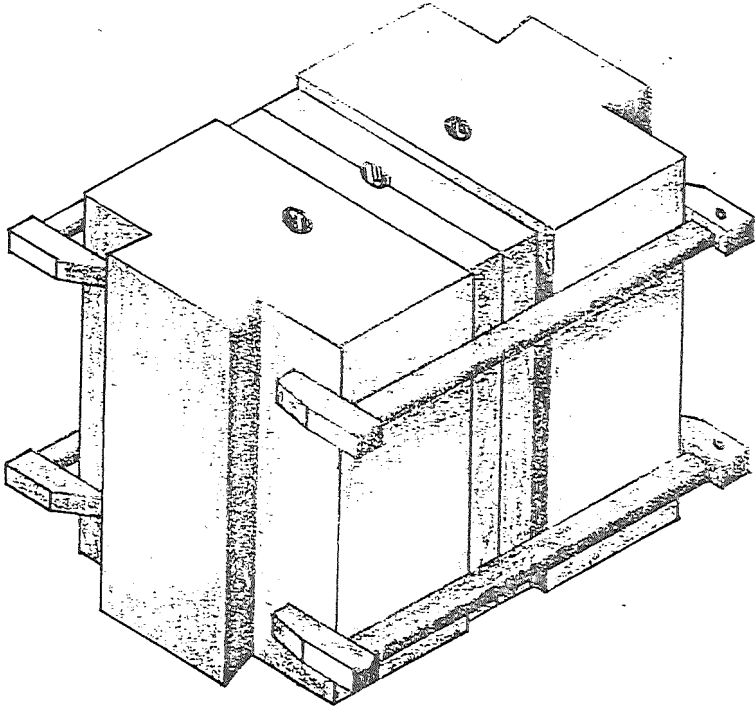


Figura - 90

Pela abertura dos canais escoa-se chumbo fundido⁽⁹⁾ ou uma liga rica em chumbo que, contenha praticamente a mesma contração (Shrinkage) que experimentará o forjado ao sair da matriz para a temperatura ambiente. A peça após a solidificação total é rigorosamente testada a fim de se verificar todas as dimensões. Se houver qualquer diferença, a matriz é submetida novamente à usinagem para estar de acordo com o projeto.

Entretanto, nem sempre funciona bem o teste de chumbo como por exemplo no caso de matrizes para forjar uma peça com grandes cabeças unidas por um corpo fino⁽⁹⁾.

Em caso como este, intervêm o problema da contração do chumbo de maneira diferente à do forjado e, o fundido de chumbo indicará que a dimensão do comprimento da impressão está maior do que devia.

Quando houver suspeita devido as condições da impressão da matriz, será necessário recorrer à pesquisas mais minuciosas na própria matriz, para verificar se está certa, ou o que se passou para que não houvesse contração normal do chumbo.

O teste de chumbo é utilizado também para avaliar com boa aproximação o peso da peça forjada⁽⁹⁾. O peso do corpo fundido é multiplicado por um fator corretivo, para converter o volume do fundido para um igual volume do metal a ser forjado.

Ordinariamente, o aço para forjados pesa cerca de 7/10 do peso do chumbo.

Aprovadas as matrizes, voltam para a máquina onde se fará a usinagem da superfície necessária a alojar a rebarba, inclusive seu rebordo. Se o forjamento exigir operações preliminares, então serão feitas as impressões para o esticamento, curvamento, pré-formação do forjado, para a impressão final.

Serão também inseridas as facas para o corte a quente (se fôr necessário) e o rasgo da chaveta lateral para inserção das matrizes na bigorna do martelo.

As figuras 91 e 92 mostram as matrizes completamente terminadas prontas para serem usadas.

Não é demais reforçar que as superfícies das impressões de acabamento e semi-acabamento devem ser rigorosamente polidas, para e liminar quaisquer traços de usinagem ou tratamento térmico remanescentes. Um destes traços, se fôr esquecido, poderão ser o começo de um desgaste prematuro ou mesmo uma trinca, que impediria a continuação dos trabalhos.

Um conjunto de matrizes requer sempre outro, de matrizes de rebarbar, machos de rebarbar e punções. A Fig. 93 mostra o conjunto da matriz de rebarbar e o macho, utilizados para a bieia das figuras anteriores.

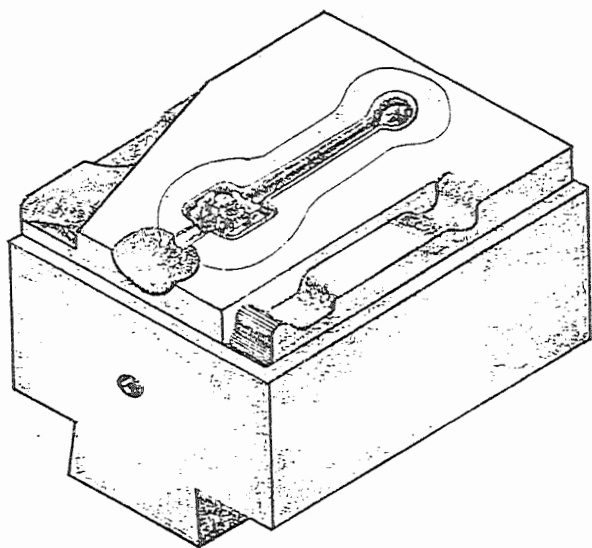


Figura - 91

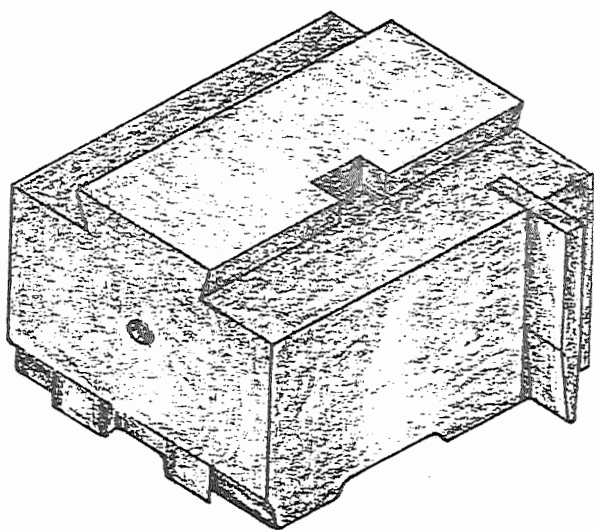


Figura - 92

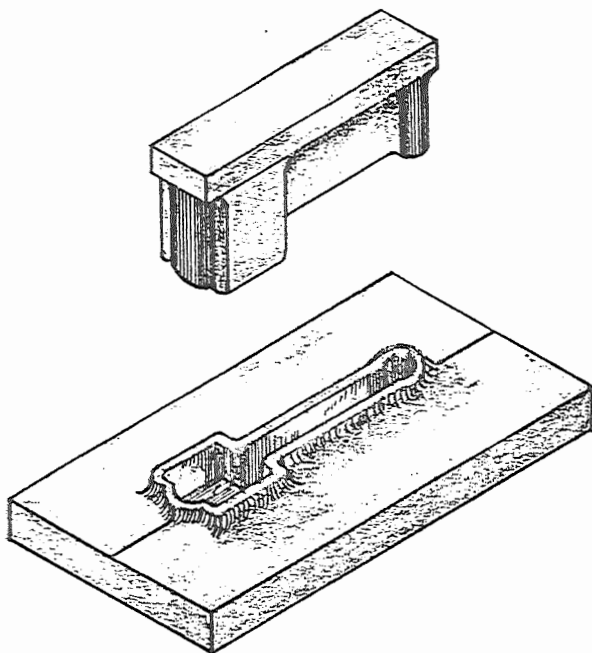


Figura - 93

As máquinas apropriadas para o serviço de ferramentaria de matrizes estão cada vez mais aperfeiçoadas, existindo mesmo unidades inteiramente automáticas dispensando assim a mão de obra.

A Fig. 94 mostra uma fresa copiadora de comando hidráulico, muito apropriada para uma matrizaria média aonde não entram serviços de usinagem de porte, ou blocos de dimensões avantajadas.

Os modelos são construídos e testados por meios semelhantes aos já citados, de modo que suas dimensões estejam dentro de estreitas tolerâncias. As superfícies são recobertas com uma camada de material plástico de elevada dureza. Algumas ferramentarias, usam o Araldite, que é adesivo de excelentes qualidades para este serviço. A espessura da camada é de cerca de 1/4" a 3/8". O modelo não precisa ser necessariamente de aço podendo ser de ferro fundido, material plástico chumbo ou gesso.

A Fig. 95 mostra a usinagem de uma matriz simples para forjar gancho.

O modelo é de gesso. O palpador caminha na impressão do modelo, transmitindo hidráulicamente os correspondentes movimentos ao cabeçote porta ferramenta. A máquina é versátil e os tempos de usinagem ficam bastante reduzidos.

As figuras seguintes mostram matrizes diversas sendo usadas em modernas matrizarias.

A última da série focaliza a usinagem de um punção para rebarbar.

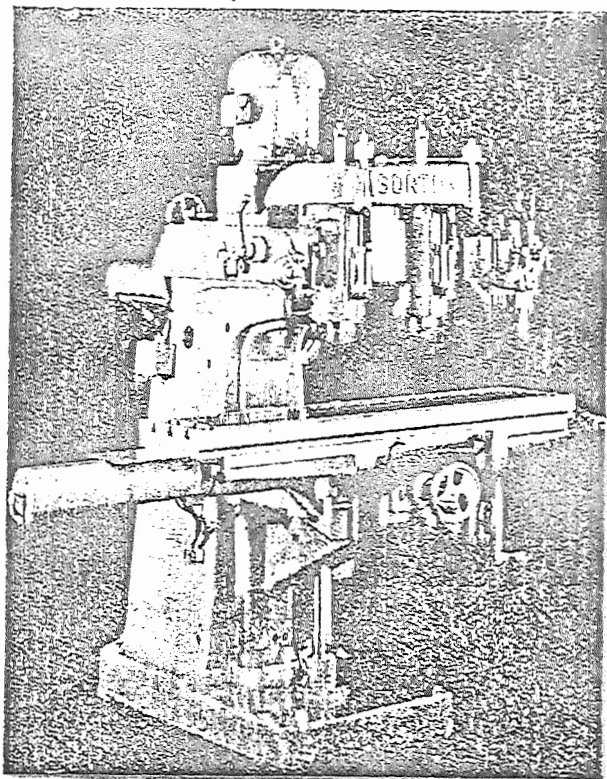


Figura - 94

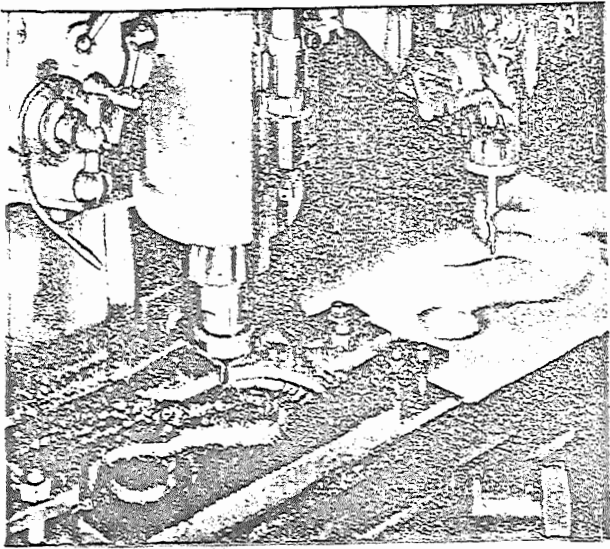


Figura - 95

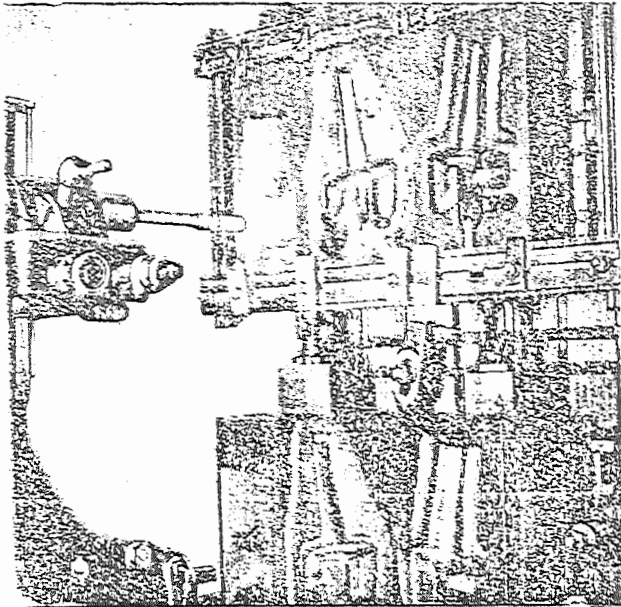


Figura - 96



Figura 97

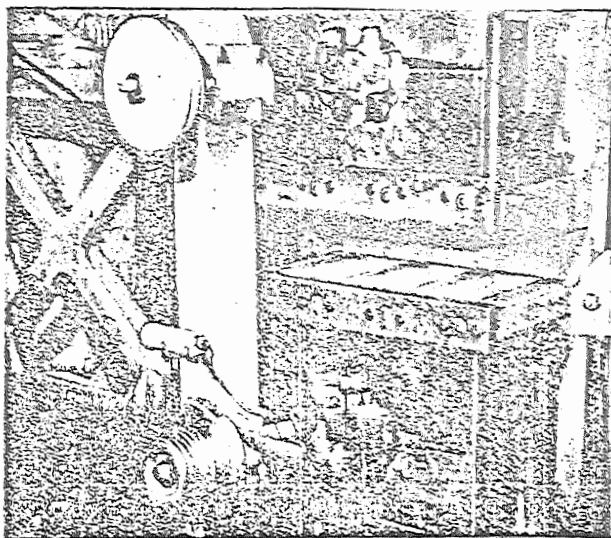


Figura - 98

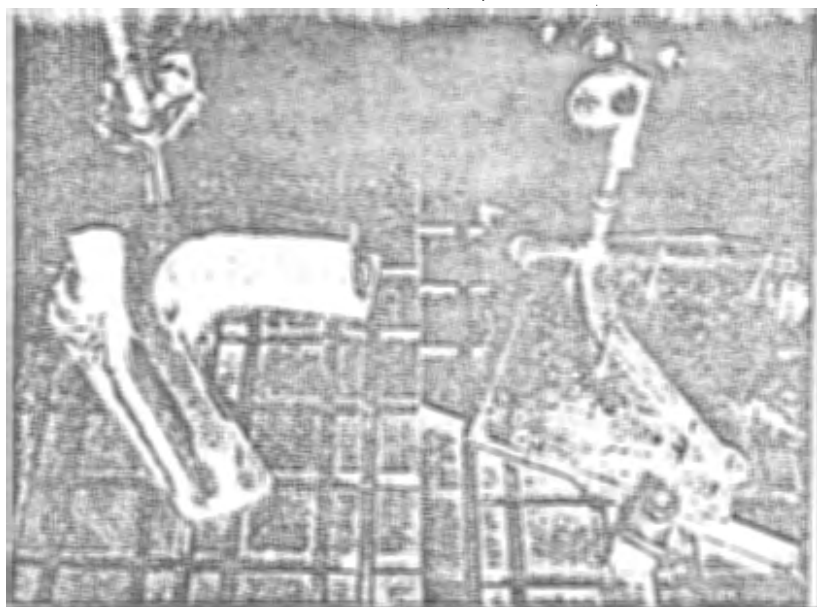


Figura - 99

Tendo em vista as durezas necessárias para os vários trabalhos de forjaria, os blocos já vêm temperados (é usual nos Estados Unidos) ou então recosidos. Entretanto, o material destinado a construção de punções, lâminas de guilhotinas e matrizes de cunhar vem sempre recosido devido a alta dureza neles desejada (cêrca de 60 Rockwell C, em media).

Em minha opinião é interessante, se se dispõe de equipamento para tratamento térmico - usar os blocos recosidos, temperá-los e reveni-los, posteriormente para eliminar tensões criadas na usinagem; quando o tratamento térmico, é feito a rigor não há empenamentos nem trincas de têmpera e a dureza é controlada na própria fábrica. Por outro lado aumenta-se a vida das ferramentas de corte de tornos, fresas e plainas o que não é desprezível.

Quanto à precisão de fabricação da matriz, fato este que redundará na qualidade e precisão do forjado, para as ferramentas de

trabalho a quente, usinadas mecanicamente e terminadas à mão, pode-se admitir a qualidade ISA 11; quando se utilizam fresadoras em boas condições pode-se contar com qualidade de 9 a 10 e, quando as ferramentas são trabalhadas no tórno a qualidade prescrita deve ser 8.

Na construção da ferramenta, as dimensões que são suscetíveis de variar devido ao desgaste, devem ser conseguidas com tolerâncias menores possíveis.

Quando se determinam as medidas das matrizes, deve haver uma compensação com as medidas de contração. A grandeza da medida de contração (shrinkage) depende do material a ser forjado e da temperatura de forjamento.

A tabela 20 (página seguinte) fornece o valor da medida de contração para os materiais mais comuns.

Para as peças de maior comprimento e de formas especiais, as medidas de contração são algo maiores, ao passo que para secções menores que se esfriam mais rapidamente na ferramenta, são menores que os valores da tabela⁽⁷⁾.

A matrizaria (die room) é um ponto chave no desenvolvimento de uma forjaria. Uma indústria de forjados não pode atingir lucros interessantes enquanto não possuir sua própria ferramentaria.

Mandando as matrizes para serem usinadas por terceiros, a indústria eleva bastante o custo, encontra dificuldade em controlar a qualidade, e está sujeita na maioria das vezes a uma espera que ultrapassa o prazo de fornecimento.

No Brasil o problema de *die-room* constitui ainda um *Bottle-neck* do desenvolvimento da indústria de forjaria.

Faltam máquinas e técnicos e o que é importado encarece demasiadamente o produto final.

TABELA 20

Material	Medida de contração %
Alumínio	1.5 ~ 1.8
Bronze	~ 1.6
Cobre	~ 0.8
Ligas de magnésio	1.2 ~ 1.6
Aço manganês	~ 2.0
Latão	1.2 ~ 1.5
Ligas de níquel	~ 2.0
Aço ao carbono	1.2 ~ 1.5
Aço liga	1.5 ~ 2.0
Aço prensado posterior ao vermelho	0.8 ~ 1.2
Zinco	~ 1.6

12) - CONSIDERAÇÕES FINAIS

12.1) - Sobre a impressão acabadora

É necessário dar um pouco mais de atenção à impressão final da matriz, visto ser ela a calibradora das dimensões do forjado. Sua forma (e dimensão) foi verificada na ferramentaria, testada pelo modêlo fundido de chumbo. Mesmo os estágios preparatórios para o forjamento, sendo corretos, há ainda algum perigo de se ter forjados insatisfatórios quanto as dimensões, aspecto e forma. Influem outros fatores, infelizmente mais difíceis de controlar, tais como a habilidade e experiência do operador: em trabalhar com a máquina, em aceitar os tarugos na sua temperatura certa, em solicitar do ajudante a seu lado que engraxe as matrizes sucessivamente, em manter os blocos matrizes alinhados, em colocar o material na posição adequada nas várias impressões, em manter a matriz livre de casca de óxido.

Certas vêzes o tarugo contém material demais, ou está com as dimensões incorretas, e então haverá excesso de rebarba, impedindo as matrizes de se juntarem, e as dimensões incorretas impedirão que o material encha as matrizes. Percebe-se então que não se deve subestimar o projeto cuidadoso dos estágios preparatórios, nem tampouco o do cálculo do tarugo e verificação da relação de recalçamento.

Como o leitor bem pode imaginar, todos estes fatores devem ser cuidados para se aumentar a vida da impressão acabadora. Por isso o uso da impressão pré-formadora ou semi-acabadora engloba quase que são as soluções para os problemas já citados, e para o que vai ser citado agora. Trata-se do fenômeno conhecido com o nome de *coldshut* que aparece na Fig. 100 (página seguinte).

É um caso típico de necessidade de impressão semi-acabadora. A figura 100 representa a impressão final, e pelo que se pode ver vai apresentar desgaste precoce no canto superior onde se forma o *coldshut*. O metal em "C" escoia semelhantemente aos fluidos. Em "D" encontra o fundo da impressão. Como o material continua enchendo a cavidade da impressão, o movimento em tôrno da parte central é mais lento do que em tôrno das paredes opostas, e então o metal inicia a subida, contornando o *plug* central, a fim de encher completamente

a cavidade.

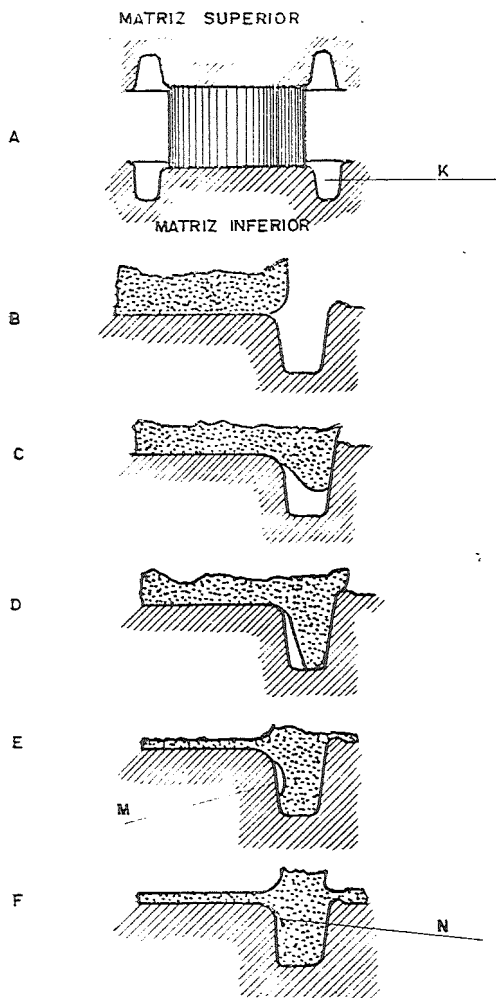


Figura - 100

Em consequência aparecerão pontos estacionários do movimento como a região mostrada em M e finalmente aparecerá a bolsa fria ou *coldshut* como se vê em N. O forjado sairá defeituoso e os cantos do *plug* central se deformarão.

Isto podia ter sido evitado preparando o material em impressão semiacabadora, pois o escoamento seria mais rápido e uniforme.

O uso de óleo em excesso na matriz seria neste caso mais prejudicial ainda, pois a pressão local atingiria limites de resistência do aço da matriz, ocasionando trincas.

Em certos casos a impressão final ainda pode produzir forja dos aceitáveis quanto a forma e aparência, mas as dimensões teriam ultrapassado o máximo de tolerâncias previstas. Então a matriz deve ser separada para recondicionamento.

O desgaste de uma matriz é devido a várias causas, que se seguem: -

1º) - *Ação abrasiva do material*

O desgaste de matriz por forjado, depende do tipo do material a ser forjado e dos seus elementos de liga. Em geral quanto maior a resistência específica à deformação plástica, maior será o desgaste da matriz para um dado número de forjados. Por exemplo⁽⁹⁾, um forjado de aço SAE 1020 pode permitir uma vida de 15000 peças a uma matriz, antes de se fazer o recondicionamento. Se entretanto, o aço fôr mudado para 0,50% de C a vida pode cair para 10000 peças. Se o SAE 1020 for substituído pelo aço 18-8, então a vida da impressão acabadora cairá para 1500 - 2000 forjados.

2º) - *Superfície e tempo de contato entre o metal e a matriz*

Neste caso a matriz inferior sofre mais porque nela permanece o material até ser acabado, não sendo prático retirá-lo com a tenaz a pós cada golpe da matriz superior. Em consequência a matriz inferior atinge uma temperatura que mesmo para o aço de trabalho a quente che

ga até a *fragilidade de revenido**. Além disso como o forjado permanece na matriz não se pode eliminar a casca do fundo com o jato de ar. E o atrito entre o aço e a casca de óxido é maior que entre o aço do forjado e o aço da matriz.

39) - Projeto da matriz

A distribuição dos estágios na operação do forjamento é altamente importante nos efeitos sobre o número de forjados que o conjunto de matrizes produzirá. A vida da matriz aumentará muito se os vários estágios forem balanceados de tal modo que o material chegue à impresão final quase pronto.

40) - Quantidade de forjados por corrida

Quando a quantidade por corrida aumenta muito, a vida da matriz tende a aumentar. Por exemplo⁽⁹⁾, se o conjunto de bielas está em produção, até que as matrizes sejam separadas para o recondicionamento, estas poderão produzir 15000 unidades.

Entretanto, se o programa obedecer a corridas de somente 100 peças cada uma, as matrizes serão desgastadas antes de ser atingida a produção de 2000 bielas. O desgaste comunicado às matrizes com os processos de posicionamento e as operações no início de cada corrida, é maior do que parece.

50) - Aquecimento apropriado

Já bastante comentado, este fator, mas carece ainda de evidência. Um bom controle nos maçaricos dos fornos afim de evitar ao máximo a casca das peças é norma obrigatória de trabalho, para maior proteção das matrizes e dos próprios forjados. Peças sub-aquecidas resistirão mais às deformações, comunicando esforços às paredes da matriz, apressando dessa maneira o seu desgaste.

* Este fato será mais prejudicial se não foi feito o 2º revenido como indicado no capítulo 11.

69) - Habilidade e prática do operador

Também já comentado, o problema merece atenção dos industriais egerentes de produção. É comum, por exemplo, o operário colocar mais óleo* do que devia ao engraxar as matrizes, pensando evitar que o forjado grude na matriz, o que em certos casos dá bastante trabalho para retirá-lo. É necessário boa fiscalização do serviço para que tal fato não se repita.

Óleo em excesso é prejudicial ao forjado e principalmente à matriz.

70) - Alinhamento das matrizes

Também sobre este assunto é necessária a fiscalização constante. Naturalmente o operador esquece-se de verificar se as matrizes estão alinhadas, tanto lateralmente como frontalmente. As máquinas são providas de sistemas de ajuste por meio de cunhas acionadas por parafusos, ou então por meio de chavetas que são batidas à marreta. Um desalinhamento de 1/64" pode ser danoso para a matriz.

Aproveito o ensêjo para sugerir dois tipos de óleos para engraxar matrizes, durante o forjamento, os quais tive ocasião de testar.

O tipo (1), dura mais, mas produz muita fumaça e protege menos a matriz. O tipo (2) é um produto novo, posto em experiência há pouco tempo. É de boa qualidade, produz menos fumaça que o tipo 1 e protege mais a matriz.

Comparados dois conjuntos iguais de matrizes de 3000 forjados de vida cada um, o que foi engraxado com (2), apresentou menor desgaste, nas mesmas condições de trabalho.

Tipo (1): pode ser preparado na própria fábrica, misturando-se óleo recuperado de máquinas, grafite em pó e cêra branca em partes iguais.

* Em certos casos usa-se o pó de serra, mas atente-se que prejudica a produção.

Tipo (2): óleo Draw Ex 63

Diluyente 10% Mentor 28

12.2) - Dimensionamento do tarugo-geratriz.

Com o auxílio da curva de volumes da pg. 59 ou com o papel milimetrado, sabe-se o pêso* do forjado. É necessário saber então as perdas de material. Convém fazer este cálculo por etapas. Assim será seguida a ordem:

- I) rebarba;
- II) casca;
- III) projeção da tenaz;
- IV) canal;
- V) perdas no corte.

I) Rebarba: a perda, considerada no sentido geral para formas simples, é uma função do comprimento da rebarba e do pêso líquido da peça. A largura e espessura média da rebarba, variam com o pêso do forjado, e na rebarbação a quente é mais espessa e pesada do que na rebarbação a frio.

Para a rebarbação a frio⁽⁹⁾ segue a tabela .

TABELA 21

Pêso líquido lbs	Espessura (in)	Largura (in)	Pêso da rebarba por polegada lbs
1	1/16"	3/4"	0.0133
1 ~ 5	1/16"	1"	0.0177
5 ~ 10	3/32"	1.1/4"	0.0333
10 ~ 15	1/8"	1 3/8"	0.0487
15 ~ 25	5/32"	1 1/2"	0.0668
25 ~ 50	3/16"	1 3/4"	0.0937
50 ~ 100	1/4"	2"	0.1425

* Líquido

Para a rebarbação a quente⁽⁹⁾ seguem os valores da espessura, largura e pêso por polegada de comprimento da rebarba, na tabela.

TABELA 22

Pêso líquido lbs	Espessura (in)	Largura (in)	Pêso da rebarba por polegada lbs
~ 1	1/8"	3/4"	0.0266
1 ~ 5	1/8"	1"	0.0354
5 ~ 10	5/32"	1 1/4"	0.0553
10 ~ 15	3/16"	1 3/8"	0.0730
15 ~ 20	7/32"	1 1/2"	0.0941
25 ~ 50	1/4"	1 3/4"	0.1250
50 ~ 100	5/16"	2"	0.1790
100 ~ 200	3/8"	2 1/2"	0.2670

É oportuno, para o cãlculo do pêso da rebarba, observar a Fig. 101 onde comparecem as formas mais comuns de rebarba, sobre as quais serão feitos os cãlculos.

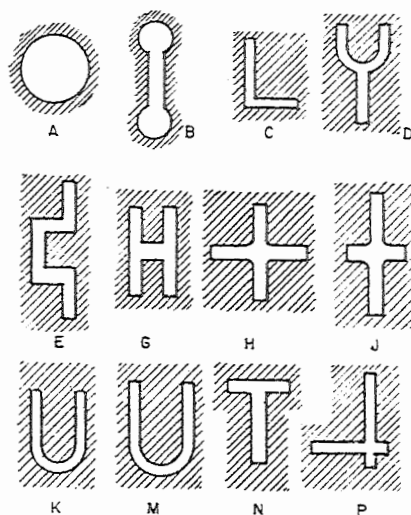


Figura - 101

O cálculo do peso da rebarba, tomando-se a largura e espessura médias funciona bem para os casos (a) (b) e (c) da Fig. 101. Para casos com formas diferentes, serão necessárias certas adições ao perímetro da rebarba. Quando a forma é em "Y" *Y duplo*, ou pertencente às Figs. 101-e) (g), a parte contida entre as projeções (pernas) deve ser calculada como um sólido com espessura considerada cerca de 1/16" maior que a espessura da rebarba. Esta parte deve ser adicionada ao comprimento linear da rebarba.

Quando o forjado tiver a forma de uma cruz (Fig. h) calcula-se a rebarba como se fôsse um disco com diâmetro de 1" a 2" maior que o comprimento inteiro dos braços, e subtrae-se a área da cruz. Para a cruz longa (Fig. j) trata-se a rebarba como se fosse um elipse com os braços, maior e menor sendo maiores de 1" a 2", que seus comprimentos e deduz-se a área da cruz.

Formas semelhantes ao "T" devem ter uma pequena adição de metal ao comprimento linear da rebarba, para efeito de cálculo, o adicional deverá ser ser⁽⁹⁾ de 25% no perímetro da linha de rebarbação. São os casos das Figs. (n) e (p).

Quando a peça não admite a linha divisória num mesmo plano é necessário antes fazer-se a projeção da linha perimetral da rebarba.

O peso dos núcleos puncionados (slugs), pertencentes a cavidades ou furos devem ser calculados⁽⁹⁾ considerando-se a espessura igual ao dobro da espessura da rebarba.

II) Perdas por casca de óxido - Esta perda é uma função: da superfície exposta à atmosfera reinante do forno, do comprimento do tarugo, e do tempo de exposição. Como medida de segurança, pode-se adotar⁽⁹⁾ para forjados abaixo de 4,5 kg o cálculo 7,5% de perdas sobre o peso líquido do forjado. Para peças com peso líquido entre 4,5 e 5,5 kg adota-se 6% e finalmente para forjados acima de 5,5 kg, usa-se 5% de perdas.

Como o leitor percebe, a função não é proporcional.

III) Projeção do final da rebarba para posicionamento da peça com as tenazes: (tonghold) Para efeito de cálculo⁽⁹⁾ admite-se a projeção com o mesmo diâmetro do tarugo e uma cota necessária para manipular o forjado com a tenaz. Seu peso pode ser tomado como 8% do peso líquido do forjado. Quando a peça é forjada, manipulando-se pela rebarba somente (caso, das peças de revolução) omite-se o cálculo da projeção. Quando duas ou mais peças são confeccionadas ao mesmo tempo, o peso da projeção da tenaz, pode ser dividido pelo número de peças.

IV) Canal (Sprue) É a ligação entre o forjado e a projeção da tenaz. O canal deve ser dimensionado para que permite a manipulação do forjado, de uma impressão para outra sem ocasionar flexão. A perda no canal é calculada em 6,0% sobre o peso líquido do forjado.

V) Desperdício no corte da guilhotina. Na prática usual dos trabalhos de forjaria, é possível comprar os vergalhões em comprimentos múltiplos das dimensões dos tarugos, para dar assim um número exato de peças. (É prática dos Estados Unidos). Entretanto, fatores como variação nas dimensões das barras, aumento no peso bruto do tarugo, devido a desgaste da matriz, e diferenças entre peso real e peso calculado, são responsáveis pelo aparecimento de pedaços das extremidades, que devem ser⁽⁹⁾ considerados como parte do peso bruto*.

Esta perda no corte da guilhotina pode ser calculada como uma porcentagem do peso líquido do forjado como consta na tabela 23.

Tabela 23

DIMENSÃO REDONDO OU QUADRADO	% DESPERDÍCIO
2"	3
2" - 3"	4
3" - 4"	5
4"	6

*Ocasionalmente pode-se usar estes pedaços para forjar outras peças.

Os métodos apontados para o cálculo das perdas são sugeridos por⁽⁹⁾, com modificações pessoais, sendo que tive ocasião de usá-los tendo conseguido resultados satisfatórios.

O peso bruto será a soma de todas as perdas com o peso líquido. Conhecendo o peso bruto, o calculista escolherá um diâmetro de barra que seja comercial, e que não comprometa o escoamento apropriado do material no estado plástico. Resta conhecer a outra dimensão do tarugo, ou seja para tarugos redondos, a altura do corpo cilíndrico. Como é um caso bastante comum resolvei pela construção de um abaco* como consta da Fig. 102 (página seguinte).

A fórmula é $P = 100 D^2 h^*$ que dá os valores de P em kg para valores de D e h em polegadas. A aproximação é satisfatória, uma vez que a precisão não faz sentido neste caso; o tarugo calculado é submetido a testes, forjando-se cinco a seis peças no início de uma corrida para evitar o menor desperdício ou falta.

Resta verificar a relação de recalçamento como já foi falada no capítulo 9.

$$R = \frac{1}{D}$$

O máximo valor que pode alcançar a relação de recalçamento em uma só fase é 2,3, para se estar de acordo com as boas condições de escoamento. Com referência à variação média de forma (assunto também tratado no capítulo 9), e tendo em vista a Fig. 16, sobre as variações locais de forma, seria interessante trabalhar com

$$\epsilon = 60 - 75\%$$

para garantir a melhor distribuição das zonas de tensão.

* O fator 100 é devido às simplificações e transformações de unidade.

TABELA 24

Zonas de temperatura para o modelado a quente dos aços ao carbono.

(Aços segundo DIN 1611, 1612, 1613, 1666 e 1667)
(Os aços de cada grupo em coluna são muito similares).

Denominação do aço	Conteúdo de C %	Zona de temperatura °C
St 34 St 37 St 38 C 10 C 15	0,06... 0,20	1200 ¹⁾ ...900
St 42 St 44 C 22	0,20... 0,30	1150 ¹⁾ ...900
St 50 St 60 C 35 C 45	0,30... 0,50	1100 ¹⁾ ...850
St 70 C 60	0,50... 0,65	1050 ¹⁾ ...850

1) Aquecendo cuidadosamente, aumentar 50°; não manter muito tempo as altas temperaturas.

ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DE TARUGOS REDONDOS

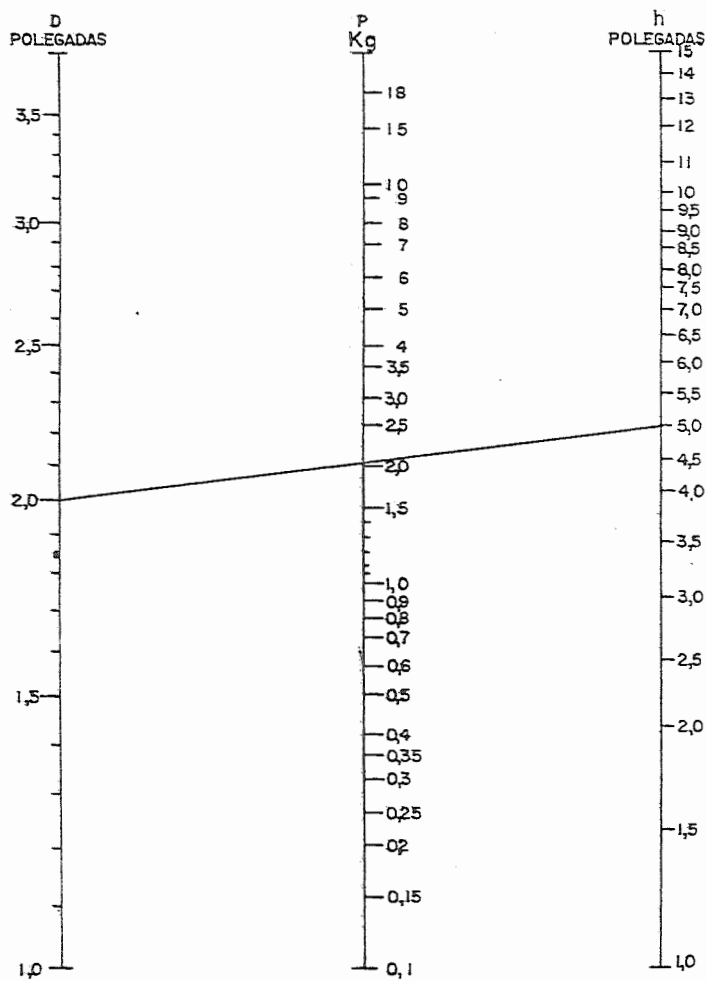


Figura - 102

TABELA 25

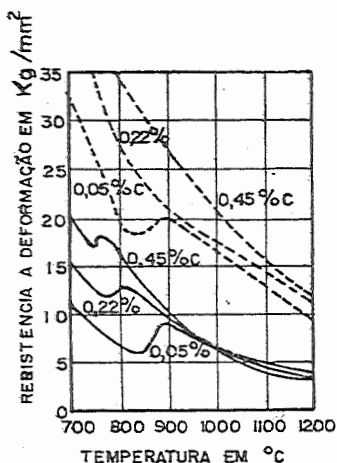
Zonas de Temperaturas para o forjado quente dos aços ligas - Tabela 25 -		
Designação do aço	Zona de temperatura (°C)	Observações
Aços ao Cr-Ni todos os ECN segundo a DIN todos os VGNW 1662 todos os VGNH aços doces	1100 ^o - 900 1050 ^o - 850 1050 ^o - 850 1100 - 900	Aquecimento e esfriamento lentos, relativamente insensíveis aos reaquecimentos; manter baixa a temperatura final do forjado para evitar o grão grosso
aços austeníticos (10÷25% Cr 7 ÷ 60% Ni)	1100 - 850	
Aços ao Cr e ao Cr-Ni EC 30 EC 60 VCMo 125 VC 135 ECMo 80 ECMo 100 DIN 1663 VCMo 135 E 1664 VCMo 140 VCMo 240	1100 ^o - 850 1050 ^o - 850 1050 ^o - 850	aquecer e esfriar lentamente
laminas e rolamentos	950 - 850	para os aços de imans, aquecimento rápido e curto ao contrário de decarbonetação superficial.
cinzéis	1000 - 800	
talhadeiras	1000 - 850	
aços inoxidáveis com mais de 13% de Cr	1050 - 850	aquecimento penetrante, para evitar tempera ao ar, esfriar abaixo da cinza.
aços de beneficiamento segundo a DIN E 1664 VM 125 VCV 150 VM 175 VMS 135 VMC 140	1100 ^o - 850 1050 ^o - 850	aquecimento lento logo resque
Aços ao Mn perlíticos (0,10÷1% C, 0,8 ÷ 3% Mn)	1050 - 850	esquentar e esfriar lentamente cuidado com a chama, pois se formam escamas sensíveis ao reaquecimento
austeníticos (0,09 ÷ 1,4% C, 12 ÷ 15% Mn)	950 - 850	
Aços ao Ni, até 5% Ni	1100 - 850	com mais de 2% Ni aquecimento lento e penetrante, esfriamento lento
Aços ao Si dinâmes e transformadores (0,8% - 0,5 ÷ 4% Si, 0,1 ÷ 4% Mn)	1000 - 750	com composição super-eutectica (=0,8% C, 1% Si, > 1% Si) trabalhar com suficiente calor pelo perigo da fratura negra no forjado abaixo do ponto A ₂
aços para molas (0,35 ÷ 0,75% C 1 ÷ 3% Si)		
Aços ao Si	1100 - 850	forjado em duas vezes influenciado por outros elementos de liga
Aços para tornos automáticos Ferro doce especial	1250 - 1050 - 850	aquecimento a 350 ^o perigo de fratura ao ser aquecido com alto conteúdo de Si e Mn ou com 0,4 ÷ 0,3 (0,6% C)

todos os aços de cementação e de beneficiamento encontrados na aplicação para peças forjadas com estampas

taboia 25 - Zonas de temperatura para o forjado quente dos aços

aços rápidos	1250 ... 950	os aços com alto conteúdo de W são frágeis e tem pouca capacidade de deformação, com frequência aquecimentos intermédios, esfriamento lento
aços para tesouras	1000 ... 850 950 ... 850	difíceis de forjar em quente na maioria das classes
aços para limas	< 0,55% C > 1,2% C	tôdas as classes trabalham-se bem.

- 1- No forjado a estampa máximo 50f
- 2- No forjado a estampa máximo 100f
- 3- Segundo o Werstoffhandbuch de "Stahl-und-Eisen", 2ª edição Dusseldorf 1937, editorial Stahleisen, onde são encontrados maiores detalhes.



AÇOS AO CARBONO

- DEFORMAÇÃO ESTÁTICA (PRENTSA)
- DEFORMAÇÃO DINÂMICA (MARTELO) RECALDO 30%

Figura - 103 - Gráfico de resistência a formação dos aços carbono em função da temperatura.

Figura - 103

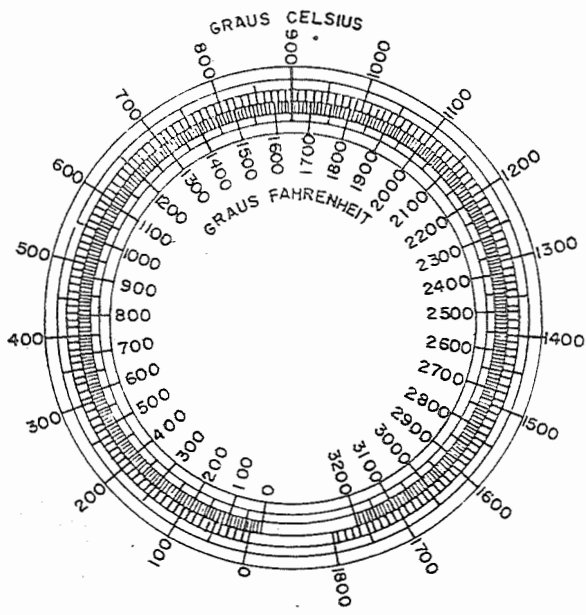
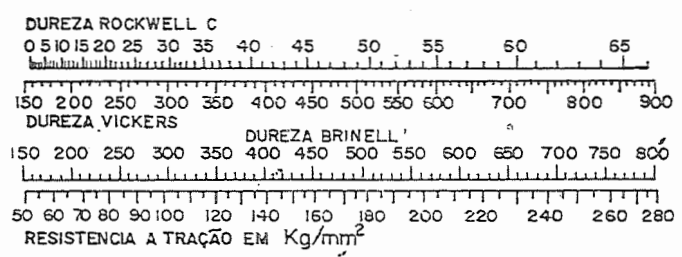


FIG.-104

Gráfico de Conversão de temperaturas



Escala de Conversão de Durezas

Figura - 105

TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES

FRAÇÕES DE POLEGADA	DECIMAIS DE POL.	MILIMETROS	FRAÇÕES DE POLEGADA	DECIMAIS DE POL.	MILIMETROS
1/64	.015625	0,397		.035433	9,000
1/32	.03125	0,794	23/64	.359375	9,128
	.03937	1,000	3/8	.375	9,525
			25/64	.390625	9,922
3/64	.046875	1,191		.3937	10,000
1/16	.0625	1,588	13/32	.40625	10,319
5/64	.078125	1,984	27/64	.421875	10,716
	.07874	2,000		.43307	11,000
3/32	.09375	2,381	7/16	.4375	11,112
7/64	.109375	2,778	29/64	.453125	11,509
			15/32	.46875	11,906
	.11811	3,000		.47244	12,000
1/8	.125	3,175	31/64	.484375	12,303
9/64	.140625	3,572	1/2	.500	12,700
	.15625	3,969		.51181	13,000
5/32	.15748	4,000	33/64	.515625	13,097
11/64	.171875	4,366	17/32	.53125	13,494
			35/64	.546875	13,891
				.55118	14,000
3/16	.1875	4,764	9/16	.5625	14,288
	.19685	5,000	37/64	.578125	14,684
13/64	.203125	5,159		.59055	15,000
	.21875	5,556	19/32	.59375	15,081
7/32	.234375	5,953	39/62	.609375	15,478
15/64			5/8	.625	15,875
	.23622	6,000		.62992	16,000
1/4	.250	6,350	41/64	.640625	16,272
17/64	.265625	6,747	21/32	.65625	16,669
	.27559	7,000		.66929	17,000
9/32	.28125	7,144	43/64	.703125	17,859
19/64	.296875	7,541	11/16	.6875	17,462
5/16	.3125	7,938			
	.31496	8,000	45/64	.703125	17,859
21/64	.328125	8,334		.70866	18,000
11/32	.34375	8,731	23/32	.71875	18,256

FRAÇÕES DE POLEGADA	DECIMAIS DE POL.	MILIMETROS	FRAÇÕES DE POLEGADA	DECIMAIS DE POL.	MILIMETROS
47/64	.734375	18,653	7/8	.86614	22,000
	.74803	19,000	57/64	.875	22,225
	.750	19,050		.890625	22,622
				.90551	23,000
49/64	.765625	19,447	29/32	.90625	23,019
25/32	.78125	19,844	59/64	.921875	23,416
			15/16	.9375	23,812
	.7874	20,000		.94488	24,000
51/64	.796875	20,241	61/64	.953125	24,209
13/16	.8125	20,638	31/32	.96875	24,606
	.82677	21,00		.98425	25,000
53/64	.828125	21,034	63/64	.984375	25,003
27/32	.84375	21,431	1	.100	25,400
55/64	.859375	21,828			

PESO DE BARRAS DE SECÇÃO QUADRADA.

Lado do quadrado	COMPRIMENTO EM POLEGADAS											
	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	11"	12"
1/4"	.016	.035	.055	.071	.089	.106	.124	.142	.159	.177	.195	.213
3/8"	.039	.078	.117	.156	.195	.234	.273	.312	.351	.390	.429	.479
1/2"	.07	.14	.21	.28	.35	.42	.50	.57	.64	.71	.87	.85
5/8"	.11	.22	.33	.44	.56	.67	.78	.89	1.0	1.11	1.22	1.34
3/4"	.16	.32	.48	.64	.80	.96	1.12	1.28	1.44	1.60	1.76	1.92
7/8"	.22	.43	.65	.86	1.08	1.30	1.51	1.73	1.94	2.16	2.38	2.60
1"	.28	.57	.85	1.13	1.42	1.70	1.98	2.26	2.55	2.83	3.11	3.40
1 1/8"	.36	.72	1.08	1.44	1.79	2.15	2.51	2.88	3.23	3.59	3.95	4.30
1 1/4"	.44	.89	1.33	1.77	2.22	2.66	3.10	3.54	3.99	4.43	4.87	5.31
1 3/8"	.54	1.07	1.61	2.14	2.68	3.22	3.75	4.29	4.82	5.36	5.89	6.43
1 1/2"	.64	1.28	1.91	2.55	3.19	3.83	4.46	5.10	6.0	6.37	7.02	7.65
1 5/8"	.75	1.5	2.25	2.99	3.74	4.49	5.24	5.99	6.74	7.49	8.23	8.98
1 3/4"	.87	1.74	2.60	3.47	4.34	5.21	6.08	6.94	7.81	8.68	9.55	10.4
1 7/8"	1.0	1.99	2.99	3.99	4.98	5.98	6.98	7.97	8.97	9.97	11.0	12.0
2"	1.13	2.27	3.40	4.54	5.67	6.8	7.94	9.07	10.2	11.3	12.5	13.6

PESO DE BARRAS DE SECÇÃO QUADRADAS

LADO DO QUADRADO	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	11"	12"
2 $\frac{1}{8}$ "	1.28	2.56	3.84	5.12	6.4	7.68	8.96	10.2	11.5	12.8	14.1	15.4
2 $\frac{1}{4}$ "	1.43	2.87	4.3	5.73	7.16	8.6	10.0	11.5	12.9	14.3	15.8	17.2
2 $\frac{2}{8}$ "	1.56	3.12	4.68	6.24	7.8	9.36	10.9	12.5	14.0	15.6	17.2	19.2
2 $\frac{1}{2}$ "	1.77	3.54	5.31	7.09	8.86	10.6	12.4	14.2	15.9	17.7	19.5	21.3
2 $\frac{5}{8}$ "	1.95	3.91	5.86	7.81	9.77	11.7	13.7	15.6	17.6	19.5	21.5	23.4
2 $\frac{3}{4}$ "	2.14	4.29	6.43	8.57	10.7	12.9	15.0	17.2	19.3	21.4	23.6	25.7
3"	2.55	5.1	7.65	10.2	12.8	15.3	17.9	20.4	23.0	25.5	28.1	30.6
3 $\frac{1}{4}$ "	2.99	5.99	8.98	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	35.9
3 $\frac{1}{2}$ "	3.47	6.94	10.4	13.9	17.4	20.8	24.8	27.8	31.3	34.7	38.2	41.7
3 $\frac{3}{4}$ "	3.96	7.98	12.0	16.0	20.0	23.9	27.9	31.9	35.9	39.9	43.9	47.8
4"	4.53	9.06	13.6	18.1	22.7	27.2	31.7	36.2	40.8	45.3	49.8	54.4
4 $\frac{1}{4}$ "	5.12	10.2	15.4	20.5	25.6	30.7	35.8	41.0	46.1	51.2	56.3	61.5
4 $\frac{1}{2}$ "	5.74	11.5	17.2	23.0	28.7	34.4	40.2	45.9	51.7	57.4	63.1	68.9
4 $\frac{3}{4}$ "	6.39	12.8	19.2	25.6	32.0	38.3	44.7	51.2	57.5	63.9	70.3	76.8
5"	7.09	14.2	21.3	28.4	35.5	42.5	49.6	56.7	63.8	70.9	78.0	85.1
5 $\frac{1}{4}$ "	7.81	15.6	23.4	31.3	39.1	46.9	54.7	62.5	70.3	78.1	86.0	93.8
5 $\frac{1}{2}$ "	8.58	17.2	25.7	34.3	42.9	51.5	60.0	68.6	77.2	85.8	94.3	103
5 $\frac{3}{4}$ "	9.37	18.7	28.1	37.5	46.9	56.2	65.6	75.0	84.3	93.7	103	112
6"	10.2	20.4	30.6	40.8	51.0	61.2	71.4	81.6	91.8	102	112	123
6 $\frac{1}{4}$ "	11.1	22.2	33.2	44.3	55.4	66.5	77.6	88.6	99.7	111	122	133
6 $\frac{1}{2}$ "	12.0	24.0	36.0	47.9	59.9	71.9	83.9	95.9	108	120	132	144
6 $\frac{3}{4}$ "	12.9	25.8	38.8	51.7	64.6	77.5	90.5	103	116	129	142	155

PESO DE BARRAS DE SECÇÃO QUADRADA.

Lado do quadrado	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	11"	12"
7"	13,9	27,8	41,7	55,6	69,5	83,4	97,3	111	125	139	153	167
7 $\frac{1}{4}$ "	14,9	29,8	44,7	59,6	74,5	89,4	104	119	134	149	164	179
7 $\frac{1}{2}$ "	16,0	31,9	47,9	63,8	79,8	95,7	112	128	144	160	175	191
7 $\frac{3}{4}$ "	17,0	34,1	51,1	68,1	85,2	102	119	136	153	170	187	204
8"	18,2	36,3	54,5	72,6	90,8	109	127	145	163	182	200	218
8 $\frac{1}{2}$ "	20,5	41,0	61,5	82,0	102	123	143	164	184	205	225	246
9"	23,0	45,9	68,9	91,9	115	138	161	184	207	230	253	276
9 $\frac{1}{2}$ "	25,6	51,2	76,8	102	128	154	179	205	230	256	282	307
10"	28,4	56,7	85,1	113	142	170	199	227	255	284	312	340
10 $\frac{1}{2}$ "	31,3	62,5	94,8	125	156	188	219	251	282	313	344	375
11"	34,3	68,6	103	137	171	206	240	275	309	343	377	411
11 $\frac{1}{2}$ "	37,5	75,0	112	150	187	225	262	300	337	375	412	450
12"	40,8	81,6	123	163	204	245	286	327	368	408	449	490

NOTA. Os pesos das tabelas citadas é válido somente para os materiais de aço carbono e aços de baixa e média liga. Estão fora da tabela, aqueles materiais 13% de Cr, aços 18-8, aços tungstenados (12-14, 18-22 Tungstênio), ferro doce e ferro pudlado.

TABELA 28

PÊSO DE BARRAS DE SECÇÃO CIRCULAR (lb)												
Diâmetro	Comprimento em polegadas											
	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	11"	12"
$\frac{1}{4}$ "	.014	.028	.042	.056	.07	.083	.097	.111	.125	.139	.153	.167
$\frac{3}{8}$ "	.031	.063	.094	.125	.156	.188	.219	.250	.281	.313	.344	.375
$\frac{1}{2}$ "	.056	.111	.167	.222	.278	.333	.389	.445	.500	.556	.611	.667
$\frac{5}{8}$ "	.088	.175	.263	.350	.438	.526	.613	.700	.788	.875	.963	1.05
$\frac{3}{4}$ "	.125	.250	.375	.500	.625	.750	.875	1.00	1.13	1.25	1.38	1.50
$\frac{7}{8}$ "	.171	.342	.512	.683	.854	1.03	1.20	1.37	1.54	1.71	1.88	2.05
1"	.223	.447	.670	.893	1.12	1.34	1.56	1.79	2.01	2.23	2.46	2.68
$1\frac{1}{8}$ "	.282	.563	.845	1.13	1.41	1.69	1.97	2.25	2.54	2.82	3.10	3.38
$1\frac{1}{4}$ "	.348	.695	1.04	1.39	1.74	2.09	2.43	2.78	3.13	3.48	3.82	4.17
$1\frac{3}{8}$ "	.421	.842	1.26	1.68	2.10	2.53	2.95	3.37	3.79	4.21	4.63	5.05
$1\frac{1}{2}$ "	.500	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.51	4.01	4.52	5.01	5.51	6.01
$1\frac{5}{8}$ "	.590	1.18	1.76	2.35	2.94	3.53	4.12	4.71	5.29	5.89	6.48	7.06
$1\frac{3}{4}$ "	.680	1.36	2.05	2.73	3.41	4.09	4.77	5.45	6.14	6.82	7.5	8.18
$1\frac{7}{8}$ "	.780	1.57	2.35	3.13	3.91	4.70	5.48	6.26	7.04	7.83	8.61	9.39
2"	.890	1.78	2.67	3.56	4.44	5.34	6.24	7.13	8.02	8.91	9.80	10.7
$2\frac{1}{8}$ "	1.00	2.01	3.02	4.02	5.03	6.03	7.04	8.05	9.05	10.1	11.1	12.1
$2\frac{1}{4}$ "	1.13	2.25	3.38	4.51	5.63	6.76	7.89	9.01	10.1	11.3	12.4	13.5
$2\frac{3}{8}$ "	1.26	2.51	3.77	5.02	6.28	7.53	8.79	10.1	11.3	12.6	13.8	15.1
$2\frac{1}{2}$ "	1.39	2.78	4.17	5.57	6.96	8.35	9.74	11.1	12.5	13.9	15.3	16.7
$2\frac{5}{8}$ "	1.53	3.07	4.60	6.14	7.67	9.20	10.7	12.3	13.8	15.3	16.9	18.4
$2\frac{3}{4}$ "	1.68	3.37	5.05	6.74	8.42	10.1	11.8	13.5	15.2	16.8	18.5	20.2
3"	2.0	4.01	6.01	8.02	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.1	24.1
$3\frac{1}{4}$ "	2.35	4.70	7.05	9.41	11.8	14.1	16.5	18.8	21.2	23.5	25.9	28.2
$3\frac{1}{2}$ "	2.73	5.46	8.18	10.9	13.6	16.4	19.1	21.8	24.6	27.3	30.0	32.7
$3\frac{3}{4}$ "	3.13	6.26	9.39	12.5	15.7	18.8	21.9	25.1	28.2	31.3	34.4	37.6

TABELA 28

PESO DE BARRAS DE SEÇÃO CIRCULAR (lb)												
Diâmetro	Comprimento em polegadas											
	1"	2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	
4"	3.56	7.13	10.7	14.3	17.8	21.4	24.9	28.5	32.1	35.6	39.2	42.8
4 $\frac{1}{4}$ "	4.02	8.04	12.1	16.1	20.1	24.1	28.2	32.2	36.2	40.2	44.2	48.3
4 $\frac{1}{2}$ "	4.51	9.02	13.5	18.0	22.6	27.1	31.6	36.1	40.6	45.1	49.6	54.1
4 $\frac{3}{4}$ "	5.03	10.1	15.1	20.1	25.1	30.2	35.2	40.2	45.2	50.3	55.3	60.3
5"	5.57	11.1	16.7	22.3	27.8	33.4	39.0	44.5	50.6	55.7	61.3	66.8
5 $\frac{1}{4}$ "	6.14	12.3	18.4	24.6	30.7	36.8	43.0	49.1	55.3	61.4	67.5	73.7
5 $\frac{1}{2}$ "	6.74	13.5	20.2	27.0	33.7	40.4	47.2	53.9	60.6	67.4	74.1	80.9
5 $\frac{3}{4}$ "	7.36	14.7	22.1	29.5	36.8	44.2	51.6	58.9	66.3	73.6	81.0	88.4
6"	8.02	16.0	24.1	32.1	40.1	48.1	56.1	64.2	72.2	80.2	88.2	96.2
6 $\frac{1}{4}$ "	8.7	17.4	26.1	34.8	43.5	52.2	60.9	69.6	78.3	87.0	95.7	104
6 $\frac{1}{2}$ "	9.41	18.8	28.2	37.6	47.1	56.5	65.9	75.3	84.7	94.1	104	113
6 $\frac{3}{4}$ "	10.2	20.3	30.4	40.6	50.7	60.9	71.0	81.2	91.3	102	112	122
7"	10.9	21.8	32.7	43.7	54.6	65.5	76.4	87.3	98.2	109	120	131
7 $\frac{1}{4}$ "	11.7	23.4	35.1	46.8	58.5	70.2	82.0	93.7	105	117	129	140
7 $\frac{1}{2}$ "	12.5	25.1	37.6	50.1	62.6	75.2	87.7	100	113	125	138	150
7 $\frac{3}{4}$ "	13.4	26.8	40.1	53.5	66.9	80.3	93.6	107	120	134	147	161
8"	14.3	28.5	42.8	57.0	71.3	85.5	99.8	114	128	143	157	171
8 $\frac{1}{2}$ "	16.1	32.2	48.3	64.4	80.5	96.6	113	129	145	161	177	193
9"	18.0	36.1	54.1	72.2	90.2	108	126	144	162	180	199	216
9 $\frac{1}{2}$ "	20.1	40.2	60.3	80.4	101	121	141	161	181	201	221	241
10"	22.3	44.5	66.8	89.1	111	134	156	178	200	223	245	267
10 $\frac{1}{2}$ "	24.6	49.1	73.7	98.2	123	147	172	196	221	246	270	295
11"	27.0	53.9	80.9	108	135	162	189	216	243	270	296	323
11 $\frac{1}{2}$ "	29.5	58.9	88.4	118	147	177	206	236	265	295	324	353
12"	32.1	64.1	96.2	128	160	192	224	257	289	321	353	385

TABELA - 29

PESO DE BARRAS DE SECCAO HEXAGONAL (lb)												
Distancia entre partes planas	Comprimento em polegadas											
	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	11"	12"
$\frac{1}{4}$ "	.016	.033	.049	.064	.081	.097	.113	.129	.146	.162	.178	.195
$\frac{3}{8}$ "	.034	.069	.102	.138	.172	.206	.241	.276	.310	.345	.379	.412
$\frac{1}{2}$ "	.061	.122	.182	.243	.304	.365	.426	.486	.547	.608	.669	.73
$\frac{5}{8}$ "	.096	.192	.287	.383	.479	.575	.671	.766	.862	.958	1.05	1.15
$\frac{3}{4}$ "	.138	.277	.415	.553	.692	.830	.968	1.11	1.25	1.38	1.52	1.66
$\frac{7}{8}$ "	.188	.375	.563	.75	.938	1.13	1.31	1.50	1.69	1.88	2.06	2.25
1"	.245	.49	.735	.98	1.23	1.47	1.72	1.96	2.21	2.45	2.7	2.94
1 $\frac{1}{8}$ "	.31	.62	.93	1.24	1.55	1.86	2.17	2.48	2.79	3.1	3.41	3.73
1 $\frac{1}{4}$ "	.383	.767	1.15	1.53	1.92	2.3	2.68	3.07	3.45	3.83	4.22	4.6
1 $\frac{3}{8}$ "	.464	.928	1.39	1.86	2.32	2.78	3.25	3.71	4.18	4.64	5.11	5.57
1 $\frac{1}{2}$ "	.552	1.10	1.66	2.21	2.76	3.31	3.86	4.41	4.96	5.52	6.07	6.62
1 $\frac{5}{8}$ "	.647	1.29	1.94	2.59	3.23	3.88	4.53	5.17	5.82	6.47	7.11	7.76
1 $\frac{3}{4}$ "	.75	1.5	2.25	3.0	3.75	4.5	5.25	6.0	6.75	7.5	8.25	9.0
1 $\frac{7}{8}$ "	.86	1.73	2.59	3.45	4.32	5.18	6.04	6.91	7.77	8.63	9.5	10.4
2"	.981	1.96	2.94	3.93	4.91	5.89	6.87	7.85	8.83	9.81	10.8	11.8
2 $\frac{1}{8}$ "	1.11	2.22	3.33	4.44	5.55	6.66	7.77	8.88	9.99	11.1	12.2	13.3
2 $\frac{1}{4}$ "	1.24	2.49	3.73	4.97	6.21	7.46	8.7	9.94	11.2	12.4	13.7	14.9
2 $\frac{3}{8}$ "	1.39	2.77	4.16	5.54	6.93	8.31	9.7	11.1	12.5	13.9	14.2	16.6
2 $\frac{1}{2}$ "	1.53	3.07	4.6	6.14	7.67	9.21	10.7	12.3	13.8	15.3	16.9	18.4
2 $\frac{5}{8}$ "	1.69	3.38	5.08	6.77	8.46	10.2	11.8	13.5	15.2	16.9	18.6	20.3
2 $\frac{3}{4}$ "	1.86	3.71	5.57	7.43	9.29	11.1	13.0	14.9	16.7	18.6	20.4	22.3
2 $\frac{7}{8}$ "	2.03	4.06	6.09	8.12	10.2	12.2	14.2	16.2	18.3	20.3	22.3	24.4
3"	2.21	4.42	6.63	8.84	11.1	13.3	15.5	16.7	19.9	22.1	24.3	26.5

13) - BIBLIOGRAFIA

- 1) - Metals Engineering Process-ASME
- 2) - JOSÉ M. LASCHERAS - Tecnologia del acero
- 3) - METALS HANDBOOK - Edição de 1948
- 4) - SAE HANDBOOK - Edição de 1957
- 5) - HÜTTE- Manual del Ingeniero de Taller Vol. II - 1959
- 6) - ENGO J. M. FRANÇA - Boletim Nº 22 Geologia e Metalurgia - 1960
- 7) - J. BILLIGMANN - Estampado y prensado a máquina - 1956
- 8) - A. R. MÉTRAL - La machine outil, vol. VII
- 9) - NAUJOKS E FABEL - Forging Handbook - A.S.M. - 1953
- 10) - Profº RUBENS LIMA PEREIRA - Tratamentos Térmicos - EESC-USP-1960

São Carlos, 05/12/77

Profº Dr. Luiz R. Duarte
Magdalena/DEMa.