

|            |        |
|------------|--------|
| N. CLASS.  | M620.1 |
| CUTTER     | M 379d |
| ANO/EDIÇÃO | 2015   |

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DIEGO ALVES MARTINS**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS AÇOS VC131 E VND PARA FABRICAÇÃO  
DE PUNÇÃO E MATRIZ UTILIZADOS EM ESTAMPAGEM DE ARRUELAS**

**Varginha**  
**2015**

**DIEGO ALVES MARTINS**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS AÇOS VC131 E VND PARA FABRICAÇÃO  
DE PUNÇÃO E MATRIZ UTILIZADOS EM ESTAMPAGEM DE ARRUELAS**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG como pré-requisito para obtenção de grau de Engenheiro Mecânico, sob orientação do Prof. Esp. Fabiano Farias de Oliveira.

**Varginha  
2015**

**DIEGO ALVES MARTINS**

**PRENSA PARA CORTE DE ARRUELAS: estudo comparativo entre os aços VC131 e VND para fabricação de punção e matriz utilizados em estampagem de arruelas**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG como pré-requisito para obtenção de grau de Engenheiro Mecânico, pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_\_\_

---

Prof. Esp. Fabiano Farias de Oliveira

---

Carlos Alberto Castro

---

Mateus da Silva de Almeida

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado e me apoiando em minhas decisões, a minha querida Esposa Ingrid, aos meus colegas que estiveram comigo durante todos esses períodos.

**Grupo Educacional UNIS**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Jesus por ter morrido por mim e a Deus por me dar a dádiva de viver. Agradeço também a minha esposa por me ajudar nesse momento final da minha conquista e a minha família.

“O conhecimento torna a alma jovem e diminui a amargura da velhice. Colhe, pois, a sabedoria. Armazena suavidade para o amanhã.”

Leonardo da Vinci

## RESUMO

Este trabalho faz um comparativo entre os aços VC131 e VND para serem empregados em ferramentas de corte a frio por cisalhamento em prensas com o objetivo de fabricar arruelas de aço inox AISI 409, diâmetro externo de 55 milímetros, diâmetro interno de 13 milímetros, espessura de 2 milímetros e numa quantidade de dez mil peças. Para a escolha do aço ferramenta mais apropriado utiliza-se um método de seleção que aborda as características do aço a ser cortado e também das peças que serão obtidas. Também são realizados cálculos do dimensional das ferramentas afim de comprovar a viabilidade do uso desses materiais através do comparativo dos custos da matéria-prima de cada aço. Ao final desta pesquisa, é possível comprovar que ambos os materiais atendem as necessidades das ferramentas, mas a escolha do AISI 01 se mostra como a melhor opção devido ao menor valor.

**Palavras chave:** Cisalhamento. Prensas. Ferramentas de corte.



### **ABSTRACT**

*This paper makes a comparison between the AISI O1 and AISI D6 to be employed in cold cutting by shearing tools presses in order to manufacture stainless steel washers AISI 409, outer diameter 55 mm, inner diameter of 13 mm 2 mm thick, and in an amount ten thousand pieces. To choose the most appropriate tool steel is used a screening method that addresses the characteristics of the steel to be cut and also parts to be obtained. Also dimensional calculations are made of the tools in order to prove the viability of the use of these materials through the comparative costs of the raw material of each steel. At the end of this research, it is possible to prove that both materials meet the needs of the tools, but the choice of AISI O1 shown as the best option due to the lower value.*

*Keywords: Shear. Press. Cutting tools.*



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Ferramenta de corte simples. ....  | 12 |
| Figura 2: Operação de dobra. ....  | 13 |
| Figura 3: Operação de repuxo. ....   | 13 |
| Figura 4: Corte progressivo de chapas. ....  | 14 |
| Figura 5: Quadro para seleção de aços ferramentas. ....                                    | 19 |
| Figura 6: Quadro de seleção para aços ferramenta (Gerdau). ....                            | 20 |
| Figura 7: Abrasividade dos materiais. ....   | 21 |
| Figura 8: Tamanho relativo das peças. ....   | 21 |
| Figura 9: Complexidade relativa das peças. ....  | 22 |
| Figura 10: Quadro de seleção de material para matrizes de corte cisalhado em prensas. .... | 23 |
| Figura 11: Medidas mínimas para matrizes. ....   | 26 |
| Figura 12: Diagrama de largura mínima dos retalhos. ....                                   | 29 |
| Figura 13: Passo e largura da fita. ....   | 29 |
| Figura 14: Croqui das medidas básicas da matriz. ....                                      | 31 |
| Figura 15: Medidas da matriz. ....   | 32 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Dimensões mínimas para matrizes ..... | 26 |
| Tabela 2: Valores de $\alpha$ .....             | 27 |
| Tabela 3: Relação de preços. ....               | 33 |

## SUMÁRIO

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | INTRODUÇÃO .....   | 11 |
| 2   | ESTAMPAGEM E OPERAÇÕES DE CORTE.....                         | 12 |
| 2.1 | Corte progressivo.....                                       | 14 |
| 2.2 | Punções .....  | 15 |
| 2.3 | Matrizes.....  | 15 |
| 2.4 | Introdução ao problema.....                                  | 15 |
| 2.5 | Estudo de caso.....  | 15 |
| 2.6 | Materiais disponíveis.....                                   | 16 |
| 2.7 | VC131 .....  | 16 |
| 2.8 | VND .....  | 17 |
| 3   | METODOLOGIA.....   | 18 |
| 3.1 | Método de escolha do material para ferramentas .....         | 18 |
| 3.2 | Cálculo da tensão de cisalhamento para o aço AISI 409 .....  | 24 |
| 3.3 | Cálculo da força de corte .....                              | 24 |
| 3.4 | Cálculo da espessura da matriz.....                          | 25 |
| 3.5 | Cálculo das medidas mínimas da matriz.....                   | 27 |
| 3.6 | Largura mínima dos retalhos da chapa .....                   | 28 |
| 3.7 | Cálculo do passo e largura da fita.....                      | 29 |
| 3.8 | Medidas básicas da matriz de corte.....                      | 31 |
| 3.9 | Cálculo do peso da matéria-prima para matriz e punções ..... | 32 |
|     | CONCLUSÃO.....   | 35 |
|     | REFERÊNCIAS .....  | 36 |
|     | ANEXO A – VC131 .....  | 37 |
|     | ANEXO B - VND .....  | 39 |
|     | ANEXO C – Características dos aços inoxidáveis Feital .....  | 41 |

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho destaca a importância da escolha do material correto para cada aplicação na indústria mecânica, com ênfase nas operações de estampagem e principalmente na operação de corte cisalhado utilizando prensas.

Muitas vezes a opção do uso de um material com alto teor de elementos de liga se faz simplesmente pelo fato de se querer garantir um bom funcionamento do conjunto de ferramentas sem levar em consideração os custos que essa escolha precipitada poderá agregar ao produto final. Com o avanço dos estudos em torno da tecnologia dos materiais, cresce cada vez mais o número de opções disponíveis para satisfazer cada tipo de aplicação. Por isso é preciso conhecer esses materiais, suas propriedades e finalidades.

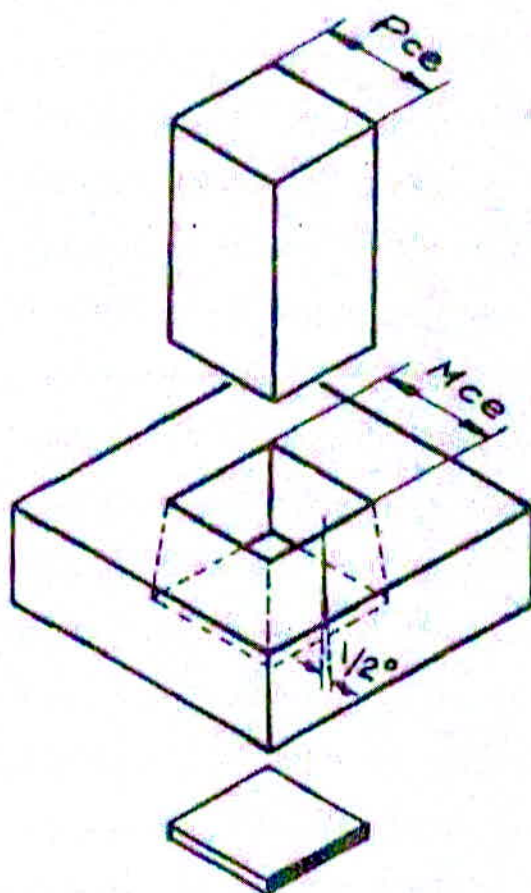
Para chegar até a decisão de qual aço ferramenta usar para a fabricação de punções e matriz de corte para a fabricação de arruelas entre VC131 e VND, este trabalho compara as propriedades dos materiais, as características dessa operação de corte em específico e os custos das matérias-primas.



## 2 ESTAMPAGEM E OPERAÇÕES DE CORTE

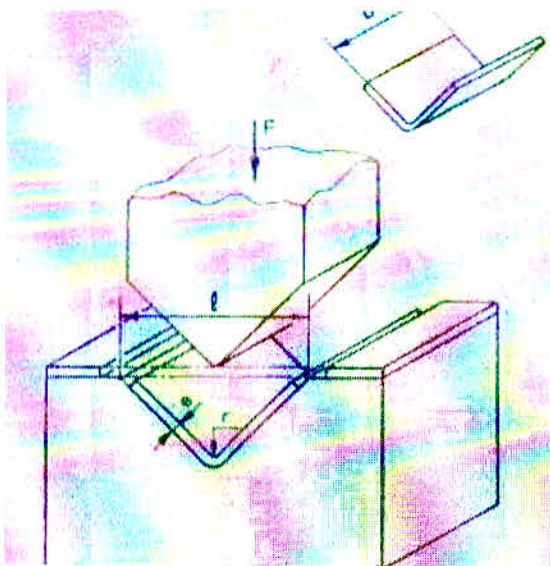
Entre os processos de produção em série, encontram-se os processos de estampagem que se dividem em três operações básicas: corte, dobra e repuxo. Em todas elas são utilizadas ferramentas ou estampos que podem ser desde o formato mais simples até o mais complexo e sofisticado dependendo da quantidade e da qualidade das peças a produzir (PROVENZA, 1993, p. 1.01).

Figura 1: Ferramenta de corte simples.



Fonte: (PROVENZA, 1993, p. 11.02).

Figura 2: Operação de dobra.



Fonte: (PROVENZA, 1993, p. 16.14).

Figura 3: Operação de repuxo.



Fonte: (PROVENZA, 1993, p. 17.01).

Neste trabalho será abordado apenas o que diz respeito a operações de corte, com ênfase nos punções e matrizes, e suas respectivas características.

Estampo de corte é uma ferramenta que em conjunto com prensas excêntricas ou hidráulicas promovem a estampagem de peças de variadas formas e na grande maioria de metal transformado em chapa (BRITO, 2004).

A operação é feita por meio de punção e matriz, em montagem de maior ou menor complexidade, mas apresentando sempre o mesmo princípio básico de funcionamento: a pressão exercida por meio do punção, força o material a passar através da matriz, provocando esta ação o cisalhamento da chapa pelo gume cortante da matriz e pelas bordas do punção. (RAUTER, 1974, p. 21).

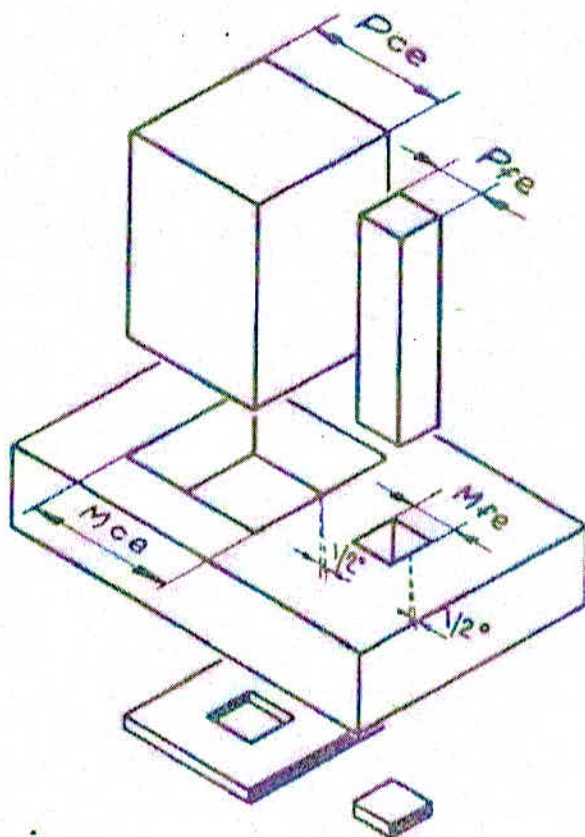
As operações de corte são geralmente feitas a frio dependendo da espessura e do tipo do material. Recorre-se ao processo a quente quando é necessário aumentar a plasticidade (PROVENZA, 1993).

## 2.1 Corte progressivo

Entende-se por corte progressivo aquele onde o produto final é obtido após algumas etapas onde a chapa avança progressivamente a medida em que as prensas completam um ciclo completo. Esse avanço a cada ciclo é chamado de passo ou 'p'.

Esse tipo de operação de corte é comumente usado quando o produto que deseja-se obter não pode ser feito através de um corte simples, como no caso de uma arruela.

Figura 4: Corte progressivo de chapas.



Fonte: (PROVENZA, 1993, p. 11.03).



## 2.2 Punções

Punções são os elementos que juntamente com a matriz, define o formato da peça ou do produto final. É a parte da ferramenta que se desloca axialmente a cada ciclo da prensa.

Segundo Provenza (1993, p. 3.01) punções de corte são “elementos fundamentais que junto com a matriz conformam a chapa plana em produtos.”

## 2.3 Matrizes

O punção e a matriz são duas das partes mais importantes do estampo, uma vez que, para obtermos o produto desejado, necessitamos de seu funcionamento em conjunto se bem que, para obter um trabalho perfeito, se torna necessário o uso de acessórios de complementação. (BRITO, 2004, p. 17)

Segundo Provenza (1993, p. 3.02) uma matriz de corte deve ser de material igual ao do punção e também é “peça impotente que juntamente com o punção, conforma o produto.”

## 2.4 Introdução ao problema

No início de um projeto para criar uma ferramenta de corte depara-se com a necessidade de escolher um material para se fabricar o punção e a matriz. Vários são os fatores que influenciam nessa escolha, entre eles o material a ser cortado, o tamanho e complexidade das peças que deseja-se obter, a quantidade de peças que devem ser fabricadas, os materiais disponíveis para a fabricação das ferramentas de corte, entre outros.

Para que este material escolhido se torne viável, é necessário que o custo final seja o mais baixo possível entre as alternativas disponíveis.

Segundo Rauter (1974, p. 11) “várias podem ser as causas do fracasso de uma ferramenta em serviço, mas dentre elas avulta com mais frequência, a par com os defeitos de projeto e de operação, a escolha inadequada da sua matéria-prima.”

## 2.5 Estudo de caso

Para exemplificar a dificuldade na escolha de um aço ferramenta para a fabricação de uma matriz, será analisada a situação de um pedido de um lote de arruelas com as seguintes características:

Material – aço inoxidável AISI 409;

Diâmetro externo – 55mm;  
Diâmetro interno – 13mm;  
Espessura – 2mm;  
Quantidade de peças – 10000.

Para atender as exigências do solicitante, será necessário a fabricação de um conjunto de ferramentas de corte específicas para este produto.

## 2.6 Materiais disponíveis

Partindo do princípio que as operações de corte são realizadas a frio, será adotado a escolha de dois aços que se adequam nessa categoria.

Segundo Chiaverini (1986, p. 221) “Aços indeformáveis ou para trabalho a frio são, dentre os tipos de aço para ferramentas e matrizes, os menos suscetíveis a alterações de forma e dimensões durante o tratamento térmico, motivo pelo qual são chamados ‘indeformáveis’.”

Dentre os aços para trabalho a frio, segundo as classificações *American Iron and Steel Institute* (AISI) e *Society of Automotive Engineers* (SAE) estão os das categorias “O” quando de baixa liga e temperáveis em óleo, “A” quando de média liga e temperadas ao ar e “D” quando de alta liga e temperáveis em óleo ou ar (CHIAVERINI, 1986).

Os aços escolhidos para desenvolver este trabalho foram o AISI D6 e o AISI O1, que quando fabricados pela Villares Metals recebem os respectivos nomes de VC131 e VND.

Um dos fatores importantes para determinar a escolha do material que será utilizado, é a dureza que deseja-se alcançar ao final dos tratamentos térmicos aos quais eles serão submetidos.

Segundo Provenza (1993, p. 3.03) “A dureza dos punções e das matrizes depende dos esforços que estarão submetidos.”

Na situação proposta serão cortadas chapas na espessura de 2mm, sendo indicado uma dureza de 52 à 54 Rockwell C (HRC) (Provenza, 1993).

Após o revenimento o VC131 é capaz de alcançar durezas entre 45 e 65 HRC enquanto o VND atinge durezas entre 47 e 62 HRC (VILLARES, 2015).

## 2.7 VC131

Quando fabricado pela empresa Villares Metals o AISI D6 recebe o nome comercial de VC131 que é popularmente usado entre os profissionais da área de mecânica.



Segundo Chiaverni (1986, p. 222) “Os aços designados por “D” são os demais altos carbono e cromo: 1,00 a 2,25% para carbono e 12,00% para o cromo, além de 1,0% de molibdênio e, eventualmente, 3,0% de cobalto e 1,0% de tungstênio.”

O produto oferecido pela Villares Metals apresenta em sua composição química 2,1% de carbono, 11,5% de cromo, 0,7% de tungstênio e 0,15% de vanádio. Considerando sua composição química podemos enquadrá-lo entre os aços da série “D”. Essa mistura de elementos faz com que este aço apresente baixíssimas alterações dimensionais após a têmpera, altíssima resistência ao desgaste e consequentemente baixa resistência a choques.

Segundo Chiaverini (1986, p. 222) “[...] suas aplicações são, entre outras: matrizes de conformação e corte para grandes séries, matrizes para laminação de roscas, moldes para tijolos, revestimentos resistentes à abrasão, calibres etc.”

## 2.8 VND

Quando fabricado pela empresa Villares Metals o AISI O1 recebe o nome comercial de VND.

Segundo Chiaverini (1986, p.221) “Os aços designados por “O”, conforme o tipo, possuem carbono de 0,90% a 1,20%, Mn de 0,25 a 1,60%, Si igual a 0,25%, Cr de 0 a 0,75%, W de 0 a 1,75% e, opcionalmente, 0,25 de Mo.”

O VND é composto quimicamente por 0,95% de carbono, 1,25% de manganês, 0,50% de cromo, 0,50% de tungstênio e 0,12% de vanádio.

Segundo Chiaverini (1986, p.221) os aços da série “O”, “Apresentam temperabilidade média, regular tenacidade, boa resistência ao desgaste, boa usinabilidade e pequena resistência ao amolecimento pelo calor.

Segundo Chiaverini (1986, p.221) “Entre as aplicações mais significativas citam-se matrizes de conformação a frio para pequenas séries, matrizes de corte, calibres e algumas ferramentas de usinagem que não geram, durante o serviço, altas temperaturas.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Método de escolha do material para ferramentas

A escolha inadequada de um material para a fabricação de uma ferramenta, assim como em qualquer outra escolha de materiais, pode causar problemas durante a produção que certamente irão resultar em refugo e custos indesejáveis para as empresas. Estes custos, irão encarecer o produto final e torná-lo inviável para o consumidor.

Afim de evitar este tipo de problema, é necessária uma criteriosa avaliação dos materiais e das características que espera-se que eles atendam. No caso de ferramentas para corte a frio, as principais características são indeformabilidade na têmpera, resistência a choques mecânicos, resistência à abrasão, e uma boa resposta aos tratamentos térmicos (RAUTER, 1974).

A indeformabilidade na têmpera é desejável devido a esbeltez dos punções e necessidade de precisão no alinhamento entre os punções e a matriz.

A resistência ao choque também é importante, porque as ferramentas serão submetidas a grandes cargas e de forma brusca.

Quando o número de operações realizadas pelas ferramentas for relativamente grande, a resistência à abrasão é necessária para que o desgaste não torne as ferramentas inutilizáveis e tenha-se que fazer a substituição das mesmas.

Quanto a uma boa resposta aos tratamentos térmicos, será importante para que os materiais alcancem a dureza esperada além de diminuir a possibilidade de ocorrência de trincas e empenos durante a têmpera.

De modo geral, as empresas fornecedoras de aços pra ferramentas adotam métodos de seleção que abrangem apenas uma limitada gama de materiais apesar da enorme quantidade de aços existentes. Nessas classificações são abordados critérios de escolha como resistência ao choque, resistência à abrasão, profundidade da têmpera, custo etc.

Como nos exemplos a seguir:

Figura 5: Quadro para seleção de aços ferramentas.

Decrescem: resistência ao choque e usinabilidade  
 Crescem: profundidade de têmpera, custo, indeformabilidade na têmpera,  
 resistência ao amolecimento pelo calor

|  | Deformação normal, trabalho a frio | Baixa deformação, trabalho a frio | Baixa deformação, trabalho a quente |
|--|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
|  | Coluna 1                           | Coluna 2                          | Coluna 3                            |
| Ferramentas de alta abrasividade<br><br>Fila 1           | F2<br>W1,W2<br>(1,1 a 1,3% C)      | D2<br>D3<br>D6                    | M3<br>T5<br>T8                      |
| Ferramentas de média abrasividade<br><br>Fila 2          | W1,W2<br>(1,0 a 1,1% C)            | A2<br>O7                          | M1<br>M2<br>T1                      |
| Ferramentas de baixa abrasividade<br><br>Fila 3          | W1,W2<br>(0,8 a 1,0% C)            | O1<br>O2<br>L6                    | H21                                 |
| Ferramentas resistentes a esforços bruscos<br><br>Fila 4 | S1                                 | S5                                | H11<br>H12<br>H13                   |

Resistência à abrasão cresce  
 Resistência ao choque decresce

Fonte: (RAUTER, 1974, p. 16).



Figura 6: Quadro de seleção para aços ferramenta (Gerdaul).

| COLUNA |   | TRABALHO A FRIO                          |  | TRAB. QUENTE   |
|--------|---|--|--|--|
|        |   | DEFORMAÇÃO NA TEMPERA E FATOR SECUNDÁRIO | DEFORMAÇÃO NA TEMPERA E FATOR IMPORTANTE                 | RESISTÊNCIA À TEMPERATURA E DEFORMAÇÃO NA TEMPERA É FATOR IMPORTANTE |
| LINHA  | FERRAMENTA DE MÁXIMA RESISTÊNCIA À ABRASÃO            | W1.13<br>GERDAU 2516                     | GERDAU - D3<br>GERDAU - D6<br>GERDAU - D2<br>GERDAU - A2 | D3<br>D6   |
|        | FERRAMENTA DE CORTE GERAL MÉDIA RESISTÊNCIA À ABRASÃO | GERDAU 2067<br>GERDAU W1.10              | GERDAU 01<br>GERDAU 2714<br>GERDAU 2721                  | D2   |
|        | MATRIZES EM GERAL BAIXA RESIST. À ABRASÃO             | GERDAU W1.10                             | GERDAU 01<br>GERDAU 2714<br>GERDAU 2421                  | SÉRIE AISI<br>H20<br>a<br>H26<br>GERDAU H20                          |
|        | FERRAMENTAS RESISTENTES AO CHOQUE                     | GERDAU S1                                | GERDAU S1  | 2345<br>GERDAU H12<br>GERDAU H13                                     |

RESISTÊNCIA À ABRASÃO CRESCE  
RESISTÊNCIA AO CHOQUE DECRESCER

DECRESCEM: Resistência ao choque e deformação na temperatura  
CRESCEM: Temperabilidade, custos resistência ao amolecimento devido ao calor

Fonte: (GERDAU, 2003, p.29).

Os quadros apresentados são utilizados para ferramentas de um modo geral, o que deixa a desejar quando é necessário a escolha de um aço ferramenta para operações de corte, pois não leva em consideração fatores de grande importância como o número de peças a serem fabricadas ou o formato dessas peças.

Para uma melhor precisão na escolha desse material pode-se adotar um método de escolha mais complexo. Nesse método a entrada de todos os fatores envolvidos com relação ao produto leva ao uso de um material mais apropriado para cada situação.

O primeiro fator destacado deve ser a abrasividade característica do material a ser cortado, para isto, pode-se recorrer ao uso de uma tabela que classifica em famílias os grupos de materiais comumente submetidos a corte cisalhado em prensas (RAUTER, 1974).

Figura 7: Abrasividade dos materiais.

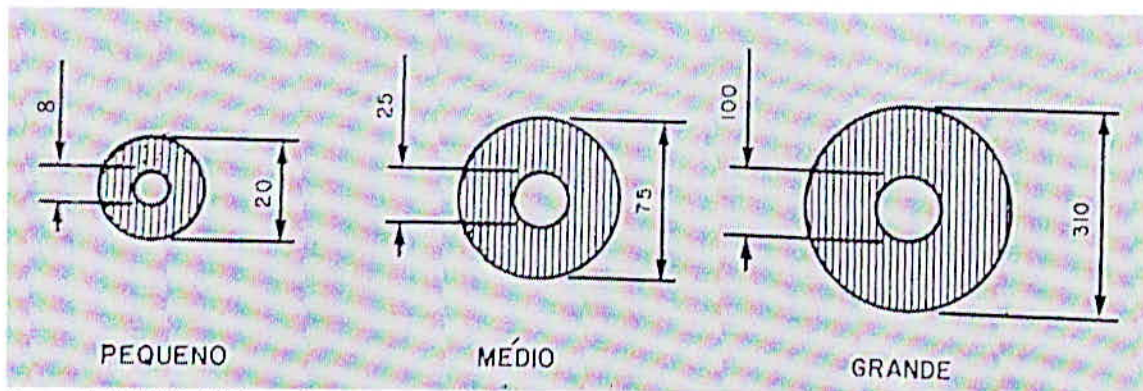
| FAMÍLIA | MATERIAL   |
|---------|--|
| A       | Ligas de alumínio, cobre, magnésio, zinco, estanho, chumbo e metais nobres.  |
| B1      | Aços ao carbono e ligados, até 0,30% de carbono. Aços inoxidáveis ferríticos.  |
| B2      | Aços ao carbono e ligados, acima de 0,30% de carbono e até 0,70% de carbono. Liga de alumínio 2024-T4. Bronze fosforoso tipos A e C, nos graus de encruamento "mola" e "extramol". Aço inoxidável tipo 420, recozido. Metal monel encruado, e K-monel, recozido. |
| C1      | Aço inoxidável austenítico, até 1/4 duro. Munmetal, recozido. Aço inoxidável 17-7 PH, recozido.  |
| C2      | Aço inoxidável austenítico, acima de 1/4 duro. Aços austeníticos tipo 410, tratados termicamente.  |
| D       | Aços para molas, temperados, com dureza máxima de 52 Rockwell C, liga cobre-berílio, meio-dura. Aço inoxidável 17-7 PH, temperado.   |
| E       | Chapas para transformadores.   |
| F       | Papéis, juntas e outros materiais mais moles.  |
| G       | Chapas plásticas não reforçadas.   |
| H       | Chapas plásticas reforçadas.   |

Fonte: (RAUTER, 1974, p.22).

A peça final obtida através do corte por cisalhamento em prensas, também chamada de godê ou blanque, pode apresentar inúmeros tamanhos e formas. O que torna cada situação de corte única.

Desta forma, é preciso avaliar também estes fatores. Para auxiliar nessa avaliação, são tomados como referência alguns modelos.

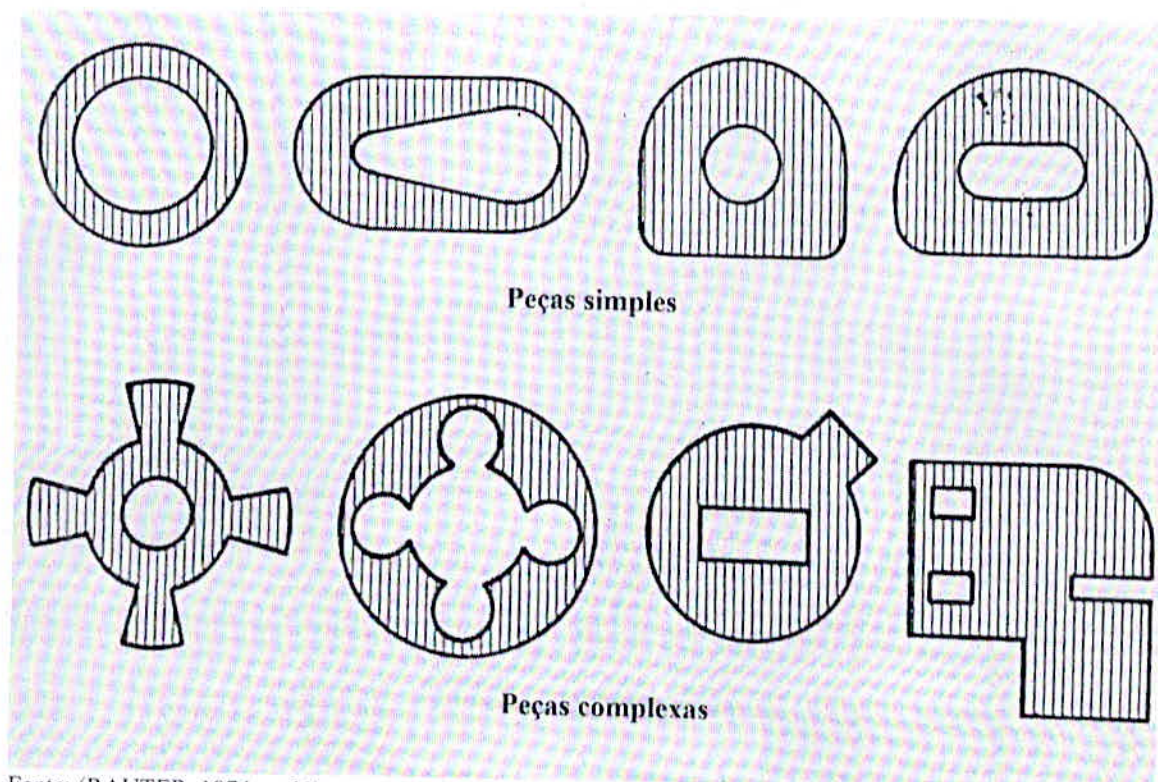
Figura 8: Tamanho relativo das peças.



Fonte: (RAUTER, 1974, p. 23).



Figura 9: Complexidade relativa das peças.



Fonte: (RAUTER, 1974, p. 23).

Por fim, a espessura da chapa a ser cortada e a quantidade de peças que deseja-se obter, completam as informações necessárias.

No caso das arruelas de aço AISI 409 que é um aço inoxidável ferrítico, este material se enquadra na família B1 conforme o quadro de abrasividade dos materiais (figura 7). O blanche das arruelas que serão produzidas é de tamanho médio se comparado com as referências dos blanques relativos (figura 8), e quanto a sua forma pode ser considerado simples, já que não possui nenhum tipo de aresta ou canto vivo. Além disso, o número de peças a ser obtido é de 10000 unidades.

Com todos esses dados em mãos, é possível fazer o uso da tabela a seguir:



Figura 10: Quadro de seleção de material para matrizes de corte cisalhado em prensas.

| Material a cortar | Tamanho relativo do blankue | Quantidade de peças a cortar |                |            |               |               |                |               |                |                        |        |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|------------------------|--------|
|                   |                             | Até 1.000                    |                | Até 10.000 |               | Até 100.000   |                | Até 1.000.000 |                | Até 10.000.000 ou mais |        |
|                   |                             | simples                      | compl.         | simples    | compl.        | simples       | compl.         | simples       | compl.         | simples                | compl. |
| A                 | P                           | AC, W1                       | A2, O1         | W1, O1     | A2, O1        | O1, A2        | O1, A2         | D2            | D2             | Carb.                  | Carb.  |
|                   | M                           | O1, A2                       | O1, A2         | O1, A2     | O1, A2        | O1, A2        | O1, A2         | D2            | A2, D2         | Carb.                  | Carb.  |
|                   | G                           | 4140                         | A2             | 4140, A2   | A2            | A2            | A2, D2         | A2, D2        | A2, D2         | Carb.                  | Carb.  |
| B                 | P                           | AC, W1                       | (1)<br>A2, O1  | W1, O1     | (1)<br>A2, O1 | O1, A2        | (2)<br>A2, O1  | D2            | D2             | Carb.                  | Carb.  |
|                   | M                           | O1, A2                       | O1, A2         | O1, A2     | O1, A2        | O1, A2        | O1, A2         | D2            | A2, D2         | Carb.                  | Carb.  |
|                   | G                           | 4140                         | A2             | 4140, A2   | A2            | A2            | A2, D2         | A2, D2        | A2, D2         | Carb.                  | Carb.  |
| C                 | P                           | W1                           | (3)<br>A2, O1  | W1, A2     | (4)<br>A2, D2 | A2, D2        | (5)<br>A2, D2  | (6)<br>D3, D6 | (6)<br>D2, D3  | Carb.                  | Carb.  |
|                   | M                           | O1, A2                       | A2             | O1, A2     | A2, D2        | A2, D2        | A2, D2         | D3, D6        | D2, D6         | Carb.                  | Carb.  |
|                   | G                           | A2                           | A2             | A2, D2     | (7)<br>A2, D2 | D2            | (7)<br>A2, D2  | D2, D3        | D2, D3         | Carb.                  | Carb.  |
| D                 | P                           | A2                           | A2             | A2, D2     | A2, D2        | D2            | D2, D4         | D3, D6        | D3, D6         | Carb.                  | Carb.  |
|                   | M                           | A2                           | A2             | A2, D2     | A2, D2        | D2            | D2, D4         | D3, D6        | D2, D3         | Carb.                  | Carb.  |
|                   | G                           | A2                           | A2             | A2, D2     | A2, D2        | D2            | D2             | D2, D3        | D2, D3         | Carb.                  | Carb.  |
| E                 | P                           | W1, A2                       | A2             | W1, A2     | A2, D2        | A2, D2        | A2, D2         | D3, D6        | D3, D6         | Carb.                  | Carb.  |
|                   | M                           | A2                           | A2             | A2, D2     | A2, D2        | A2, D2        | D2, D3         | D3, D6        | D2, D3         | Carb.                  | Carb.  |
|                   | G                           | A2                           | A2             | A2, D2     | A2, D2        | A2, D2        | D2             | D2, D3        | D2, D3         | Carb.                  | Carb.  |
| F                 | P                           | (8)<br>W1                    | (8)<br>W1      | (9)<br>W1  | (8)<br>W1     | (9)<br>W1, A2 | (10)<br>W1, A2 | (9)<br>W1, A2 | (10)<br>W1, A2 | D2                     | D2     |
|                   | M                           | (8)<br>W1                    | (8)<br>W1      | (8)<br>W1  | (8)<br>W1     | (9)<br>W1, A2 | (11)<br>W1, A2 | (9)<br>W1, A2 | (11)<br>W1, A2 | D2                     | D2     |
|                   | G                           | 4140                         | (8)<br>W1      | 4140       | (8)<br>W1     | A2            | (12)<br>W1     | A2            | W1, A2         | D2                     | D2     |
| G                 | P                           | AC, W1                       | O1, A2         | W1, O1     | O1, A2        | O1, A2        | A2             | D2            | A2, D2         | Carb.                  | Carb.  |
|                   | M                           | O1                           | O1             | O1         | O1            | O1, A2        | A2             | D2            | A2, D2         | Carb.                  | Carb.  |
|                   | G                           | 4140                         | A2             | 4140, A2   | A2            | A2            | A2             | D2            | A2, D2         | Carb.                  | Carb.  |
| H                 | P                           | (13)(14)<br>O1, A2           | (14)<br>A2, D4 | A2         | (14)<br>A2    | (14)<br>A2    | (14)<br>D2     | (14)<br>D2    | D4             | Carb.                  | Carb.  |
|                   | M                           | (13)<br>O1, A2               | (14)<br>O1     | (14)<br>A2 | (14)<br>A2    | (14)<br>A2    | (14)<br>A2     | (14)<br>D2    | (14)<br>D2     | Carb.                  | Carb.  |
|                   | G                           | (14)<br>A2                   | (14)<br>A2     | (14)<br>A2 | (14)<br>A2    | (14)<br>D2    | (14)<br>D2     | (14)<br>D2    | (11)<br>D2     | Carb.                  | Carb.  |

Fonte: (RAUTER, 1974, p. 27).

Cruzando-se as informações no quadro de seleção, é possível observar que a opção do aço O1 ou VND atende, mesmo em condições mais severas, as necessidades da operação de corte em questão.

O uso do aço D6 ou VC131 só será necessário quando a abrasividade do material a ser cortado aumentar ou o número de peças produzidas for maior.



### 3.2 Cálculo da tensão de cisalhamento para o aço AISI 409

A tensão de cisalhamento é proporcional ao limite de resistência (LR).

Segundo Mesquita; Rugani (1997, p. 12) “[...] a tensão para qual ocorre a ruptura é chamada de tensão de cisalhamento. Esta tensão é cerca de 65 a 70% do LR para os aços inox e de 55 a 60% para os aços carbono.”

$$\sigma_c = 0,7 \times Lr$$

Onde:

$\sigma_c$ : Tensão de cisalhamento [Mpa]

Lr: Limite de resistência do material [Mpa]

$$\sigma_c 409 = 0,7 \times 330$$

$$\sigma_{c409} = 231 \text{ Mpa}$$

$$231 \text{ Mpa} = 23,55 \text{ kgf/mm}^2$$

Para chapas de aço com tensão de cisalhamento menor ou igual a 40 kgf/mm<sup>2</sup> o diâmetro mínimo do punção poderá ser qualquer medida maior ou igual do que a própria espessura da chapa (PROVENZA, 1993). Sendo assim, o diâmetro do punção poderá ter qualquer medida acima de 2mm.

### 3.3 Cálculo da força de corte

$$F_c \geq p \times e \times \sigma_c$$

Onde:

$F_c$ : Força de corte [kgf]

$p$ : Perímetro da peça a ser cortada [mm]

$e$ : Espessura da chapa [mm]

$\sigma_c$ : Tensão resistente de cisalhamento ou corte [kgf/mm<sup>2</sup>]

$$F_c \geq [(2 \times \pi \times 6,5) + (2 \times \pi \times 27,5)] \times 2 \times 23,55$$

$$F_c \geq 10061,89 \text{ kgf}$$

Adotando um fator de segurança de 1,5 para garantir que o punção consiga cisalhar a chapa de aço inox teremos uma nova força de corte.

$$F_c = 10061,89 \times 1,5$$

$$F_c = 15000 \text{ kgf}$$

### 3.4 Cálculo da espessura da matriz

Segundo Provenza (1993, p. 4.51) “A força proveniente do punção se distribui ao longo dos gumes de corte da matriz de forma tal que se esta não tiver espessura suficiente, acabará estourando.”

$$E \geq \sqrt[3]{F_c - 3}$$

Onde:

$E$ : Espessura [cm]

Fc: Força de corte [ton]

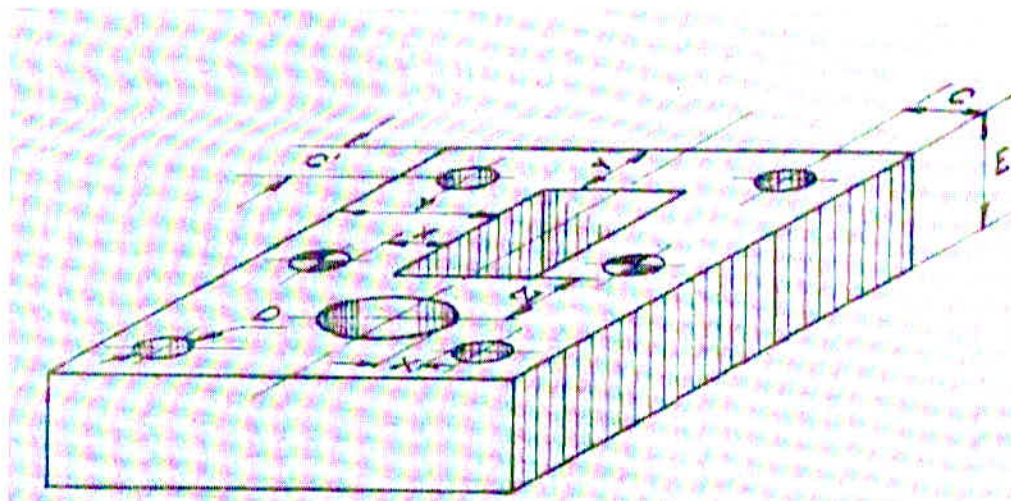
$$E \geq \sqrt[3]{15 - 3}$$

$$E \geq \sqrt[3]{12}$$

$$E \geq 2,29 \text{ cm}$$

Será adotada a espessura de 23mm. Além da espessura, outras medidas mínimas devem ser adotadas para evitar a quebra da matriz durante as operações de corte. Para isso, serão usados os cálculos conforme tabela a seguir:

Figura 11: Medidas mínimas para matrizes.



Fonte: (PROVENZA, 1993, p. 4.51).

Tabela 1: Dimensões mínimas para matrizes

|       |                                      |         |         |         |  |         |         |
|-------|--------------------------------------|---------|---------|---------|--|---------|---------|
| F ton | 10                                   | 15      | 20      | 30      | 50   | 90      | 120     |
| E mm  | 16                                   | 16      | 22      | 28      | 34   | 40      | 46      |
| C mm  | 9 a 10                               | 12 a 13 | 14 a 15 | 17 a 18 | 21 a 23  | 29 a 30 | 34 a 35 |
| C' mm | 11 a 12                              | 14 a 15 | 17 a 18 | 21 a 22 | 26 a 27  | 36 a 37 | 41 a 42 |
| Y mm  | 1,2 a 3 × E para matrizes pequenas   |         |         |         | OBS.: Para matrizes inteiriças ou encaixadas podemos tomar 0,8 E |         |         |
|       | 2 a 3 × E para matrizes grandes      |         |         |         |  |         |         |
| Z mm  | α × e (e = espessura da chapa em mm) |         |         |         |  |         |         |

Fonte: (PROVENZA, 1993, p. 4.51).

### 3.5 Cálculo das medidas mínimas da matriz

Para a força de corte de 15 toneladas  $C = 13\text{mm}$ .

Para a força de corte de 15 toneladas  $C' = 15\text{mm}$

Para matrizes pequenas  $Y = 1,3 \times E \rightarrow Y = 1,3 \times 23 = 30\text{mm}$

$$Z = \alpha \times e$$

Onde os valores de  $\alpha$  são encontrados na tabela a seguir:

Tabela 2: Valores de  $\alpha$

| p \ e | 0,2 – 0,5 | 0,8 – 1 | 1,2 – 1,5 | 1,8 – 2,5 | 2,8 – 3,5 |
|-------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 16    | 4 – 10    | 0,2 – 3 | 1,7 – 2   | 1,2 – 1,5 | 0,8 – 1   |
| 30    | 5 – 13    | 3 – 4   | 2 – 3     | 1,5 – 1,8 | 1,4 – 1,5 |
| 60    | 6 – 15    | 4 – 5   | 3 – 3,5   | 2,2 – 2,6 | 1,8 – 2   |
| 100   | 8 – 20    | 5 – 6   | 4 – 4,2   | 3 – 3,5   | 2 – 2,5   |
| 150   | 10 – 25   | 6 – 7   | 4,5 – 5   | 3,2 – 4   | 2,8 – 3   |
| 200   | 15 – 30   | 7 – 8   | 5 – 6     | 3,8 – 5   | 3,5 – 4   |
| 300   | 15 – 35   | 7,5 – 9 | 5,5 – 6,5 | 5 – 6,2   | 4 – 4,6   |

Fonte: (PROVENZA, 1993, p. 4.52).

Onde:

p: Perímetro de corte [mm]

e: Espessura da chapa [mm]

$$p = (2 \times \pi \times 27,5) + (2 \times \pi \times 6,5)$$

$$p = 213,6 \text{ mm}$$



Para espessura de 2mm e perímetro de 213,6 mm teremos  $\alpha = 6$ .

$$Z = 6 \times 2$$

$$Z = 12 \text{ mm}$$

Portanto:

$$E = 23\text{mm}$$

$$C = 13\text{mm}$$

$$C' = 15\text{mm}$$

$$Y = 30 \text{ mm}$$

$$Z = 12 \text{ mm}$$

### 3.6 Largura mínima dos retalhos da chapa

Seja qual for a disposição, para se ter um bom produto e um bom funcionamento, é necessário que a separação entre uma peça e outra, assim como a largura da sobra lateral, obedeça à condição:

$$x \cong t \geq e$$

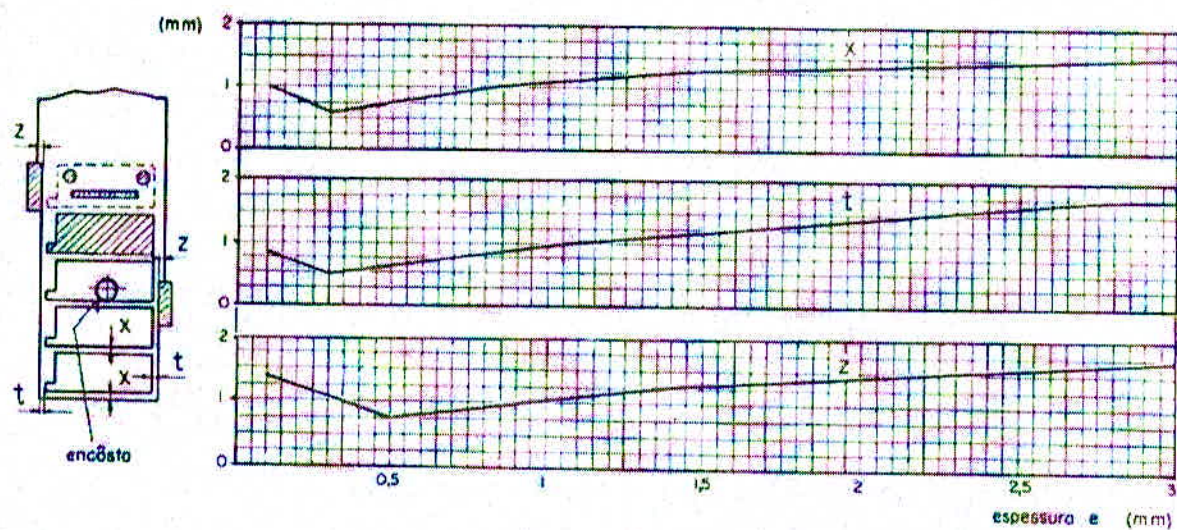
Isto é necessário para que a tira de sobra seja rígida.

Não observando a condição acima, pode acontecer que a sobra ceda ao arrasto do punção provocando interferência e suas inevitáveis consequências, produto incompleto ou mal acabado, engripamento ou ruptura da própria ferramenta... (PROVENZA, 1993, p. 3.01)

De acordo com o diagrama, a distância mínima da lateral do retalho “t” e a distância mínima entre os furos do retalho “x” para a espessura de 2mm deve ser de aproximadamente 1,5mm. Contudo, para garantir o melhor funcionamento da ferramenta de corte, será adotada uma distância “x” e “t” de 2mm.



Figura 12: Diagrama de largura mínima dos retalhos.



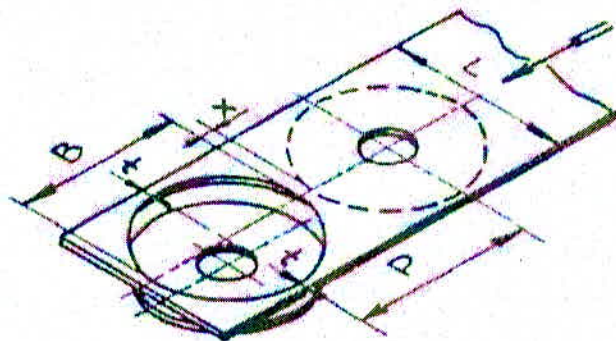
Fonte: (PROVENZA, 1993, p. 3.01)

### 3.7 Cálculo do passo e largura da fita

Figura 13: Passo e largura da fita.

$$L = A + 2t$$

$$p = B + x$$



Fonte: (PROVENZA, 1993, p. 4.01)

Onde:

L: Largura da fita [mm]

A = B: Diâmetro do furo externo [mm]

t: Distância da lateral do retalho [mm]

p: Passo [mm]

x: Distância entre os furos do retalho [mm]

$$L = 55 + (2 \times 2)$$

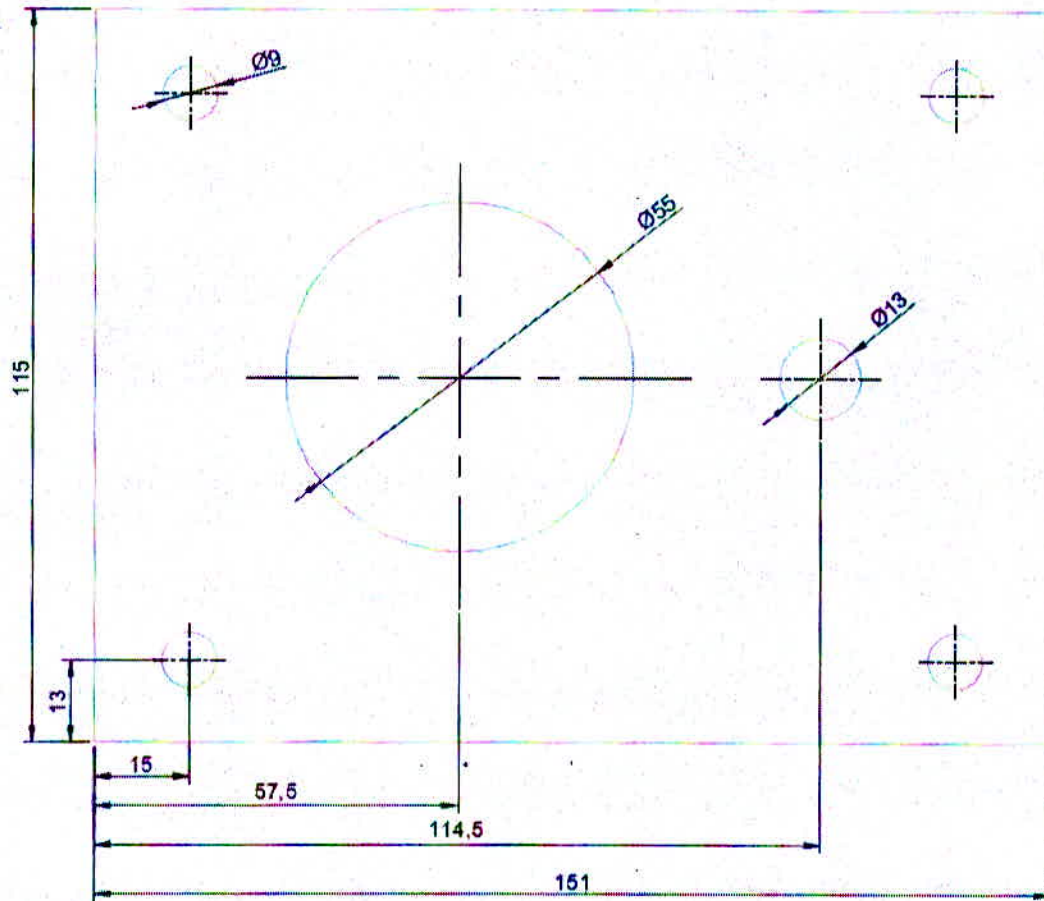
$$L = 59\text{mm}$$

$$p = 55 + 2$$

$$p = 57\text{mm}$$

### 3.8 Medidas básicas da matriz de corte

Figura 14: Croqui das medidas básicas da matriz.

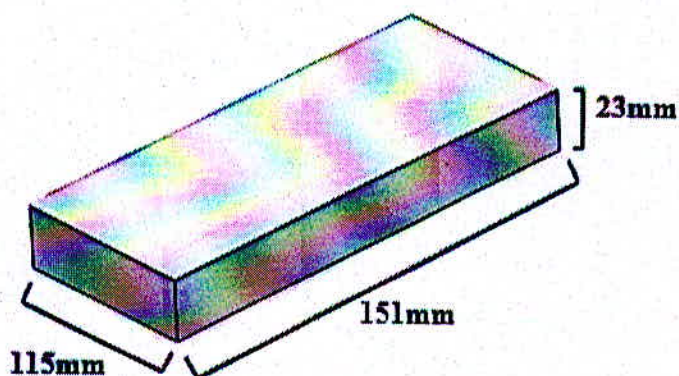


Fonte: O autor.

Para fixação da matriz serão utilizados quatro parafusos M8.

### 3.9 Cálculo do peso da matéria-prima para matriz e punções

Figura 15: Medidas da matriz.



Fonte: O autor.

Para matriz retangular:

$$P = V \times \gamma$$

Onde:

P: Peso [kg]

V: Volume [m<sup>3</sup>]

$\gamma$ : Peso específico do aço [kg/m<sup>3</sup>]

$$P = (0,151 \times 0,115 \times 0,023) \times 7850$$

$$P = 3,135 \text{ kg}$$

Para punção cilíndrico:

$$P = \left( \frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times L \times \gamma$$



Onde:

P: Peso [kg]

D: Diâmetro [m]

L: Comprimento do punção [m]

$\gamma$ : Peso específico do aço [kg/m<sup>3</sup>]

$$P_{1''} = \left( \frac{\pi \times 0,0254^2}{4} \right) \times 0,1 \times 7850$$

$$P_{1''} = 0,398\text{kg}$$

$$P_{2 \frac{1}{2}''} = \left( \frac{\pi \times 0,0635^2}{4} \right) \times 0,1 \times 7850$$

$$P_{2 \frac{1}{2}''} = 2,486\text{kg}$$

Foi verificado que o peso da matéria-prima para fabricação da matriz retangular será de 3,2kg e a soma dos punções será de 2,9kg. Esta separação entre o peso da matriz e dos punções é necessário porque o material é vendido de duas maneiras diferentes, os blocos retangulares e barras circulares.

Foi realizado uma cotação dos preços dos aços VC131 e VND, chegando a uma média de preço de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 3: Relação de preços.

|                  | VC131          | VND           |
|------------------|----------------|---------------|
| Bloco retangular | R\$ 11,00 / kg | R\$ 8,00 / kg |
| Barra cilíndrica | R\$ 17,00 / kg | R\$ 13,00 kg  |

Fonte: O autor.

$$VC131 = (3,2 \times 11,00) + (2,9 \times 17,00) = R\$ 84,50$$

$$VND = (3,2 \times 8,00) + (2,9 \times 13,00) = R\$ 63,30$$

A diferença de preço entre o VC131 e o VND será de R\$ 21,20, o que representa uma economia de 25% se o VND for adotado como matéria-prima para a fabricação das ferramentas de corte.

## CONCLUSÃO

De uma maneira geral, é possível concluir que o estudo de cada situação para a escolha de uma ferramenta de estampagem é de grande importância e se faz necessário afim de evitar precipitações e inevitáveis prejuízos para as empresas.

Nem sempre a opção por um aço considerado mais nobre será a alternativa mais acertada, já que o custo de um material utilizado em ferramentas cresce de acordo com a quantidade de elementos de liga presentes em sua composição química.

No comparativo realizado neste trabalho entre os aços VC131 e VND, foi apontada uma economia de 25% no custo da matéria-prima utilizada para a fabricação das ferramentas de corte. Essa economia terá um reflexo direto no custo final das arruelas.

É importante ressaltar que a economia descrita nesse trabalho pode parecer pequena, mas o mesmo método de escolha pode ser utilizado em ferramentas de grande porte tendo como economia resultados ainda mais significativos.

É papel dos engenheiros buscar o aumento da eficiência nos processos de fabricação e uma melhoria contínua, na busca de reduzir os custos e conquistar mercado em meio a uma concorrência cada vez mais acirrada entre as empresas.



## REFERÊNCIAS

- BRITO, Osmar de. **Estampos de Corte - Técnicas e Aplicações**. São Paulo: Hemus, 2004.
- PROVENZA, Francisco. **Estampos I**. São Paulo: F. Provenza, 1993.
- \_\_\_\_\_. **Estampos II**. São Paulo: F. Provenza, 1993.
- \_\_\_\_\_. **Estampos III**. São Paulo: F. Provenza, 1993.
- RAUTER, Raul Oscar. **Aços Ferramentas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1974.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica III**. 2. Ed. São Paulo: Pearson, 1986.
- VILLARES METALS. **VC131**. 2015. Disponível em:  
<<http://www.villaresmetals.com.br/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Trabalho-a-frio/VC131>>.  
Acesso em: 06 de outubro de 2015, 21:19.
- MESQUITA, Eduardo Luiz Alvares; RUGANI, Léo Lucas. **Conformação dos aços inoxidáveis**, Belo Horizonte: Acesita S.A., 1997.
- GRUPO FEITAL. **Tabela de normas em vigor**. 2015. Disponível em:  
<<http://www.feital.com.br/wp-content/uploads/feital/2012/03/bobinas-e-tiras-normas-aplicacoes.pdf>>. Acesso em: 08 de outubro de 2015, 19:35.
- GERDAU. **Manual de aços**. 2003. Disponível em:  
<[http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo\\_acos\\_gerdau.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf)>. Acesso em: 08 de outubro de 2015, 20:21.

## ANEXO A – VC131



## AÇOS PARA TRABALHO A FRIO

VC131

## Composição Química:

| C    | Cr   | W    | V    |
|------|------|------|------|
| 2,10 | 11,5 | 0,70 | 0,15 |

## Normas / Similares:

DIN X 210 CrW 12; Wnr 1.2436; AISI D6; ABNT D6; JIS G 4404-72; Tipo SDK 2.

## Cores de Identificação:

Amarelo – Verde – Amarelo

## Características gerais:

Alta estabilidade dimensional e excelente resistência ao desgaste, especialmente em condições abrasivas.

## Estado de fornecimento:

Recozido, com dureza máxima de 250HB.

## Aplicações Típicas:

Matriz de corte, facas e tesouras de alto rendimento, para cortes de chapas de aço silício e chapas de aço de até 4mm de espessura; estampos para corte de precisão na indústria de papel. Placas de revestimento de moides para tijolos e ladrilhos, ferramentas para prensagem de pós-metálicos e materiais altamente abrasivos; guias para máquinas operatrizes, régua para retificadoras; peças de desgaste de calibres, micrômetros e ferramentas em geral, que exige a máxima resistência à abrasão e retenção de corte.

## Alívio de tensões:

Deve ser realizado após usinagem e antes da têmpera. O alívio de tensões é necessário em peças com gravuras e perfis, nas quais a retirada de material tenha sido superior a 30%, a fim de minimizar as distorções durante a têmpera. O procedimento de alívio deve envolver aquecimento lento até temperaturas entre 500 e 600 °C e resfriamento em forno até a temperatura de 200 °C. Se aplicado após o trabalho, o alívio de tensões deve ser realizado em uma temperatura 50 °C inferior a temperatura do último revenimento.

## Têmpera:

O aquecimento para têmpera deve ser entre 950 e 970 °C. Recomenda-se pré-aquecer as ferramentas.

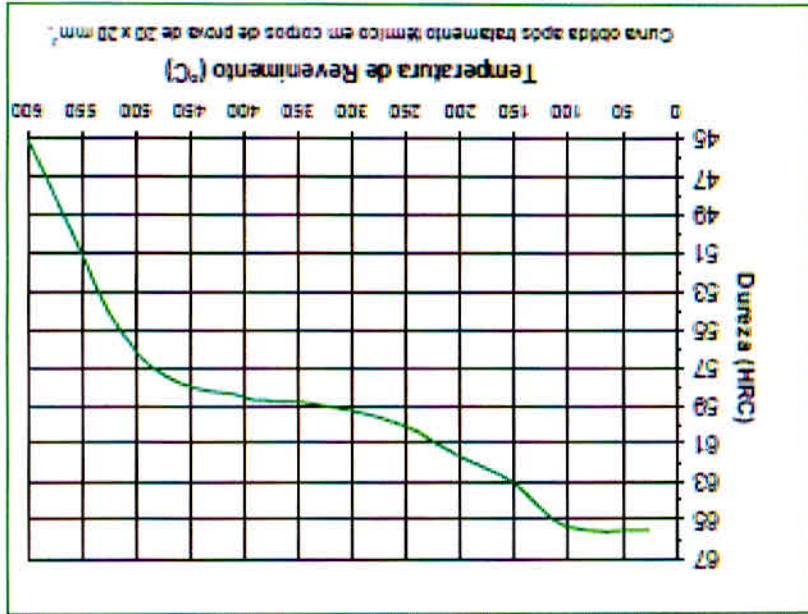
## Resfriar em:

- Óleo apropriado, com agitação e aquecido entre 40 e 70 °C.
- Banho de sal fundido, mantido entre 500 e 550 °C.
- Ar calmo.

Pode ser temperado em forno a vácuo desde que utilizadas elevadas pressões de resfriamento (acima de 5 bar). Neste caso, a penetração de têmpera está atrelada a uma correta montagem da carga e a valores limites de seções transversais.

Eletroerosão:

Quando utilizada a eletroerosão nos moldes ou matrizes tratados, recomenda-se remover a camada superficial alterada (camada branca) com reboco de grana fina. Revenir novamente a peça em uma temperatura 50 °C abaixo do último revenimento realizado.



Curva de Revenimento:

As ferramentas devem ser revenidas imediatamente após a têmpera, não logo adinjam 60 °C. Fazer, no mínimo, 2 revenimentos e entre cada revenimento as peças devem resfriar lentamente até a temperatura ambiente. Temperaturas de revenimento devem ser escolhidas conforme a dureza desejada (curva abaixo). O tempo de cada revenimento deve ser, de no mínimo, 2 horas. Para peças maiores que 70 mm, deve-se calcular o tempo em função de sua dimensão. Considerar 1 hora para cada polegada de espessura.

Revenimento:

**AÇOS PARA TRABALHO A FRIO**

**VC131**

**VILLARES METALS**



## ANEXO B - VND


**AÇOS PARA TRABALHO A FRIO**
**VND**
**Composição Química:**

| C    | Mn   | Cr   | W    | V    |
|------|------|------|------|------|
| 0,95 | 1,25 | 0,50 | 0,50 | 0,12 |

**Normas / Similares:**

ASTM A 681 tipo O1 – ABNT O1 – AISI O1 – WNr 1.2510 – DIN 100 MnCrV4

**Cores de Identificação:**

Azul – Verde

**Características gerais:**

Aço de média liga temperável em óleo e de baixa deformação. Possui alta resistência ao desgaste, aliada a boa tenacidade. No estado recozido tem boa usinabilidade.

**Estado de fornecimento:**

Recozido, com dureza máxima de 212 HB.

**Aplicações Típicas:**

Ferramentas de cortes, especialmente machos, cossinetes, brochas, punções, facas para corte de papel, ferramentas para trabalho em madeira, pinos de guta, rolos laminadores de roscas, estampos e matrizes em geral, calibres, padrões, régua.

**Alívio de Tensões:**

Após usinagem das peças e antes da têmpera, é importante para aquelas com gravuras e perfis, onde a retração de material tenha sido acima de 30 %, fazer um alívio de tensões para minimizar as deformações que possam ocorrer durante o processo de têmpera. A Temperatura de alívio deve ser entre 500 e 600 °C, o aquecimento deve ser lento, bem como o resfriamento dentro do forno até 200°C.

**Têmpera:**

O aquecimento para têmpera deve ser entre 790 e 820 °C.

Recomenda-se pré-aquecer as ferramentas.

**Resfriar em:**

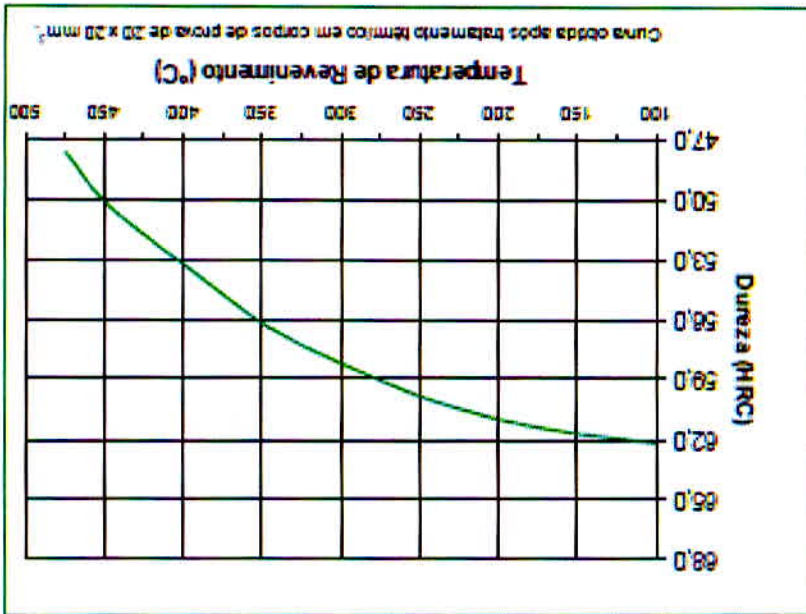
- Óleo apropriado, com agitação e aquecido entre 40 e 70 °C.
- Banho de sal fundido, mantido entre 180 e 230 °C.
- Ar calmo.

Não pode ser temperado a vácuo.

Nota: Todas as informações apresentadas são apenas orientativas. Para obter mais detalhes sobre parâmetros de processamento, consulte o manual de instruções.

Quando utilizada a eletrodo em ferramentas tratadas, recomenda-se remover a camada superficial alterada (camada branca) com rebolo de grana fina. Revenir novamente a peça em uma temperatura 50 °C abaixo do último revenimento realizado.

Eletrodo:



Curva de Revenimento:

As ferramentas devem ser revenidas imediatamente após a tempera, não logo após o resfriamento. Fazer, no mínimo, 2 revenimentos e entre cada revenimento as peças devem resfriar até a temperatura ambiente. Temperaturas de revenimento devem ser escolhidas, conforme a dureza desejada (curva abaixo). O tempo de cada revenimento deve ser, de no mínimo, 2 horas. Para peças maiores que 70 mm, deve-se calcular o tempo em função de sua dimensão. Considerar 1 hora para cada polegada de espessura.

Revenimento:

## AGOS PARA TRABALHO A FRIO

VILLARES METALS

VND



