

# CONSIDERAÇÕES SÔBRE ESTAMPAGEM PROFUNDA <sup>(1)</sup>

ELMO COUTINHO DA SILVA <sup>(2)</sup>

## RESUMO

*O Autor examina alguns dos ensaios que têm sido utilizados para caracterizar a aptidão de chapas de aço à estampagem, bem como algumas das idéias ligadas à questão. Conclui enunciando os fatores que, a seu ver, devem ser olhados em conjunto, para uma definição geral.*

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, no Brasil, e a exemplo do que vem acontecendo no mundo inteiro, o ambiente técnico siderúrgico tem revelado um apaixonado interesse pelas questões de ductilidade das chapas finas em geral. Contrariamente ao que se passa no campo da Resistência dos Materiais e sua aplicação à Engenharia, onde leis básicas bem estabelecidas, ou bem aceitas pelo menos, possibilitam um tratamento matemático conducente a resultados de provada autenticidade, no campo prático da Plasticidade impera a arte e concepção subjetiva.

O "Colóquio sôbre a conformação de chapas finas e os ensaios de chapas", realizado em Paris, em maio de 1960, reuniu técnicos de tôdas as partes do mundo; as comunicações, no seu conjunto, dão uma idéia de certo modo desorientada da questão.

Além do mais, há alguns anos seguindo o assunto, e portanto dedicando certa atenção à literatura, sentimos que seria conveniente, não só em proveito próprio, tentar uma tomada de posição, uma localização no tempo da avalanche de pontos de vista e de fatos que o cercam.

Nossas forças são talvez insuficientes, mas talvez logremos êxito em vista da nossa peculiaridade industrial. Principalmente um levantamento de bases poderá surgir, evitando a dispersão

---

(1) Contribuição Técnica n.º 482. Apresentada ao XVII Congresso Anual da ABM; Rio de Janeiro, julho de 1962.

(2) Membro da ABM e Engenheiro de Minas e Civil; do Departamento de Inspeção da CSN; Volta Redonda, RJ.

de esforços neste Brasil que cresce e quer criar a sua técnica e onde uma planificação é o melhor que se pode fazer. Trataremos sempre de chapas de aço.

1.1. *A questão* — É natural que ela se defina basicamente em função de contingências locais. Assim, nos países de vanguarda industrial, onde as usinas siderúrgicas se enquadram no panorama de desenvolvimento daquelas de transformação, o problema de base se resume em atender as primeiras, em condições econômicas competitivas, demanda a de produção em massa das segundas. (Estamos pensando no mundo capitalista). Isto no caso atual, bem entendido. Historicamente, o mais lógico é compreender que em certas épocas os siderurgistas estimularam o mercado, enquanto em outras o mercado lhes pedia que fornecessem aço para determinado uso.

Atualmente, parece-nos portanto, nestes países, o problema técnico surge da seguinte maneira: Uma forma é concebida sob imposições funcionais e estéticas. É a fase do “desenho”. Os projetistas de matrizes, valendo-se em grande parte da experiência prévia local, e procurando prever o emprêgo da chapa de melhor qualidade existente, lançam a matriz experimental. O sucesso dependerá do projetista naturalmente. A escolha da melhor chapa é essencialmente função da experiência prévia. O sucesso pode não ser imediato. A “melhor” chapa pode ser mudada, nesta fase, para outra ainda melhor, com a qual a produção será lançada.

Nestas condições, é de se esperar que, em produção, a chapa venha a se revelar de qualidade excessivamente boa, sugerindo o emprêgo de um tipo de preço inferior. Feita a tentativa, e aprovada, fica escolhido o novo tipo e o fornecedor deve manter o nível de qualidade deste tipo.

O problema do fornecedor é, portanto, este, e o de manter a qualidade e reduzir seu custo. Ora, exatamente “*manter a qualidade*” parece ser o centro de maior atração técnica, como uma decorrência lógica do esquema que traçamos, porque a chapa de qualidade “existiu” para o lançamento da peça. E é também porque encontramos boa parte da literatura dedicada a resolver este problema, essencialmente.

No Brasil a questão atual ganha outro aspecto. As indústrias principais de transformação, implantadas com técnica estrangeira, esforçam-se para se adaptar ao material existente; à medida em que vão obtendo maior ou menor sucesso é sempre o resultado de árduo trabalho de cooperação técnica. É assim que temos a satisfação de ver os clientes nossos participando muito mais de nossos problemas, do que vimos os clientes europeus fazerem em relação a seus fornecedores.

Por outro lado, entretanto, o problema já é difícil de “manter” uma qualidade, evolui freqüentemente para o de “fornecer” uma qualidade. E em ambos os casos, torna-se maior o interesse da definição de QUALIDADE, de vez que é imprescindível reconhecer que a simples tradução de especificações não corresponde à realidade.

Nas condições atuais, supondo que se pudesse importar também um método de “*medir essa qualidade*” de modo simples, estamos quase certos de que não atenderíamos satisfatoriamente o mercado, em condições economicamente aceitáveis, baseados apenas nele.

Longe de derrotismo, porém, nossa afirmação procura apenas realçar o fato positivo, igual aqui como além mar:

- Milhares de toneladas de chapas atendem mensalmente a demanda do mercado, dando milhares de formas as mais diversas. Essa produção somente é possível porque há outro fato positivo: Sabe-se produzir a qualidade desejada, em limites concordantes com um certo nível de exigência.
- Ambos os fatos são válidos no caso geral; somente no caso particular, nos detalhes, se justifica o ar um tanto indagativo de todos os trabalhos sobre o assunto.

Achamos, portanto, que a questão deve ser colocada do seguinte modo:

- É extremamente importante que os fornecedores de chapas saibam medir sua qualidade em termos inequívocos, que lhes permitam um eficiente controle do material, e em termos úteis a seus clientes. Esta apresentação sugere especificações; um primeiro passo é o exame daquilo de que já se dispõe.

## 2. ESPECIFICAÇÕES

As especificações conhecidas se ressentem da falta de autoridade, quando as comparamos àquelas, por exemplo, dos materiais estruturais, o que aliás é lógico e coerente com o que já escrevemos. Na França, Alemanha e Inglaterra pudemos sentir o caráter essencialmente evolutivo do pouco que já se tem feito.

Achamos que os esforços em andamento, de efetivação do Mercado Comum Europeu, se por um lado favorecem um exame mais amplo da questão, por outro têm minado o que havia isoladamente. Informações esparsas colhidas aqui e ali, nos deixaram a impressão de que muito tempo decorrerá ainda antes que surjam especificações atendendo ao duplo objetivo de salva-

guardar os interesses dos produtores e tranquilizar a evolução dos consumidores.

As normas ASTM de recente publicação revelam uma discreção somente aceitável como a de um primeiro passo no sentido da solução. A ASM deu sua contribuição recentemente (Supp. 1955), buscando reunir e coordenar uma série de dados práticos, e que pode ser útil, embora contorne a questão ao invés de enfrentá-la.

Voltando às especificações conhecidas, algo se depreende entretanto, quando se comparam as alemãs com as americanas do norte. Enquanto as primeiras procuram enquadrar-se na orientação das normas de materiais estruturais (isto é, não só na linha geral da apresentação, mas fundamentalmente na linha indicada pelas propriedades mecânicas medidas, primeiro pelo ensaio de tração clássico, e depois por um tipo de embutimento), os americanos parecem aguardar novos conhecimentos. São bons exemplos os pontos que transcrevemos a seguir:

DIN — 1623

2.3. *Propriedades Mecânicas* — Nos fornecimentos devem ser observados os valores da resistência à tração, limite de escoamento e alongamento, conforme a Tabela. Os valores referem-se a corpos de prova transversais. Durante a estocagem prolongada de chapas, aumenta o limite de escoamento, acompanhado pela diminuição de alongamento.

2.4. *Propriedades tecnológicas* — Para o acalmado especial (RR) a ausência de linhas de distensão deve ser garantida por 6 meses.

2.4.1. Plasticidade.

.....  
 2.4.1.3. No fornecimento serão garantidos os valores mínimos de embutimento, conforme diagrama. Durante a estocagem prolongada diminui o embutimento.

2.7. *Estrutura* — Para WU St 12; U St 12; U St 13; R St 13; U St 14 e RR St 14 a granulação média de ferrita não deve ultrapassar 0,05 mm de diâmetro para as chapas até 2 mm de espessura; para as espessuras acima de 2 mm, o diâmetro não deve ultrapassar 0,07 mm.

ASTM A-365-53 T

6) A dureza Rockwell do material não deve exceder B-55.  
 .....

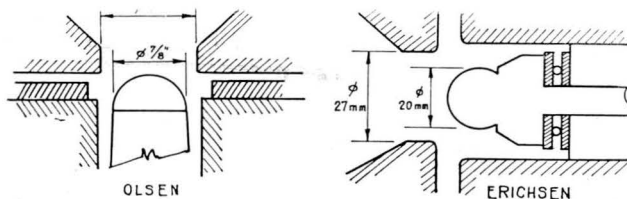
- 8) *Características de não-envelhecimento* — As chapas devem ser essencialmente livres de anomalias superficiais, tais como linhas de distensão após a estampagem e livres de alteração significativa das propriedades mecânicas durante um certo intervalo de tempo.

.....

Não perdendo de vista que as normas americanas visam a apenas uma parte do objetivo das normas alemãs, não se pode também negar a evidência de tendências radicalmente diferentes. Ambas são compreensíveis e explicáveis, mas não é sua interpretação que nos interessa no momento. Queremos apenas constatar, através delas como argumento a se juntar ao que veremos ainda, a dificuldade de uma formulação científica, universal, do problema, e portanto a grande necessidade de encetar essa formulação. É de interesse, pois, que sumariemos os principais dados conhecidos.

### 3. ENSAIOS ESPECÍFICOS, OU TECNOLÓGICOS

3.1. Inúmeros pesquisadores têm dedicado seus esforços à criação de um método de ensaio capaz de permitir a previsão da estampabilidade das chapas, seguindo a mesma idéia básica de simular uma operação de estampagem. Talvez os mais conhecidos sejam os embutimentos Olsen e Erichsen, basicamente esquematizados a seguir. Dão resultados comparáveis, em média as alturas Erichsen superando de 10% a 14% os valores Olsen, o que se pode explicar. Deve ser notado que, a rigor, a diferença essencial é a folga entre a esfera e a matriz, bem como a indicação de, no teste Erichsen clássico, existir um jôgo entre o anti-ruga e a amostra, o que teoricamente conduz a uma participação de maior área da amostra no fenômeno, que é por sua vez modificado por condições de atrito e de escoamento.



Figs. 1 e 2 — Esquemas dos ensaios de embutimento (Olsen e Erichsen).

Ambos podem, evidentemente, se ressentir bastante de variações acidentais das condições de ensaio, sendo que realmente, na prática, as técnicas variam de usina para usina. São entretanto

bastante usados, em virtude de seu baixo custo e da facilidade de execução, quando dêles não se pede mais do que a indicação que podem dar, isto é, procurando-se estabilizar ao máximo as acidentais variações em ensaios de rotina, consegue-se alguma correlação com os resultados práticos.

É interessante assinalar que as normas ASTM os condenam para materiais "*inerentemente ducteis*", o que faz supôr que a maior crítica seja a imprecisão de medida resultante do fenômeno de estricção, pois que ambos são conduzidos até início da ruptura, sem o emprêgo de um aparelho suficientemente preciso para detectá-lo.

3.2. *Ensaio KWI* — Este ensaio foi dito, no colóquio de Paris, pelos Srs. Mazet e Vauzelle, ter dado bons resultados no ensaio de chapas para suas aplicações particulares, caixas de rolamentos de esferas e de roletes. Foi criado no Instituto Max Planck, em 1929; emprega um disco perfurado no centro, sendo deformado por um punção cilíndrico dotado de uma ponta de centragem, que se ajusta ao furo; o disco é bloqueado por duas mordanças estriadas que impedem todo deslizamento.

Para-se o ensaio no momento do aparecimento da primeira trinca, medindo-se:

$a$  — A flexa do embutimento.

$b$  — O alongamento circular das fibras do furo:

$$A \% = 100 \cdot \frac{d_1 - d}{d}$$

onde  $d$  é o diâmetro original de  $d_1$  o diâmetro resultante. Diz-se que o alongamento é muito uniforme, com estricções muito limitadas nas vizinhanças das trincas, em número de 1 a 4. Êle é da ordem de 5 a 6, aquele medido no ensaio de clássico de tração.

$c$  — A carga de ruptura: Deduz-se da carga na máquina no momento de aparecimento da trinca, pela fórmula:

$$R = \frac{C}{\pi \cdot e \cdot (D + e - d)} \text{ kg/mm}^2$$

onde  $C$  é a carga;  $D$  o diâmetro do punção;  $e$  a espessura da chapa e  $d$  o diâmetro inicial do furo.

M. Brault, da Cie. des Forges Chatillon Commentry et Neuves Maisons, cita uma variante dêste ensaio, a que chama

PVI, modificando o punção para uma forma cônica na extremidade, introduzindo a medida de uma “redução relativa limite de espessura”, dela deduzindo um índice de estampabilidade.

3.3. *Punção semi-cilíndrico* (\*) — Procurando um ensaio específico para peças de carroceria, os autores trabalharam com um punção cilíndrico de cabeça cilíndrica e eixo normal ao primeiro. A idéia era complicar a forma a obter, naturalmente. Na conclusão geral, anunciam uma boa correlação entre o diâmetro crítico e o alongamento circunferencial do ensaio KWI. Ressalta, entretanto, deste trabalho, a enunciação da lei de que:

“Mais se aperfeiçoa a ferramenta no sentido de facilitar o escoamento do metal — aperfeiçoamento medido pelo aumento do diâmetro crítico, iguais às demais condições — menos se observa correlação entre os critérios clássicos e a estampabilidade da chapa”.

Creriosamente observam que a validade da lei é efetiva para uma “forma muito simples e para a qual as condições tecnológicas de ensaio podem superar a importância da própria forma”. Julgamos ser êste, afinal, o inconveniente de todos os ensaios “específicos”, os quais, noutra sentida são limitados a formas relativamente simples, pela necessidade de medida e análise matemática simples dos resultados.

3.4. *Ensaio Swift* — A partir de 1937, o Prof. H. W. Swift, da Universidade de Sheffield, vem trabalhando no sentido não só do estabelecimento de um ensaio tipo, mas num sentido mais amplo de pesquisa sobre estampagem profunda. Em 1954 um relatório conjunto de seus trabalhos foi dado à publicidade pelo Sheet Metal Working Committee, da BISRA, em forma de livro. A linha de ação foi aquela da determinação do “diâmetro crítico”, ou seja, do maior diâmetro, para um dado punção, estampado com sucesso em copo.

Também aqui resultou uma prensa Swift, de velocidade constante. Sua utilidade, entretanto, sofre praticamente as mesmas restrições que todos os ensaios tecnológicos.

Em Paris, Wilson, Moreton e Butler, da Universidade de Birmingham, apresentaram resultados de ensaios de estiramento numa prensa Swift, a qual entretanto possibilitava velocidade de até 33 m/min. O estiramento era conseguido por uma forma e pressão especiais do anti-ruga, com punção hemisférico de 2”.

(\*) Infelizmente, por um desses acidentes desconcertantes, no momento em que recorremos à bibliografia não indentificamos os apresentadores das notas agora em foco. Foram apresentados no citado colóquio e aparecerão na “Revue de Métallurgie”, se já não apareceram.

Ao mesmo tempo, Whitton e Mear, da Imperial Chemical Industries Ltd., de Birmingham, também apresentaram um estudo de correlação de ensaios Swift em três máquinas diferentes; concluem sobre a necessidade de grande controle das condições de ensaio, inclusive, e com importância da rugosidade superficial das amostras.

3.5. *Ensaio Sachs-Eksergram* — Seguindo uma linha, digamos menos simplista, antes da II Grande Guerra, Sachs e Eksergram, em trabalhos independentes, sugeriram o teste com uma matriz em forma de cunha, com uma montagem susceptível de ser adaptada às máquinas de tração usuais (fig. 4). A estampabilidade seria medida pelo comprimento da cunha que se poderia puxar através da matriz, sem ruptura, e pela carga máxima verificada durante o ensaio. Apesar do entusiasmo com que foi recebido, seus resultados se revelaram imprecisos, verificando-se que é muito sensível ao estado de superfície do material, além de que a influência de consideráveis forças de atrito nos bordos da cunha não foi bem solucionada. E além de tudo, faltava-lhe ainda, para boa “semelhança”, o dobramento combinado à contração.

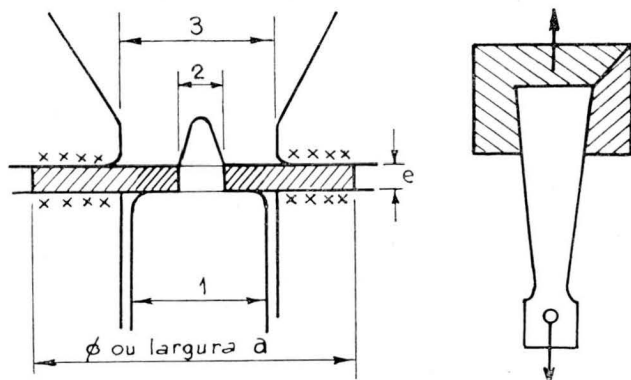


Fig. 3 — Ensaio KWI. As cotas 1, 2, 3, «a» e «e» são ajustáveis para aparelhos normal, reduzido e micro. Na figura 4, matriz em forma de cunha de Sachs-Eksergram.

3.6. *Ensaio Sachs-Eksergram-Guyot* — M. Guyot, da Forges de Chatillon Commentry et Neuves Maisons, nos fez conhecer, no Centre d'Etudes Supérieures de la Sidérurgie, um ensaio que, por suas características, resolvemos batizar com o nome triplíce (fig. 5). Ele introduziu o dobramento a 90° e melhorou as condições de atrito, suavizando-as pela combinação de rolamento e barrotos, como esquematizado. Além disto, evi-



tou a dispersão da ruptura, limitando os ensaios para um dado aço, a uma força máxima de tração arbitrária, isto é, a uma força igual a 97% daquela que produz a ruptura.

Embora discretamente o Sr. Guyot chame o seu ensaio de “contração” (rétreint), continua a aperfeiçoá-lo, e recentemente modificou-o para adaptação em uma prensa, onde obtém maiores velocidades de ensaio.

A idéia é determinar, como índice, a maior base de trapézio que se deixará puxar sem bloqueio. Infelizmente, não nos deu êle indicação de resultados de correlação prática, além de que permite permanecer êle no domínio dos tecnológicos.

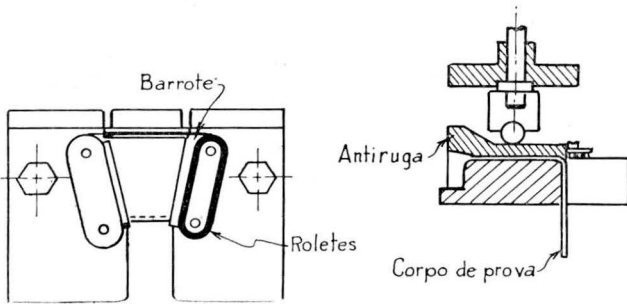


Fig. 5 — Esquema do ensaio Sachs-Eksergram-Guyot.

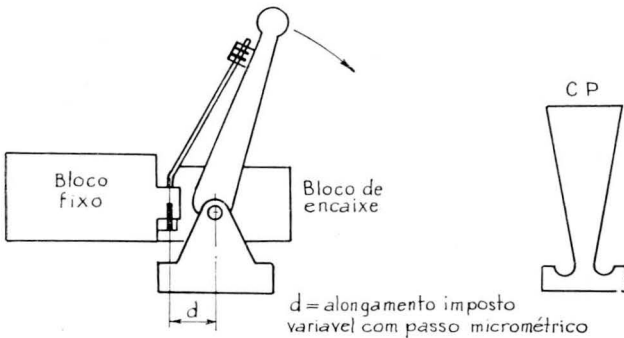


Fig. 6 — Esquema do ensaio SOLLAC. O corpo de prova, à direita, é submetido a um esforço simultâneo de flexão e tração.

3.7. *Ensaio Sollac* — Nas usinas de Sté. Lorraine da Laminage Continu, vimos ser usado o dispositivo da figura 6. O ensaio consiste em submeter o CP (cortado numa prensa) a um

esforço simultâneo de flexão e tração. Com um estudo sistemático, pode-se determinar uma correspondência entre as distâncias  $d$  e a aptidão do metal à estampagem, função da qualidade do aço e da espessura.

#### 4. ENSAIOS DE MATERIAIS

Para os fins a que nos propomos, separamos aqui o que consiste, a nosso ver, em um novo ângulo de tratamento da aptidão à estampagem. É a linha de estudos mais dedicados à plasticidade, como "propriedade". Excusado é dizer quanto se tem trabalhado o assunto, não cabendo mesmo aqui sequer margê-lo, sendo talvez dos que mais se tem beneficiado dos progressos da rádio-cristalografia.

Já por volta de 1930, Crane apresenta suas "*curvas de pontos de escoamento*", a que assimilou retas que deveriam passar pela origem, deduzidas pela elevação progressiva do ponto de escoamento em função dos graus de deformação. Por outras palavras, responde êle de certo modo ao problema de "medir" os encruamentos e conseqüente aumento dos esforços entre passes sucessivos de estampagem, sem recozimento intermediário.

De lá para cá, muito se tem trabalhado as "*curvas de escoamento plástico*", e mais de uma definição se encontra. Conceitualmente porém, procuram sempre a relação entre a deformação plástica e a fadiga necessária para produzi-la e, na deformação a frio, a resistência à deformação resulta uma função da própria deformação.

O problema é muito complexo; muitas pesquisas vêm sendo realizadas; entretanto ainda, ao que parece, os resultados estão sob forma pouco útil aos engenheiros. Por outro lado, desde a segunda metade do século XIX, graças aos trabalhos de Tresca, uma formulação matemática acessível vem se desenvolvendo e é provável que resultados práticos se dêem a conhecer em breve.

A experiência tem demonstrado que o critério de Tresca (ou Tresca-Saint Venant, ou de von Mises, ou que outros nomes lhe dêem) é consistente. Isto é, o escoamento plástico é determinado pela resistência do material ao cisalhamento; começa quando a fadiga máxima de cisalhamento atinge um valor crítico:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \tau_{\text{critico}}$$

Por exemplo, no caso de tração simples do aço doce, êste valor é representado pela metade do limite de escoamento.

O tratamento básico, entretanto, é feito para materiais isotópicos, e não considera o encruamento, duas condições que introduzem uma conceituação complexa, e que acreditamos ainda em germe. De qualquer modo, a teoria tem fornecido boas bases para estudos e é geralmente aceita, pelo menos em fundamentos.

Em estampagem, entretanto, estas duas condições são intrínsecas aos fenômenos, podendo-se mesmo dizer que é o encruamento, ou o grau de encruamento, o fator decisivo na classificação de uma operação como "estampagem". E não seria demais dizer que uma anisotropia orientada conforme a dissemetria dos esforços constitui a condição ideal de estampagem de uma uma peça.

Com estas considerações, compreende-se que ENCRUAMENTO e ANISOTROPIA tenham constituído centros de interêsse. Veja-mos alguns dados.

4.1. *Curvas racionais de tração* — São assim chamadas as curvas tensão-deformação obtidas num ensaio de tração clássico, quando se tomam as cargas em relação à secção real no momento em que agem. Parece que os primeiros trabalhos divulgados datam de 1936 (segundo Jevons); em 1950, M. Bastien e Mlle. Winter apresentaram uma aplicação ao estudo da estampabilidade ("Révue de Métallurgie" — Setembro 1951), que nos serve agora de exemplo; recentemente os Srs. Cintra e Arantes ("ABM-Boletim" n.º 60, vol. 16) fizeram a apresentação do assunto em nosso País. Aliás, é o entusiasmo por êste último trabalho que nos convenceu a citá-lo aqui, em confronto com as deduções de Bastien-Winter.

Sendo  $t$  e  $a$ , respectivamente, as tensões e os alongamentos verdadeiros, as curvas ( $t$ ,  $a$ ) são parábolas da equação:

$$t = k a^n$$

onde  $k$  é o "coeficiente de resistência" e  $n$  o expoente de encruamento. Em coordenadas bi-logarítmicas,  $k$  é a ordenada na origem, e  $n$  a inclinação de uma reta. O alongamento racional, ou verdadeiro, se define

$$a = l_n \frac{s_o}{s}$$

o qual, no período dos alongamentos uniformes, ou seja até ao início da estricção, é igual a

$$a = l_n \frac{l}{l_o}$$

Bastien e Winter, trabalhando sobre chapas de 22 mm de espessura, fazem a determinação de  $n$  e concluem pela insatisfação deste índice ao conceito prático do material. A seguir, partindo do interessante raciocínio de que “um aço extra-doce tem uma aptidão à estampagem tanto melhor quando para uma dada carga êle sofre uma deformação maior; ou quando para realizar uma deformação plástica uniforme dada fôr necessária uma carga menor”. Definem então um “módulo de plasticidade”

$$\mu = \frac{a_r}{t_r}$$

onde os índices  $r$  designam o início da estrição.

Este módulo correspondeu à expectativa, para a chapa de 22 mm. Tendo demonstrado que  $a_r = n$ , chegam a conclusão de que  $t_r \cong 1,3 R$ , onde  $R$  é a carga de ruptura convencional, admitindo em primeira aproximação seja desprezível a variação de  $n$ , ou seja  $n$  constante em primeira aproximação para os aços extra-doces. Daí podem definir um

$$\mu' = \frac{a_r}{R}$$

“sensivelmente” proporcional ao anterior. Este valor é mais fácil de obter, pois só depende de  $a_r$ , alongamento racional no fim dos alongamentos uniformes, o qual se liga ao alongamento convencional por

$$a_r = l_n (1 + a_1),$$

e da carga de ruptura  $R$ . Concluem pela validade deste último critério, salvo para as “fracas espessuras” (parece, de seus números, abaixo de 1 mm). Não há dúvida de que o trabalho é altamente criticável, apesar de imaginoso. Basta ver que a suposição de desprezar a variação de  $n$  é frontalmente oposta à tese original; se verifica, pelos próprios números que apresentam, altamente inconsistente, donde o afastamento das menores espessuras, que atribuem êles à dispersão própria dos ensaios de tração.

Daí o interêsse do trabalho dos Srs. Cintra e Arantes. Trabalhando na mesma linha inicial, dando relêvo porém a determinação também de  $k$ ; apresentando resultados para chapas de 0,90 e 0,93 mm de espessura, concluem pela concordância

dos valores obtidos com a conceituação das chapas. (\*) Não entram em detalhe quanto à técnica seguida, e é uma importante questão. Propõem que se trabalhe com a equação modificada:

$$\bar{F} = K a^n,$$

onde

$$\bar{F} = F (1 + a_1); \quad K = k S_0$$

o que faz supor que seguem a técnica tradicional, ou parando a máquina de tração ou tirando do registrador os valores de  $a_1$  e  $F$ , e calculando  $a$  e  $\bar{F}$ , e  $K$ . O raciocínio e a técnica decorrente são válidos até ao início da estricção, onde se tem a secção praticamente inalterada. Os resultados dependem enormemente da precisão dos ensaios; daí talvez a sua pouca aceitação, ou pelo menos, a sua pouca popularidade. De um modo ou de outro, entretanto, esperamos que se progrida bastante neste sentido. O Sr. Cintra dá a entender que continua a trabalhar no assunto; a CSN por seu lado faz estudos, e mesmo na Sollac vimos um certo interesse em resolver o aspecto prático.

4.2. *Anisotropia* — Como já assinalámos, a variação de propriedades, segundo a direcção considerada, tem sido estudada como uma das variáveis intrínsecas do problema de estampabilidade. A condição ideal, quando possível, repetimos, seria a orientação dos esforços, segundo as direcções mais favoráveis. Em alguns casos simples isto tem sido feito e verificado.

No Colóquio de Paris, os Srs. Whiteley, Wise e Blickwede, da Bethlehem Steel Co., apresentaram um trabalho muito interessante, de interesse ainda maior em virtude de darem uma interpretação coerente com o consenso geral. Definida uma "razão de deformações", pelo quociente de contração unitária segundo a largura, por aquela segundo a espessura, de um corpo de prova submetido à tração simples, encontram boa correlação com os resultados de ensaios tipo Swift.

Ora, em muitos casos já se sabe obter texturas convenientemente orientadas, praticamente sem aumento do custo, o que torna o fator altamente interessante. A restrição fica, portanto, apenas para a particularidade com que deve ser encarado o detalhe, o que muito ponderadamente assinalam os autores.

(\*) ARANTES, A. A. e CINTRA, J. A. — "O ensaio de tração como meio de qualificação de chapas finas para estampagem". ABM-Boletim, volume 16, página 457.

— CINTRA, J. A. — "Sobre a estampabilidade de chapas finas de aço". ABM-Boletim, volume 18, página 145.

## 5. CONCLUSÃO

1 — Chega-se à conclusão, finalmente, de que não há, e dificilmente haverá, uma característica singular que resuma tôdas as propriedades interessantes à qualificação do material, característica essa obtenível em um ensaio do tipo tecnológico.

2 — É de bom senso reconhecer que o ensaio de tração, e de dureza e um tecnológico são extremamente úteis, no seu conjunto, e são praticamente suficientes para resolver o problema, no caso geral, quando associados aos contrôles micrográficos de estrutura, inclusões e tamanho de grão, existentes com técnica perfeitamente dominada, e de custo relativamente baixo. Portanto, é de se esperar mesmo que fórmulas válidas possam ser encontradas para ligar as seis variáveis citadas, fórmulas gerais ou particularizadas.

É assim que a Companhia Siderúrgica Nacional realiza seus contrôles por: Tração convencional; Dureza Rockwell; Embutimento Olsen; Grão ASTM; Inclusões e Estrutura.

## BIBLIOGRAFIA

1. Trabalhos apresentados no Colóquio de Paris e referidos no texto:
  - R. L. WHITELEY, D. E. WISE e D. J. BLICKWEDE — *“Drawability and Anisotropy of Metals”*. Research Dep., Bethlehem Steel Co., 1960.
  - D. V. WILSON, B. B. MORETON e R. D. BUTLER — *“A stretch-forming test for use with a variable speed drawing press”*. University of Birmingham, 1960.
  - Louis MAZET e MAURICE VAUZELLE — *“L'essai KWI — Principe et applications aux feuillards pour cages de roulements à billes et à rouleaux”*. Cie. d'Applications Mécaniques — SKF 1960.
2. J. GUYOT — *“Conférence sur léemboutissage”* — CESSID — 1960. Cie. des Forges de Chatillon Commentry et Neuves Maisons.
3. E. V. CRANE — *“Plastic Working of Metals”*. J. Wiley and Sons, Inc., 1939.
4. B. FAZAN — *“Plasticité et déformation du métal”*. Conferência no CESSID, 1960.
5. J. WILLIS — *“Deep Drawing”*. Butherworths Scientific Publications, 1954.
6. Metals Handbook; Supp. 1955.
7. JEVONS — *“The Metallurgy of Deep Drawing and Pressing”*. Chapman & Hall Ltd., 1941.