

"INTER-DEPENDÊNCIA DA TEMPERATURA DE
LAMINAÇÃO A QUENTE, DO GRÁU DE EN-
CRUAMENTO E DA PORCENTAGEM DE Fe
E Si SÔBRE A FORMAÇÃO DE ORELHAS

Lino Rodighiero

R E S U M O

O trabalho tem a finalidade de demonstrar a inter-dependência entre os três fatores fundamentais que regem a tendência de formação das "o r e l h a s" nos produtos laminados de alumínio, derivados de placas vazadas, em corrida contínua: "TEMPERATURA DE LAMINAÇÃO À QUENTE, GRÁU DE ENCRUAMENTO E PORCENTAGEM DE Fe E Si".

Partindo da conhecida influência que os dois primeiros fatores têm sobre as dimensões e sobre a orientação das orelhas, relativamente à direção de laminação, se introduz, portanto, uma terceira variável, ou seja, a percentagem de Fe e Si.

Examinando a inter-dependência destes fatores, conclui-se que, respeitando entre certos limites a temperatura de laminação a quente e o gráu de encruamento, é possível obter produtos laminados, praticamente isentos de orelhas, desde que modificada na Fundição, a percentagem de Fe e Si, no alumínio.

As conclusões deste trabalho, foram confirmadas na prática, com os resultados obtidos na produção normal de laminados isentos de orelhas.

1. INTRODUÇÃO

Durante a produção de peças acabadas, mediante operação de estampagem e repuxo no tórno e na prensa, partindo dos laminados do alumínio e suas ligas, nota-se com frequência uma forma mais ou menos ondulada da borda das peças. Este fenômeno é conhecido com o nome de orelhas (earings, em inglês, cornes, em francês, corna, em italiano).

Este inconveniente é prejudicial considerando que provoca, no caso de defeito menos acentuado, uma produção de sucata além do normal, pela necessidade de aparar as bordas excessivas, e no caso de defeito mais acentuado, a eliminação completa da peça. Além disso, é frequente o aparecimento das orelhas acompanhado por rachaduras em correspondências das zonas mais baixas das orelhas, o que obriga a um posterior aumento da sucata.

A produção em série de panelas, latas para produtos alimentícios e químicos em geral, que nos U.S.A. e na Europa nêstes últimos anos têm substituído em maior parte o velho sistema artesanal, intolerável pelos seus altos custos, obrigou os pesquisadores a um exame mais profundo do fenômeno, a fim de achar a solução do problema.

Basta considerar, sòmente para citar um exemplo, a produção anual de milhões de latas de alumínio para cerveja que nos U.S.A. e em bôa parte também da Europa, substituíram quase completamente as tradicionais garrafas de vidro.

A importância do fenômeno, nêste setor específico, acentua-se também em consideração ao fato de que, a melhor apresentação do produto coincidiu com um aumento de consumo da cerveja e com uma evidente preferência dos consumidores para as marcas de cerveja que apresentaram os seus produtos em latas, ao invés de garrafas.

Isto sem contar a maior facilidade de transporte do produto e a completa eliminação do alto custo das instalações de lavagem das garrafas vazias, as quais, depois de recolhidas dos vários lugares de consumo, voltavam para as fábricas com um evidente ônus econômico de despesas de recolhimento e transporte.

Citamos sòmente um exemplo, para demonstrar como a solução dos problemas técnicos são muitas vêzes derivados de interesses econômicos, e como o emprêgo do alumínio e seu posterior desenvolvimento aplicado é condicionado à solução dêstes problemas.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SÔBRE O PROBLEMA DAS ORELHAS

Uma das exposições mais completas sôbre a natureza das orelhas, que resume os mais interessantes estudos sôbre o assunto, foi a apresentada por Thorley e Tucker intitulada: "The control of earing in aluminum and its alloys" publicado no "Journal of the Institute of Metals" de 1957 - 58 - vol. 86 - pg. 353.

Os pesquisadores atribuem o fenômeno das "orelhas" à anisotropia, que é a tendência dos cristais orientarem-se conforme direções preferenciais, devidas principalmente aos fatores de corrida na fundição e ao sentido de Laminação.

A esta anisotropia cristalina, corresponde uma anisotropia das características mecânicas, pela qual deriva uma tendência do laminado de reagir às solicitações mecânicas (estampagem, repuxo no torno e na prensa, dobragem, etc.), de uma forma não uniforme nas várias direções.

A anisotropia é um fenômeno que se apresenta sempre com medida mais ou menos acentuada na prática industrial dos produtos laminados, enquanto o produto semi-acabado completamente isótopo, ou seja com orientação cristalina não preferencial, permanece como um exemplo puramente teórico.

Até então, pela antiga técnica, nós estaríamos limitados a produzir placas fundidas em coquilhas, e portanto com resfriamento lento, e a laminar a frio chapa individual, com possibilidade, portanto, de "cruzar" os laminados, o problema das orelhas era desprezível, pouco evidente, ou pelo menos mais facilmente controlável era a formação de fenômenos anisotropos.

Com o advento dos modernos sistemas de corrida contínua, com conseqüente resfriamento rápido do alumínio, e com a difusão dos modernos laminadores de rolos, impossibilitados, portanto, de "cruzar" os laminados, os fenômenos de anisotropia acentuaram-se consideravelmente, e, com êles proporcionalmente ampliou-se a tendência da formação de orelhas.

Como sempre, com o avançar dos meios técnicos mais modernos para alcançar uma produção mais elevada, e uma correspondente dimi-

nuição dos custos, apareceram novos problemas a serem resolvidos.

As variáveis que influenciam a formação das orelhas são muitas e para isto os estudos sobre o fenômeno foram multiplicados de tal forma, que criaram às vezes confusão. Além disso muitas soluções do problema demonstraram-se dificilmente reproduzíveis, em virtude da diversidade das instalações, diferentes de fábrica para fábrica.

Aquilo que é certo, é que, os fenômenos de anisotropia e portanto, de aparecimento das orelhas dependem principalmente dos seguintes fatores:- composição química, modalidade de vazamento, temperatura e tempo de aquecimento das placas, laminação à quente, recozimento intermediário, encruamento à frio, tratamento térmico final.

Naturalmente a combinação dos valores que definem estes fatores criam uma variedade de casos sem limites. Para isto procurou-se dominar através do controle de um, dois, ou, ao máximo três fatores, a casualidade do fenômeno, baseando-se sobre a inevitável interdependência, que os vários fatores, tem, um em relação ao outro.

Para citar um exemplo, basta recordar a antiga técnica de produzir os laminados sem orelhas com um encruamento final da ordem de 70% (setenta por cento), para destruir com um recozimento intermediário a orientação preferencial do edifício cristalino.

Naturalmente, este sistema ainda hoje válido, mesmo com certas limitações derivadas da complexidade do fenômeno de formação das orelhas, é abandonado, todas as vezes que é possível, por causa da evidente majoração de custo do produto acabado.

Um exemplo de método mais moderno e tecnicamente interessante é aquele de controlar decididamente à partir do aparecimento da anisotropia na fundição.

Este método chamado "ISOMET" é utilizado, na França, nas fábricas do grupo Trefimetaux, chega a reproduzir, pelo menos parcialmente, na instalação da corrida contínua tipo Wasserguss, às condições de resfriamento lento que, produziam placas escassamente anisotrópicas, nas velhas instalações de vazamento em coquilha, sem por outro lado,

renunciar às vantagens econômicas da corrida contínua.

Nêste método, a velocidade de vazamento é aproximadamente igual àquela dos sistemas de vazamento contínuo normal, o gasto de água é da ordem de $1/5$ do normal, enquanto que o resfriamento é produzido por uma mistura de ar e água pulverizada e o gradiente de resfriamento do metal no sentido do vazamento é tal que permite manter constantemente um cone de metal líquido com altura aproximada de 500 mm.

O método "Isomet" é muito interessante e tem o único inconveniente de exigir uma calibração um pouco laboriosa e um contrôlo constante dos fatores que influenciam normalmente a corrida contínua. O limite de validade do método é dado pela espessura acabada mínima de 0,6 mm. Abaixo dessa espessura os fenômenos de orientação cristalina, devido a laminação começam a ter novamente influência preponderante sobre a formação de orelhas.

3. VARIÁVEIS INVESTIGADAS

À parte destas considerações particulares, pode-se dizer que três são os fatores fundamentais que influenciam de forma preponderante em relação aos outros, a formação das orelhas na prática industrial: composição química, temperatura de laminação à quente, e grau de encruamento à frio.

Os estudos efetuados há tempos, por vários pesquisadores, confirmados pelos resultados práticos, sobre a composição química do alumínio 99,0% contendo as normais impurezas de Fe e Si, são unânimes em concluir que o aumento do teor de Fe em relação ao Si, favorece a formação de quatro orelhas a 45° , relativo à direção de laminação, enquanto que o aumento do teor de Si em relação ao Fe favorece a formação de quatro orelhas a $0/90^\circ$, relativo à direção de laminação.

Foi definido também que o aumento da temperatura de laminação das placas à quente e o aumento do grau de encruamento a frio, favorecem a formação de quatro orelhas a 45° , relativo à direção de laminação, enquanto que, as baixas temperaturas de laminação e os graus de encruamento baixos, favorecem a formação de quatro orelhas a $0/90^\circ$.

A variabilidade do fenômeno em função dos elementos supracitados pode assim ser resumida:

- Aumento conteúdo de Fe em relação ao Si
- Temperatura de laminação alta
- Gráu encruamento alto

= 4 orelhas à 45°

- Aumento conteúdo de Si em relação ao Fe
- Temperatura laminação baixa
- Gráu encruamento baixo

= 4 orelhas à $0/90^{\circ}$

O aparecimento dos vários fatores e a soma dêles, dá lugar a uma formação mais ou menos pronunciada da altura das orelhas em uma determinada direção.

Geralmente na prática industrial é sempre o primeiro caso, que se verifica, uma vêz que o teor de ferro é sempre superior ao Si, e à temperatura da laminação a quente e o gráu de encruamento tem sempre valores tais que dão lugar ao aparecimento das quatro orelhas à 45° .

Considerando a inter-dependência dos vários fatores supracitados, poderíamos pensar em contrastar a tendência da formação das orelhas devido ao normal excesso de Fe em relação ao Si no alumínio, laminando a quente, placas a baixa temperatura ou reduzindo o encruamento final, mas é evidente como no primeiro caso, além de outros inconvenientes de caráter metalúrgico, teríamos dificuldade em obter um laminado a quente aceitável, para o sucessivo acabamento a frio, e, no segundo caso seríamos obrigados a recorrer ao velho sistema do recozimento intermediário com conseqüente aumento de custo do produto acabado.

Além disso, neste caso teríamos o perigo de obter uma cristalização grosseira do produto acabado e recozido, tanto mais perigosa se considerarmos o acabamento sucessivo ao qual os laminados são destinados.

4. MODALIDADES E DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Iremos considerar a variável relativa ao aumento de Si em relação ao Fe.

No alumínio 99%, o conteúdo das impurezas é normalmente o seguinte:

Si	0,10 a 0,15%
Fe	0,20 a 0,50%

Para variar-se o conteúdo de Si em relação ao Fe, foram mantidos constantes os outros fatores que influenciam na formação das orelhas conforme os seguintes valores:-

Fundição:- Corrida contínua com gradiente igual àquêle da corrida normal tipo Wesserguss.

- Velocidade de corrida normal de cerca de 80 mm/l', para as placas com excesso de Fe, velocidade de corrida um pouco mais baixa do normal (de 60 a 70 mm/l') para as placas com excesso de Si.

- Introdução do Si mediante liga-mãe Al/Si, eutética a 12%.

- Temperatura de vazamento $700^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$

Laminação a quente:- Temperatura de laminação para cada tipo de placa : 520° e 550°C , depois da homogeneização de tôdas as placas a 550°C para 12/16 horas, a fim de difundir o Fe e o Si uniformemente no metal.

- Laminação de 230 mm a 8 mm

Laminação a frio:- de 8 mm até a espessura acabada, sem recozimento intermediário, Recozimento final a 380°C - quatro horas em forno normal com circulação de ar forçado.

Ensaio executados sôbre laminados acabados:- SO_2 , R, A_5 , E, macrografia, copinho. A prova do copinho consiste em realizar, com operação de repuxo na prensa, um copinho com relação base/altura = 1,5 para evidenciar o eventual aparecimento das orelhas, determinar o valor e a orientação das mesmas.

No caso de orelhas mais reduzidas, foram executados copos maiores, mas com igual relação base/altura.

A determinação do valor das orelhas é obtido conforme a seguinte fórmula:

$$\frac{H \text{ max} - H \text{ min}}{H \text{ min}} \times 100 \quad \text{na qual:}$$

H max constitui o valor médio da parte superior das orelhas, e,
H min constitui o valor médio da base das orelhas.

Baseando-se sôbre dados práticos, considera-se aceitável um laminado quando o valor das orelhas, expresso pela fórmula acima não supera a 4%.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Nestas condições variando o teor de Si em relação a um valor do teor de Fe, assumido igual a 0,30%, foram obtidas na prática, com um encruamento igual a 87%, duas curvas ilustradas no diagrama nº 1, correspondente aos valores da tabela nº 1.

Nêste diagrama resulta claro que um aumento da relação Fe/Si corresponde a um aumento da altura das orelhas a 45° . Anàlogamente a uma temperatura de laminação a quente maior (550° ao invés de 520° C), corresponde a um aumento consequente do valor da altura das orelhas. Estas resultam em todos os casos inadmissíveis.

No entanto, mantendo constante sôbre o mesmo valor 0,30%, o teor de Si em relação ao Fe, foram obtidas, com encruamento constante de 87%, as curvas apresentadas no diagrama fig.2, correspondentes aos valores da tabela nº 2. Percebe-se neste diagrama como as orelhas se deslocaram por efeito da diminuição do Fe a 90° . Nêste caso, por efeito do aumento da temperatura de laminação a quente (550° C ao invés de 520° C), a curva da altura das orelhas se desloca para baixo, pois como já foi dito, o aumento de temperatura favorece as orelhas a 45° , e, portanto, se opõe à formação das orelhas a 90° .

Em ambos os casos, seja no caso de excesso de Fe em relação ao Si, seja no caso de excesso de Si em relação ao Fe, nota-se que para um aumento do gráu de pureza, corresponde um aumento da altura das orelhas. Deduz-se pois que os melhores materiais, tendo em vista a eliminação das orelhas, são os de menor teor de alumínio. Êste fato também concorda com a observação prática de que os laminados de maior pureza, independentemente do fenômeno das orelhas, devem ser evitados para repuxo em prensas de estampagem e repuxo no tórno, pois provocam mais facilmente deformação, quebras e fraturas, do que o normal em laminados com menor pureza.

Baseados nestas considerações, estabeleceu-se examinar, sempre com o mesmo encruamento e a mesma temperatura de aquecimento das placas, qual é a variação da relação Si/Fe com $Si+Fe = 0,70\%$, ou seja, com um teor constante de Al igual a 99,3%. As curvas obtidas são as do diagrama fig.3, correspondendo aos dados fornecidos pela tabela nº 3. Pelo exame das curvas deduz-se que os valores da altura das orelhas são muito menores que os encontrados nos diagramas anteriores, e de qualquer forma sempre inferiores a 4% máximo, estabelecido como valor limite. Em

última análise o aumento da relação Si/Fe acompanhada de uma diminuição da pureza do alumínio (Fe+Si = 0,70%) reduziu a altura das orelhas entre limites admissíveis.

Vê-se no diagrama como um aumento da relação Si/Fe nestas condições, reduz proporcionalmente, a altura das orelhas a 45° provocada pelo aquecimento das placas e pelo grau de encruamento até um valor tal além do qual o efeito do aumento posterior da relação Si/Fe é superior àquêle provocado pelo aquecimento das placas e pelo grau de encruamento, provocando assim o aparecimento de orelhas a 0/90°.

Na realidade, examinando-se os corpos de prova repuxados vê-se que o efeito do aumento da relação Si/Fe não seria o de eliminar as orelhas a 45°, porém o de fazer aparecer além das quatro orelhas a 45°, outras quatro orelhas a 0/90°, as quais, com sua altura mais ou menos pronunciada em relação às anteriores, compensam as orelhas a 45°.

O aumento do conteúdo de Si em relação ao valor normal no alumínio, tem pois, a função de criar quatro orelhas a 0/90° compensadoras das normais a 45°, o que provoca, em última análise, um valor menor da relação

$$\frac{H \text{ máx.} - H \text{ min.}}{H \text{ min.}} \times 100$$

De qualquer forma, os ensaios macrográficos de laboratório demonstraram que para valores de Si/Fe=2 começa a manifestar-se, após recozimento final, um crescimento da cristalização nociva aos fins do uso ao qual os laminados são destinados.

Esta cristalização, maior do que aquela que compete aos laminados com relação normal de Si/Fe, se traduz no aparecimento de caca de laranja no ensaio de Ericssen. Por esta razão a relação Si/Fe deve ser mantida abaixo do valor 2 já que abaixo dêste valor, a altura das orelhas está contida em limites perfeitamente admissíveis, e tem-se ainda uma estrutura de cristalização fina.

É provável que esta limitação, no entanto, não apareceria se, ao invés de efetuar o recozimento em forno normal com ventilação forçada se fizesse o recozimento num forno contínuo.

Na prática um valor da relação Si/Fe variável entre 1 e 1,8 demonstrou-se satisfatório, seja aos fins da obtenção de laminados-

sem orelhas, seja aos fins da obtenção de uma cristalização razoável.

Tomando por base a relação Si/Fe=1,7 com Si=0,42% e Fe=0,25%, procurou-se determinar, em igualdade de tôdas as outras condições, qual seria a influência do gráu de encruamento. Determinou-se assim o diagrama fig.4, correspondendo aos dados da tabela nº 4, pelo qual resulta, que uma relação Si/Fe = 1,7 é totalmente aceitável aos fins das orelhas. Para tôdas as espessuras compreendidas entre 0,50mm acabado e 2,00 mm acabado, e para gráus de encruamento compreendidos entre 94% e 77%. O andamento das curvas faz supor que mesmo para espessuras menores ou maiores do que os limites citados, se possam obter resultados análogos. Essa hipótese deveria ser testada na prática.

CONCLUSÕES:-

1º) Para alcançar-se o limite de 4% da fórmula

$$\frac{H \text{ máx.} - H \text{ min.}}{H \text{ min.}} \times 100$$

considerado aceitável na prática, ou melhor ainda para compensar nêsse limite as orelhas a 90° que normalmente aparecem na execução de laminados de produção de linha, seria necessário aumentar-se a relação normal Si/Fe até valores ≥ 1 .

2º) O limite superior da relação Si/Fe é determinado pelo fato de um excesso de Si favorecer o aumento das dimensões dos grãos, naturalmente êste fato é em relação às modalidades de recozimento final. No caso de fornos comuns com ventilação forçada, uma relação Si/Fe entre 1,3 e 1,8 deve ser considerada satisfatória seja aos fins das orelhas ($H \leq 4\%$) seja aos fins da cristalização fina.

3º) A relação Si/Fe deve ser acompanhada de um valor de Si+Fe de forma tal, a obter um teor de Al inferior a 99,5%. Julga-se que o ideal seja um teor de Al de 99,3% ou seja, com Fe+Si = 0,70%

4º) Os valores das características mecânicas resultaram completamente satisfatórios, como carga de ruptura, alongamento percentual e, ensaio de Ericssen, êste um pouco acima dos valores normais correspondentes ao alumínio com relação ao Si/Fe normal.

5º) Os inconvenientes do aumento da relação Si/Fe são dados pela maior dificuldade de obter-se na fundição placas com superfície lisa, o que obriga a diminuir um pouco a velocidade de vazamento. Faz-se necessário, também, um exame analítico muito mais cuidadoso, para manter constante esta relação e evitar o perigo de aumentar as dimensões da cristalização. O método é logicamente inaplicável aos laminados exigidos com elevada pureza, como acontece por exemplo nos produtos destinados a usos químicos. Todas as placas de experiência foram homogenizadas para difundir o Fe e o Si uniformemente no metal. Isto constitui, naturalmente, um ônus econômico, pois é de se supor que, dada a natureza da ação do Si na formação das orelhas, a homogenização é indispensável.

6º) O método é aplicável, mantendo-se os valores de temperatura de laminação a quente e de encruamento entre os limites comuns usados na execução normal, o que significa que o aumento, unicamente da relação Si/Fe, é suficiente por si só para resolver o problema das orelhas no limite aceitável de 4% sem sermos obrigados, como acontece com outros sistemas, a variar ou a diminuir excessivamente os limites de temperatura de laminação a quente, e, do grau de encruamento, que os estudos e a prática metalúrgica, considerando-se o caráter técnico-econômico, indicaram como os mais adequados.

São Paulo, 1º de dezembro de 1967.

Dr. Lino Rodighiero

TABELA Nº 1

CURVAS DE VARIACÃO H_{90} com $T = \text{constante}$ e $E = \text{constante}$ em função

do reporte Fe/Si $e = 1 \text{ mm}$ $E = 87 \%$

Fe	Si	Fe/Si	Al	H_{45} a 520°	H_{45} a 550°
0,30	0,30	1	99,4	2	3
0,30	0,21	1,4	99,49	4	5,2
0,31	0,17	1,7	99,52	5	6,5
0,30	0,14	2,2	99,56	6	8
0,30	0,09	3,3	99,61	7	9

TABELA Nº 2

CURVAS DE VARIAÇÃO H_{90} a $T = \text{constante}$ e $E = \text{constante}$ em função

do reporte $\text{Si/Fe} - e = 1 \text{ mm}$ $E = 87\%$

Si	Fe	Si/Fe	Al	H_{90} a 520°	H_{90} a 550°
0,32	0,23	1,4	99,45	3,2	2
0,31	0,18	1,7	99,51	4	2,5
0,30	0,14	2,2	99,56	5	3,5
0,32	0,10	3,3	99,58	6,5	4,5

TABELA Nº 3

CURVAS DE VARIAÇÃO H% com T = constante e E = constante em função

do reporte Si/Fe com Si+Fe = 0,70 - e = 1 mm E = 87%

Si	Fe	Si/Fe	H% a 520°	H% a 550°
0,36	0,35	1	1,5 (45°)	2 (45°)
0,42	0,25	1,7	1,2 (45°)	1,7 (45°)
0,45	0,22	2	1,1 (45°)	1,6 (45°)
0,52	0,21	2,5	1	1,5 (90°)
0,56	0,15	3	1,1 (90°)	1,6 (90°)

TABELA Nº 4

Si = 0,42

CURVAS DE VARIAÇÃO $H_{45/90}$ com T = constante e Si/Fe = constante = 1,7 Fe = 0,25

em função da espessura e do grau de encruamento consequente

e mm	E %	$H_{45/90}$ a 520 ^o	$H_{45/90}$ a 550 ^o
0,5	94	2	2,5
1	87	1,2	1,8
1,25	84	0,7	1,5
1,5	81	0	1
1,75	78	0,7	0,5
2	77	1,5	0

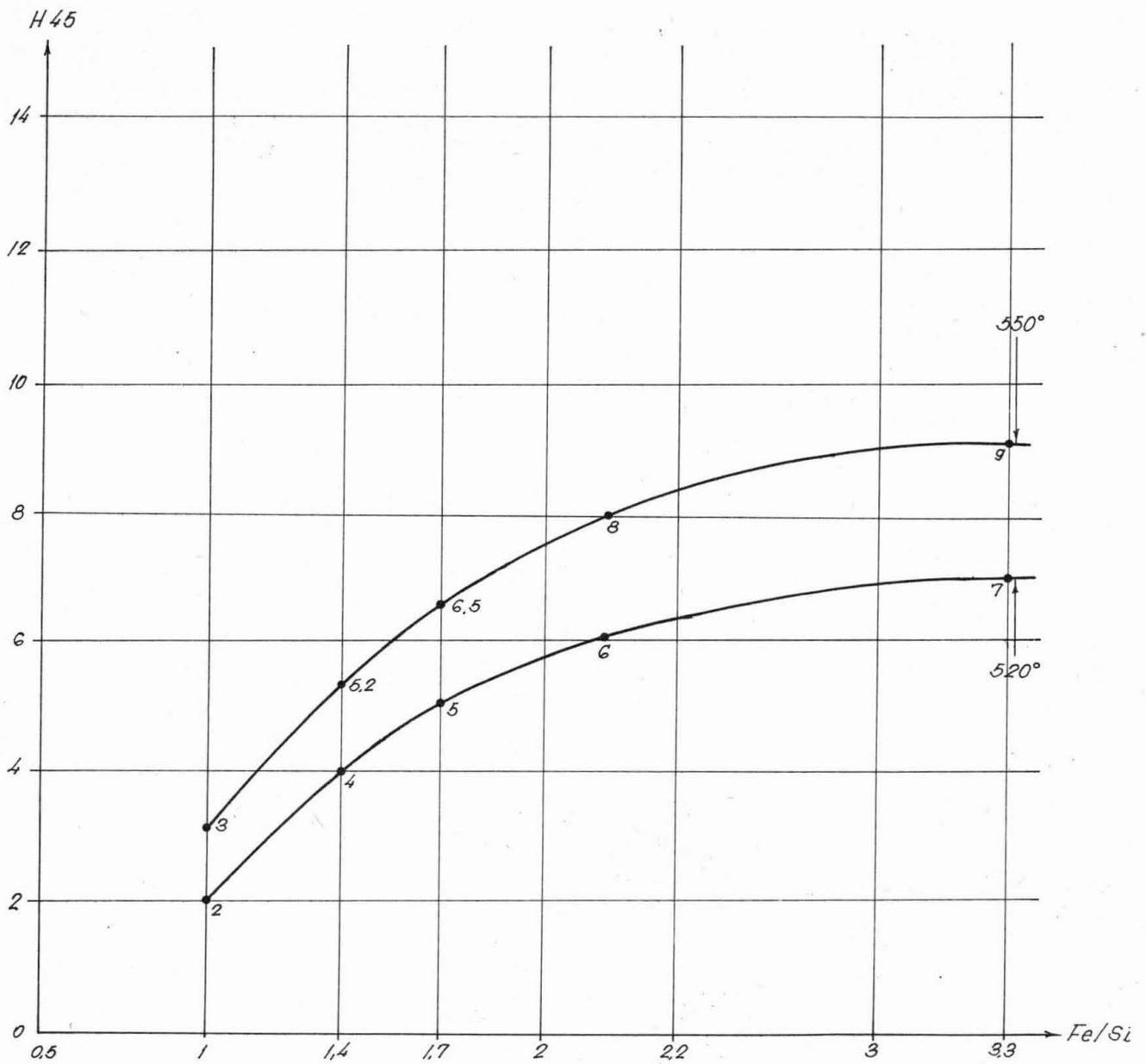


Fig.1 - CURVAS DE VARIAÇÃO H90 com $T = \text{constante}$ e $E = \text{constante}$ em função do reporte Fe/Si e $\approx 1\text{mm}$ $E = 87\%$

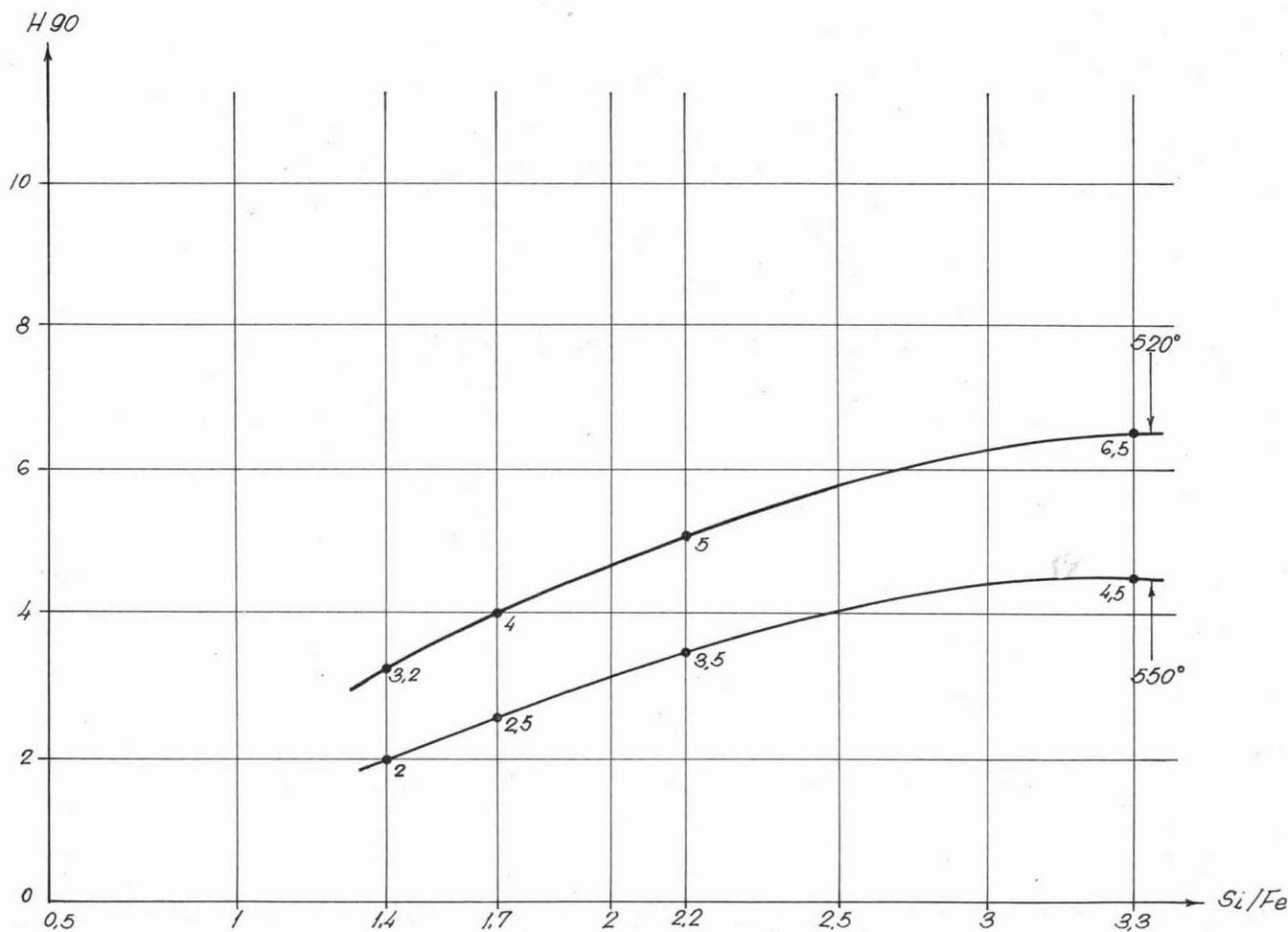


Fig.2 - CURVAS DE VARIAÇÃO H90 a $T = \text{constante}$ e $E = \text{constante}$ em função do reporte $Si/Fe = e = 1\text{mm}$ $E = 87\%$.

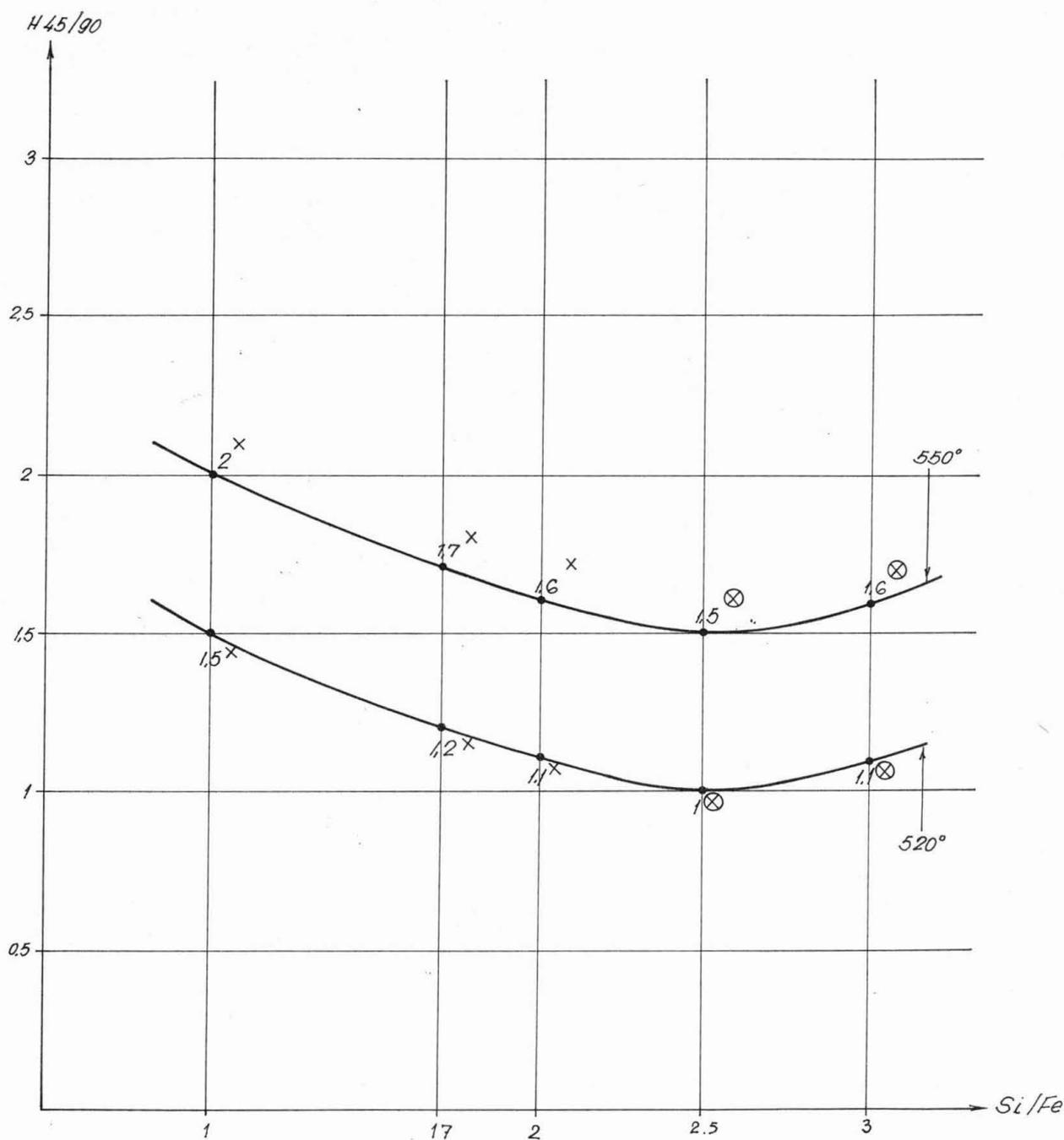


Fig.3 - CURVAS DE VARIAÇÃO H% com T = constante e E = constante em função do reporte Si/Fe com Si+Fe = 0,70 - e = 1mm - E = 87%.

× Orelhas à 45°

⊗ Orelhas à 90°

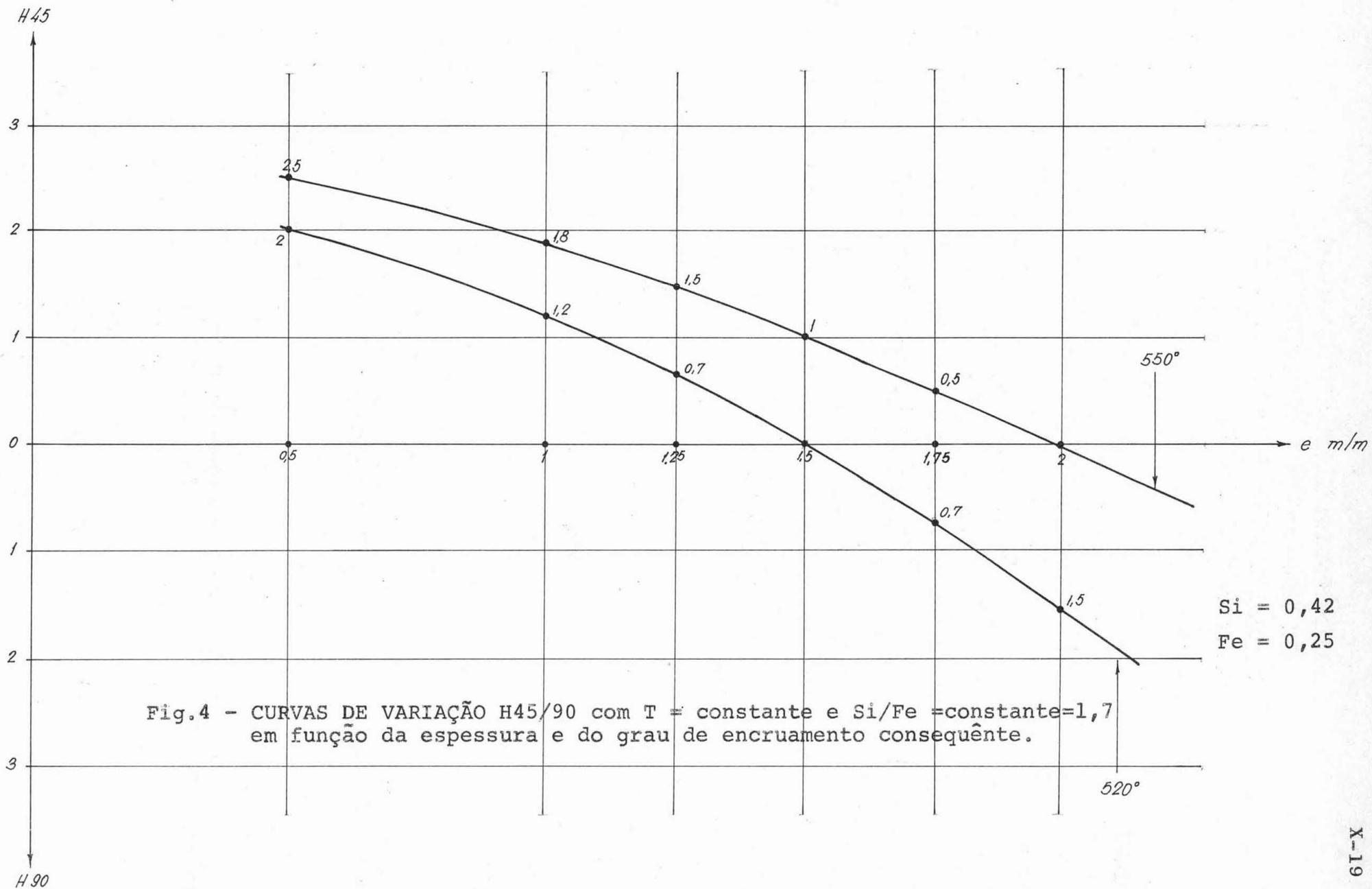


Fig.4 - CURVAS DE VARIAÇÃO H45/90 com $T = \text{constante}$ e $Si/Fe = \text{constante} = 1,7$ em função da espessura e do grau de encruamento consequente.

INTER-DEPENDÊNCIA DA TEMPERATURA DE
LAMINAÇÃO A QUENTE DO GRAU DE ENCRUA-
MENTO E DA PERCENTAGEM DE Fe-Si SÔBRE
A FORMAÇÃO DE ORELHAS

Lino Rodighiero (1)

DEBATE:

Airton Filleti (2)

- No início dessa brilhante exposição, o conferencista citou o processo moderno de vazamento contínuo ISOMET e disse que êsse processo posteriormente às laminações a frio não dava resultados para chapas de espessuras inferiores a 0,6mm. Eu gostaria de saber do conferencista se todos os trabalhos efetuados com essas implicações nas variáveis porcentagens de Fe e Si, temperatura de laminação, grau de encruamento, foram feitas para espessuras inferiores a 0,5 mm.

Rodighiero

- Na corrida contínua normal o resfriamento é muito mais rápido do que na corrida contínua do tipo ISOMET. Essa limitação da ISOMET é uma limitação certa, isto é, vamos dizer que abaixo de 0,6mm comparece novamente as orelhas enquanto que o material por efeito do grau de encruamento fica novamente isotrópico. No caso da corrida contínua normal foram feitos ensaios, e compareceram às vezes as orelhas e outras vezes não. Por isto, eu não afirmo neste trabalho, categoricamente que o limite inferior foi 0,5mm. Portanto, se observa o que foi dito nos dois casos, seja na corrida contínua tipo ISOMET, para espessuras abaixo de 0,5mm. No caso da corrida contínua ISOMET podemos afirmar que não obtemos resultados satisfatórios, ou seja, que nestes casos, para obter o laminado acabado com espessura de 0,3mm sem orelhas, o Sr deveria fazer novamente o recozimento intermediário ou

influenciar. Não podendo influenciar o grau de encruamento senão com o recozimento intermediário deveria influenciar a temperatura de laminação a quente.

Aparteante

- Eu gostaria de perguntar qual é o efeito sobre a formação de orelhas da temperatura e do tempo de recozimento final e intermediário, se houver.

Rodighiero

- O efeito é mais o problema da cristalização grossa e não o efeito das orelhas. Isto é, testando por exemplo: com o mesmo grau de encruamento, mesma temperatura de laminação, se acabando o recozimento intermediário, o Sr poderia fazer o recozimento com temperatura e com tempo diferente. No caso de tempo muito elevado, de temperatura muito elevada, o Sr vai ter uma cristalização grossa, isso é inevitável e pioraria a situação que, como já expliquei, o efeito do Si é aumentar um pouco a cristalização, efeito de aumentar o Fe em vez de aumentar o Si a que o Sr se refere. E nesse caso as orelhas não ficam nem a 45° nem a 90° . Vai se obter orelhas muito irregulares. Poderia ser por exemplo: 32 graus, eu não sei, poderiam ser 4 orelhas muito irregulares, 2 orelhas muito fortes. Isso depende de cristalização, porque um fator muito importante nesse sentido é de obter uma cristalização não grossa. Eu acredito que no caso da temperatura elevada e tempo muito grande de recozimento, o problema das orelhas é formado, enquanto que na realidade a cristalização grossa vai influenciar as orelhas, a orientação e as alturas das mesmas.

Parodi (3)

- O processo ISOMET, como o conferencista disse, não é utilizado para espessura abaixo de 0,5mm. Mas na realidade, no caso brasileiro,

o consumo de chapas de espessuras acima de 0,5mm é muito grande para estampagem profunda. Gostaria de saber se o conferencista tem alguma experiência de custo de instalação num processo desse tipo, se seria muito diferente do convencional e coisas a par.

Rodighiero

- Não. Não posso afirmar com certeza. Visitei a fábrica da companhia de trefilação e posso afirmar que a instalação de corrida contínua não é muito diferente, porque o problema é sòmente daquele de resfriar o Alumínio. Deve se ter o resfriamento do Alumínio equivalente ao resfriamento do velho sistema para coquilhas. Quer dizer, que, a corrida contínua não muda, é a mesma instalação. Vi várias instalações; a melhor delas que trabalha com o processo ISOMET é a usina da Trifimefaux na França. Nesas usinas todos os equipamentos da corrida contínua normal foram trocados para o sistema ISOMET, simplesmente variando o sistema de resfriamento. Êste sistema de resfriamento,, como já expliquei, é um sistema normal, tem um colarinho de resfriamento muito mais reduzido; vazamos nêsse colarinho e o resfriamento seguinte é obtido com ar e água pulverizada. Isto significa que deve chegar a se manter um cone líquido de altura muito maior. O sistema de corrida contínua ISOMET depende do sistema de resfriamento, temperatura do líquido, etc. Não se vai, em todos os casos, medir milímetro por milímetro, um cone de 500mm de altura. A essência da ISOMET é isso, obter um cone de resfriamento constante para obter as mesmas características do resfriamento do velho sistema com a coquilha.

- (1) Lino Rodighiero
Eng^o da Cia Brasileira de Alumínio
- (2) Ayrton Filleti
Eng^o de Processos - ALCAN - Alum. do Brasil S/A
- (3) Jacopo Parodi
Gerente Serv. Tecnológicos - Eng^o da PIRELLI S/A

RELAÇÃO DAS FIGURAS DO TRABALHO EM ANEXO

"Inter-dependência da temperatura de laminação a quente, do grau de encruamento e da percentagem de Fe e Si sobre a formação de orelhas"

- Fig. 1 - Curvas de variação H_{90} com $T = \text{cte.}$ e $E = \text{cte}$
em função do reporte Fe/Si e $e = 1 \text{ mm}$ $E = 87\%$
- Fig. 2 - Curvas de variação H_{90} a $T = \text{cte.}$ e $E = \text{cte}$
em função do reporte Si/Fe e $e = 1 \text{ mm}$ $E = 87\%$
- Fig. 3 - Curvas de variação $H\%$ com $T = \text{cte.}$ e $E = \text{cte}$ em
em função do reporte Si/Fe com $\text{Si+Fe} = 0,70$ - e $e = 1 \text{ mm}$ $E = 87\%$
- Fig. 4 - Curvas de variação $H_{45/90}$ com $T = \text{cte}$ e $\text{Si/Fe} = \text{cte}$
 $= 1.7$ em função da espessura e do grau de encruamento conse-
quente.