

MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DE PERMUTADORES DE CALOR PARA OPERAÇÃO EM BAIXAS TEMPERATURAS ⁽¹⁾

LUIZ SÉRGIO MARCONDES MACHADO ⁽²⁾

MICHAEL PAUL ZEITLIN ⁽³⁾

RESUMO

Descreve os problemas encontrados na classificação dos materiais a serem empregados nos Permutadores de Calor, destinados à Planta de Gasolina Natural da Petróleo Brasileiro S/A., localizada em Catú, Bahia. Aborda o problema da "temperatura de transição" no ensaio de choque, resumindo os fatores que a determinam. Descreve o processo usado para fabricação de aços-carbono para trabalho a (-) 46°C, bem como os ensaios efetuados para aprovação do material e das soldas, pelo Lloyd's Register of Shipping.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria de petróleo do Brasil vêm exigindo dos construtores de equipamento pesado um aperfeiçoamento contínuo de seus métodos de trabalho. As exigências, no que diz respeito às matérias primas empregadas, são cada vez mais rigorosas. As especificações, para êste tipo de equipamento, prevêm um rigoroso contróle das matérias primas e das soldas, garantindo a boa qualidade de cada componente. Tal método é necessário, dado o elevado custo de produção e o limitado número de ensaios que podem ser executados num aparelho pronto.

O presente trabalho trata dos múltiplos aspectos encontrados pela COBRASMA, na execução de contrato firmado com a Petróleo Brasileiro S/A., para construção de Permutadores de

(1) Contribuição Técnica n.º 480. Apresentada ao XVII Congresso Anual da ABM; Rio de Janeiro, julho de 1962.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Civil e Metalurgista; Chefe do Serviço de Contróle de Qualidade da Companhia Brasileira de Material Ferroviário "Cobrasma"; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Engenheiro Civil; Sub-Chefe do Serviço de Contróle de Qualidade da Companhia Brasileira de Material Ferroviário "Cobrasma"; São Paulo, SP.

Calor, destinados à Planta de Gasolina Natural de Catú, para operação à temperatura sub-zero.

2. MATÉRIAS PRIMAS

Básicamente, os materiais empregados na construção desses aparelhos são:

- Chapas de Aço Carbono; ASTM-A-300; Classe 1
- Tubos de Aço Carbono; ASTM-A-334; Classe C
- Forjados em Aço Carbono; ASTM-A-350; Classe LF-1
- Flanges fundidos em aço carbono; ASTM-A-352; Classe LCB

Estas especificações constituem ampliações de outras mais frequentes (tabela I), introduzindo nestas a exigência do ensaio de choque. Assim, os materiais das especificações A-201, A-106, A-105, A-181 e A-216 (de fácil obtenção no mercado, desde que aprovados em ensaios de choque) poderiam ser reclassificados para as especificações A-300, A-334, A-350 e A-352.

TABELA I

Correspondência entre especificações comuns e aquelas que exigem ensaios de impacto, a baixas temperaturas

Material: Aço carbono	Especificação corrente	Especificações com ensaio de choque
Chapas	ASTM-A-201	ASTM-A-300; Classe 1
Tubos	ASTM-A-106; Classe A	ASTM-A-334; Classe C
Forjados	ASTM-A-105; Classe I ASTM-A-181; Classe I	ASTM-A-350; Classe LF-1
Fundidos	ASTM-A-216; Classe WCB	ASTM-A-334; Classe C

A obtenção de chapas, tubos, forjados e fundidos que satisfizessem às exigências de ensaios de choque (resiliência), constituiu desta forma o principal problema da COBRASMA. Decidiu-se, inicialmente, pela tentativa de reclassificação das chapas e tubos, de possível obtenção na indústria nacional, e pela fabricação, na Usina de Osasco, dos forjados e fundidos.

2.1. *Chapas e tubos; tentativa de reclassificação* — Foram selecionadas amostras de chapas pertencentes à especificação ASTM-A-201, representativas das várias corridas e existentes em estoque. De acordo com as especificações, os corpos de prova deveriam ser testados a (—) 50°F e rompidos num tempo não superior a 5 segundos, após a remoção do meio de resfriamento.

a) MÉTODO DE ENSAIO — Os corpos de prova foram resfriados conforme indicado na figura 1. O dispositivo de resfriamento consta de um recipiente metálico (A), dentro do qual é colocado um segundo recipiente (B), também metálico; o espaço entre ambos deve ser preenchido com CO₂ sólido (gêlo sêco), quebrado em pedaços de 1 a 5 cm de tamanho. Dentro do recipiente B é colocado um suporte C, com tela na parte superior, destinado a suportar os corpos de prova. O recipiente B, contendo uma solução de álcool e água balanceada de maneira a iniciar a solidificação pouco abaixo da temperatura especificada para ensaio; isto faz com que a temperatura chegue a um relativo equilíbrio ao atingir o ponto desejado. Uma pinça comum de laboratório pode ser usada para retirar o corpo de prova do líquido e colocá-lo no pêndulo de ensaio. A pinça deve permanecer mergulhada no líquido pelo menos por 15 minutos (*).

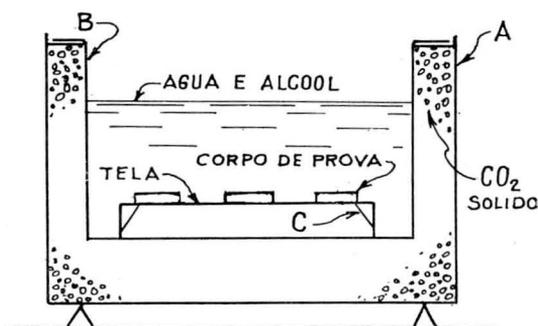


Fig. 1 — Esquema do dispositivo empregado para o resfriamento dos corpos de prova a (—) 46°C.

A dificuldade maior consiste na retirada do corpo de prova e seu posicionamento conveniente no pêndulo. Garante-se uma operação rápida e precisa com o auxílio de um gabarito adaptado ao pêndulo.

(*) O CO₂ sólido para tôdas as experiências e ensaios foi gentilmente cedido por *Liquid Carbonic Industrias S/A.*

No decorrer dos ensaios, verificou-se ser o recipiente A dispensável; os pequenos pedaços do CO₂ sólido foram colocados dentro da própria solução de água e álcool. Na temperatura desejada, a solução torna-se viscosa e o corpo de prova ao ser retirado, permanece envolto por um pouco dessa solução, que possibilita temperatura constante por alguns segundos. Após algumas tentativas adquire-se razoável desembaraço e os ensaios podem ser realizados em poucos minutos.

b) RESULTADOS — Os corpos de prova foram ensaiados à temperatura de (—) 46°C e à temperatura ambiente, para comparação. O valor mínimo especificado (média de 3 corpos de prova) é 2,1 kgm ft-lb). Os resultados obtidos (tabela II) foram de tal forma desanimadores, que ficou totalmente excluída a possibilidade de se obter chapas ASTM-A-300, a partir do estoque existente. À vista do curto prazo para entrega do equipamento, e da impossibilidade de obtenção das chapas no Brasil, em tempo hábil, decidiu-se pela importação.

TABELA II **

Resultados dos ensaios de choque procedidos em corpos de prova de chapas de aço carbono ASTM-A-201

Identificação	ENERGIA ABSORVIDA (kgm)	
	Temperatura (—) 46°C	Temp. ambiente (20°C)
1	0,0	—
2	0,5	—
3	0,5	—
4	0,5	—
5	0,3	—
6	0,4	—
7	0,5	—
8	0,5	2,5
9	0,6	—
10	0,7	—
11	0,5	—
12	0,2	—
13	0,4	3,0
14	0,5	1,8
15	0,4	1,2
16	0,5	1,5
17	0,6	2,0

(**) Certificado 196.755 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas da USP.

c) TUBOS — Dada a impossibilidade de retirada de corpos de prova devido a pequena espessura da parede dos tubos, tornar-se-ia necessário o ensaio do material em estágios anteriores de fabricação. Pensou-se inicialmente na obtenção dos tubos por enrolamento e solda elétrica, caso o resultado dos ensaios das chapas fosse satisfatório. À vista dos resultados obtidos, essa hipótese foi abandonada. Decidiu-se, também, pela importação, pois a indústria nacional não está em condições de atender às exigências da ASTM-A-334, Classe C, dentro do prazo contratual.

2.2. *Fundidos e forjados; fabricação* — Como foi visto, as especificações que governam o uso de materiais a baixas temperaturas, exigem um valor mínimo para a energia absorvida no ensaio de choque. Este procedimento foi escolhido pela ASTM e ASME entre vários modos pelos quais é possível medir a ductilidade a baixas temperaturas.

2.2.1. *Temperatura de transição* — À medida que a temperatura é reduzida, o material passa de dúctil a frágil; essa passagem não ocorre num ponto bem definido. Num gráfico da energia absorvida, no ensaio de choque em função da temperatura, há uma faixa de temperatura onde se processa uma queda acentuada dos valores da energia absorvida. A temperatura média dessa faixa é definida como sendo a “*temperatura de transição*”; tem sido adotada como critério para indicar a ductilidade a baixas temperaturas. Quanto mais baixa a “*temperatura de transição*” de um material melhor será o seu comportamento nesse tipo de aplicação. Para uma dada temperatura de projeto (T_i) serão utilizáveis apenas aqueles materiais, cujas temperaturas de transição forem inferior a T_i .

Vários são os fatores que influem na “*temperatura de transição*” dos aços carbono. É interessante apontar, que êsses fatores não agem individualmente, mas sim em conjunto. Os mais importantes são:

a) MICROESTRUTURA — Os aços com estrutura totalmente austenítica são aqueles que apresentam os melhores resultados, quando ensaiados dinamicamente a baixas temperaturas. Êsses aços não apresentam “*temperatura de transição*” mesmo quando ensaiados a 200°C e assim suas especificações dispensam o ensaio de choque². Nos aços ferríticos, de estruturas martensíticas — obtidas por têmpera total e posterior revenido — produzem as mais baixas temperaturas de transição; estruturas perlí-

ticas — obtidas por refriamento contínuo — ocasionam as mais altas temperaturas de transição. A distância interlamelar parece influir, uma vez que a temperatura de transição cai, à medida que essa distância diminui.³ Estruturas mistas, de martensita revenida e perlita, têm, em geral, temperaturas de transição intermediárias entre os dois tipos. Convém notar, também, que a uniformidade de estrutura é um fator importante. As estruturas obtidas por normalização e revenido, embora sejam um misto de ferrita e perlita fina, podem, graças à sua uniformidade, ser usadas a temperaturas moderadas.³

b) TAMANHO DE GRÃO — Outro fator de grande importância é o tamanho de grão, objeto de estudo de diversos pesquisadores. Vários deles⁴ chegaram a determinar dados quantitativos sobre o assunto, afirmando que a temperatura de transição diminui 30°F para um aumento no tamanho de grão de um número ASTM. As figuras 2 e 3 mostram dados colhidos por Vanderbeck, citados por Austin³. Estes gráficos mostram a variação da temperatura de transição, em função do tamanho do grão, medido pelo método ASTM.

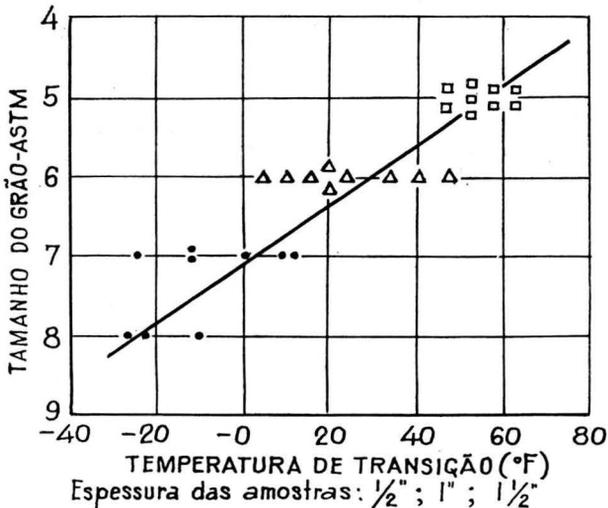


Fig. 2 — Relação entre o tamanho de grão e a temperatura de transição de aço semi-acalmado com 0,23% C e 0,45% Mn, segundo Vanderbeck.

Verifica-se que a temperatura de transição diminui com a diminuição do tamanho de grão, sendo a variação praticamente linear e valendo aproximadamente 20°F para o aço acalmado e 30°F para aços semi-acalmados.

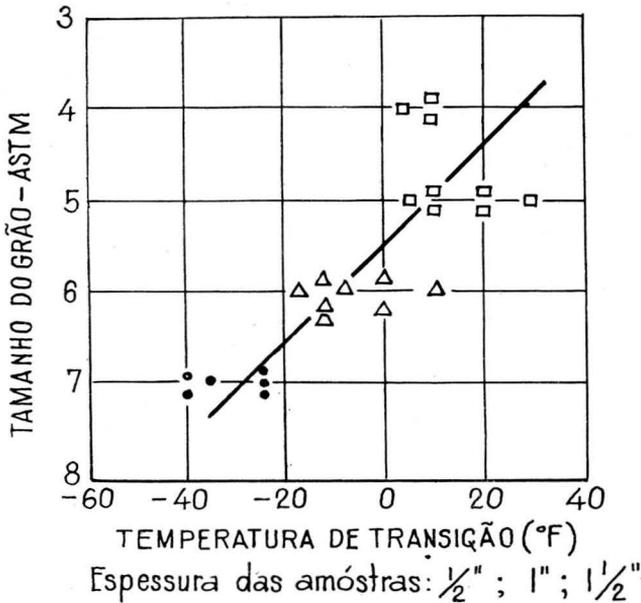


Fig. 3 — Relação entre tamanho de grão e a temperatura de transição de aço acalmado com 0,23% C e 0,45% Mn, segundo Vanderbeck.

c) COMPOSIÇÃO QUÍMICA — Vários estudos têm sido feitos a respeito da composição química na temperatura de transição. Dentre todos os elementos, o níquel tem sido citado com particular freqüência. Tratar-se-á neste apanhado apenas dos elementos encontrados nos aços carbono, uma vez que os mesmos satisfazem quando empregados a temperaturas do projeto (-50°F).⁵

Pequenos aumentos no teor de *carbono*, *fósforo* e *silício* aumentam consideravelmente a temperatura de transição. Quanto aos dois primeiros, vários pesquisadores concordam entre si, ao passo que em relação ao silício aparecem algumas divergências. De um modo geral, sabe-se que o aumento do silício faz crescer a “temperatura de transição”.

Banta, Frasier e Lorig³ determinaram, no entanto, que a “temperatura de transição” decresce com adições de Si, atingindo um valor mínimo com 0,16% de Si quando, então, novas adições causam sua elevação. Êste comportamento particular do Si parece ser motivado pela participação na desoxidação.

Os resultados experimentais parecem confirmar também que o efeito do *enxôfre* é desprezível, enquanto que o *manganês* fa-

vorece a diminuição da “temperatura de transição”. Essa influência positiva do manganês é elevada, sendo um dos pontos básicos para a obtenção de aços ducteis a temperaturas sub-zero.

Halley, ao discutir o trabalho de Banta, Frazier e Lorig, mostrou que os dados apresentados eram bastante consistentes e que os aumentos ou diminuições na “temperatura de transição” variam linearmente com o aumento no teor desses elementos. Ressaltou, ainda, que os elementos que produzem em carbonetos insolúveis no ferro elevam a “temperatura de transição”, ao passo que o manganês, capaz de substituir o ferro no carboneto de ferro, abaixa essa temperatura. Verifica-se também que os elementos que expandem o campo gama (γ) abaixam a “temperatura de transição” ao passo que os demais elevam-na.

A literatura técnica^{3, 6, 7 e 8} cita com freqüência os efeitos benéficos de uma alta relação Mn/C. A referência³ revela experiências realizadas por Barr, que resultaram numa redução de 60°C na “temperatura de transição”, pela simples variação dessa relação de 1,4 para 11,9 (fig. 4).

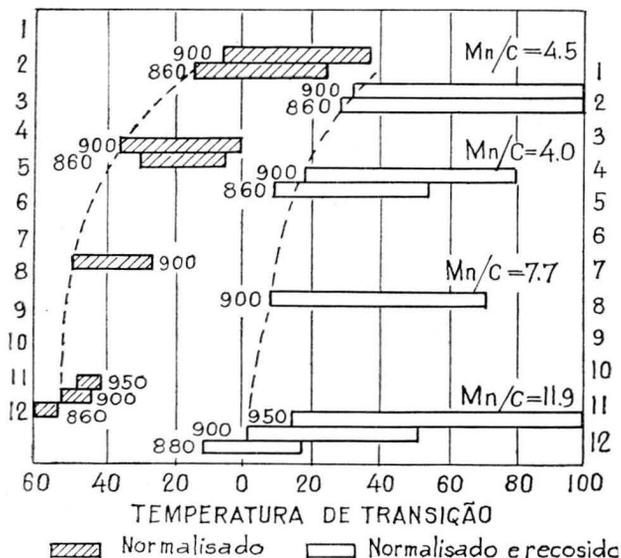


Fig. 4 — Efeito da relação Mn/C em chapas de aço doce, sobre a temperatura de transição (Barr e Honeyman).

Experiências realizadas com materiais de alta pureza revelaram que o carbono não é prejudicial, enquanto estiver em solução. As mesmas experiências confirmaram o efeito benéfico do

manganês, que afeta a condição do carbono no ferro, mantendo-o dissolvido. O valor absoluto do teor de carbono é tão importante quanto a relação Mn/C; a figura 5¹⁰ indica que a variação da temperatura de transição com a relação Mn/C depende largamente do teor desse elemento. À vista dos resultados acima, é prática normal na fabricação desses aços manter a relação Mn/C com valor mínimo igual a 3.

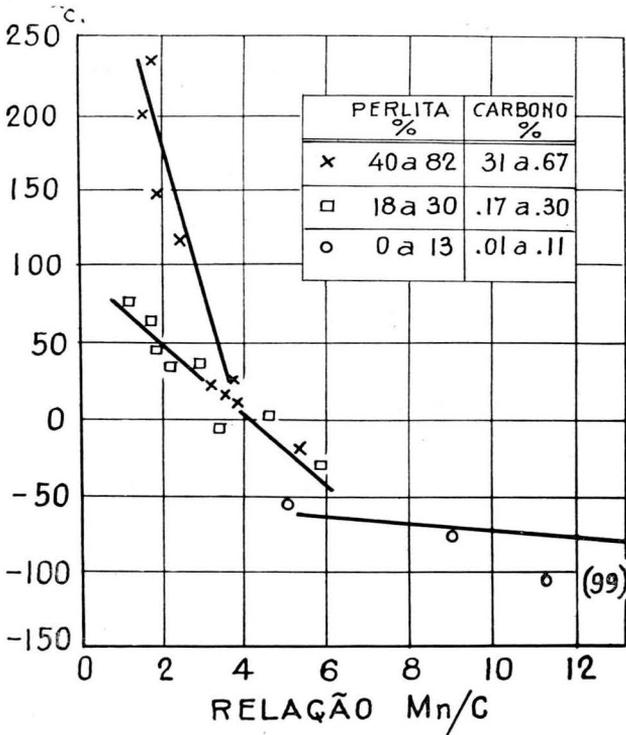


Fig. 5 — Efeito da relação Mn/C sobre a temperatura de transição de aços perlíticos, segundo Rinebolt e Harris.

d) OUTROS FATORES — Um fator bastante importante é a *prática de desoxidação*. De um modo bastante amplo, podemos afirmar que quanto melhor a desoxidação, tanto mais baixa será a temperatura de transição. Os resultados experimentais têm mostrado que acalmar o aço com alumínio e silício produz as temperaturas de transição mais baixas. O uso exclusivo de alumínio nesse mister não produz melhores resultados que aque-

les obtidos com aços semi-acalmados. É importante notar que os melhores resultados se obtêm quando o teor de manganês é alto.

Pesquisa realizada na Grã-Bretanha revelou que as chapas entregues ao mercado, por vários fornecedores, apresentavam os mais variados valores no ensaio de choque.

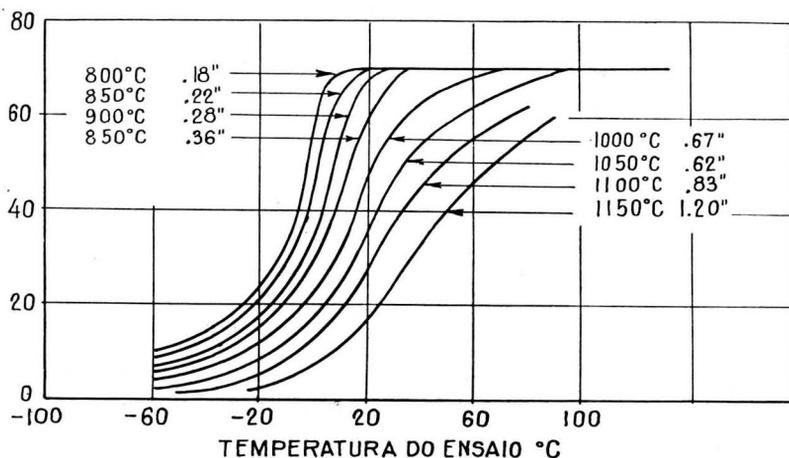


Fig. 6 — Efeito da espessura da chapa e da temperatura final de laminação sobre a temperatura de transição, segundo Barr¹¹.

A figura 6 ilustra dados obtidos por Barr¹¹, mostrando que a energia absorvida no ensaio de choque varia com a *espessura de chapa* e com a *temperatura final* de laminação. O fato das chapas grossas terem resultados inferiores, no ensaio de choque, deve-se principalmente à temperatura de acabamento de laminação e à baixa velocidade de resfriamento. Ambos os fatores influem na distribuição dos micro-constituintes.

Cabe repetir que nenhum dos fatores mencionados age individualmente, mas sim em conjunto, atuando ainda, uns sobre os outros. Assim a espessura da chapa e a temperatura final de laminação influem sobre o tamanho de grão.

2.2.2. *Resultados práticos* — A COBRASMA utiliza na fundição de suas peças, principalmente nas destinadas a material ferroviário, o aço comumente designado por B (AAR-M-201; Classe B e ASTM-A-216; Grade WCB). De cada corrida vazada, são retiradas amostras para comprovação posterior das propriedades mecânicas do material. É da prática corrente a

conservação por certo tempo de uma ou duas amostras. Inicialmente, por premência de tempo, procedeu-se a ensaios com alguns corpos de prova representativos de corridas de aço B produzidas por processos normais. Os resultados obtidos, constantes da tabela III, revelam que mesmo os ensaios realizados à temperatura ambiente, não atingiram os mínimos especificados.

TABELA III

Identificação	ENERGIA ABSORVIDA (kgm)		Relação Mn/C
	Temp. (—) 46°C	Temp. ambiente	
10.007	1,0	2,0	2,3
20.002	1,2	1,7	2,5
20.004	0,5	1,6	2,7
20.011	0,7	1,5	3,0

À vista das informações colhidas e expostas no item 2.2.1, procurou-se verificar a influência da composição química e da micro-estrutura. Foram escolhidas cinco corridas, cujas relações Mn/C fossem pelo menos iguais a 3, e outras quatro com relação Mn/C inferiores a 3. Estas foram submetidas a tratamento térmico de normalização por 2 vezes. As micro-estruturas obtidas após 1.^a e 2.^a normalizações (figs. 7 e 8) indicam a razão do duplo tratamento térmico adotado.

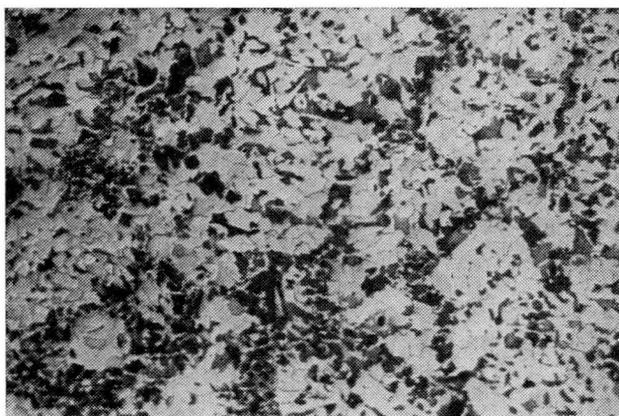


Fig. 7 — Microestrutura obtida após normalização; polimento e ataque eletrolítico; $\times 100$.

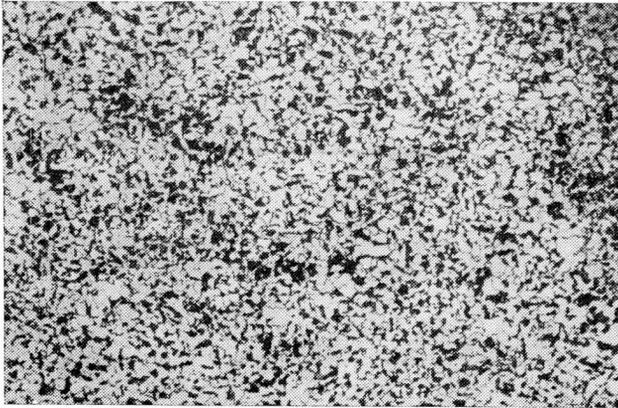


Fig. 8 — Microestrutura obtida após normalização; ataque Nital 4%; $\times 100$.

TABELA IV

Identificação	ENERGIA ABSORVIDA (kgm)		Relação Mn/C
	Temp. (—) 46°C	Temp. ambiente	
10.132	0,4	2,5	3,5
10.132	0,4	2,5	3,5
10.214	1,0	4,0	3,5
1.021	0,1	3,0	—
20.112	*	2,0	3,1
20.150	0,1	2,0	3,2
20.150	0,3	2,3	3,2
20.156	0,1	2,5	3,0
10.177	0,8	—	2,9
10.177	1,0	—	—
10.179	3,5	—	2,9
10.179	2,8	—	—
10.182	2,0	—	2,8
10.182	*	—	—
20.183	3,25	—	2,3
20.183	3,25	—	—

* Não foi possível a determinação da energia absorvida.

Os resultados dos ensaios das corridas com Mn/C superiores a 3 (C. O. do IPT, n.^{os} 199.088 e 199.825), constantes da tabela IV, revelam para a temperatura ambiente valores bem superiores aos anteriormente obtido (tabela III), enquanto que para a temperatura especificada os valores permaneceram baixos. As corridas com Mn/C inferiores a 3 (tabela IV) e submetidas à dupla normalização, no entanto, apresentaram valores (C. O. do IPT, n.^o 199.864) superiores (na maioria dos casos) ao mínimo especificado para a temperatura de projeto.

A análise da tabela IV, em confronto com a tabela III, evidencia a importância da micro-estrutura bem como do melhor comportamento das relações Mn/superiores a 3, mostrando ainda, uma tendência no atendimento das condições discutidas pelos vários autores. À vista deste fato e da premência de tempo, providenciou-se o vazamento de uma corrida levando-se em conta todos os fatores citados como atuantes sobre a temperatura de transição.

Na expectativa de obtenção dos valores desejados, foram moldadas tôdas as peças necessárias (pêso total, de aproximadamente 8 t) e extraída ordem de vazamento com as seguintes instruções:

Composição química: C — 0,20 a 0,24; Mn — 0,80 a 1,00; Si, P e S — normal.

Tamanho de grão e desoxidação: Adição de Al para controle do tamanho de grão; desoxidação normal com ferro silício.

Tratamento térmico: As peças devem ser duplamente normalizadas, com bom controle de temperaturas. As amostras devem acompanhar as peças. Se não for obtida granulação fina, repetir o tratamento.

A corrida 31.799, fundida e vazada segundo estas instruções, apresentou nos ensaios os seguintes resultados:

Análise química: C — 0,23; Mn — 1,00; Si — 0,36; P — 0,016; S — 0,013; Mn/C — 4,4.

Limite de resistência: 55,5 kg/mm².

Limite de escoamento: 37,5 kg/mm².

Alongamento: (2'') — 27%.

Estricção: 55%.

Sendo êsses valores superiores aos mínimos exigidos, os flanges fundidos foram aprovados e receberam o carimbo "ASTM-A-352-LCB".

Para as peças forjadas foi seguido procedimento análogo. Foi vazada nova corrida com as mesmas recomendações; os lingotes obtidos foram forjados nas diversas peças necessárias (targos, flanges, etc.), que, submetidas a normalização e ensaiadas, apresentaram os valores abaixo:

Análise química: C — 0,23; Mn — 0,92; Si — 0,09;
P — 0,027; S — 0,021.

Ensaio de choque (kgm): temperatura (—) 46°C; 3,3;
3,8; 3,7.

Limite de resistência: 51,5; 52,5 kg/mm².

Limite de escoamento: 38,0; 34,5 kg/mm².

Alongamento: 29,5; 29,5%.

Estricção: 49,0; 63,0%.

O número de dados mencionados é por demais reduzido para permitir uma conclusão definitiva do processo empregado. No entanto, cremos que, seguindo-se as recomendações mencionadas, não será difícil obter-se aço carbono para trabalho a (—) 50°F.

3. SOLDA — CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO E DOS SOLDADORES

Normalmente um determinado eletrodo e o processo usado para soldar são submetidos a vários ensaios de tração e dobramento a fim de se classificar o processo (“performance”). Uma vez conseguido o primeiro objetivo, os vários soldadores que trabalharão no projeto são submetidos a ensaios, em geral em menor número. No caso em estudo, por se tratar de primeira experiência a baixa temperatura, o Inspetor da Cliente exigiu que cada soldador fosse submetido aos seguintes ensaios: um ensaio de tração; dois ensaios de dobramento lateral; um dobramento-face; um dobramento-raiz; ensaio de choque a temperatura indicada (3 corpos de prova).

As chapas utilizadas nos Permutadores assim como nos corpos de prova pertenciam à especificação ASTM-A-300 e foram colhidos de maneira semelhante à indicada na figura 9. O número de passes e a posição dos mesmos variam ligeiramente de soldador para soldador. As chapas destinadas a teste foram inspecionadas por Raio X e submetidas a revenido a 650°C, tratamento êste que também foi seguido para os Permutadores. O entalhe dos 3 corpos de prova foi localizado conforme indicado na mesma figura 9; para facilitar a localização foi procedido a ataque macrográfico com reativo de iodo, a fim de realçar a solda.

Foram submetidos a ensaios 12 soldadores; 7 foram aprovados, 2 reprovados e 3 deveriam ser submetidos a novos ensaios. Os resultados obtidos constam da tabela V. Os corpos de prova de dobramento foram dobrados a 180° com cutelo de diâmetro 4 t , sendo t a espessura dos corpos de prova, de acôrdo com código da ASME, seção IX. Os soldadores 35.735, 34.433, 34.437, 34.625 e 35.706, não puderam ser aproveitados neste serviço, em vista dos resultados duvidosos do ensaio de choque.

TABELA V

Soldador	ENSAIO DE TRAÇÃO			ENERGIA DE CHOQUE
	S_0 (mm ²)	Carga de ruptura (kg)	Tração (kg/mm ²)	Energia absorvida a (—) 46°C (kgm)
35.723	731,5	36.000	49,0	5,6 — 6,3 — 5,1
35.708	706,8	35.500	50,0	3,7 — 6,1 — 5,4
35.722	733,4	36.400	49,5	5,1 — 6,7 — 2,3
35.729	727,7	36.500	50,0	5,3 — 6,1 — 5,7
35.732	752,7	37.500	50,0	5,0 — 1,6 — 5,5
35.701	722,0	37.700	52,0	4,5 — 4,0 — 2,8
34.416	730,0	38.400	52,5	3,6 — 3,3 — 1,4
35.735	—	—	—	5,2 — 1,1 — 3,7
34.433	—	—	—	4,5 — 0,5 — 7,0
34.437	—	—	—	3,5 — 3,2 — 0,5
34.625	—	—	—	0,3 — 0,5 — 0,4
35.706	—	—	—	0,5 — 0,4 — 0,5

Observações — Tôdas as rupturas se deram fora da zona de solda.

O eletrodo utilizado nas várias soldas pertencia à classe E-6.016; foi escolhido em vista de ser de baixo hidrogênio, condição necessária para trabalho a baixas temperaturas e apresenta 8 kgm como energia absorvida no ensaio de choque a 0°C. Bennett¹³ mostrara que eletrodos da classe E-6.010 haviam apresentado resultados satisfatórios até (—) 80°C e que eletrodos da classe E-6.020 poderiam ser utilizados até (—) 60°F.

Era de se supôr, portanto, que a classe escolhida satisfizesse aos requisitos especificados. Os resultados obtidos confirmaram as previsões.

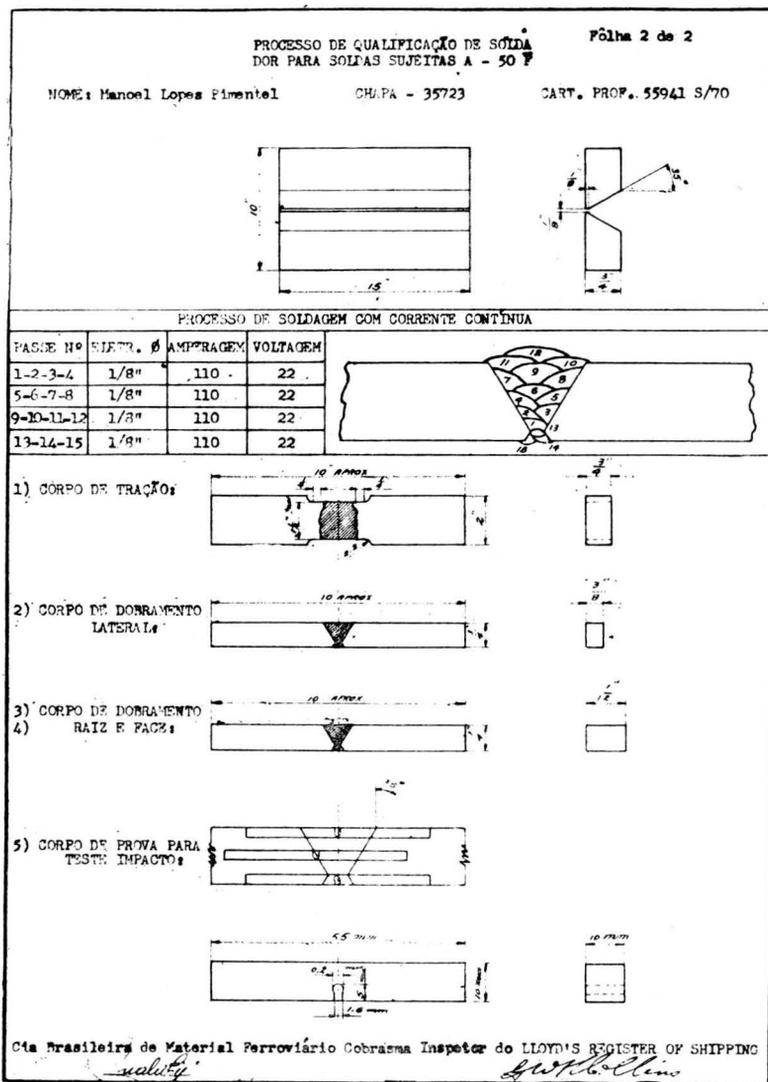


Fig. 9 — Exemplo de fôlha na qualificação de soldador para soldas sujeitas a baixa temperatura. Os ensaios são submetidos ao Inspetor do Lloyd's Register of Shipping.

Desde que o material base pertença à especificação destinada a trabalho a baixas temperaturas, não existem grandes dificuldades com a zona afetada pelo calor. Alguns cuidados práticos devem ser tomados, no entanto, para obter-se granulação

fina, indispensável para uma boa tenacidade. É interessante depositar-se o material em camadas de pequena espessura. Desta forma, cada passe reafina o grão do passe anterior.

O último passe possui, em geral, estrutura grosseira e dendrítica. Esta estrutura frágil localiza-se no ponto mais propício ao início da ruptura.

Essa situação desfavorável pode ser sanada pelo acréscimo de mais um passe, que em seguida, é removido por esmerilhamento, fazendo com que o passe externo possua estrutura refinada.

Todos os Permutadores de Calor destinados à baixa temperatura foram submetidos a Inspeção pelo Raio X, localizando-se o "ecran" nos cruzamentos da solda longitudinal com a solda circunferencial. Os permutadores completos (sem o feixe) foram submetidos a alívio de tensão a 650°C.

4. CONCLUSÕES

1 — O ensaio de choque é utilizado para medir a ductilidade a baixas temperaturas. O critério geralmente empregado é o da "Temperatura de transição".

2 — As estruturas austeníticas são isentas de classificação pelo ensaio de choque a baixa temperatura. Seguem-lhe em qualidade as estruturas martensíticas. Quando não se pode utilizar as estruturas acima, seja pelo alto custo ou pela impraticabilidade do trabalho térmico, pode-se procurar uma estrutura uniforme resultante de Normalização.

3 — Uma granulação fina favorece uma baixa temperatura de transição.

4 — Uma alta relação Mn/C facilita a obtenção de altos valores no ensaio de choque. Os demais elementos influem de maneira menos intensa e devem ser mantidos dentro dos teores normais.

5 — A desoxidação e o acabamento na laminação devem ser conduzidos de maneira a se obter uma granulação fina.

6 — Eletrodos pertencentes às classes E60XX prestam-se à execução de soldas destinadas a trabalho a (—) 50°F desde que certos cuidados práticos sejam seguidos.

AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem à Companhia Brasileira de Material Ferroviário "COBRASMA", na pessoa de seu Diretor, Eng. Alberto Pereira de Castro, a confiança e orientação prestada por ocasião das experiências que conduziram ao resultado exposto; aos técnicos das Divisões de Engenharia, Fundição, Forjaria e Construções Industriais e Ferroviárias pela colaboração na execução das experiências e pelas valiosas sugestões apresentadas; ao Sr. Celso Alves, pela ajuda na execução dos ensaios; aos Srs. Milton Garcia e Araken Ferreira de Moraes, pelo auxílio na confecção dos originais.

BIBLIOGRAFIA

1. MILLARD VAN BLARICOM — "*How to obtain ASTM-A-333C from normalized A-106 B and A-53 B*". Petro/Chem Engineer, pgs. C-24 a C-30, July, 1960.
2. ASTM-A-350-55, item 1) C), pág. 314.
3. J. B. AUSTIN — "*Manufacture os Steels for Low-Temperature Service*". Mechanical Properties of Metals at low temperatures; U. S. Department of Commerce — N. B. S. — Circular 520.
4. J. M. HODGE; R. D. MAMING and H. H. REICHHOLD — "*The effect of grain size on notch toughness*". J. Metals, 1. 233 (1949).
5. "*Steels for low temperature service*". United States Steel.
6. W. BARR and A. J. K. HONEYMAN — "*Effect of the manganese/carbon Ratio on the brittle fracture of Mild Steel*". J. Iron and Steel Inst., vol. 157, pág. 239.
7. W. BARR and A. J. K. HONEYMAN — "*Some factors affecting the notched-bar impact properties of mild Steel*". J. Iron and Steel Inst., vol. 157, pág. 243.
8. I. W. SHARP and R. A. ROSENBERG — "*Increased impact resistance of low carbon Steel casting*". Steel Foundry Facts, pág. 2, June 1961. N. P. Allen.
9. "*Recent European Work on the Mechanical properties of Metals at Low Temperatures* V. S. Department of Commerce — N. B. S. — Circular 520.
10. J. A. RINEBOLT and W. J. HARRIS Jr. — "*Effect os alloying elements on notch toughness of pearlitic Steels*". Trans. Am. Soc. Metals 43, 1175, (1951).
11. W. BARR and C. F. JIPPER — "*Brittle Fracture in Mild Steel Plates*". J. Iron and Steel Institut, vol. 157, pág. 223.
12. J. GORUSSEN — "*Some notes on brittleness of Mild Steel*". J. Iron and Steel Institut, vol. 162, pág. 16.
13. R. W. BENNETT — "*Welding for low — temperature service*". The Welding Journal, págs. 1089-1097, novembro de 1953.
14. MILO PALMER — "*Materials of construction for Sub-Zero Temperature Service*". Petroleum Refiner, vol. 38, n.º 10, Outubro de 1959.