

ESTUDO METALOGRÁFICO DE CHAPAS DE AÇO SAE 1025, LAMINADAS A QUENTE E TRATADAS TÈRMICAMENTE ⁽¹⁾

JOSÉ ABRÃO ⁽²⁾

JANUSZ WSCIEKLICA ⁽³⁾

RESUMO

O presente trabalho versa sôbre chapas 400 mm × ¼", em bobinas, laminadas e bobinadas a diferentes temperaturas. Uma série de tratamentos térmicos foi executada sôbre amostras colhidas de uma das bobinas. Os autores fixaram, através de micrografias, as estruturas obtidas e apresentam ao lado destas, as propriedades mecânicas (tração e dureza) encontradas nos ensaios.

1. INTRODUÇÃO

Sete placas, de 400 × 80 × 3000 mm, foram laminadas, nas dimensões transversais de 400 mm × ¼", no trem reversível "Steckel" da Usina de Monlevade, da CSBM, cada uma em determinada temperatura. Fez-se variar a temperatura de bobinamento, procedendo-se, antes, a um resfriamento ao ar (mais ou menos demorado), ou através de chuveiros com jatos mais ou menos abundantes. Procurámos, assim, obter uma estrutura que se aproximasse da do aço normalizado e, também, identificar as estruturas oriundas quer de um quer de outros tipos de resfriamento.

Após o resfriamento das bobinas à temperatura ambiente, estas foram endireitadas; foram colhidas amostras de aproximadamente 500 mm de comprimento, compreendendo o local donde se tomou a temperatura. Sôbre estas amostras foi executada

(1) Contribuição Técnica n.º 400. Apresentada ao XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM. Engenheiro dos Laboratórios da Usina de Monlevade da CSBM; Monlevade, MG.

(3) Membro da ABM. Engenheiro dos Laboratórios da Usina de Monlevade da CSBM; Monlevade, MG.

uma série de tratamentos térmicos, com o propósito de obterem-se estruturas extremas e estudar o comportamento do aço em aprêço, sob os diferentes tratamentos. Foram então tomados corpos de prova para ensaios mecânicos (7) e preparadas superfícies polidas para exame micrográfico.

2. CHAPAS LAMINADAS

O quadro abaixo resume as condições de laminação, apresentando os correspondentes valores médios obtidos nos ensaios de tração e dureza e o número das micrografias representativas de cada amostra.

Bobina	Laminação		Bobinamento		Ensaio mecânicos					Micografia Fig. n.º
	Temper. °C		Resfriamento prévio	Temp. °C	L. E. kg/mm ²	L. R. kg/mm ²	Along. % s/2"	Dureza Brinell	Quant. provetas	
	1.ª pass.	saída								
A	1000	790	no ar	650	40,3	53,3	26,7	150	3	1
B	1200	830	idem	650	35,0	50,7	31,7	138	3	2
C	1205	900	idem	650	33,0	49,5	32,0	137	2	3
D	1160	800	c/ chuv.	680	39,0	53,5	30,2	155	4	4
E	1165	860	idem	650	40,2	55,4	28,2	157	12	5
F	1180	970	sem	835	29,0	46,0	31,0	120	3	6
G	1195	baixa	c/ chuv.	720	33,7	46,0	31,0	126	3	7

As bobinas provêm de uma corrida com a seguinte análise química, em %:

C: 0,25; Mn: 0,45; P: 0,025;
Si: 0,31; S: 0,012; Al: 0,011.

Tôdas foram laminadas sob as mesmas condições de pressão e velocidade a cada uma das 7 passagens respectivas entre

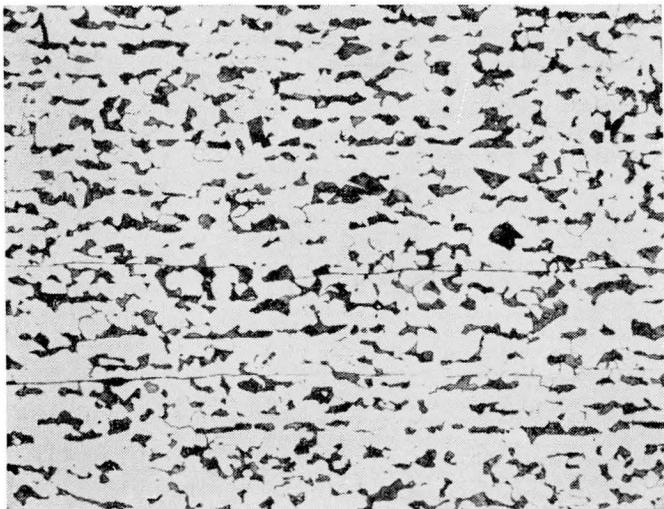


Fig. 1 — Micrografia da chapa A, laminada a uma temperatura ligeiramente baixa. Ferrita e perlita, textura tendendo para a alinhada. Encruamento imperceptível. Grão ferrítico nº 10 ASTM. 250 x; ataque nital.



Fig. 2 — Micrografia da chapa B, laminada em condições normais e resfriada ao ar do bobinamento. Estrutura homogênea. Grão ferrítico nº 8 ASTM. 250 x; ataque nital.

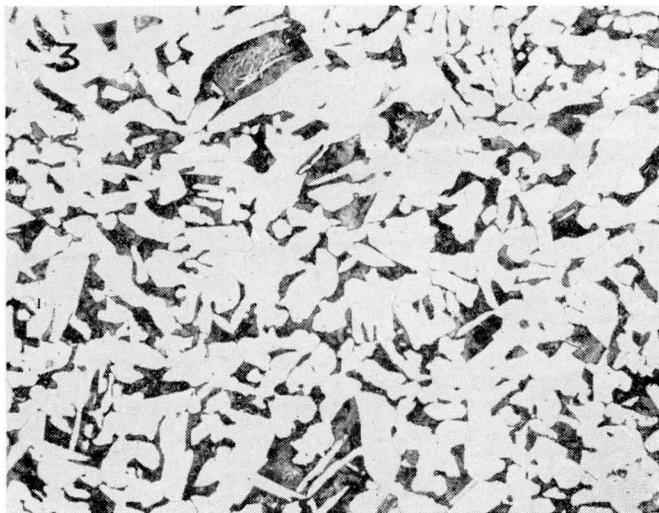


Fig. 3 — Micrografia da chapa C, laminada em temperatura elevada e bobinada em condições normais. Textura grosseira. Grão ferrítico n.º 7 ASTM. 250 ×; ataque nital.



Fig. 4 — Micrografia da chapa D, laminada em condições normais e resfriada com água (jato brando) antes do bobinamento. Estrutura homogênea. Grão ferrítico n.º 8 ASTM. 250 ×; ataque nital.

os cilindros. A figura 1 mostra a estrutura da chapa A, laminada a uma temperatura abaixo da desejável. A deformação dos grãos é imperceptível, mas é evidenciada pelas características físicas. Na figura 2 fixamos o aspecto da chapa B, laminada em condições normais. A estrutura é homogênea, a granulação regular e fina. A chapa C laminada a temperatura mais elevada do que a anterior, apresenta textura grosseira, com tendência acicular. Interessante notar que suas características físicas são comparáveis com as da chapa anterior, exceto o limite elástico que baixou. As chapas A, B e C enroladas à mesma temperatura ideal (abaixo da zona crítica A_{r1}) conduziram a diferentes resultados vinculados à temperatura de laminação. A chapa D, laminada em condições idênticas à bobina B, desta difere por haver sofrido, à saída do trem "Steckel", resfriamento por meio de jatos d'água em chuveiros. Foi a seguir bobinada a 680°C. A estrutura exibida (fig. 4) é a mesma da chapa B (fig. 2). As características mecânicas daquela são de um aço mais duro do que desta. O resfriamento com chuveiros, sendo mais rápido do que ao ar, produz perlita mais fina.

Um caso de resfriamento rápido antes do bobinamento, exemplifica-se na chapa E. A estrutura acicular (fig. 5) já se faz notar mais do que na chapa C (fig. 3), e a textura é menos grosseira. A chapa tornou-se mais dura e mais plástica do que a chapa A, que pode ser considerada como laminada "fria".

A chapa F é a que se apresenta menos dura. Sua estrutura (fig. 6) exhibe perlita grossa e em textura alinhada. A temperatura de saída do trem foi muito elevada e o bobinamento acima de A_{r3} .

A chapa G revela estrutura de laminação anormal (fig. 7): perlita muito grossa, tendo havido também a precipitação da cementita sob a forma globular junto à própria perlita e nos interstícios dos grãos de ferrita. Isto tem origem na temperatura baixa da última passagem seguida de enrolamento dentro da zona crítica (A_1-A_3). Esse abaixamento de temperatura foi, propositadamente, ativado por jatos d'água entre a 1.^a e 2.^a passagens e entre a 5.^a e 6.^a.

3. CHAPAS TRATADAS

Amostras D-1 a D-9, da bobina D (0,25% C; 0,49% Mn; 0,029% P; 0,32% Si; 0,011% Al; 0,011% S), foram subme-

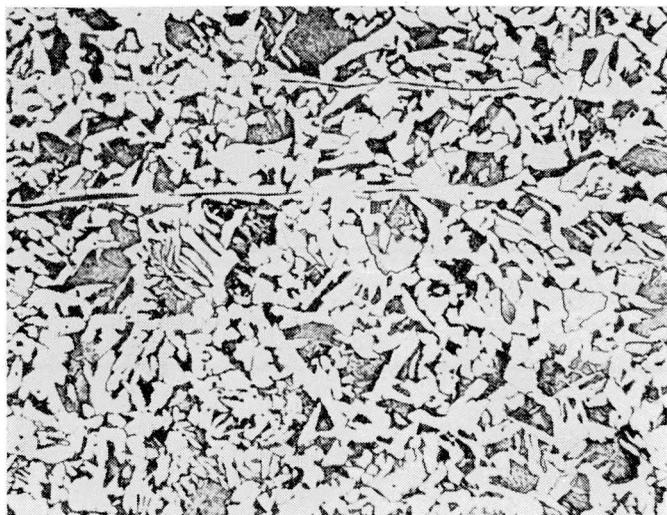


Fig. 5 — Micrografia da chapa E, laminada em condições normais e resfriada rapidamente antes do bobinamento. Textura acicular fina. 250 ×; ataque nital.

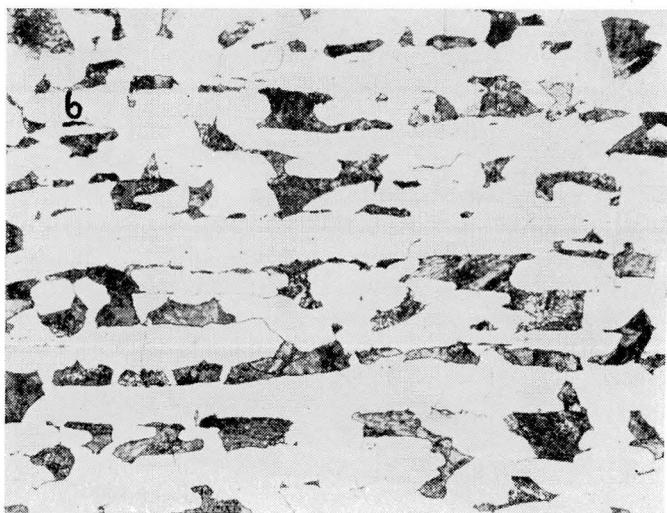


Fig. 6 — Micrografia da chapa F. Laminação e bobinamento à temperatura elevada. Perlita grossa e textura alinhada. Grão ferrítico n.º 6-7 ASTM. 250 ×; ataque nital.

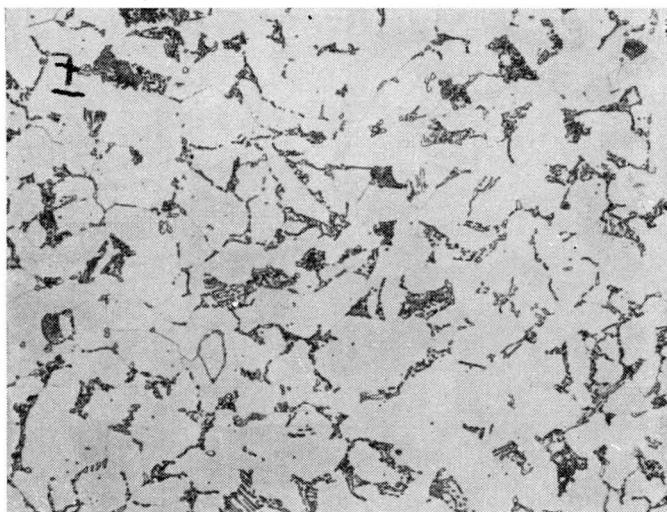


Fig. 7 — Micrografia da chapa G. Baixa temperatura no final da laminação, seguida de enrolamento dentro da zona crítica. Perlita grossa e cementita livre. Grão ferrítico n.º 6-7 ASTM. 500 ×; ataque nital.

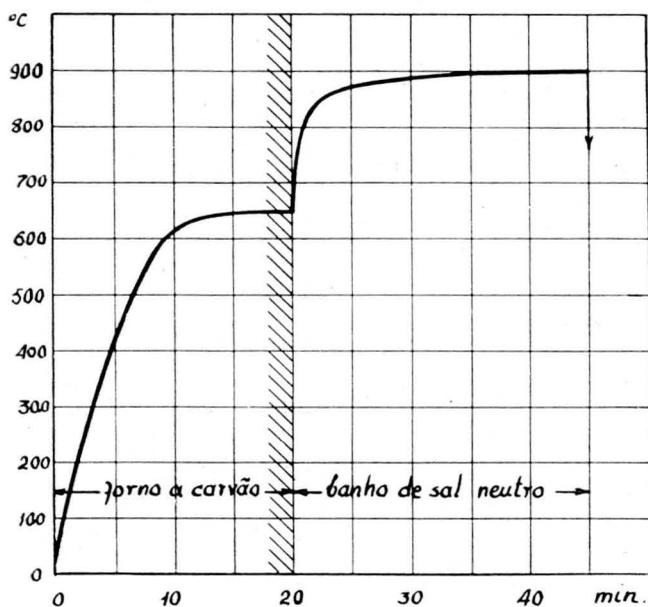


Fig. 8 — Diagrama de aquecimento das chapas submetidas aos tratamentos térmicos.

tidas aos tratamentos térmicos seguintes, em ordem decrescente de severidade:

- D-1 — Têmpera em água salgada a 0°C.
- D-2 — Têmpera em água a 25°C.
- D-3 — Têmpera em água a 50°C.
- D-4 — Têmpera em água salgada (25°C) até 600°C (1,5 segundos) seguida de resfriamento ao ar livre.
- D-5 — Têmpera em óleo.
- D-6 — Normalização (resfriamento ao ar livre).
- D-7 — Têmpera em água a 25°C, seguida de recozimento durante 2 horas a 690°C.
- D-8 — Recozimento subcrítico durante 2 horas a 690°C.
- D-9 — Recozimento supercrítico, resfriamento de 900°C a 50°C durante 15 horas.

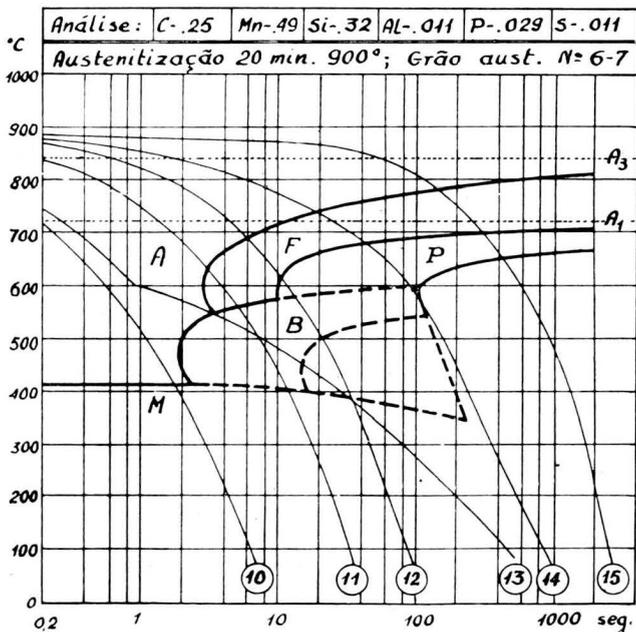


Fig. 9 — Diagrama TTT de resfriamento contínuo: A — austenita; F — ferrita; P — perlita; B — bainita; M — martensita. Os números indicados nas curvas de resfriamento referem-se às micrografias.



Fig. 10 — Micrografia da chapa D-1, temperada em água salgada a 0°C. Martensita grossa (47,9 Rc).
500 ×; ataque nital.



Fig. 11 — Micrografia da chapa D-2, temperada em água a 25°C. Ferrita envolvendo grãos de bainita e martensita abundantes (39,2 Rc). 500 ×; ataque nital.

A temperatura de austenitização foi alcançada mergulhando-se a amostra — previamente aquecida durante 20 minutos a 650°C num forno a carvão — em banho de sal neutro (GS 540 da Brasimet) a 900°C, que aí foi mantida durante 25 minutos. O gráfico da figura 8 mostra, com detalhe, o programa de aquecimento. As amostras assim tratadas foram submetidas a ensaios de tração e de dureza e a exame micrográfico. As médias dos resultados aparecem no quadro abaixo:

Chapa	Tratamento térmico	Ensaio mecânico					Micrografia Fig. n.º
		L. E. kg/mm ²	L. R. kg/mm ²	Along. % s/2"	Dureza Brinell	Quant. provetas	
D-1	Têmpera em água salgada	—	—	—	465	—	10
D-2	Têmpera em água	—	—	—	368	—	11
D-3	Têmpera em água quente .	—	—	—	293	—	12
D-4	Têmpera mista em água e ar	61,0	88,0	13,0	248	1	13
D-5	Têmpera em óleo	50,7	64,5	21,8	201	6	14
D-6	Normalização	36,6	51,5	31,5	145	6	15
D-7	Têmpera em água, recozimento subcrítico	38,5	50,2	25,3	139	6	16
D-8	Recozimento subcrítico ...	36,5	49,0	32,7	135	6	17
D-9	Recozimento supercrítico .	29,0	45,0	31,0	116	1	18

Para melhor ilustração, foram traçadas as curvas de resfriamento (fig. 9) referentes aos tratamentos térmicos executados, sobre o diagrama TTT de resfriamento contínuo¹, com as devidas alterações para adaptá-lo ao aço em lide^{2, 3, 4, 5, 6}. Na ausência de aparelhagem adequada para o estabelecimento desse diagrama, os autores procuraram adaptar ao caso presente o diagrama mais próximo, considerando-se os teores dos elementos no aço, as velocidades de resfriamento e os correspondentes constituintes micrográficos formados.

A figura 10 fixa a estrutura (martensita grossa) da chapa D-1 drásticamente temperada, a mais endurecida (47,9 Rockwell C) dentre tôdas.

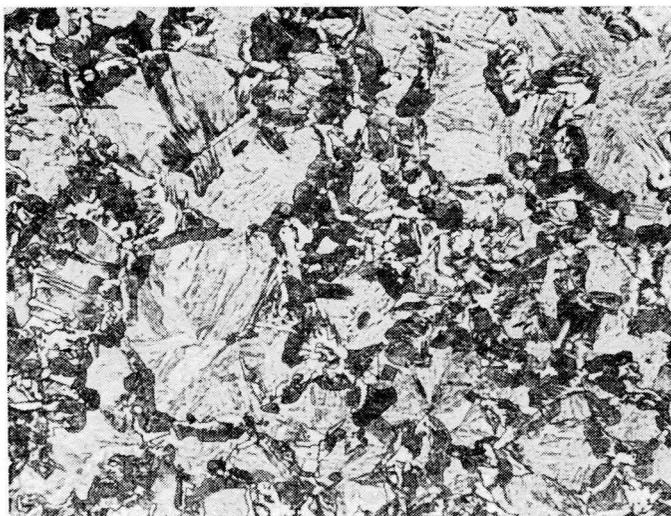


Fig. 12 — Micrografia da chapa D-3, temperada em água a 50°C. Perlita muito fina nodular (troostita), bainita, martensita e pouca ferrita (31,0 Rc). 500 ×; ataque nital.



Fig. 13 — Micrografia da chapa D-4, temperada em água salgada, prosseguindo-se o resfriamento ao ar a partir de 600°C. Bainita e alguma martensita (24,0 Rc). Grão austenítico n.º 6-7 ASTM. 500 ×; ataque nital.



Fig. 14 — Micrografia da chapa D-5, temperada em óleo. Ferrita acicular e perlita fina (93,7 Rb). 500 ×; ataque nital.

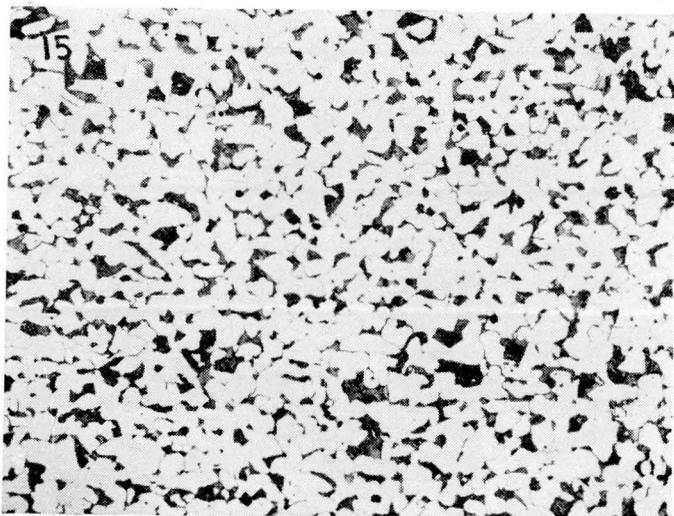


Fig. 15 — Micrografia da chapa D-6, normalizada. Estrutura fina e homogênea. Grão ferrítico n.º 9 ASTM (79,0 Rb). 250 ×; ataque nital.

A chapa D-2 — temperada em água a 25°C — apresenta estrutura mais branda (fig. 11). Esta velocidade de resfriamento não foi suficiente para impedir a precipitação da ferrita nas juntas dos antigos cristais de austenita, ferrita essa a principal responsável pelo abaixamento de dureza. A bainita e a martensita ocorrem em proporções aproximadamente iguais.

Na chapa D-3 — temperada em água a 50°C — a curva de resfriamento já atravessa o início da zona da perlita. Esta aparece em lamelas finíssimas, com textura nodular “troostita” (fig. 12). Dentre a bainita e a martensita, esta apresenta-se em mais baixa proporção.

A têmpera mista em água e ar (chapa D-4) conduziu a estrutura bainítica, com alguma martensita (fig. 13). A disposição da textura deixa divisar-se o contorno do grão austenítico n.º 6-7 ASTM.

O resfriamento em óleo (chapa D-5) já não revela constituintes propriamente de têmpera (fig. 14): ferrita acicular e perlita muito fina.

Na chapa D-6, normalizada, observa-se estrutura muito fina (fig. 15) que lhe confere a resistência elevada de 51,5 kg/mm². Nota-se também o tamanho do grão ferrítico regular e a perlita bem distribuída.

Após a têmpera em água, o recozimento subcrítico (chapa D-6) durante 2 horas foi suficiente para o coalescimento total da cementita, que aparece em pequeninos glóbulos (fig. 16); mas a matriz ferrítica conserva parcialmente a textura original, conferindo à amostra dureza não muito baixa.

Ao mesmo recozimento acima foi submetida a chapa D-7 simplesmente laminada. Mostra incipiente esferoidização em glóbulos ainda agregados aos grãos de perlita (fig. 17). Fica, assim, patente que o coalescimento é levado a termo mais rapidamente, partindo-se de texturas mais finas⁹.

Nessa série de tratamentos, o de que resultou numa dureza mais baixa foi o recozimento supercrítico (chapa D-9). Na figura 18 vê-se a estrutura obtida. A textura alinhada pode ser explicada pela precipitação da ferrita, efetuada lentamente. Desta maneira possibilitou a sua formação em torno de impurezas (inclusões, segregações, defeitos, etc.), as quais favorecem a nucleação, impurezas essas que se dispõem segundo a direção de laminação e que guardam esta orientação após o tratamento térmico. Fenômeno idêntico passou-se com a chapa F (fig. 6), que sofreu resfriamento lento, resultante do seu bobinamento em temperatura elevada.



Fig. 16 — Micrografia da chapa D-7, temperada e recozida a 690°C durante 2 horas. Cementita globular fina sobre fundo ferrítico de grão n.º 8 ASTM (76,8 Rb). 500 ×; ataque nital.

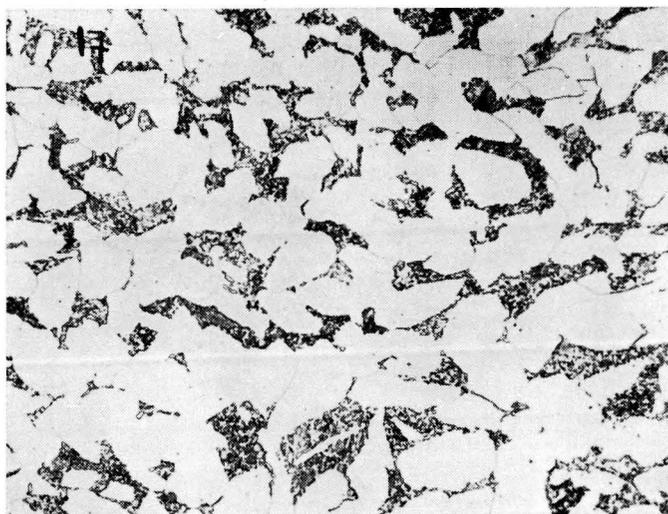


Fig. 17 — Micrografia da chapa D-8, recozida a 690°C durante 2 horas, sobre laminado. Cementita parcialmente coalescida (75,6 Rb). Grão ferrítico n.º 6-7 ASTM. 500 ×; ataque nital.

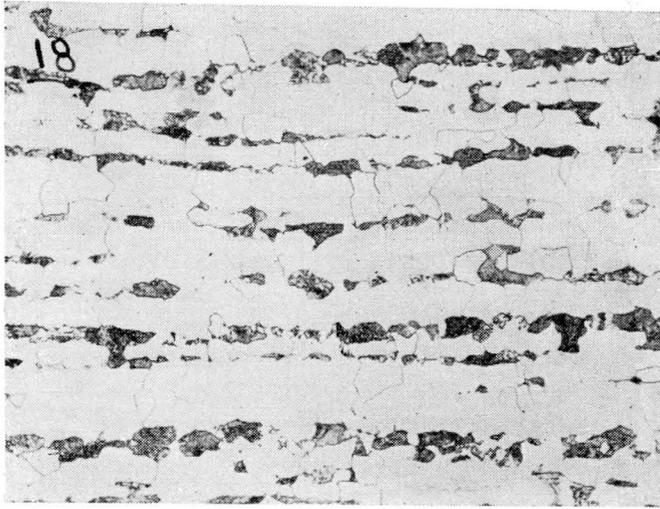


Fig. 18 — Micrografia da chapa D-9, recozida 20 minutos a 900°C, resfriamento dentro do forno (68.0 Rb). Textura alinhada. Grão ferrítico n.º 7-8 ASTM. 250 ×; ataque nital.

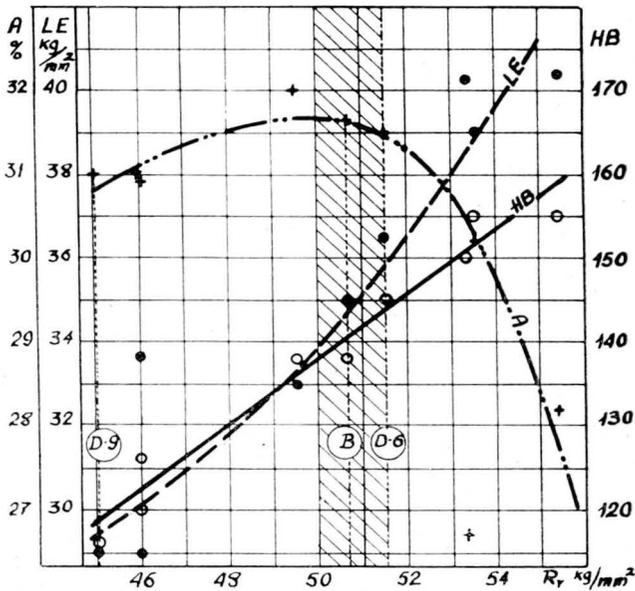


Fig. 19 — Representação gráfica do limite de escoamento, dureza e alongamento em função do limite de resistência das chapas laminadas.

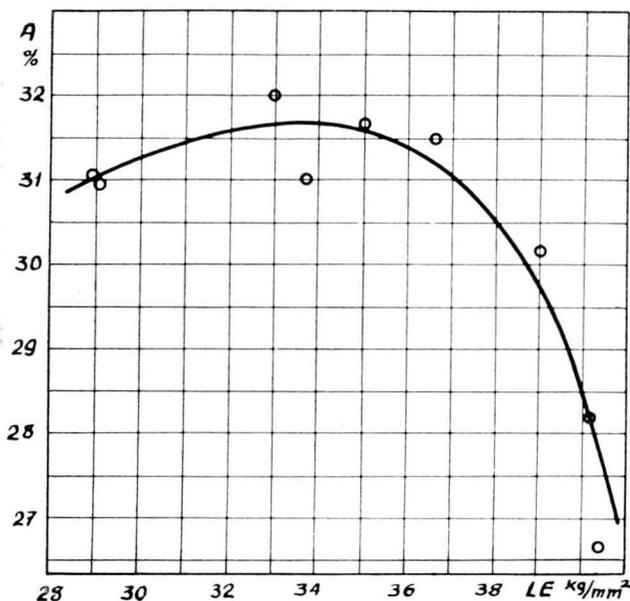


Fig. 20 — Representação gráfica do alongamento em função do limite de escoamento das chapas laminadas.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quanto às chapas laminadas, ressaltamos os seguintes pontos:

1 — Variando-se apenas as condições de temperatura e de resfriamento nos diversos passes da laminação e no bobinamento, chegamos a uma variação do limite de resistência de 46,0 a 55,4 kg/mm². Nas figuras 19 e 20 representamos graficamente as relações entre as propriedades mecânicas das chapas laminadas. Nota-se que os curvas recebem os pontos referentes às chapas normalizada (D-6) e recozida (D-9). A dureza cresce linearmente com o limite de resistência, e o limite elástico cresce mais acentuadamente. O alongamento passa por um valor máximo. Está melhor representada em função do limite elástico (fig. 20), onde a curva é da mesma forma do gráfico anterior. O melhor conjunto de propriedades mecânicas aparece limitado, na figura 19, pela faixa 50,0-51,5 kg/mm² de resistência.

2 — O resfriamento intenso antes do enrolamento conduz a estruturas aciculares de alta resistência, em prejuízo da plasticidade (chapas C e E). Altas temperaturas de laminação acen-

tuam êste efeito. Laminação a temperatura ligeiramente baixa produz efeito análogo nas propriedades mecânicas, embora menos acentuado (chapa A); mas apresenta inconveniente quanto às diferenças destas propriedades segundo as direções longitudinal e transversal, devido as deformações residuais que podem ocorrer nas últimas passagens.

3 — Elevadas temperaturas na última passagem seguida de bobinamento acima de A_{r3} promovem textura grosseira, alinhada, conferindo à chapa características mecânicas inferiores (chapa F). O mesmo acontece pelo bobinamento dentro da zona crítica que promove cementita livre (chapa G).

4 — As características mecânicas da chapa B identificam-na com a chapa normalizada (D-6) e, a seguir, a chapa D é a que se aproxima destas condições. Nas chapas tratadas, observou-se:

- a) Que a têmpera drástica conduz a estrutura inteiramente martensítica (chapa D-1).
- b) Com resfriamento em água à temperatura ambiente ou com outros meios menos eficazes, a martensita não predomina sobre o conjunto dos demais constituintes que aparecem (chapas D-2 a D-5).
- c) Os recozimentos subcrítico e supercrítico abaixam o limite elástico sem aumentar sensivelmente o alongamento.

5. CONCLUSÕES

1. O aço SAE 1025 é susceptível de tomar têmpera drástica.
2. A chapa normalizada é a que apresenta melhor conjunto de propriedades mecânicas para a aplicação na indústria de transformação a frio que exija altos limites elástico e de resistência.
3. Características análogas — reveladas na chapa B (fig. 19) — podem ser obtidas após a laminação, tendo em conta os seguintes pontos:
 - a) Temperatura inicial de laminação 1150°C-1200°C;
 - b) Temperatura final de laminação 820°C-870°C e
 - c) Bobinamento abaixo de 720°C, sem que o conseqüente resfriamento seja demasiado brusco.

AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos aos Diretores da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, por possibilitar-lhes a realização e publicação do presente trabalho. Desejam também agradecer a colaboração prestada pelo Serviço de Laminadores da Usina de Monlevade.

BIBLIOGRAFIA

1. *Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle*. Edição Stahleisen (1958).
2. A. S. M. — *Metals Handbook*, págs. 465 e 611 (1948).
3. IRVINE, K. J. and PICKERING, F. B. — *The Metallography of Low-carbon Bainitic Steels*. Journal of the Iron and Steel Institute, pág. 101 (February, 1958).
4. IRVINE, K. J. and PICKERING, F. B. — *The Tempering Characteristics of Low-carbon Low-alloy Steels*. Journal of the Iron and Steel Institute, pág. 137 (February, 1960).
5. BUSBY, C.; HAWKES, M. F. and PAXTON, H. W. — *Tensile and Impact Properties of Low-carbon Martensites*. Transactions A. S. M., pág. 135 (1955).
6. ABORN, R. H. — *Low-carbon Martensites*. Transaction A. S. M., pág. 51 (1956).
7. A. S. T. M. STANDARDS — *Designation A 245 — 58 T*. Part I, págs. 541-546 (1958).
8. METAL DATA — Pág. 48 (1952).
9. APRAIS BARREIRO, J. — *Tratamientos Termicos de los Aceros*. Madrid (1949).
10. COLPAERT, H. — *Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns*. I. P. T. São Paulo (1959).

DISCUSSÃO ⁽¹⁾

S. Friedrich ⁽²⁾ — Desejo cumprimentar os Engs. José Abrão e Janusz Wscieklica pelo belo trabalho que apresentaram sobre esse assunto, do mais alto interesse e a respeito do qual temos dados apenas em literatura estrangeira. Já era tempo de nós mesmos executarmos pesquisas dessa natureza, porque obteremos informações muito interessantes para o caso particular de nossas usinas, uma vez que nunca é possível adotar integralmente conclusões oriundas de outras usinas, pois cada uma tem suas condições particulares. Essa questão das texturas que se obtêm na laminação é mais interessante. De modo que considero esse informe muito proveitoso. Está em discussão o trabalho.

O. Weinbaum ⁽³⁾ — Queria perguntar aos autores qual a porcentagem de sal que aplicaram no resfriamento brusco com água. Na literatura americana encontram-se dados da ordem de 10% como os mais indicados.

(1) Contribuição Técnica n.º 400. Discutida na Comissão «I» do XV Congresso da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM e Presidente da Comissão; Engenheiro da CSN; Volta Redonda, RJ.

(3) Membro da ABM; Metalurgista e Professor; São Paulo, SP.

J. Abrão (4) — Empregámos solução saturada.

O. Weinbaum — Uma outra pergunta: essa primeira coluna da tabela refere-se ao limite elástico ou ao limite inferior de escoamento?

J. Abrão — Refere-se ao limite inferior de escoamento.

Jorge Amaral Cintra (5) — Em primeiro lugar, desejo cumprimentar os autores pelo ótimo trabalho apresentado. A respeito gostaria de fazer duas sugestões, referentes à nomenclatura: a primeira se refere ao *corpo de prova*, que os senhores chamaram de *proveta*; convém que fiquemos com o primeiro nome, consagrado pelo Método Brasileiro MB-4, da ABNT; a segunda se refere ao limite de escoamento que os senhores chamaram imprópriamente de limite elástico.

J. Abrão — De fato, a definição de limite elástico é diferente da de limite de escoamento; mas, para fins práticos, estes podem ser confundidos.

J. A. Cintra — Em verdade o próprio MB-4, Método Brasileiro da ABNT, os define. Quem compara as duas definições verá que correspondem a deformações bem diferentes, não podendo confundirlos em seus valores numéricos e menos ainda em terminologia. Sei que no trabalho apresentado trata-se de limite de escoamento, por ter esta tensão maior importância prática.

S. Friedrich — O certo seria realmente falar-se em limite de escoamento.

A. Cucchi (6) — Não seria fluência?

J. A. Cintra — Não. Usamos *fluência* para a deformação lenta sob carga constante.

S. Friedrich — No caso dêsses ensaios, o que se determina sempre é limite de escoamento. Não se deve fazer confusão com limite elástico.

J. Abrão — Sim. Seria melhor dizer-se limite de escoamento. Aliás, as firmas, quando encomendam o material, especificam geralmente limite elástico, quando na verdade querem indicar limite de escoamento.

J. A. Cintra — Em terceiro lugar, gostaria de lembrar que a caracterização da qualidade da chapa se faria melhor, na minha opinião, através de certos coeficientes que não são os indicados no trabalho. A dureza diz muito pouco. Segundo trabalho apresentado no Congresso da ABM no ano passado, as duas características que realmente têm significado físico são: o coeficiente de resistência e o expoente de enruamento. (*)

(4) Membro da ABM; dos Laboratórios de Monlevade da CSBM; Monlevade MG.

(5) Membro da ABM; Engenheiro do IPT; São Paulo, SP.

(6) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; da «Sociedad Argentina de Metales»; Buenos Aires, República Argentina.

(*) Ver "O ensaio de tração como meio de qualificação de chapas finas para estampagem", dos Engenheiros A. A. Arantes e J. Amaral Cintra. "ABM-Boletim", vol. 16, pág. 457.

J. Abrão — Li essa sua contribuição e achei-a muito interessante. Entretanto não havia mais tempo para medir e apresentar estas duas características; o presente trabalho já estava terminado e em vias de ser remetido à ABM. As durezas foram determinadas para melhor confronto entre as amostras tratadas e as simplesmente laminadas. A faixa dita "*de melhores características mecânicas*" foi traçada considerando-se os maiores alongamentos correspondentes aos limites de resistência os mais altos possíveis.

J. A. Cintra — Acho que é um pouco empírica essa determinação. O senhor determinou a melhor faixa através do alongamento. Não teve um critério baseado na prática ou em experiência anterior?

J. Abrão — Ensaíamos, normalmente, tôdas as chapas que a Belgo-Mineira fabrica; mediante os resultados obtidos na indústria de transformação, pudemos fixar êstes limites como padrão para uma chapa boa. Aqui aparecem apenas dezesseis amostras, mas houve um sem número de amostras ensaiadas.

J. A. Cintra — O senhor pode indicar-me algumas das finalidades dessas chapas, para ter escolhido êsses limites?

J. Abrão — Para a indústria automobilística: perfis dobrados e peças estampadas.

A. Cucchi — Com que corpos de prova o senhor trabalhou, com os da ASTM?

J. Abrão — Sim.

S. Friedrich — Gostaria de fazer uma pergunta ao Eng. José Abrão: como foi medida a temperatura da chapa?

J. Abrão — No «Steckel» estão instalados dois pirômetros registradores: um registra a temperatura durante a laminação e o outro antes do bobinamento. Ainda, a título de verificação, no local em que foram tomadas as amostras, utilizamos um pirômetro de contacto de radiação total.

J. Wscieklica — Gostaria de acrescentar que êsses dois aparelhos, que registram a temperatura durante a laminação e antes do bobinamento, são calibrados, regularmente, com um pirômetro de contacto de radiação total «Land», que é um aparelho que não necessita de nenhuma correção, pois indica a temperatura exata, devido à sua construção em calota coberta com fina camada de ouro que forma a imagem do corpo medido; o conjunto comporta-se como um «corpo preto». As temperaturas da laminação e do bobinamento foram tomadas do gráfico dos aparelhos registradores; a temperatura da chapa, deixada no leito de resfriamento certo tempo, foi conferida no local de tomada da amostra, com o pirômetro «Land». Apreciando essa dificuldade, fizemos de cada vez uma calibragem exata; podemos dizer que as temperaturas medidas correspondem à realidade com uma precisão de $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

S. Friedrich — A segunda pergunta que desejo fazer é sobre as amostras de 1 a 9, que foram tratadas. Qual a laminação que tiveram?

J. Abrão — Correspondem à chapa D. Foram acabadas dentro da zona crítica, a 800°C .

S. Friedrich — Daí, talvez, porque ficou a textura alinhada com o recozimento.

J. Abrão — Creio que não, porque na mesma amostra não tratada (D) não se percebe este alinhamento. Esta textura alinhada, decorrente do recozimento supercrítico, provém do resfriamento muito lento: as imperfeições, as impurezas, etc., do aço permanecendo estiradas após a laminação, em tórno delas deposita-se a ferrita, reservando-se à perlita espaços também alinhados.

J. Wscieklica — Um dos pontos interessantes neste trabalho — aliás, constituiu até uma surpresa — é o seguinte: geralmente, considera-se uma estrutura alinhada como proveniente de laminação dentro da zona crítica. Para o aço estudado, a temperatura A_{r3} é de 830°C. Portanto o alinhamento nas amostras números F e D-9, respectivamente laminados a 970°C e recozidos a 900°C, é mais pronunciado que na amostra N.º D, laminada dentro da zona crítica.

S. Friedrich — Percebi isso. A questão da textura do alinhamento também é um ponto interessante.

Michael Paul Zeitlin (7) — Queria voltar a fazer uma pergunta. A prática, a experiência que os Autores têm em fazer chapas foi que lhes revelou que aquelas condições eram ótimas?

J. Abrão — Sim, considerando-se principalmente o comportamento da chapa durante o trabalho a frio, na confecção das peças.

M. P. Zeitlin — A medida usada para determinar o limite de escoamento foi a queda do ponteiro?

J. Abrão — Tanto pela queda do ponteiro como pelo gráfico.

M. P. Zeitlin — Voltemos a uma questão que o Eng. Friedrich levantou: às vezes, a melhor chapa nem sempre aparece com limite de escoamento nítido.

J. Abrão — O gráfico apresenta sempre um trecho retilíneo e outro curvo. No caso de não haver escoamento nítido, consideramos o ponto final do trecho linear.

M. P. Zeitlin — Isso no gráfico traçado pela própria máquina. Mas quando não, levantam o diagrama?

J. Wscieklica — Para tôdas as amostras foi registrado o ponto em que o ponteiro da máquina parou; e, de cada amostra, foi levantado diagrama. Todos os diagramas mostraram uma pequena inflexão, correspondente ao limite do escoamento.

A. Cucchi — Queria perguntar se, em linhas gerais, consideram possível estender êsse estudo a redondos de igual composição química. Digo em linhas gerais porque, naturalmente, há diferença entre chapas e redondos.

(7) Membro da ABM; Engenheiro do IPT; São Paulo, SP.

J. Wscieklica — Talvez fazendo-se ressalva quanto ao diâmetro dos redondos. As chapas estudadas tinham 6,35 mm de espessura. As condições de resfriamento depois da laminação foram completamente diferentes das condições de resfriamento de barras: — resfriamento inicial rápido, resfriamento lento na bobina de 1,2 toneladas já enrolada. Talvez se possa estender essas conclusões a barras de diâmetro médio, mas não quero assumir a responsabilidade de fazer um paralelo mais estreito.