

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE DIAGRAMAS TRC NO PROCESSAMENTO
E UTILIZAÇÃO DOS AÇOS PELA USIMINAS⁽¹⁾

Altino Catarino de Godoy⁽²⁾
André Louis Tenuta de Azevedo⁽³⁾

R E S U M O

Os diagramas TRC sintetizam de maneira prática, todas as informações básicas para o acompanhamento das transformações de fase durante o resfriamento contínuo dos metais. Assim, em vista do grande número de processos térmicos a que podem ser submetidos os aços, quer na sua fabricação, quer na sua utilização, a USIMINAS iniciou, em 1974, a confecção de diagramas TRC, utilizando-se de técnicas dilatométricas. Este trabalho relata a aplicação de diagramas TRC na solução de alguns problemas particulares na sua linha de produção e na compreensão detalhada do comportamento durante a utilização de diversos dos seus aços.

(1) Trabalho a ser apresentado no 1º Seminário da COMFIT (Comissão Técnica de Metalurgia Física e Tratamentos Térmicos) a ser realizado em 30 de maio de 1980.

(2) Membro da ABM. Técnico Metalúrgico da Unidade de Pesquisa de Produtos do Centro de Pesquisas da USIMINAS, Ipatinga - MG.

(3) Membro da ABM. Físico, pesquisador da Unidade de Pesquisa de Produtos do Centro de Pesquisas da USIMINAS, Ipatinga - MG.

1. INTRODUÇÃO

Diagramas de transformação sob resfriamento contínuo (TRC) permitem prever as microestruturas resultantes, quando os aços são submetidos a operações de processamento ou emprego, tais como tratamentos térmicos, soldagem, etc. O método mais difundido para o traçado destes diagramas é baseado na dilatometria absoluta, e uma descrição completa do procedimento adotado no Centro de Pesquisas da USIMINAS foi emitida em publicações anteriores^{(1), (2)}. Desde o início destas atividades em 1974 até hoje, tivemos, paralelamente ao aprimoramento da técnica, a oportunidade de usar diagramas TRC como elemento importante na solução de problemas específicos de diversas origens. Este trabalho descreve a aplicação de diagramas TRC na solução de alguns problemas internos na linha de produção e na compreensão detalhada do comportamento de alguns aços, em um dos mais importantes processos de utilização, a soldagem.

2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

As transformações cristalinas dos aços e ferros fundidos são acompanhadas de variações de volume que se traduzem nas curvas dilatométricas pelas mudanças de inclinação. Nestes estudos, uma pequena amostra do metal ou liga cujas transformações características se quer determinar, é submetida a um aquecimento por indução no vácuo através de uma bobina de alta frequência (figura 1). Qualquer variação do volume da amostra durante este aquecimento é detectada por um transformador diferencial que a transmite a um registrador de duas penas onde uma delas registra a temperatura da amostra e a outra a sua dilatação verdadeira. Deste modo, por uma seleção adequada da velocidade de registro pode-se relacionar a dilatação e a temperatura em função do tempo.

3. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO DIAGRAMA TRC NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO

A. Diagrama TRC do Aço SAE 1050

Durante o desenvolvimento em escala piloto de um aço médio C apresentando 80 kg/mm^2 de limite de resistência, destinado à fabricação de implementos agrícolas e peças para a indústria automobilística, desejava-se otimizar o controle de resfriamento entre o final da laminação e início do bobinamento. O controle iria permitir a obtenção de uma microestrutura ferrita e perlita com pequeno espaçamento interlamelar, aumentando a resistência à tração e a resistência à abrasão.

Assim, a partir da análise do diagrama TRC do aço em estudo, figura 2, foram definidas as microestruturas desejadas e as velocidades de resfriamento (entre a temperatura do último passe de laminação e a temperatura do início de bobinamento) necessárias. Pôde-se então, definir as condições operacionais⁽³⁾ (tempo, vazão de água de resfriamento, temperaturas de acabamento e bobinamento, etc) que proporcionassem tais velocidades de resfriamento.

Apesar de conhecido o efeito da deformação da austenita nas características de transformação^{(4) (5)}, o diagrama TRC utilizado foi confeccionado com amostras não deformadas. Porém, na sua confecção, foi utilizada uma temperatura de austenitização relativamente baixa (850°C) evitando-se o crescimento do grão γ e assim se aproximando das condições particulares do final de laminação onde a recristalização foi suposta ter sido completada⁽³⁾.

B. Diagrama TRC do Aço 1,7% Si

O início da produção de chapas elétricas na USIMINAS foi marcado por certas dificuldades que implicaram em um índice mais alto de recusa na linha de laminação a quente.

De acordo com a bibliografia então disponível⁽⁶⁾, durante a laminação à quente deste tipo de aço, com uma certa proporção ferrita - austenita, a deformação não uniforme das duas fases poderia causar fissuras, levando à recusa dos produtos obtidos. Este fenômeno é crítico quando se lamina com uma proporção de 30 - 40% de segunda fase no aço.

Portanto, como passo inicial para a resolução deste problema, foi feito o diagrama TRC parcial do aço em questão (1,7% Si) onde foi traçada a faixa 30 - 40% de austenita transformada. Em seguida, utilizando a curva de resfriamento típica do processo de

laminação à quente obtida por ETRUSCO, S.C.P. e colaboradores (7) e sobrepondo-a ao diagrama TRC obtido, figura 3, pôde-se notar uma proximidade perigosa da temperatura do final de laminação com a faixa 30 ~ 40% de ferrita já transformada.

Note-se porém, que apesar da cinética de transformação da austenita ser alterada pela deformação, os resultados alertaram corretamente para a origem do problema. De fato, sabe-se que a deformação da austenita desloca a curva TRC para a esquerda e para cima (temperaturas mais altas) (4) (5) o que implica em condições mais críticas, que favorecem ainda mais o fenômeno da fissuração durante a laminação a quente deste aço.

4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO DIAGRAMA TRC NO TRATAMENTO TÉRMICO

A. Diagrama TRC do Aço DIN 13CrMo44

Como último exemplo de aplicação de diagramas TRC na solução de problemas particulares na linha de produção, mostramos na figura 4 o diagrama do aço DIN 13CrMo44. Este aço é produzido na USIMINAS para a fabricação interna de rolos de máquina de lingotamento contínuo. Os rolos são produzidos nas seções de Fundição e Forjaria; o estágio final consiste em um tratamento térmico de têmpera.

A vida útil destes rolos é dependente principalmente da microestrutura da camada superficial e desejava-se portanto a otimização deste parâmetro. Nesta perspectiva, foi então confeccionado o diagrama TRC do aço em questão onde podia-se apreciar a microestrutura como função do resfriamento imposto. Com o controle posterior do processo de têmpera, pôde-se finalmente obter a microestrutura adequada com conseqüente ganho na qualidade do produto.

5. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO DIAGRAMA TRC PARA SOLDAGEM

Uma operação de solda é caracterizada por uma adição acentuada e localizada de calor. A propagação do calor cria um campo térmico cujo raio depende das condições de soldagem e da forma da

peça soldada. Examinando-se a região da solda ao microscópio, pode-se notar, a partir da superfície livre do cordão depositado no sentido do interior do metal base, uma série de microestruturas cuja morfologia depende da temperatura máxima atingida no ponto examinado e da cinética do resfriamento neste ponto. Foi sugerido ainda, por RÄSANEN, F & TENKULA, J⁽⁸⁾ que o ponto mais crítico da ZAC é a linha de fusão do cordão de solda onde se acentuam os fenômenos de crescimento dos grãos γ , fusão dos contornos com conseqüente acúmulo de impurezas, etc.

Uma vez que os diagramas TRC pretendem mostrar a variação da microestrutura da zona adjacente à solda, de maneira a se evitar aquelas mais propensas à degeneração das propriedades mecânicas, estes deverão ser baseados na simulação dos ciclos térmicos impostos aos pontos da linha de fusão do cordão de solda das peças soldadas. Controlando-se a microestrutura neste ponto (escolha adequada dos parâmetros de soldagem) certamente estará controlado o ponto da ZAC mais sujeito a defeitos. Portanto, para a confecção de diagramas TRC para soldagem dotados de valor prático é necessário primeiro conhecer tais ciclos térmicos (taxa de aquecimento, temperatura máxima atingida, taxa do resfriamento) para em seguida reproduzi-los no dilatômetro.

Obtenção e Reprodução dos Ciclos Térmicos

Para a obtenção dos ciclos térmicos correspondentes à linha de fusão dos cordões de solda, foi utilizado o sistema de termopares implantados. A figura 5 mostra o esquema usado, onde cada termopar era implantado a uma profundidade ligeiramente diferente da anterior.

A fig. 6, obtida em uma amostra soldada e seccionada, mostra a posição de um termopar cujo registro foi considerado representativo da soldagem realizada⁽⁹⁾. Nota-se o posicionamento do termopar exatamente sobre a linha de fusão.

As curvas assim obtidas são todas do tipo exponencial e as simulações no dilatômetro são feitas pelo ajuste de segmentos lineares que melhor permitem sua reprodução.

A. Diagrama TRC para Soldagem do Aço NTU-SAR 55

A figura 7 é um diagrama TRC para soldagem típico e refere-se ao aço NTU-SAR 55. Suas principais características são:

- alta temperatura de austenitização (1350°C);
- tempo de encharque 30 s;
- resfriamento ajustado por segmentos lineares e correspondendo ao resfriamento de um ponto situado sobre a linha de fusão do cordão de solda.
- cada resfriamento correspondendo a uma condição de soldagem distinta (variação de espessura da chapa e de processo de soldagem);
- todas as curvas de resfriamento foram plotadas a partir de 910°C (A_3 do ferro puro);
- A = austenita, F = ferrita, P = perlita, I = microestruturas intermediárias, bainitas, etc; M = martensita.

B. Diagrama TRC do Aço API-5LX-X52E

Como exemplo final, citaremos o diagrama TRC para **soldagem** do aço API-5LX-X52E de fabricação da USIMINAS (figura 8). Neste caso particular, o contrato de venda de uma grande tonelagem deste produto para a confecção de tubos a serem exportados, envolvia a realização de um estudo completo de sua soldabilidade, com especial referência ao diagrama TRC. Este é um exemplo de como a capacitação tecnológica e científica da empresa torna-se cada vez mais um fator de peso na manutenção e conquista de novos mercados para seus produtos.

6. CONCLUSÃO

Da análise dos casos relatados neste trabalho, sobre a aplicação de diagramas TRC na solução de diversos problemas siderúrgicos, nota-se a crescente importância assumida pelo método. De fato os diagramas TRC são, atualmente, indispensáveis na compreensão pormenorizada de diversos problemas térmicos e compensam largamente o esforço despendido na sua confecção.

7. BIBLIOGRAFIA

1. AZEVEDO, A.L.T. de, GODOY, A.C. de & JUSTE, P.S. - Levantamento da Curva CCT do Aço SAE 1050. Metalurgia ABM, 32(221):235 - 241, abril, 1976.
2. AZEVEDO, A.L.T. de, GODOY, A.C. de & JUSTE, P.S. - Diagrama CCT para Soldagem do Aço NTU - SAR 55. USIMINAS Revista, 7(13):5.2-5.5, abril, 1976.
3. ETRUSCO, S.C.P. & RATNAPULLI, R.C. - Aços de Alta Resistência para Estrutura Mecânica. Comunicação interna, dez; 1979.
4. SMITH, Y.E. & SIEBERT, C.A. - Continuous Cooling Transformation Kinetics of Thermomechanically Worked Low-Carbon Austenite. Metallurgical Transactions, 2(6):1711 - 1725, june, 1971.
5. DESALOS, Y. et al. Influence de L'écrouissage de L'austenite sur les Conditions de Transformation D'aciers peu ou moyennement Alliés. Mem. Sc. Revue Metallurgie, 76(6):377-396, juin, 1979.
6. DUBROV, N.F. et al. Effect of Phase Composition of Electrical Steels on Occurrence of "Fissured Edge". Stahl in English, (10):765 - 768, Oct., 1961.
7. ETRUSCO, S.C.P. et al. Análise de Tempo x Temperatura na Laminação à Quente. Comunicação interna, jan., 1975.
8. RÄSÄNEN, F. & TENKULA, J. - Phase Changes in the Welded Joints of Constructional Steels. Scandinavian Journal of Metallurgy, (1):75-80, 1972.
9. GODOY, A.C. de & AZEVEDO, A.L.T. de. - Ciclos Térmicos em Soldagem Manual de Chapas Grossas, sem Chanfro, para Aplicação em Diagramas CCT. Comunicação interna, agosto, 1979.

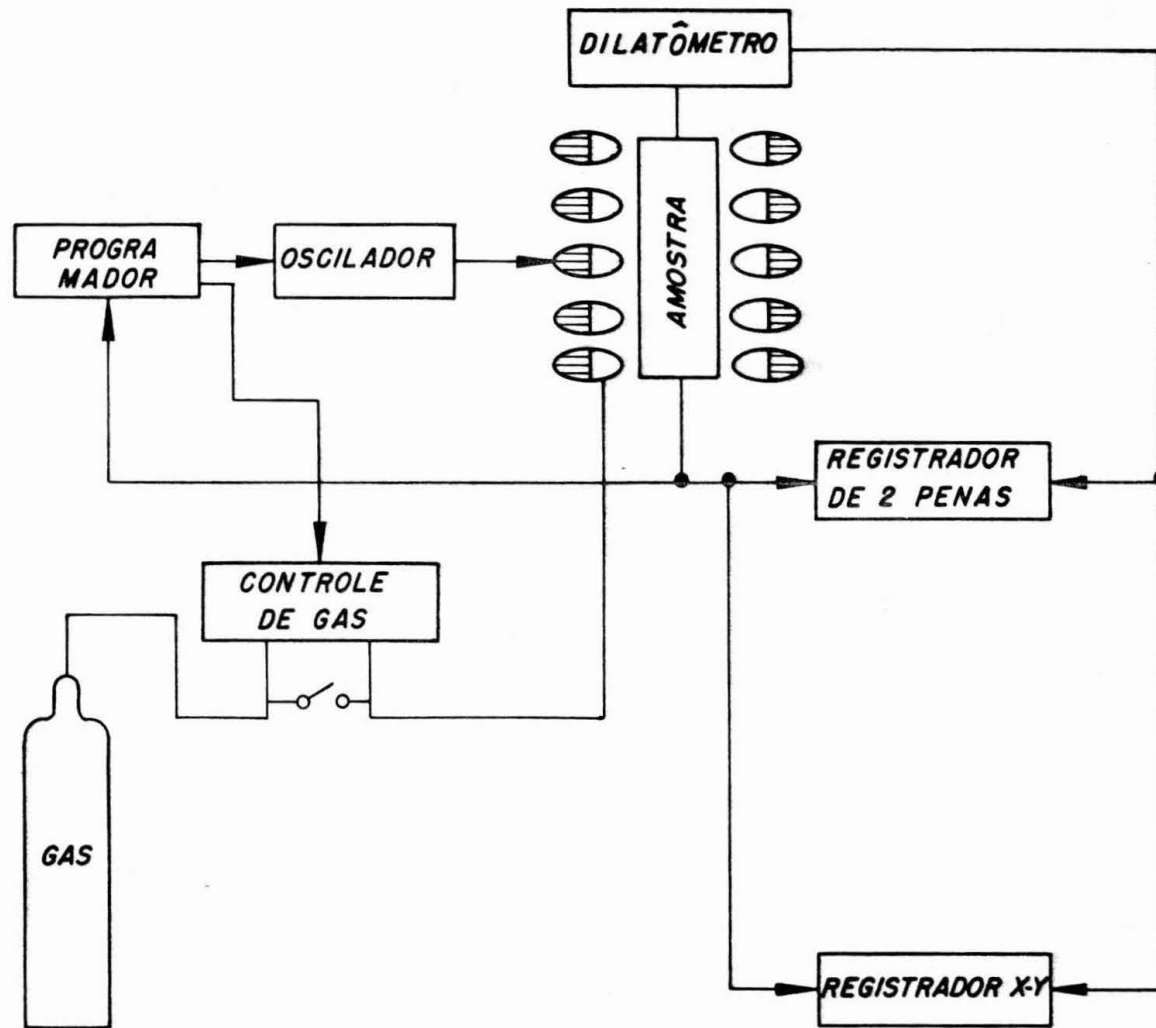


Figura 1- Diagrama de bloco do dilatômetro

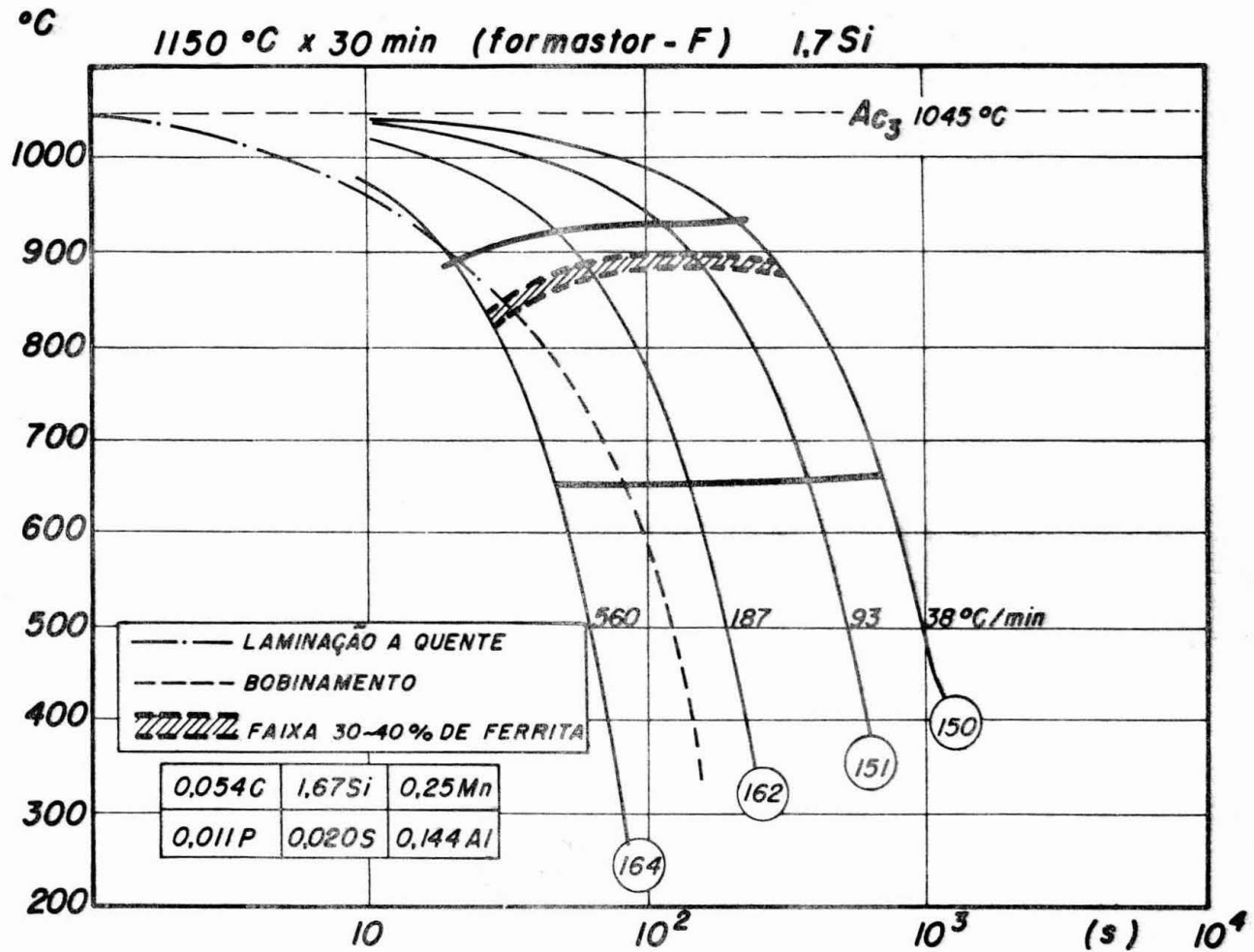


Figura 3- Sobreposição do diagrama TRC, da faixa de transformação de 30-40 % de ferrita e curva de resfriamento típica do processo de laminação a quente

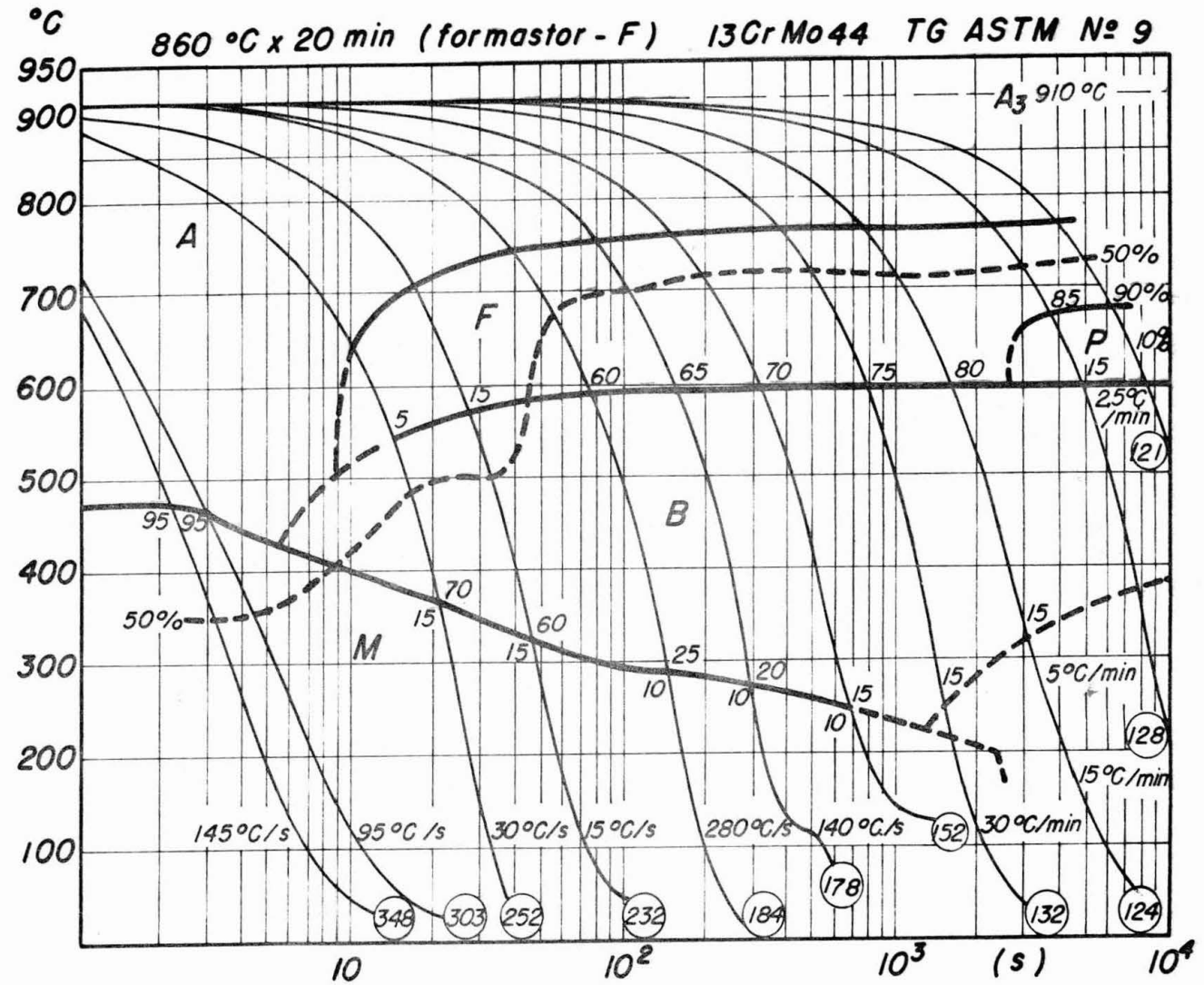
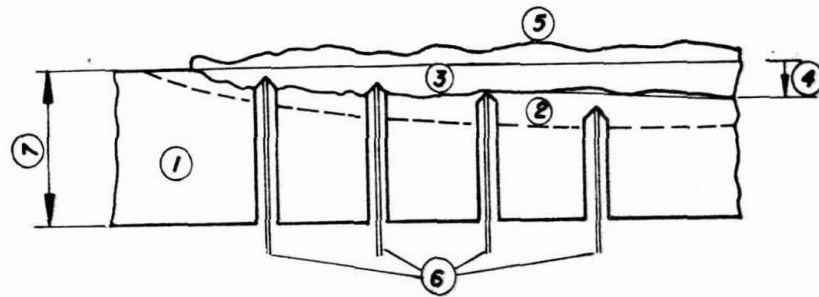
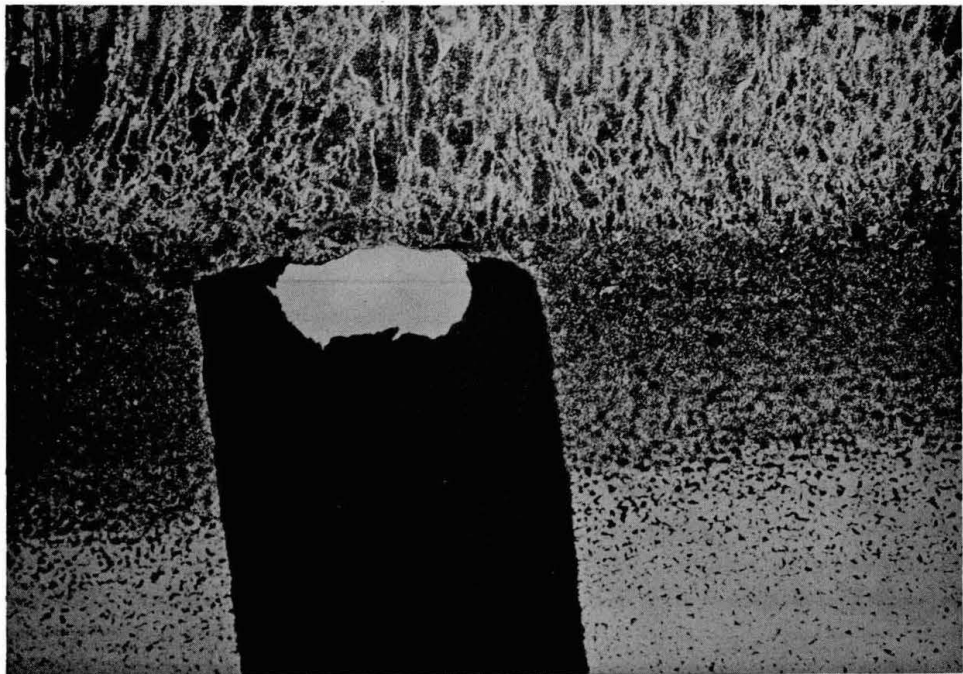


Figura 4 - Diagrama TRC do aço DIN 13CrMo44 - 0,13C; 0,54Mn; 0,25 Si; 0,94Cr; 0,029 Ni; 0,43 Mo; 0,006 V; 0,018 P; 0,016 S; 0,024 Al.



- (1) Metal base
- (2) Zona afetada pelo calor (ZAC)
- (3) Linha de fusão
- (4) Penetração do cordão de solda
- (5) Excesso do cordão
- (6) Termopares implantados
- (7) Espessura

Figura 5 - Esquema do corte de amostra utilizada, mostrando a variação de profundidade dos furos e a distância mínima entre eles



Nital 2%

20X

FIGURA 6 - FOTOMICROGRAFIA DE UMA AMOSTRA DE 40mm DE
ESPESSURA SOLDADA PELO PROCESSO MANUAL COM
ELETRODO REVESTIDO

(°C) 1350 °C x 0 s (formastor - F) NTU - SAR55 TG ASTM N° 1

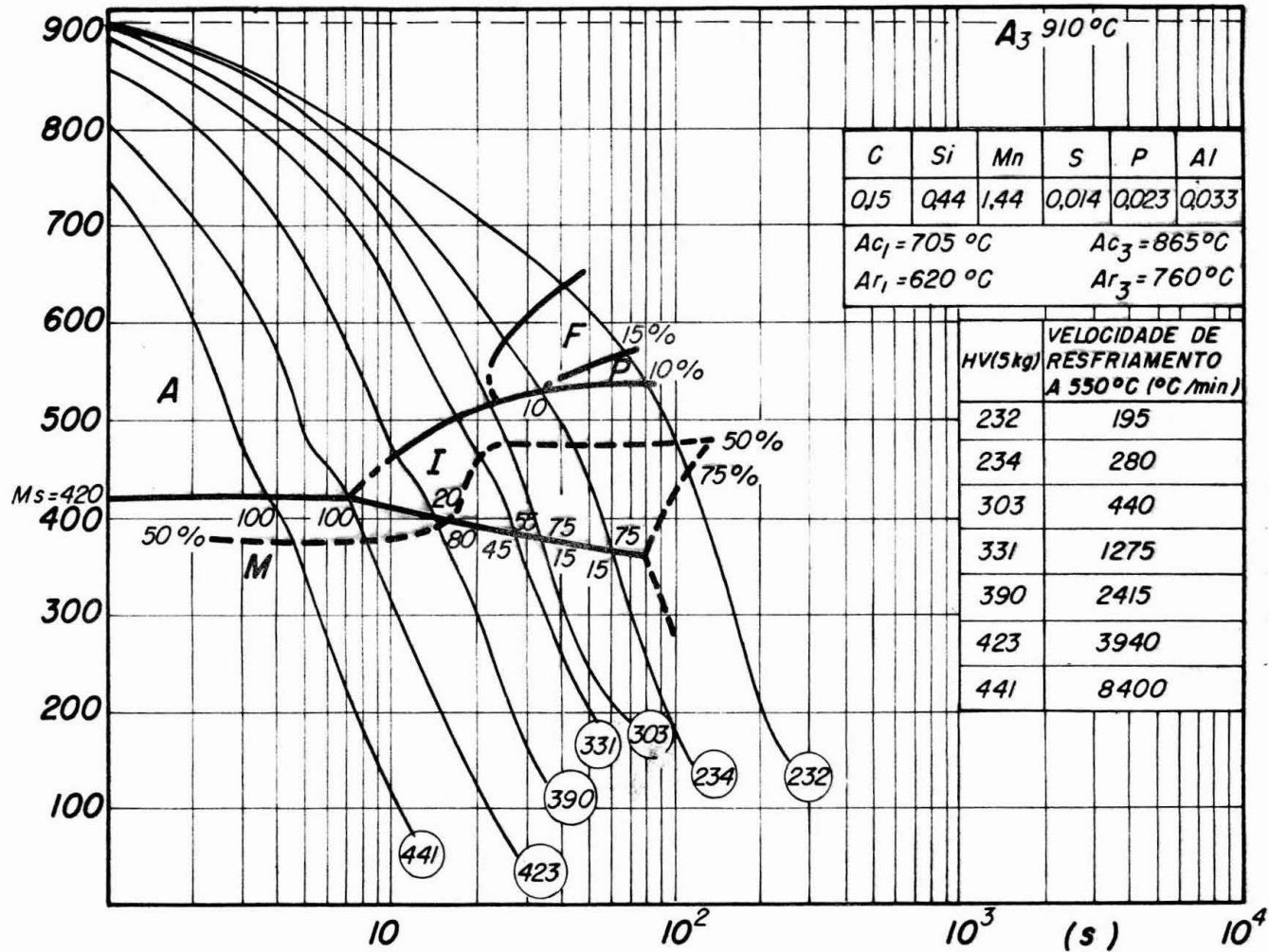


Figura 7- Diagrama TRC para soldagem do aço NTU - SAR 55

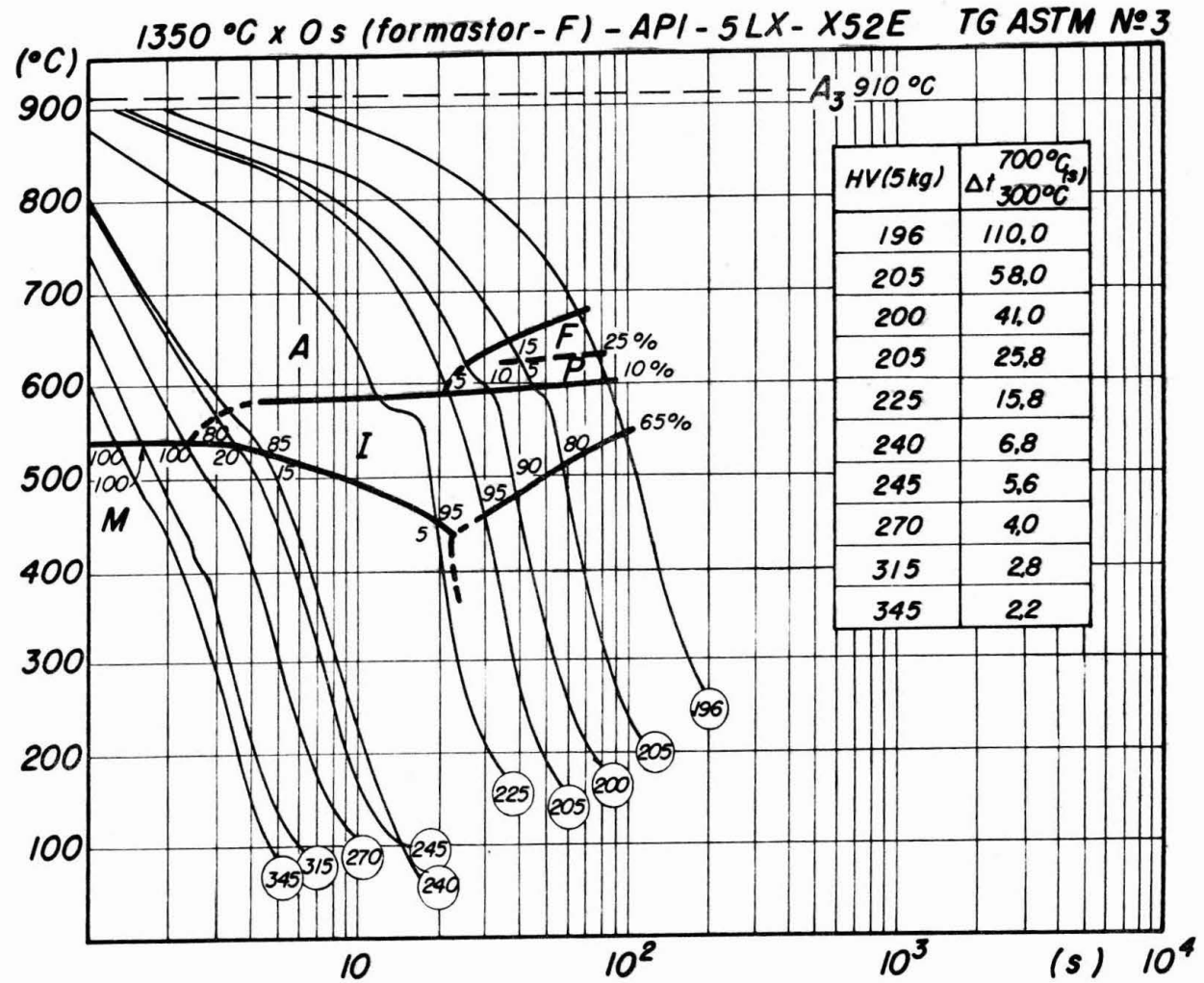


Figura 8 - Diagrama TRC para soldagem do aço API-5LX-X52E
 0,09C; 1,06Mn; 0,21Si; 0,012S; 0,019P; 0,019Al; 0,032Nb.

SYNOPSIS

CCT diagrams contain basical information about phase transformation during continuous cooling of metals. These diagrams find numerous applications in the production line and the subsequent fabrication of the product. Owing to the wide process and product range used at USIMINAS a project was initiated in 1974 to develop comprehensive CCT curves of some of its representative products. This paper describes how CCT curves have been used at USIMINAS to solve some of its process and product problems.