

TÊMPERA EM LINHA DE BARRAS DE AÇO IF

Metalurgista Industrial

junho 2019

www.metalurgistaindustrial.com.br

No processamento de aço é usual a ocorrência de desvios de composição química, da ordem de 5% do total produzido. Esses desvios são prontamente informados aos destinatários dessas corridas de aço e, caso não aceitos por estes, os semiacabados lingotados são reclassificados (sofrem *downgrade*) ou seguem para estoque, sujeitos a serem destinados a sucateamento.

O caso em pauta refere-se à aquisição inadvertida por uma empresa laminadora de uma considerável quantidade de placas em estoque de aço de ultrabaixo teor de carbono para estampagem profunda. A natureza desses tipos de aços foi objeto da Resenha Técnica Especificação de Aço para Estampagem Profunda.

Essas placas foram destinadas à laminação de barras para fins estruturais, e, como era de se esperar, suas propriedades mecânicas não atenderam às prescrições da norma técnica aplicável. Já na laminação do primeiro lote despachado dessas placas transformadas em tarugos foi observada a inadequação deste material. O embarque das demais placas foi então suspenso pela empresa laminadora, criando um imbróglio.

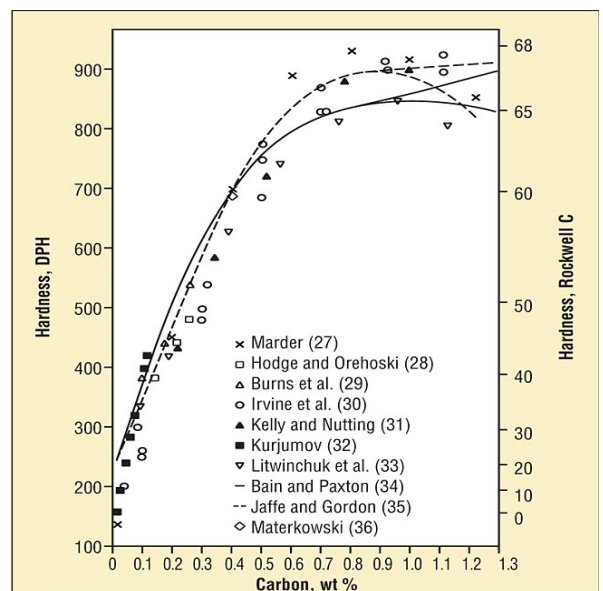
Na tentativa de superação dessa contingência embaraçosa, este metalurgista industrial popôs a realização de um teste industrial de têmpera em linha durante a laminação dessas barras. Essa proposição baseou-se no pressuposto de dureza residual da martensita

Os principais aspectos referentes à formação da martensita foram abordados na Resenha Técnica de Eng. de Metais O que é o Aço - Diagrama de Equilíbrio.

Elementos intersticiais na estrutura cristalina do ferro como o carbono e o nitrogênio, caso não precipitados na forma de nitretos ou carbonitretos, permanecem em solução sólida. O grau de dureza da martensita é diretamente afetado pelo teor em intersticiais pelo bloqueio ao livre movimento das discordâncias. Como pode ser observado na figura ao lado para o carbono, a dureza da martensita é influenciada pelo teor de carbono mesmo que este se aproxime a zero.

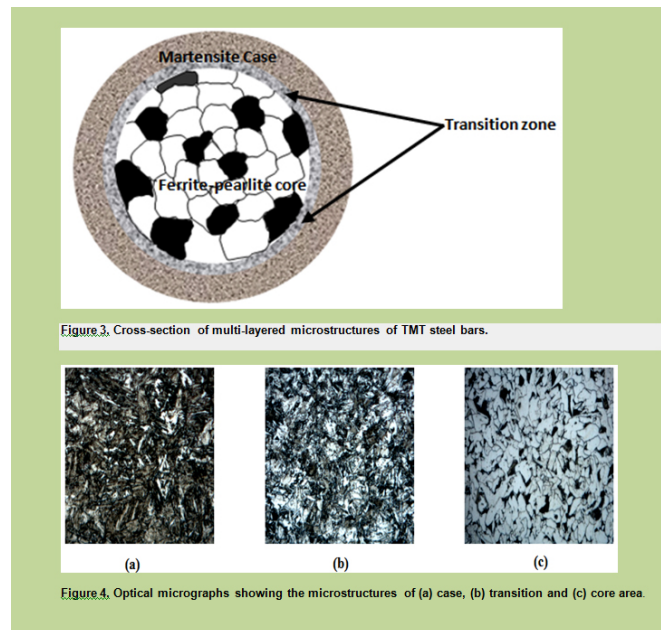
A proposta de produção dos aços IF é a máxima redução dos teores de carbono por meio de degaseificação a vácuo. Esses teores alcançam a faixa de alguns ppm, mas não são zerados por razões do próprio equilíbrio termodinâmico do sistema reacional de formação de CO. Ou seja, sempre subsiste algum carbono residual, que deve ser precipitado (estabilizado).

A descarburização ocorre mais rapidamente do que a remoção do nitrogênio, e a quantidade deste elemento que ainda permanece dissolvida no aço é estabilizada via adição de titânio e/ou nióbio. Esse processo de estabilização pressupõe difusão no

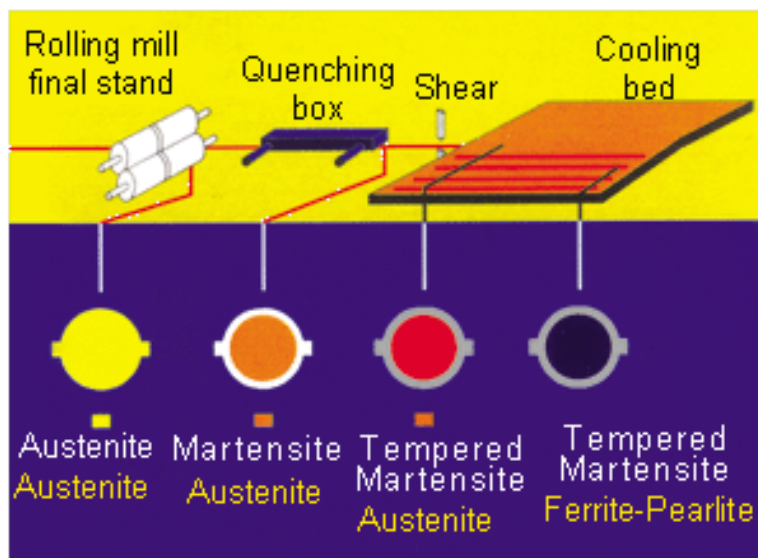


estado sólido, pois os átomos de nitrogênio e de carbono devem se encontrar com os átomos dos elementos estabilizadores. E difusão no estado sólido é lentíssima, o que concorre com a hipótese levantada por este metalurgista industrial de persistência de algum nitrogênio e carbono elementar (não combinado) na matriz cristalina do ferro.

A proposta de têmpera em linha nas barras de aço IF foi a de obtenção de uma estrutura similar à indicada abaixo, a qual consiste em uma região externa (casca) temperada enquanto que o miolo do material permanece em condição não temperada de ferrita + perlita. Essa estrutura pode ser eufemisticamente interpretada como “casca dura e miolo mole”:



O método tentativo de obtenção dessa estrutura mista foi o de promover o resfriamento acelerado das barras, mergulhando-as em água após o último passe de laminação como ilustrado abaixo:



Foram realizados dois testes de têmpera em linha: o primeiro em um laminador em operação industrial e o segundo em um laminador que se encontrava desativado, cada qual pertencendo a uma empresa distinta.

Teste em laminador em operação industrial

Para esse teste, foram enfiados cinco tarugos obtidos por oxicorte das placas de aço IF, consoante o procedimento habitual da empresa laminadora, que foram laminados na bitola 19,5mm x 7,5mm. Três amostras foram retiradas com a utilização da tesoura de emergência, efetuando o corte na parte final da barra (cauda).

As amostras assim que retiradas foram resfriadas em um tambor com água à temperatura ambiente de 32°C. As temperaturas das barras foram de 800/830°C para as duas primeiras amostras e 750°C para a terceira. Essas temperaturas foram medidas por pirometria ótica. Este metalurgista industrial acompanhou presencialmente esses testes.

A empresa laminadora não se dispôs inicialmente a implantar algo no gênero da *quenching box* mostrada na figura anterior, a menos que os resultados dos testes fossem encorajadores.

A composição química desse material testado é a que segue:

C = 0,002 P = 0,046 S = 0,009 Cr = 0,030 Mo = 0,000
Mn = 0,350 Si = 0,054 Cu = 0,004 Ni = 0,010 Ceq = 0,07

Os resultados dos ensaios de tração foram:

Amostra 1

Resultados discrepantes, desconsideradas.

Amostra 2

Tensão escoamento (MPa)	150	150
Tensão força máxima (MPa)	342	334
Tensão ruptura (MPa):	163	-
Deformação (mm):	75	-

Amostra 3

Tensão escoamento (MPa)	110	177
Tensão força máxima (MPa)	312	325
Tensão ruptura (MPa):	136	-
Deformação (mm):	81	-

Resultados dos testes

Os testes não resultaram por que o limite de resistência atingido foi inferior a 400Mpa, o mínimo demandado pelo produtor dessas barras, o qual é o patamar inferior do ASTM A36 de médio carbono (basicamente um SAE 1020).

De qualquer modo, observa-se que a diferença entre os valores de limite de resistência entre as barras IF do valor de 400Mpa do A36 não é expressiva, um sintoma de que as barras IF podem ter sofrido alguma têmpera.

Não foram realizados exames micrográficos nas amostras ensaiadas. O produtor das barras considerou o caso encerrado.

Teste em laminador desativado

Esse teste foi realizado posteriormente em um laminador naquele momento desativado, mas que foi recolocado em operação com essa finalidade. Esses testes também foram realizados com acompanhamento presencial deste metalurgista industrial.

Nesse caso, as barras foram resfriadas em água por submersão na própria canaletaguidia do trem de laminação após o último passe. A canaleta – guia atuou, então, como uma *quenching box*. Ou seja, esse teste caracteriza a legítima têmpera em linha preconizada para os testes em pauta.

Nesse teste, a temperatura do material foi ajustada para um nível superior à do teste anterior por meio do aumento da temperatura de desenformamento do material. Isso foi feito com o propósito de favorecer as condições de têmpera (temperatura de saída do acabador). A produção foi de barras quadradas de 3/8 polegadas.

O aço laminado um IF com 38ppm de carbono (superior ao do teste anterior de 20ppm) em peso, 0,82% de manganês em peso. Presumivelmente as placas originais foram para estoque pelo teor em peso do carbono algo acima da expectativa para um IF.

TEMPERATURA DO MATERIAL IF RASTREADO CORRIDA 1931172560

Nº	ETAPAS	1º	2º	3º
1º	Temperatura registrada nos instrumentos do forno	1250	1250	1250
2º	Temperatura na posta do forno (ZONA DOS MAÇARICOS)	1284	1283	1285
3º	Temperatura do tarugo entrando no desbaste	1203	1204	1206
4º	Temperatura de saída do desbaste	1055	1052	1056
5º	Temperatura no vaivém	1037	1033	1034
6º	Temperatura de entrada na G5	954	955	957
7º	Temperatura de entrada na G6	915	913	916
8º	Temperatura de saída da G7 (preparador)	907	905	905
9º	Temperatura de entrada na G8 (acabador)	885	887	886
10º	Temperatura de saída do acabador	842	844	847
11º	Temperatura no leito	700	701	705

Os resultados dos ensaios realizados nesse material são a seguir parcialmente reproduzidos:



NATUREZA DO TRABALHO: ENSAIO DE TRAÇÃO

Planilha de Ensaio: 141213 Tipo: Ensaio de Tração

Item	C.P	Indicações	Dimensão Nominal	Peso Linear (kg/m)	Área Seção (mm ²)	Limite escoam. (MPa)	Limite Resist. (MPa)	Along: 200mm (%)
1	1		@@@@@@@@	1,240	157,93	277	360	30,0

***Maquina Universal de Ensaio, tipo mecânica, marca Emic modelo DL 20000, NO 11441, NS094. Está calibrada pela ABNT NBR ISO/IEC 17025. CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº586/13, emitido pelo Emic-Dcane Laboratorio de Calibração acreditado pela Cgcre. Acreditado pela RBC-CAL-0197.

Dados fornecidos pelo Cliente:

Rastreabilidade: IF 13-06

A Norma ABNT NBR 7007 é a aplicável para barras laminadas a quente em aços ao carbono e microligados. Essa norma dispõe sobre as seguintes propriedades mecânicas:

ABNT NBR 7007:2011

Tabela 3 – Propriedades mecânicas

Grau do aço	Resistência ao escoamento mínima MPa	Resistência à ruptura MPa	Alongamento mínimo após ruptura % ^a L ₀ = 200 mm ^b
BR 190	190	mín 330	22,0
MR 250	250	400-560	20,0
AR 350	350	mín 450	18,0
AR 350 COR	350	mín 485	18,0
AR 415	415	mín 520	16,0

^a Quando é utilizado corpo de prova retangular, reduções no valor especificado de alongamento são permitidas conforme Tabela 4, devido ao efeito da geometria.
^b L₀ é o comprimento da base de medida para determinação do alongamento.

Conclusão:

O material temperado encontra aplicação comercial como grau BR 190. O teste de têmpera em linha de barras de aço IF foi bem-sucedido em seu propósito, abrindo uma nova perspectiva, embora circunstanciada, para o emprego comercial de barras de aço de ultrabaixo teor de carbono. A empresa laminadora dessas barras testadas prosseguiu com testes de desenvolvimento em escala industrial desse material.