

## AÇOS ESTRUTURAIS TRATADOS TERMICAMENTE<sup>(1)</sup>

FRANCISMAR RODRIGUES DE SOUSA<sup>(2)</sup>

OSMAR A. DE MAGALHÃES FILHO<sup>(3)</sup>

### R E S U M O

A maioria dos aços são utilizados na condição de "como laminado", no entanto pode-se garantir melhores propriedades mecânicas, mediante aquecimento a altas temperaturas seguido de resfriamento brusco (têmpera, revenimento, etc), ou resfriamento lento (recozimento, normalização, etc), em conformidade com a aplicação do material.

O trabalho dá ênfase aos aços para construções, comentando os principais graus produzidos na United States Steel e Nippon Steel Corporation, tece considerações sobre os aços tratados termicamente pela Usiminas, assim como os novos produtos temperados e revenidos que serão lançados brevemente no mercado brasileiro por esta Empresa.

---

(1) - Contribuição técnica apresentada no 1º Seminário da COMFIT; Belo Horizonte; MG; Maio de 1980.

(2) - Engenheiro Metalurgista. Analista metalúrgico da Unidade de metalurgia da Laminação a Quente do Departamento de metalurgia e Inspeção da Usiminas.

(3) - Técnico metalúrgico da Unidade de Metalurgia da Laminação a Quente do Departamento de Metalurgia e Inspeção da Usiminas.

## 1.0 INTRODUÇÃO

A grande versatilidade dos aços é indubitavelmente responsável pela grande variedade dos tratamentos térmicos. Enquanto a maior porcentagem dos aços são usados na condição de "como laminado", o tratamento térmico grandemente alarga o espectro de propriedades disponíveis. Tratamentos caem em duas categorias gerais: (1), aqueles nos quais aumenta a resistência, dureza e tenacidade em virtude de resfriamento rápido acima da faixa de transformação, e (2), aqueles nos quais decresce a dureza e promove uniformidade por resfriamento lento acima da faixa de transformação até a temperatura ambiente ou então por prolongado aquecimento dentro ou abaixo da faixa de transformação, seguido por resfriamento lento. A 1ª categoria pode envolver endurecimento total por têmpera e revenimento, ou uma variedade de tratamentos especializados empreendidos para melhorar a dureza da superfície até uma profundidade controlada. A 2ª categoria engloba normalização e vários tipos de recozimento, o propósito dos quais são melhorar a usinabilidade, tenacidade ou características de conformação a frio, ou para alívio de tensões e restaurar ductibilidade após um processamento no qual tenha envolvido alguma forma de deformação a frio<sup>(1)</sup>.

O objetivo primordial na escolha de aços a serem tratados termicamente é a seleção de uma composição que será capaz de atender as necessidades do projeto ao menor custo total. O custo total inclui:

- custo da matéria prima
- custo de fabricação
- custo de tratamento térmico, etc.

## 2.0 SELEÇÃO POR TEMPERABILIDADE

Na relação de uma composição do aço a ser tratado termicamente, o engenheiro de tratamentos térmicos tem, em geral, as seguintes propriedades a serem oferecidas aos projetistas:

- Resistência e Dureza
- Resistência à corrosão e ao calor.

No nosso trabalho apenas trataremos da resistência e dureza. Estas incluem a performance de um material sob as seguintes condições de serviço:

- tensão pura ou cisalhamento puro;
- flexão ou dobramento;
- fadiga;
- impacto;
- desgaste.

O primeiro problema na seleção por temperabilidade é o de relacionar a solicitação dada pelo projetista a uma dureza. Curvas de correlação da resistência à tração X dureza são bastante conhecidas, e é através delas que tal relacionamento é feito.

De posse desse dado, isto é, da dureza correspondente a um certo limite de resistência, o outro problema é que essa dureza é para o produto acabado (após a têmpera e revenimento). Há de se conhecer qual a dureza após têmpera que corresponda a essa dureza, após revenimento. A "SAE" recomenda certos valores de dureza após têmpera dado o valor após revenimento, para a obtenção da melhor combinação de propriedades finais<sup>(2)</sup>. Esta curva está dada na figura 1. Na ausência desta correlação o que se faz praticamente é adicionar de 5 a 8 pontos à dureza após revenimento. Assim, se a dureza após revenimento é 48 Rc, a dureza recomendada após têmpera é de  $48 + 5 = 53$  Rc, no mínimo. Observe-se que esta correlação ainda não menciona com qual percentagem de martensita deveremos satisfazer os 53 Rc de dureza após têmpera. Assim, o teor mínimo de carbono para satisfazer os 53 Rc após têmpera varia, de acordo com a percentagem de martensita. O quadro abaixo dá esses valores para várias % de martensita:

% MARTENSITA	% CARBONO
50	0,70
80	0,54
90	0,45
95	0,40
99,9	0,33

Após essa análise prévia, o engenheiro de tratamentos térmicos partirá então, para a seleção do aço mais adequado, e para isso, existe uma gama bem diversificada de aços para construções.

### 3.0 GRUPO DOS AÇOS PARA CONSTRUÇÕES.

Nos últimos anos a indústria siderúrgica tem dado grande ênfase ao desenvolvimento de aços para construções, em aplicações onde são requeridas grandes resistências. As pesquisas estão sendo realizadas visando dotar os projetistas de melhores opções de escolha do aço para uma estrutura particular ou um componente estrutural.

Além do mais, os aços de maior resistência têm a vantagem adicional de tornarem mais favorecidos na relação CUSTO/RESISTÊNCIA que os aços carbono estruturais.

#### 3.1 Categorias

Os aços para construções podem ser divididos em quatro categorias<sup>(3)</sup>:

- a - Aços Carbono Estruturais
- b - Aços de Alta Resistência e Alta Resistência e Baixa Liga
- c - Aços Carbono Tratados Termicamente
- d - Aços Ligados para Construções Tratados Termicamente.

Esses aços possuem uma faixa de limite de escoamento de 23 ~ 70 kg/mm<sup>2</sup>.

As três últimas categorias possuem acentuadas variações. Em agosto de 1965, a revista norte americana METAL PROGRESS em um artigo intitulado "NEW PERSPECTIVES FOR HIGH - STRENGTH STEELS", fez uma listagem na qual apresentou aproximadamente 250 graus. Podendo-se ver então, as dificuldades de tratar nesse trabalho de todos os graus. Entretanto procurar-se-á comentar os principais graus produzidos na UNITED STATES STEEL e NIPPON STEEL CORPORATION.

#### (a) - Aços Carbono Estruturais

É fundamental que esses tipos de aços tenham<sup>(4)</sup>:

- ductilidade e homogeneidade;
- valor elevado da relação entre limite de resistência e limite de escoamento;
- soldabilidade;
- susceptibilidade de corte por chama, sem endurecimento;
- resistência razoável à corrosão.

Durante vários anos o aço ASTM A 7 foi o aço carbono estrutural básico, com limite de escoamento de  $23 \text{ kg/mm}^2$ . Entretanto, em 1960, o aço ASTM A 36 foi introduzido para uso onde era exigido maior limite de escoamento. Esse aço tem um limite de escoamento mínimo de  $25 \text{ kg/mm}^2$ , aproximadamente 10% maior que o A 7, assim como melhor soldabilidade. O A 36, é o principal aço carbono comum, para aplicações em estruturas gerais.

(b) - Aços de Alta Resistência e Alta Resistência e Baixa Liga.

Nessa classe é incluída uma grande variedade de aços com limite de escoamento variando de 42.000 psi - 70.000 psi ( $30 \text{ - } 50 \text{ kg/mm}^2$ ). Além da resistência a excelente resistência à corrosão atmosférica tem sido um dos fatores mais importantes de seu largo emprego.

Esses aços são geralmente fornecidos na condição de como laminado, laminação controlada e nas condições de normalizado, com adição moderadas de elementos de liga, tais como Cu, Si, Cr, Ni, Mo, Zr, Mn e Nb em uma larga variedade de combinações.

Nessa classe de aços os exemplos mais representativos são os aços COR - TEN, os quais se caracterizam por possuir alta resistência mecânica e notável resistência à corrosão atmosférica, além de boa soldabilidade. A tabela I fornece as composições químicas típicas para os três tipos de aços. COR - TEN A à base de Cr, Si, Cu, Ni, P. Um dos primeiros aços de alta resistência e baixa liga foi introduzido em 1933, e tem sido largamente empregado. Ele exibe resistência a corrosão atmosférica de cinco a oito vezes maior que o aço carbono comum e tem recebido grandes aplicações em obras arquitetônicas. O COR - TEN B, com composição à base de Mn, Cr, V, foi introduzido em 1961 para melhorar a soldabilidade em espessuras maiores que 12,7mm e garantir um escoamento mínimo de  $35 \text{ kg/mm}^2$  para espessuras de até 102 mm. A resistência à corrosão atmosférica desse aço é quatro vezes a do aço carbono comum. O COR - TEN C, com composição básica: Mn, Cr, Cu, V, foi introduzido em 1966 visando limite de escoamento mínimo de  $42 \text{ kg/mm}^2$ , em chapas de espessuras menores que 25,0 mm.

A Usiminas atende a essa faixa do mercado brasileiro através dos produtos tipo SER, SAR e SAC, os quais são versões similares do aço COR - TEN da USS e do Wel - TEN da NSC. A figura 2 mostra as características microestruturais de um aço laminado e normalizado por esta Empresa, bem como fotos das inclusões, do tamanho de grão austenítico, além do aspecto da periferia e do centro da amostra, tan

to para a condição de laminado como normalizado.

(c) - Aços Carbono Tratados Termicamente.

Esses aços são os mais novos da família dos aços para construções e podem ser comumente representados tipicamente pelos aços USS CHAR - PAC e USS CON - PAC, cujas composições químicas e propriedades mecânicas são mostradas nas tabelas II e III. O USS CHAR - PAC nas condições de temperado e revenido dá um limite de escoamento mínimo de  $42 \text{ kg/mm}^2$ , espessura de 30 mm e  $40 \text{ kg/mm}^2$  de 30 ~ 50 mm, junto com tenacidade é o mais adequado para aplicações críticas de temperatura. O CHAR - PAC também é disponível na condição de normalizado. Esse aço foi desenvolvido como necessidade de diminuir a resistência daqueles que era largamente usado: o aço "T - 1".

USS CON - PAC é um aço carbono soldável, temperado e revenido, pretendido para uso em construções em geral e aplicações estruturais. Esse aço oferece um limite de escoamento mínimo de  $56 \text{ kg/mm}^2$  em espessura até 19mm e  $49 \text{ kg/mm}^2$ , em espessuras acima de 19 mm até 38 mm. Ele foi desenvolvido para preencher a necessidade de um aço geral de construção a um nível de limite de escoamento entre os aços de baixa liga e alta resistência (usado nas condições de laminado a quente) no nível de  $45 \text{ kg/mm}^2$  e os aços ligados tratados termicamente para construções com limite de escoamento no nível de  $70 \text{ kg/mm}^2$ .

(d) - Aços Ligados para Construções Tratados Termicamente.

Várias versões dos aços ligados para construções tratados termicamente estão agora no mercado. O primeiro desses aços foi o USS "T - 1", o qual foi introduzido em 1953. O desenvolvimento do USS "T - 1" marcou um fato notável por que ele apresentou um limite de escoamento três vezes maior que o dos aços carbono estruturais convencionais e duas vezes o anteriormente disponível, aço de baixa liga e alta resistência, e ainda era soldável e exibia excelente tenacidade. O aço "T - 1" é fornecido nas condições de temperado e revenido, sendo tratado sobre condições de tratamento térmico contínuo. Apresentam um limite de escoamento mínimo de  $70 \text{ kg/mm}^2$  na espessura de até 64 mm e com  $63 \text{ kg/mm}^2$  de limite de escoamento mínimo na faixa de espessura de 64 ~ 152 mm. O alto nível de tenacidade desse aço às temperaturas baixas tais como  $-45^\circ\text{C}$  e sua soldabilidade tem resultado na sua difusão para muitas aplicações importantes tais como vasos de pressão, assim como

para aplicações em construções em geral. A excelente combinação de resistência e tenacidade, características de bainitas e martensitas dos aços baixo carbono é a base do sucesso dos aços ligados para construções tratados termicamente. A tabela IV apresenta as propriedades de aços carbono comum e aços ligados para aplicações às baixas temperaturas inclusive com os respectivos tratamentos térmicos.

### 3.2 Aplicações.

Na figura 3, procura-se dar uma mostra de aplicação de aço de alta resistência, pela NSC, onde pode ser notado o largo uso desse tipo de aço em vasos de pressão.

A disponibilidade de uma gama muito grande de aços para construções oferece aos projetistas um apreciável grau de liberdade. E a engenharia tem obtido vantagem dessa família de aços como se pode perceber em breves descrições:

(a) - Em um tanque de armazenamento, as pressões crescem linearmente do topo para a base, de tal maneira que, a lógica recomenda paredes com espessuras dispostas como na figura 4. Entretanto, para projetos, é mais lógico aumentar a resistência do aço com menores seções mantendo uma parede de espessura constante, como se ilustra na figura 5.

(b) - As pontes modernas utilizam a família completa desses aços. O uso do aço temperado ocasiona um projeto econômico com uma viga de espessura constante ao longo do comprimento da ponte.

(c) - Aços de alta resistência tais como HY - 80 tem sido usado durante muito tempo na construção de navios, mais são pouco usado em outras aplicações marinhas. Entretanto, recentemente está ocorrendo um aumento nas aplicações marinhas em navios de cargas, barcaças e outros.

(d) - A grande quantidade de projetos hidroelétricos é uma oportunidade bem atrativa de baixo custo através do uso de aço com alta resistência, principalmente em turbinas hidráulicas.

(e) - Aços de alta resistência podem ser usados para reduzir o peso líquido do veículo de transporte de equipamentos e desta maneira aumentar a carga útil.

### 3.3 Aços de Alta Resistência da NSC<sup>(5,6,7)</sup>.

#### 3.3.1 Aços para Estruturas Soldáveis.

O Japão, através da NSC, fabrica os aços da série WEL - TEN, de alta resistência para estruturas soldáveis, cobrindo espessuras iguais ou maiores que 6 mm e limite de resistência igual ou maior do que  $60 \text{ kg/mm}^2$ . Esses aços são todos temperados e revenidos, e além da alta resistência, possuem excelente tenacidade e boa soldabilidade. A tabela V, apresenta as principais características desses aços.

##### (a) Classe de $60 \text{ kg/mm}^2$ .

Wel - Ten 60 e Wel - 62: são aços do tipo Si - Mn. Para produzi-los, uma pequena quantidade de elementos de liga são adicionados e após essa adição são temperados e revenidos. Tem excelente tenacidade, boa soldabilidade e possuem grande aplicabilidade. Na figura 6, pode ser observado as características microestruturais desse tipo de aço.

##### (b) Classe de $70 \text{ kg/mm}^2$ .

Wel - Ten 70: é um aço do tipo Ni - Cr - Mo - Nb - V, com excelente tenacidade às baixas temperaturas. É recomendável para estruturas marinhas.

Wel - Ten 70C: é um aço do tipo Cr - Mo - Nb - V com excelente tenacidade às baixas temperaturas.

##### (c) Classe $80 \text{ kg/mm}^2$ .

Wel - Ten 80: é um aço do tipo Ni - Cr - Mo - V, equivalente ao ASTM A 514 Cr F ou A 517 Cr F. O aço tem excelente soldabilidade e tenacidade, devido a quantidade de elementos de liga ficar mantida ao mínimo, pelo fato do desenvolvimento das técnicas de tempera e revenimento. Esse aço é usado largamente em estruturas marinhas.

Wel - Ten 80 C: aços sem níquel do tipo Cr - Mo, com boa soldabilidade e boa tenacidade às baixas temperaturas.

Wel - Ten 80 P: sem níquel do tipo Mo - Nb, com boa soldabilidade e apreciável resistência contra trincas causadas pelo recozimento de alívio de tensões.

A figura 7, dá uma idéia da metalografia apresentada por essa classe de aço, com uma quantidade apreciável de martensita.

### 3.3.2 Resistentes às Baixas Temperaturas

Os aços para baixas temperaturas são incluídos pela NSC na série N - TUF. Na tabela VI apresenta-se as características principais dessa série de aços japoneses. Esses aços são largamente usados para depósitos e transportes de gases liquefeitos de petróleo (GLP) e gases naturais liquefeitos.

N - TUF 30 N e N - TUF 33 N:

São aços acalmados ao alumínio, de granulação fina e produzidos por revenimento. São usados às baixas temperaturas, com limite de escoamento mínimo de  $30 \text{ kg/mm}^2$  e  $33 \text{ kg/mm}^2$ , respectivamente.

N - TUF 33: esse aço é produzido por têmpera e revenimento. É um aço acalmado ao alumínio, com granulação fina. Tem um limite de escoamento mínimo de  $33 \text{ kg/mm}^2$ .

N - TUF 50: é um aço acalmado ao alumínio de granulação fina. É um aço da classe de  $60 \text{ kg/mm}^2$ , a baixa temperatura, com limite de escoamento mínimo de  $50 \text{ kg/mm}^2$  e um limite de resistência variando de  $62 \sim 75 \text{ kg/mm}^2$ . Comparando com o aço da classe de  $60 \text{ kg/mm}^2$ , o N - TUF 50, é superior pela sua boa tenacidade às baixas temperaturas.

### 3.4 Aços Tratados Termicamente pela Usiminas.

No setor de chapas grossas, a Usiminas contribui com o mercado brasileiro através da colocação de produtos normalizados. As suas principais qualidades normalizadas são:

(a) Qualidades que obrigatoriamente devem ser normalizadas.

QUALIDADE	ESPESSURA
ASTM A 515	$50,0 \leq E \leq 75,0$
ASTM A 516	$38,0 \leq E \leq 75,0$
DIN 17155 15 MO 3	$E \leq 75,0$
DIN 17135 AST 41 e 35	

(b) Qualidades que Preferencialmente devem ser Normalizadas.

QUALIDADES	ESPESSURAS
DIN 17100 RST 50 2	$25,0 \leq E \leq 75,0$
DIN 17100 RRST 52 3	$25,0 \leq E \leq 75,0$
DIN 17100 QUST 52 3	$12,7 \leq E \leq 75,0$
NTU SAR 50, 55 e 60	$12,7 \leq E \leq 75,0$
NTU SAC 50 I	$12,7 \leq E \leq 75,0$
NTU SAC 50 II	$12,7 \leq E \leq 75,0$
NAVAL AH 32	$E > 12,5$
NAVAL DH 32 e 36	$E > 19,0; E > 25,5$
NAVAL C e D	$12,7 \leq E \leq 50,0$
ASTM A 589	$12,7 \leq E \leq 50,0$
ASTM A 572	$12,7 \leq E \leq 50,0$

Na parte que se refere exclusivamente aos aços temperados e revenidos a Usiminas irá inicialmente oferecer ao consumidor brasileiro aços com performance do tipo Wel - Ten 60, Wel - Ten 80 e N TUF 33.

O Wel - Ten 60 é um aço baixo carbono temperado e revenido e devido a sua alta resistência, permite a construção de grandes tanques para depósito de gases liquefeitos com paredes de mesmas espessura. Tem boa soldabilidade e excelente tenacidade às baixas temperaturas.

Os aços da classe  $80 \text{ kg/mm}^2$  têm valores mínimo de escoamento da ordem de  $70 \text{ kg/mm}^2$  e alongamento (base de medida de 50 mm) de 18%. Esses aços são fornecidos com uma garantia mínima das propriedades de impacto na direção de laminação. Têm também menor anisotropia, o que é particularmente importante no caso de aplicações tais como fabricação de vasos de pressão. Possuem baixo teor de enxofre e inclusões modificadas<sup>(8)</sup>.

Para uma melhor situação desse aço, é interessante que seja dito o seguinte: esse aço foi desenvolvido inicialmente, em 1953, pela United States Steel, sob a denominação de USS "T 1". A partir da década de 60, o Japão, sob licença da USS, começou a fabricar essa qualidade com algumas variações em composição química.

Para atingir mercado de baixa temperatura será fabricado um aço congênera ao N TUF 33 da Nippon Steel, com excelente tenacidade largamente usado em tanques de GLP para baixas temperaturas e tanques de depósito de amônia.

### 3.0 CONCLUSÕES

Atualmente a Usiminas atende as necessidades do mercado brasileiro através da sua produção de chapas grossas de aço tratados termicamente por normalização. Há qualidades que obrigatoriamente devem ser normalizadas, enquanto que outras exigem apenas laminação controlada afim de garantir propriedades mecânicas e metalograficas. Consequentemente, os consumidores brasileiros podem adquirir chapas grossas de aço com determinadas propriedades mecânicas, normalizadas, ou apenas produzidas sob laminação controlada, porém com aquelas mesmas propriedades mecânicas.

Tendo-se em vista a eminente entrada em operação dos fornos de tratamentos térmicos de têmpera e revenimento da Usiminas e a subsequente necessidade de desenvolvimento dos aços de alta resistência, por parte desta empresa, para atender as exigências sempre crescentes do país. O qual a cada dia com o processo desenvolvimentista que ora se implanta, requer aços de melhores qualidades, para atender as suas necessidades básicas. Por outro lado, ao iniciar a década de 80, o Brasil passa a dispor de uma moderna instalação de ROLLER - SPRAY QUENCH, para a realização de têmpera e revenimento em chapas grossas, em escala industrial, dando assim a Usiminas mais uma contribuição ao país no que concerne a importação dessas chapas, pois as mesmas poderão ser adquiridas no país, com as mesmas garantias de qualidades.

### 4.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Souza , F.R., Nakashima, J.T., J. T. Guimarães, N.C. - Introdução aos Tratamentos térmicos dos Aços. Trabalho Interno Usiminas URDT nº 123 - Agosto 1979. Ipatinga - MG.
2. Bethlehem Steel Corporation - Modern Steels and Their Properties Bethlehem, Pa 1972.
3. Haaiker Gerhard - Selection and Application of Constructional Steel Applied Research Laboratory, Monroeville, Pennsylvania.
4. Chiaverini, V. - Aços e Ferros Fundidos. ABM - 1977 - São Paulo.

- 5 . High - Strength Low - Alloy for Bridge - Nippon Steel Technical Report Overseas nº 8, NSC , May 1976.
- 6 . High - Strength Steels for Pressure Vessels - Publicação da Nippon Steel Corporation. Tokyo , Japan.
- 7 . NSC's Steel Plates for Marine Structures - Cat . No. QT 212 48.9 - NSC. Tokyo Japan.
- 8 . Etrusco, S. C. P - "Metodologia para Planejamento e Condução de um projeto de Pesquisa". Relatório de Estágio na Nippon Steel Corporation - 1978.

LEGENDA DAS FIGURAS

Figura 1 - Relação entre a dureza do material temperado e o temperado + revenido.

Figura 2 - Características microestruturais de um aço laminado e normalizado: inclusões, aspectos da superfície e centro de amostras laminadas e normalizadas, tamanho de grão austenítico.  
Aumento: 100 x.

Figura 3 - Aplicação dos aços de alta resistência da Nippon Steel.

Figura 4 - Tanque para depósito, feito de um determinado grau de aço.

Figura 5 - Tanque para depósito, feito com aços diferentes.

Figura 6 - Aspecto microestruturais do aço Wel Ten 60.

Figura 7 - Micrografia do Wel Ten 80.

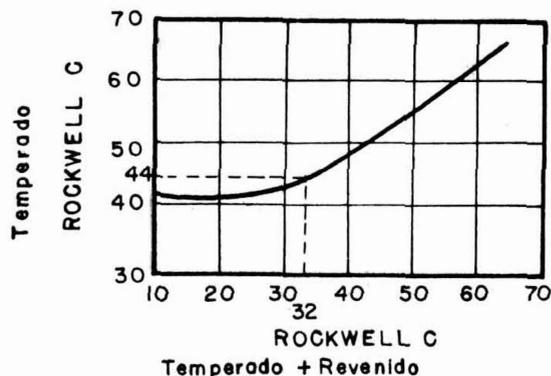
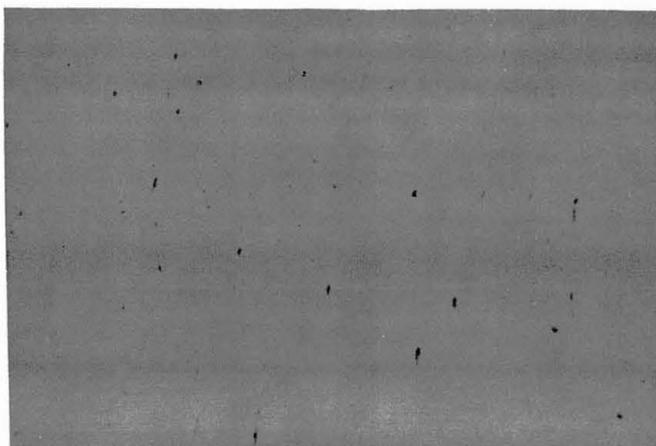
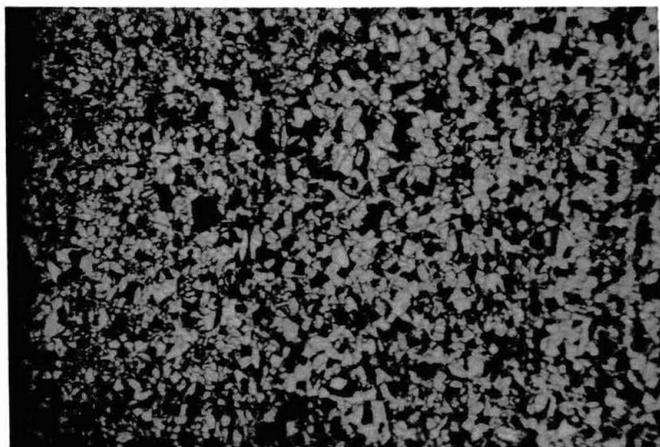


FIG. 1

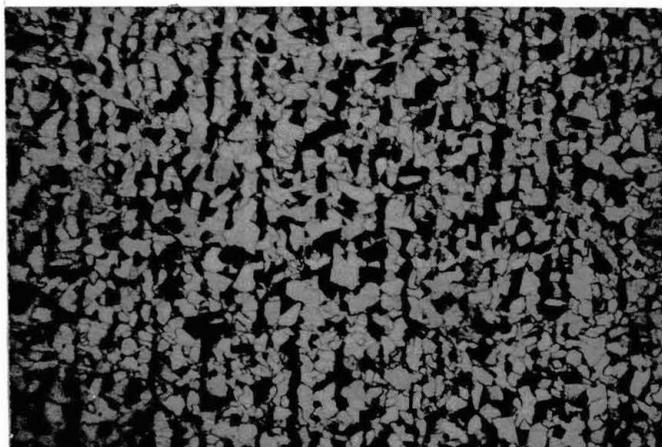
INCLUSÕES



LAMINADO

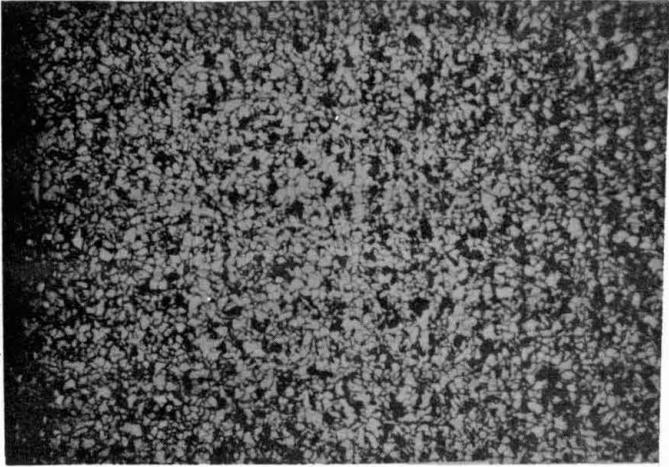


Periferia

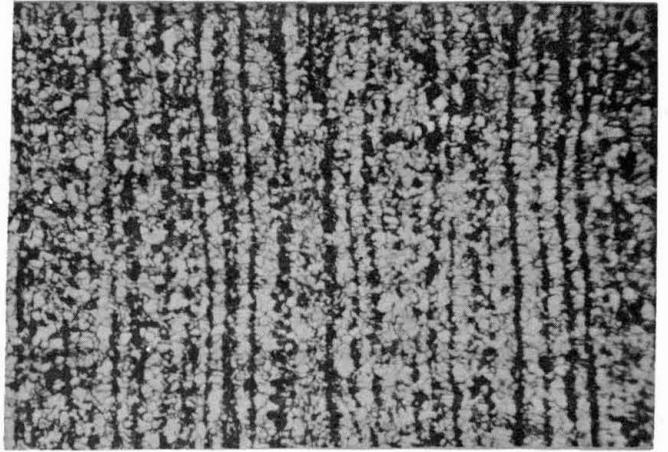


Centro

NORMALIZAÇÃO

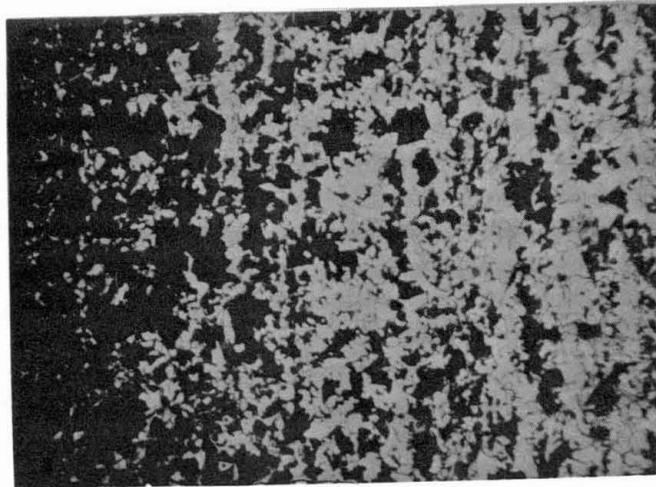


Periferia



Centro

T. G. A.



Tamanho de grão austenítico

Figura 2 - Características microestruturais de um aço laminado e normalizado: inclusões, aspectos da superfície e centro de amostras laminados e normalizados, tamanho de grão austenítico. Aumento:100 X.

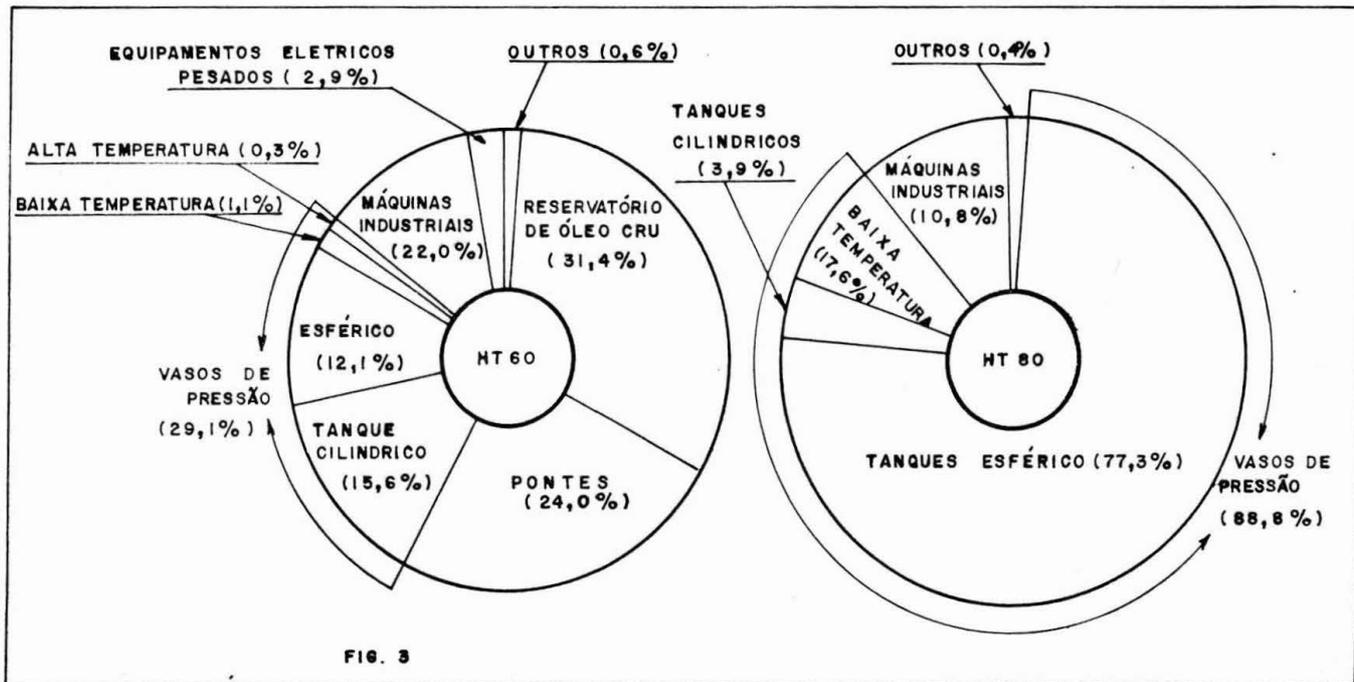


FIG. 3

Figura - 3 - Aplicação dos aços de alta resistência da Nippon Steel.

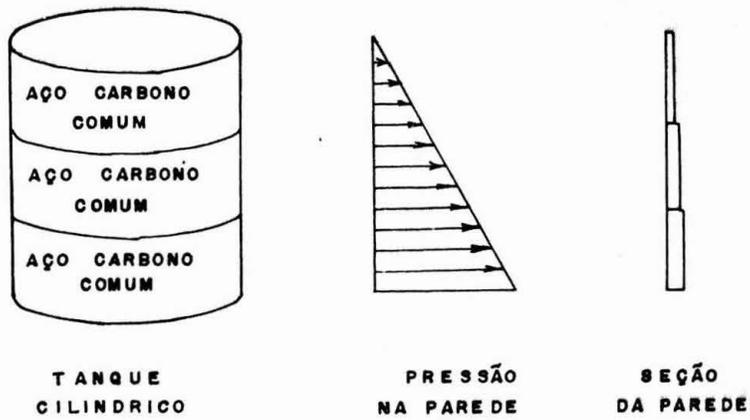


FIG. 4

Figura 4 - Tanque para depósito, feito de um determinado grau de aço.

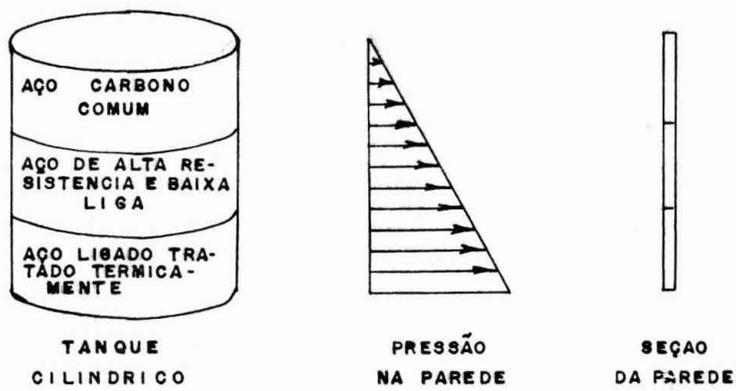
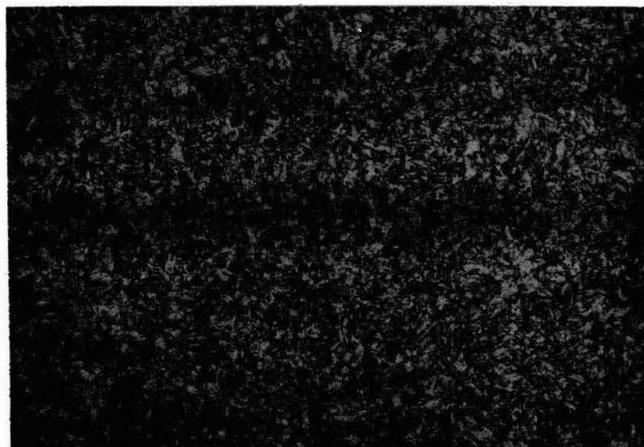


FIG. 5

Figura 5 - Tanque para depósito, feito com aços diferentes.



(a)

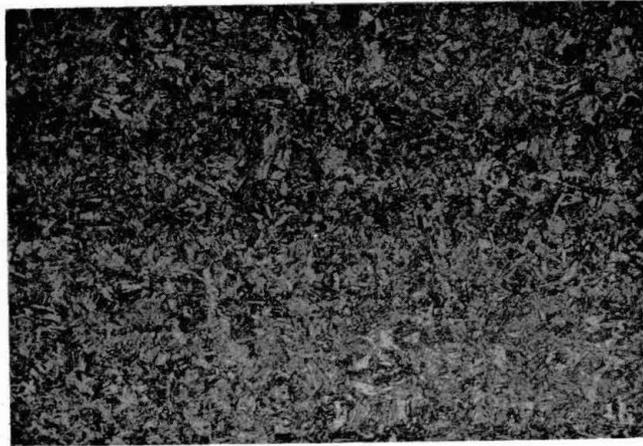


(b)

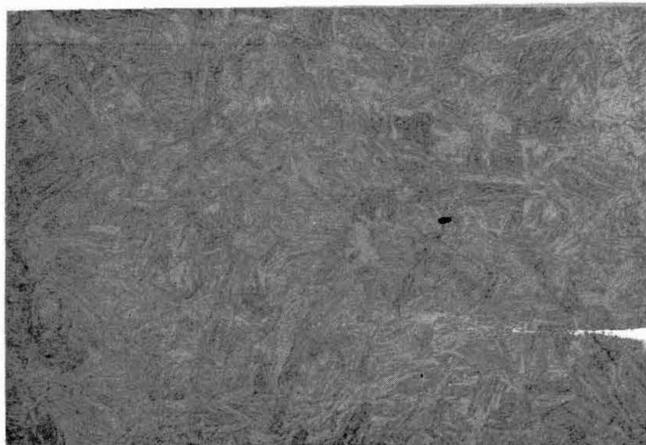
Figura 6 - Aspecto microestruturais do aço. Wel Ten 60.

a - Aumento : 100 x

b - Aumento : 400 x



(a)



(b)

Figura 7 - Micrografia do Wel Ten 80.

a - Aumento 100 x

b - Aumento 400 x

TABELA I - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AÇOS - COR\_TEN

TIPO	REFERÊNCIA	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) (ANÁLISE NA PANELA)								
		C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	Ni	V
COR_TEN A	FAIXA DE COMPOSIÇÃO	0,12 máx.	0,20 0,50	0,07 0,15	0,05 máx.	0,25 0,75	0,25 0,55	0,30 1,25	0,65 máx.	- -
	COMPOSIÇÃO TÍPICA	0,09	0,38	0,09	0,03	0,48	0,41	0,84	0,28	-
COR_TEN B	FAIXA DE COMPOSIÇÃO	0,10 0,19	0,09 1,25	0,04 máx.	0,05 máx.	0,15 0,30	0,25 0,40	0,40 0,65	- -	0,02 0,10
	COMPOSIÇÃO TÍPICA	0,16	1,15	0,10	0,03	0,20	0,32	0,50	-	0,05
COR_TEN C	FAIXA DE COMPOSIÇÃO	0,12 0,19	0,90 1,35	0,04 máx.	0,05 máx.	0,15 0,30	0,25 0,40	0,40 0,70	- -	0,04 0,10
	COMPOSIÇÃO TÍPICA	0,17	1,20	0,01	0,03	0,20	0,32	0,55	-	0,07

TABELA II - AÇO CARBONO CHAR\_PAC TRATADO TERMICAMENTE  
( AÇO PRÓPRIO PARA DOBRAMENTO A FRIO )

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) ( ANÁLISE DA PANELA )								
C	Mn	P	S	Si	Gu	Ni	Cr	Mo
0,20 máx.	0,70 ~ 1,35	0,05 máx.	0,05 máx.	0,15 ~ 0,50	0,25	0,15	0,12	0,04
ESPECIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS								
CONDIÇÃO	ESPESSURA CHAPA (mm)	LR (kgf/mm <sup>2</sup> )	LE (kgf/mm <sup>2</sup> )	ALONGAMENTO (%)				
				BM 200mm	BM 50mm			
TEMPERADO E REVENIDO	$E \leq 31,75$	56,0 ~ 70,0	42,0	19	-			
	$31,75 < E \leq 58,80$	53,0 ~ 67,0	39,0	19	23			
NORMALIZADO	$E \leq 31,75$	49,0 ~ 63,0	35,0	-	23			
	$31,75 < E \leq 50,80$	46,0 ~ 60,0	32,0	-	23			

TABELA III - AÇO CARBONO CON\_PAC TRATADO TERMICAMENTE

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) (ANÁLISE DE PANELA)					
C	Mn	P	S	Si	Cu
0,20 máx	1,00 ~ 1,50	0,04 máx	0,05 máx	0,30 ~ 0,60	0,25 ~ 0,40
ESPECIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS					
ESP. DA CHAPA (mm)	LR (kgf/mm <sup>2</sup> )	LE (kgf/mm <sup>2</sup> )	ALONG. BM 50,0 mm (%)		
$E \leq 19,50$	70,0	56,0	18		
$19,00 < E \leq 38,10$	63,0	49,0	20		

TABELA IV - PROPRIEDADES MECÂNICAS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AÇOS LIGADOS E AO CARBONO COMUM.

DESTINAÇÃO		COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)								* CON-DT-GRÃO.	L E kgf/mm <sup>2</sup>	L R kgf/mm <sup>2</sup>	A1 m <sup>2</sup> n (%)	SOLDA- DADE PARA E = 1/2 <sub>mm</sub> TO	
AÇOS CARBONO		C (máx)	Mn			Si									
ASTM-A442-Cr55	E ≤ 25,40 mm	0,22	0,80 ~ 1,10 <sup>++</sup>			++				L	21,0	39,0 ~ 46,0	26	a	
	25,40 < E ≤ 38,10mm	0,24	0,60 ~ 0,90 <sup>++</sup>			0,15 ~ 0,30				N	21,0	39,0 ~ 46,0	26		
60	E ≤ 25,40 mm	0,24	0,80 ~ 1,10 <sup>++</sup>			++				L	22,0	42,0 ~ 51,0	23	a	
	25,40 < E ≤ 38,10mm	0,27	0,60 ~ 0,90			0,15 ~ 0,30				N	22,0	42,0 ~ 51,0	23		
55	E ≤ 12,70 mm	0,18	0,60 ~ 0,90			0,15 ~ 0,30				N	21,0	39,0 ~ 46,0	27	a	
	12,70 < E ≤ 38,10mm	0,20	0,85 ~ 1,20			0,15 ~ 0,30				N	21,0	39,0 ~ 44,0	27		
60	E ≤ 12,70 mm	0,21	0,60 ~ 0,90			0,15 ~ 0,30				N	22,0	42,0 ~ 51,0	25	a	
	12,70 < E ≤ 50,80mm	0,23	0,85 ~ 1,20			0,15 ~ 0,30				N	22,0	42,0 ~ 51,0	25	a	
65	E ≤ 12,70 mm	0,24	0,85 ~ 1,20			0,15 ~ 0,30				N	25,0	46,0 ~ 54,0	23	b,c	
	12,70 < E ≤ 50,80	0,26	0,85 ~ 1,20			0,15 ~ 0,30				N	25,0	46,0 ~ 54,0	23		
70	E ≤ 12,70 mm	0,27	0,85 ~ 1,20			0,15 ~ 0,30				N	27,0	42,0 ~ 59,0	21	b,d	
	12,70 < E ≤ 50,80mm	0,28	0,85 ~ 1,20			0,15 ~ 0,30				N	27,0	49,0 ~ 59,0	21		
AARFC 128 GR B	E ≤ 19,05 mm	0,25	1,35 máx			0,30 máx				N	35,2	57,0 ~ 71,0	21	b,c	
	19,00 < E ≤ 25,40mm	0,25	1,50 máx			0,50 máx				N	35,2	57,0 ~ 71,0	21		
LUKENS LT 75 HS	E ≤ 19,00 mm	0,22	1,10 ~ 1,60			0,20 ~ 0,60				T	52,9	67,0 ~ 81,0	19	e	
	19,00 < E ≤ 33,10mm	0,22	1,10 ~ 1,60			0,20 ~ 0,60				T	49,2	63,0 ~ 77,0	19		
ASTM A537 Gr A	E ≤ 31,75 mm	0,24	0,70 ~ 1,35			0,15 ~ 0,50				N	35,2	49,0 ~ 63,0	22	b,c	
	31,75 < E ≤ 50,80mm	0,24	0,70 ~ 1,35			0,15 ~ 0,50				N	32,4	46,0 ~ 60,0	22		
B	E ≤ 31,75mm	0,24	0,70 ~ 1,35			0,15 ~ 0,50				T	42,2	56,0 ~ 70,0	22	b,c	
	31,75 < E ≤ 50,80mm	0,24	0,70 ~ 1,35			0,15 ~ 0,50				T	39,4	53,0 ~ 67,0	22		
LUKENS PENSTOCK	E ≤ 19,05 mm	0,25	0,90 ~ 1,35			0,15 ~ 0,30				N	35,2	49,0 m <sup>2</sup> n	23		
	19,05 < E ≤ 50,80	0,25	0,90 ~ 1,35			0,15 ~ 0,30				N	35,2	49,0 m <sup>2</sup> n	24	b,c	
	50,80 < E ≤ 101,60mm	0,25	0,90 ~ 1,35			0,15 ~ 0,30				N	29,5	49,0 m <sup>2</sup> n	24		
AÇOS LIGADOS	E > 50,80mm	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	B	V	Cu	T+R	70,4	-	-	
ASTM-A 517 Gr F	-	0,10 0,20	0,60 1,00	0,15 0,35	0,70 1,00	0,40 0,65	0,40 0,60	0,002 0,006	0,03 0,03	0,15 0,50	T+R	70,4	81,0 ~ 95,0	16	e
A 203 Gr A	-	0,17 max	0,70 max	0,15 0,30	2,10 2,50	-	-	-	-	-	N	26,0	46,0 ~ 54,0	23	e
A 203 Gr B	-	0,21 max	0,70 max	0,15 0,30	2,10 2,50	-	-	-	-	-	N	23,1	49,0 ~ 60,0	21	e
A 203 Gr D	-	0,17 max	0,70 max	0,15 0,30	3,25 3,75	-	-	-	-	-	N	26,0	46,0 ~ 54,0	23	e
A 203 Gr E	-	0,20 max	0,70 max	0,15 0,30	3,25 3,75	-	-	-	-	-	N	28,1	49,0 ~ 60,0	21	e
A 553 Gr A	-	0,25 max	1,15 1,50	0,15 0,30	-	0,45 0,50	0,45 0,50	-	-	-	T+R	classe1 35,2	56,0 ~ 70,0	18	f
A 553 Gr B	-	0,25 max	1,15 1,50	0,15 0,30	0,40 0,70	-	0,45 0,60	-	-	-	T+R	classe2 49,2	63,0 ~ 81,0	16	f
A 553 Gr C	-	0,25 max	1,15 1,50	0,15 0,30	0,70 1,00	-	0,45 0,60	-	-	-	T+R	classe3 59,0	70,0 ~ 88,0	16	f
A 553 Gr D	-	0,25 max	1,15 1,50	0,15 0,30	0,20 0,40	-	0,45 0,60	-	-	-	T+R	-	-	-	-
A 543	-	0,23 max	0,40 max	0,20 0,35	2,60 3,25	1,50 2,00	0,45 0,60	-	0,03 max	-	T+R	classe1 59,8	74,0 ~ 88,0	14	f
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T+R	classe2 70,4	81,0 ~ 95,0	14	f

\* L - como laminado; N - normalizado; T + R - temperado e revenido

a - Sem pré-aquecimento ou eletrodos associados

b - Eletrodos de baixo hidrogênio

c - Pré-aquecimento mínimo de 100°F (32°C) para eletrodos que não sejam de baixo hidrogênio.

d - " " 200°F (93°C) " " de baixo hidrogênio.

e - " " " " " " " "

f - Considerações especiais para nível de resistência projetado e bitola.

++ - Pode ser o mesmo como para E = 25,40 mm, se o aço for fabricado sob algum processo de refino de grão.

TABELA V - AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA ESTRUTURAS SOLDÁVEIS,  
BAIXO CARBONO E BAIXA LIGA, TEMPERADOS E REVENIDOS.

QUALIDADE	COMPOSIÇÃO QUÍMICA											PROPR. MECÂNICAS		ENERGIA DE IMPACTO (mín)	
	C(max)	Mn	Ni	P(max)	S(max)	Si	Cr	Mo	Nb	V	B(max)	Cu	LE (kgf/mm <sup>2</sup> )		LR (kgf/mm <sup>2</sup> )
WEL_TEN 60	0,16	0,90 1,50	0,60 (máx)	0,030	0,030	0,15 0,55	0,30 (máx)	0,30 (máx)	-	0,10* (máx)	-	-	46 (mín) 50 Qdo Exigido.	60 - 72	13 < E ≤ 32 (-5°) 32 < E ≤ 50 (-10°) 4,8 kgm
WEL_TEN 62	"	"	"	"	"	"	"	"	-	"	-	-	50 (mín)	62 - 74	13 < E ≤ 32 (-10°) 32 < E ≤ 50 (-15°) 4,8 kgm
WEL_TEN 70	"	0,60	0,30*	"	"	0,15	0,60	0,40	0,10	"	0,006	0,50 (máx)	E ≤ 50 mm 63 (mín)	E 50mm 70 - 75	13 < E ≤ 32 (-15°) 32 < E ≤ 75 (-20°) 4,8 kgm
		1,20	1,00			0,35	(máx)	(máx)	(máx)				E > 50 mm 61 (mín)	E 50mm 68 - 83	
WEL_TEN 70C	"	"	-	"	"	-	0,80	0,40	0,15	0,15	"	0,50 (máx)	E ≤ 50mm 63 (mín)	E 50mm 70 - 85	E ≤ 32 (-15°) E ≥ 32 (-20°) 4,0 kgm
							(máx)	(máx)	(máx)	(máx)			E > 50mm 61 (mín)	E 50mm 68 - 83	
WEL_TEN 80	"	"	0,40	"	"	0,15	0,40	0,30	-	0,10	"	0,15	E ≤ 50 mm 70 (mín)	E 50mm 80 - 95	13 < E ≤ 32 (-15°) 32 < E ≤ 100 (-20°) 3,6 kgm
			1,50			0,35	0,80	0,60	(máx)	0,80		E > 50mm 68 (mín)	E 50mm 78 - 93		
WEL_TEN 80C	"	"	-	"	"	"	0,60 1,20	"	-	-	"	0,15 0,50	70 (mín)	80 - 95	13 < E ≤ 32 (-15°) 32 < E ≤ 40 (-20°) 3,6 kgm
WEL_TEN 80P	"	0,90	1,00*	"	"	0,15	0,40	0,02	-	-	"	-	70 (mín)	80 - 95	13 < E ≤ 32 (-15°) 32 < E ≤ 40 (-20°) 3,6 kgm
		1,50	(máx)			0,55	0,70	0,05							

\* Pode ser adicionado, se necessário.

TABELA VI - AÇOS PARA APLICAÇÕES A BAIXAS TEMPERATURAS

QUALIDADE	TIPOS DE AÇO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA									PROPR. MECÂNICAS	
		C (máx)	Mn	P (máx)	S (máx)	Si	Ni (máx)	Cr (máx)	Mo (máx)	V (máx)	LE (kgf/mm <sup>2</sup> )	LR (kgf/mm <sup>2</sup> )
N_TUF 30N	NORMALIZADO	0,14	1,00	0,030	0,030	0,15	-	-	-	-	30 (mín)	43 - 55
			1,50			0,35						
N_TUF 33N	IDEM	0,14	1,00	0,030	0,030	0,15	-	-	-	-	33 (mín)	45 - 57
			1,50			0,35						
N_TUF 33	TEMPERADO E REVENIDO	0,14	1,00	0,030	0,030	0,15	-	-	-	-	33 (mín)	45 - 57
			1,50			0,35						
N_TUF 37	IDEM	0,14	1,00	0,030	0,030	0,15	0,70	-	-	-	37 (mín)	50 - 62
			1,50			0,35						
N_TUF 50	IDEM	0,16	0,90	0,030	0,030	0,15	0,60	0,40	0,30	0,08	50 (mín)	62 - 75
			1,40			0,35						

USO DO PSEUDO DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO PARA ESTUDAR A  
RESPOSTA DE AÇO NIOCOR AOS TRATAMENTOS INTERCRÍTICOS

J.R.C. Guimarães  
Instituto Militar de Engenharia

e

Fundação de Tecnologia Industrial  
Av. Venezuela 82 - 20081 - Rio de Janeiro

K.K.Chawla  
Instituto Militar de Engenharia  
Centro de Pesquisa de Materiais  
Pça Gen Tiburcio s/nº - Urca  
22290 - Rio de Janeiro - RJ

Rêsumo

Estudou-se a microestrutura de um aço Niocor submetido a uma série de tratamentos térmicos na região intercrítica ( $A_1$ - $A_3$ ) seguidos de têmpera em água.

Uma análise dos dados experimentais com base na hipótese de "para-equilíbrio", ignorando o particionamento de elementos substitucionais entre as fases presentes, levou à conclusão ser razoável empregar o pseudo-diagrama de equilíbrio de fases, Fe-Cr-C, para interpretar a resposta do aço aos tratamentos intercríticos.

Abstract

The microstructure of a Niocor steel subjected to a series of heat treatments in the intercritical region ( $A_1$ - $A_3$ ) and quenched in water was studied.

An analysis of the experimental results, based on the hypothesis of "para-equilibrium", ignoring the partitioning of substitutional elements between the phases present, led to the conclusion that it was reasonable to use the pseudo-equilibrium diagram of phases, Fe-Cr-C, to interpret the response of this steel to intercritical treatments.