



Universidade do Porto

FEUP Faculdade de
Engenharia

MATERIAIS DE CONTRUÇÃO MECÂNICA I

TRABALHO PRÁTICO 02/03

TÊMPERA MARTENSÍTICA E REVENIDO DO AÇO RL200 (X210CR12) Trabalho A0230

Docente:

Eng.º Rui Neto

Agradecimentos:

Emilia do Rosário Rocha Soares
Eng.º Miguel Augusto Vigário de Figueiredo

Trabalho realizado por:

André Soares N°000504034
Ricardo Pedrosa N°000504018

Índice

Sumário	4
Objectivos visados	5
Revisão Bibliográfica	6
1. Tratamentos Térmicos	6
1.1. Recozido de Amaciamento (ou Globulização)	6
1.2. Têmpera	6
1.2.1. Aquecimento	6
1.2.2. Estágio à temperatura de têmpera (austenitização)	7
1.2.3. Arrefecimento	7
1.3. Têmpera Martensítica	8
1.3.1. Temperabilidade	8
1.4. Revenido	8
2. Variações dimensionais nos aços ledeburíticos com 12% de cromo e alto teor em carbono	9
2.1. Comportamento das matrizes de corte em forma de placas relativamente às variações dimensionais	9
2.1.1. Placas com fibras horizontais:	9
2.1.2. Placas com fibras verticais:	10
2.2. Aços de variação dimensional regulável e uniforme nas direcções longitudinal e transversal	11
Estudo do Material	12
1. O RL200	12
1.1. Propriedades e características	12
1.2. Aplicações materiais	12
1.3. Normas	13
1.4. Composição Química e influência dos elementos de liga	13
2. Aços Ligados para Ferramentas de Trabalho a Frio	14
2.1. Normas	14
2.2. Composição química	15
2.3. Aplicações principais	15
Previsão de Resultados	16
1. Pontos de transformação	16
1.1. Cálculo do ponto eutéctico	16
1.2. Cálculo de Ac1	16
1.3. Cálculo de Ms	17

2.	Características do material	17
2.1.	Dureza	17
2.2.	Microestrutura	18
2.3.	Variação dimensional	18
3.	Percentagem de Constituintes	18
3.1.	Depois da têmpera	18
3.2.	Depois do revenido	19
Técnicas Operatórias utilizadas		20
1.	Polimento e Observação Microscópica	20
1.1.	Polimento Automático, na máquina pedemax-2	20
1.1.1.	Com lixas de água	20
1.1.2.	Com pó de diamante	20
1.1.3.	Verificação da qualidade de Polimento	20
1.2.	Polimento Manual	21
1.2.1.	Com lixas de água	21
1.2.2.	Com diamante	21
1.2.3.	Verificação da qualidade de Polimento	21
2.	Ataque Químico	22
3.	Observação Microscópica e Fotografia	22
3.1.	Estado inicial, recozido de amaciamento	23
3.2.	Micro-estrutura da amostra depois da têmpera martensítica	24
4.	Medição de Durezas	25
4.1.	No estado inicial, recozido	25
4.2.	Depois de temperado a 970°C	25
4.3.	Depois de Revenido a 300°C	25
5.	Tratamentos térmicos efectuados	26
5.1.	Têmpera Martensítica	26
5.2.	Revenido	27
Conclusão		28
Anexos		29
Bibliografia		30
Páginas Internet		31

Sumário

Este trabalho tem como objectivo o estudo dos tratamentos térmicos aplicados ao aço ledeburítico X210Cr12, e em como estes alteram as suas propriedades mecânicas.

O relatório vai apresentar a seguinte estrutura:

- Objectivos Visados
- Revisão Bibliográfica
- Estudo do Material
- Previsão de Resultados
- Técnicas Operatórias Utilizadas
- Conclusão
- Anexos
- Bibliografia
- Páginas Internet

Objectivos visados

Ao realizar este trabalho deparamo-nos com o mesmo problema de todos os profissionais que trabalham na área da fabricação de peças e ferramentas metálicas:

“Qual o tratamento térmico que vamos conferir à peça de modo a obter as propriedades mecânicas pretendidas?”.

Com a realização deste trabalho pretendemos elaborar um correcto tratamento térmico do material (X210Cr2), saber quais as propriedades mecânicas que são alterados depois deste, e o porquê disto acontecer. Outros objectivos visados são: a identificação e classificação do material em causa; análise da sua micro-estrutura e composição química; comparação com outros materiais; aprofundamento do conhecimento das técnicas operatórias; análise e interpretação de diversos diagramas e quadros relativos ao material; previsão de resultados; interpretação e discussão dos resultados experimentais obtidos e fundamentação teórica dos mesmos; conclusão e crítica com base em toda a informação obtida.

Revisão Bibliográfica

1. Tratamentos Térmicos

1.1. Recozido de Amaciamento (ou Globulização)

O recozido de amaciamento tem por fim dar ao aço uma estrutura globular que é mais conveniente para a maquinagem com ou sem levantamento de aparas. A estrutura perlítica que obtemos pelo arrefecimento da austenite, é formada por lamelas finas e paralelas de cementite e ferrite. Como a tensão superficial das lamelas de cementite é elevada, o aço será mais facilmente maquinável se as coagularmos, transformando-as em pequenas esferas de cementite. Então, o aço encontra-se no estado macio quando apresenta glóbulos de cementite numa matriz ferrítica. O aço X210Cr12 é fornecido no estado recozido de globulização.

1.2. Têmpera

A têmpera tem a finalidade fundamental de transformar a micro-estrutura de um aço numa micro-estrutura no domínio bainítico ou martensítico o que vai conferir à peça características mecânicas mais elevadas.

A têmpera dos aços pode ser definida como um aquecimento até determinada temperatura situada dentro da zona de formação da austenite, seguida por um arrefecimento rápido, feito a uma velocidade que suprima a transformação da austenite em produtos moles como a perlite e ferrite, e dê lugar ao aparecimento da martensite ou bainite.

É um tratamento térmico constituído por três fases:

- Aquecimento;
- Estágio à temperatura de têmpera;
- Arrefecimento.

1.2.1. Aquecimento

No aquecimento é preciso ter em conta a condutibilidade térmica do aço. Os aços de muita liga têm uma condutibilidade térmica baixa assim como eléctrica. Desta forma, necessitam de um aquecimento lento, de modo a evitar a formação de tensões devido às diferenças de temperatura, tensões essas que podem causar distorções e até fracturas.

Como os aços têm temperaturas de têmpera elevadas, é bom que antes se faça um pré-aquecimento devido à fraca condutibilidade térmica. O ideal será fazer um aquecimento em degraus. O pré-aquecimento ou aquecimento em degraus assegura um aquecimento uniforme em toda a secção da peça, evitando o aquecimento excessivo das arestas e da superfície. Para aços com uma temperatura de têmpera até 900°C, fazemos um degrau; 2 degraus para temperaturas até 1000°C; 3 degraus para temperaturas superiores a 1000°C.

1.2.2. Estágio à temperatura de têmpera (austenitização)

Esta etapa da têmpera tem como objectivo a obtenção de uma estrutura totalmente austenítica ideal para de seguida se fazer o arrefecimento.

Para os aços hipoeutectóides é necessário uma temperatura de têmpera 50°C superior a Ac_3 . Para os aços hipereutectóides toda a massa do aço deveria ser austenítica, mas se elevarmos a temperatura apenas 50°C a mais que a Ac_1 , e não transformarmos a cementite, obtemos propriedades muito semelhantes (isto acontece porque a cementite é mais dura que a martensite, e é de todo o interesse mantê-la para benefício da dureza). O carbono necessário para a operação de têmpera encontra-se sob a forma de carbonetos, que se dissolvem depois do estágio. Os carbonetos que não se conseguem dissolver à temperatura de têmpera, continuarão por se dissolver após o arrefecimento, e irão contribuir para uma melhoria significativa da resistência ao desgaste do aço.

O tempo de estágio à temperatura de têmpera vai depender de vários factores:

- composição química do aço;
- dimensão da peça;
- temperatura de têmpera;
- tipo de aquecimento do aço.

O cálculo do tempo de estágio, como regra geral, pode ser executado da seguinte forma:

- Para aços sem liga ou de pequena liga \Rightarrow 5 min. por 10 mm de espessura;
- Para aços de média liga \Rightarrow 7 min. por 10 mm de espessura;
- Para aços de muita liga \Rightarrow 10 min. por 10 mm de espessura.

Se o tempo de estágio for muito prolongado, os grãos formados serão demasiadamente grandes, e se as peças não estiverem empacotadas, levará a uma descarbonização exagerada da superfície.

1.2.3. Arrefecimento

Depois do aquecimento e estágio à temperatura de têmpera correcta, o aço apresenta a estrutura ideal para executar o arrefecimento. Os meios de têmpera mais correntes são:

- Água;
- Soluções aquosas;
- Óleo;
- Ar.

Os meios acima indicados estão colocados por ordem decrescente em relação ao seu poder arrefecedor.

Conforme a temperabilidade do aço e a dureza pretendida (pela observação do diagrama TTT), determinamos a velocidade de arrefecimento adequada de modo a obtermos martensite ou bainite. No entanto, deverá ser o mais lenta possível de modo a evitar o aparecimento de tensões térmicas.

As tensões internas que surgem na transformação martensítica podem originar à fissuração da peça, e têm origem, por um lado da mudança estrutural e por outro da contração térmica decorrente da rápida variação de temperatura. A transformação de austenite em martensite dá lugar a um aumento de volume de cerca de 1.2%.

De modo a evitar o aparecimento de fissuras, poderá ser feita uma têmpera interrompida ou têmpera por histerese.

1.3. Têmpera Martensítica

Este tratamento tem como objectivo a obtenção de uma estrutura martensítica que confere à peça a sua máxima dureza.

Aquecemos a peça a uma temperatura de austenitização de cerca de 50°C acima de Ac_3 no caso de aços hipoeutectóides. Relativamente aos aços hipereutectóides a temperatura é de $Ac_1 + 50^\circ C$ e não a partir de Ac_m , para evitar sobreaquecimento e maiores riscos de fissuração. No primeiro caso a estrutura será martensítica, enquanto no segundo caso haverá martensite mais cementite (esta última não traz nenhum inconveniente para a dureza, visto que é uma estrutura de elevada dureza). O tempo de estágio deverá ser suficiente, de modo a que toda a peça, desde a periferia até ao centro, atinja a temperatura pretendida e que permita uma dissolução dos carbonetos e a homogeneização da austenite.

Arrefece-se rapidamente num banho de têmpera com uma velocidade superior à velocidade crítica de têmpera, de modo a transformar toda, ou quase toda a austenite em martensite. Existem duas noções importantes de referir neste tratamento:

- o valor da dureza máxima que é possível alcançar
- temperabilidade ou aptidão à penetração da têmpera

1.3.1. Temperabilidade

A temperabilidade é a capacidade de um aço em formar martensite em toda a sua massa, depois de esta ser arrefecida desde a temperatura de austenitização.

Assim, é uma propriedade das ligas ferrosas que mede o grau de penetração de têmpera.

Se um aço após têmpera apresentar uma dureza igual desde a superfície até ao núcleo, então o grau de penetração de têmpera é elevado e então o aço apresenta uma grande temperabilidade. Esta propriedade melhora com o aumento do grão austenítico, com a homogeneidade da austenite e dissolução de carbonetos e com o teor de elementos de liga.

1.4. Revenido

Este tratamento térmico deverá ser efectuado imediatamente a seguir à têmpera, tendo como objectivo eliminar a maioria das tensões internas, durezas excessivas e fragilidades no material, que são produzidas por esta, melhorando assim a ductilidade e tenacidade do aço e uma consequente diminuição da sua dureza. Consiste num aquecimento a uma temperatura inferior a Ac_1 , estágio a essa temperatura e num arrefecimento que normalmente é feito ao ar calmo. O facto deste tratamento ser feito

de preferência a seguir à têmpera, é no sentido de proteger a peça das tensões que nela se produzem.

2. Variações dimensionais nos aços ledeburíticos com 12% de crómio e alto teor em carbono

As variações dimensionais nestes aços são em função do sentido das fibras em consequência da orientação dos carbonetos.

Além disso, podemos considerar o teor de austenite residual e consequentemente o aumento de volume, pela escolha conveniente da temperatura de têmpera sem que a dureza sofra queda apreciável, conforme se pode verificar na figura 1.

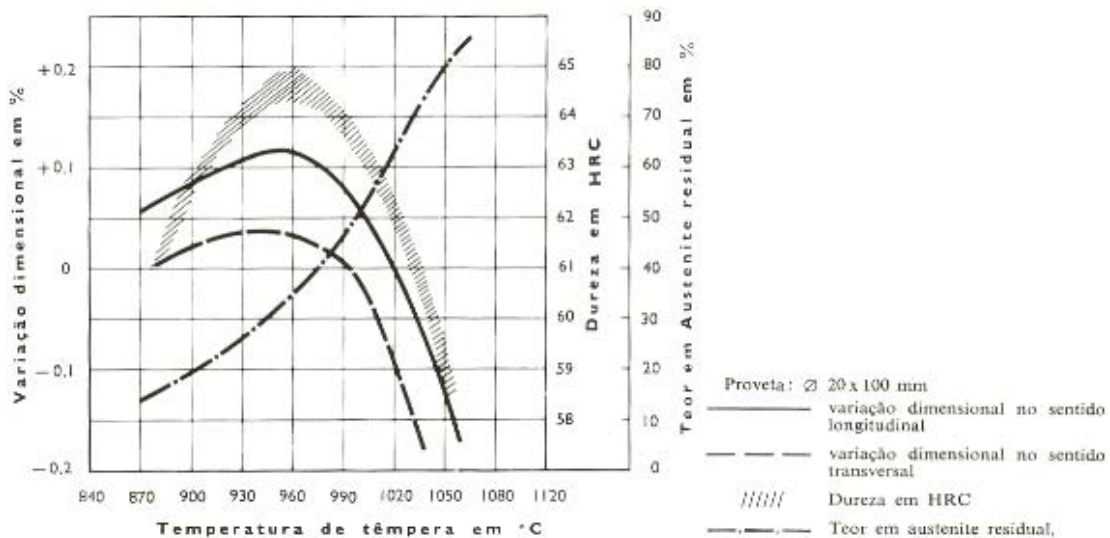


Fig. 1 - Influência da temperatura de têmpera na dureza; variação dimensional e de austenite residual para o aço X210Cr12

Deste modo podemos, até certa medida, regular as variações dimensionais.

2.1. Comportamento das matrizes de corte em forma de placas relativamente às variações dimensionais

2.1.1. Placas com fibras horizontais:

Admitindo que temos uma barra na qual a direcção principal de forjamento ou laminagem coincide com a do eixo da barra, as fibras têm a mesma direcção desse eixo.

Neste caso a direcção de deformação preferencial é a axial.

As variações dimensionais podem ser influenciadas, quer pela temperatura de têmpera quer pelo meio de arrefecimento. Com um aumento da velocidade de arrefecimento de têmpera verifica-se um maior aumento da espessura da placa.

Como se pode observar na figura 2, as menores variações dimensionais são obtidas pela têmpera no óleo e com temperaturas de têmpera no limite superior da gama de temperaturas de têmpera.

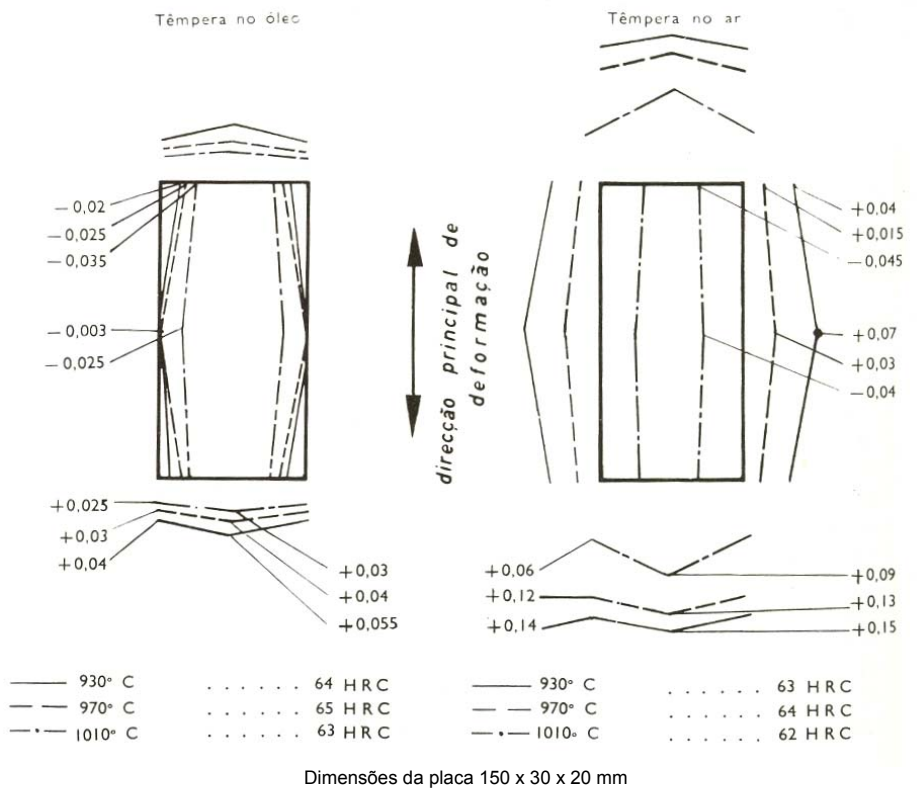


Fig. 2 - Variações dimensionais de placas de aço X210Cr12 com fibras horizontais em função da temperatura de têmpera e da velocidade de arrefecimento.

2.1.2. Placas com fibras verticais:

No caso de se obter uma ferramenta a partir de uma fracção cortada de uma barra de secção redonda, quadrada ou rectangular, as fibras são verticais pois têm a mesma direcção do eixo da barra cilíndrica ou prismática. Assim, estas placas têm tendência a contrair-se.

As menores variações dimensionais, no caso de peças furadas, são obtidas especialmente por têmpera ao ar. Obtendo-se resultados menos favoráveis na têmpera em óleo. Pode-se verificar que as dimensões diminuem à medida que a temperatura de têmpera aumenta.

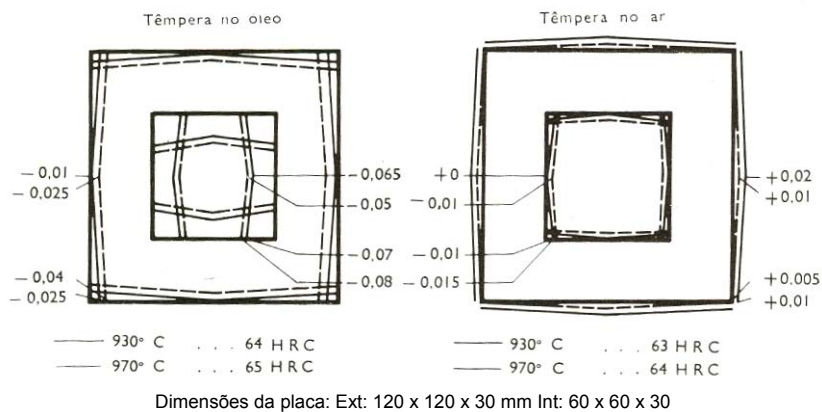


Fig. 3 - Variações dimensionais de placas de aço X210Cr12 com fibras verticais em função da temperatura de têmpera e da velocidade de arrefecimento.

Pode-se concluir que mesmo nestes aços de baixa variação dimensional, não é possível uma têmpera isenta de variações dimensionais apesar do mínimo aumento volumétrico.

2.2. Aços de variação dimensional regulável e uniforme nas direcções longitudinal e transversal

Nos aços ledeburíticos, através de um processo de fabrico especial, (Regulit), podemos obter uma orientação regular dos carbonetos. Esta disposição permite a possibilidade da realização de um tratamento térmico, regulando as variações dimensionais que são iguais nas direcções longitudinal e transversal.

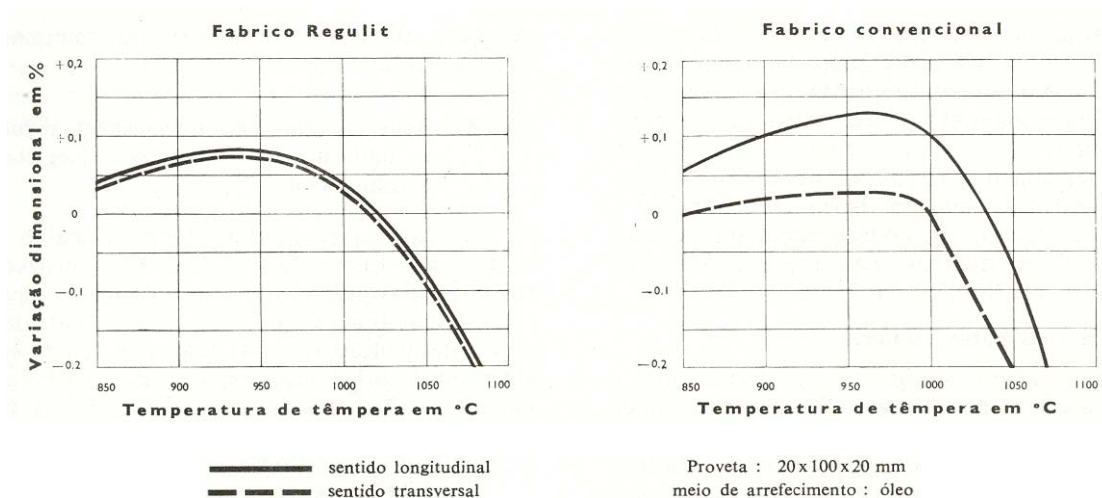


Fig. 4 - Variação dimensional nos sentidos transversal e longitudinal em função da temperatura de têmpera do aço X210Cr12 fabricado pelos processos convencional e Regulit

Verifica-se que após têmpera existe um aumento dimensional da peça. Se nestes aços se fizer um revenido até 350°C, verifica-se uma redução dimensional. Por exemplo, no caso do aço X210Cr12 fabricado pelo processo Regulit, podemos chegar a um compromisso entre a têmpera e o revenido de modo a que a variação dimensional desta ultima compense a variação dimensional do primeiro, sendo a variação dimensional final praticamente nula.

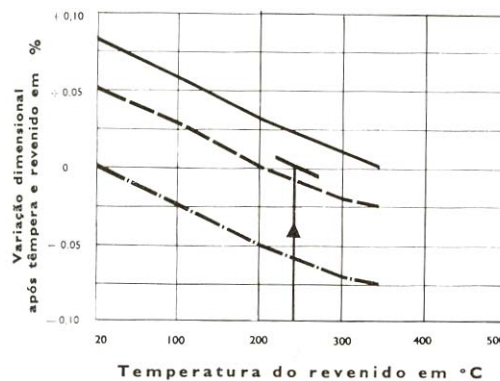


Fig. 5 - Variação dimensional final (após têmpera e revenido) em função da temperatura de revenido e de têmpera para o aço X210Cr12 de fabrico regulit, temperado em óleo

Estudo do Material

1. O RL200

1.1. Propriedades e características

O aço em estudo é um aço ligado com um teor de 2,1% de C e 12% de Cr.

A definição como aço deste material irá ser mantida, visto que em toda a bibliografia pesquisada, este era tratado como tal, embora devido ao seu teor em carbono e ao facto de ainda ser muito ligado (12% C), este seja de facto um ferro fundido hipoeutético.

Este aço também pode ser designado de ledeburítico, uma vez que o eutético que surge nos aços de elevado teor em carbono, se designa de ledeburite. É fornecido no estado recozido(de globulização), com uma dureza média de 250 HB.

Devido à grande quantidade de elementos de liga presentes neste aço, este possui grande temperabilidade, visto que a adição de elementos de liga faz deslocar as curvas TTT para a direita, aumentando assim o tempo de incubação da austenite e retardando os processos de transformação. Com efeito, devido ao elevado teor de Cr e C estes aços temperam até ao núcleo pois apresentam uma baixa velocidade crítica de arrefecimento, o que permite até uma têmpera ao ar. Por isso estes tipos de aço são conhecidos por auto-temperantes. Como a têmpera ao ar é permitida, este aço pode ser utilizado no fabrico de ferramentas com contornos delicados e com diferenças de secção apreciáveis.

No caso de ferramentas de forma simples que não corram o risco de fracturarem na têmpera, poderão ser temperadas em óleo.

Pode-se ainda dizer que o RL200 pertence à série D, sendo um aço de baixa variação dimensional, devido ao alto teor de crómio contido na sua composição (12%).

Devido ao alto teor de crómio, este aço também pode ser considerado um aço inoxidável. Este aço quando exposto a uma atmosfera oxidante, forma uma fina película superficial de óxido de crómio caracterizada por uma excepcional resistência a ataques químicos.

1.2. Aplicações materiais

Aplica-se em ferramentas de trabalho a frio onde a resistência ao desgaste é essencial e em ferramentas de corte, especialmente de grande rendimento e de forma complicada.

Exemplos de aplicações deste aço:

- Matrizes e punções;
- Lâminas para guilhotina de grande potência;
- Ferramentas para maquinar com levantamento de aparas (mandris, fabrico de palha de aço, trabalho de madeira);
- Ferramentas para trabalho a frio sem levantamento de aparas (estampagem, embutissagem, trefilagem, extrusão de metais leves);
- Instrumentos de medida;
- Ferramentas e elementos de construção resistentes ao desgaste (indústria cerâmica, farmacêutica, sinterização, etc) .

Resumindo, este aço pode ser classificado da seguinte forma:

- Em relação à composição química - Aço de muita liga (todos os aços com um teor total de elementos de liga superior a 5% da composição do aço);
- Quanto ao teor de carbono - Visto que este “aço” possui cerca de 2,1% de C deveria ser considerado um ferro fundido hipoeutético;
- Quanto ao tipo de grau de desoxidação - É um aço calado visto que é um aço de tratamento térmico;
- Tipo de aço segundo a constituição estrutural - É um aço ledeburítico; Visto que contém 12% de cromo pode também ser considerado um aço inoxidável martensítico.
- Tipo de aço segundo a sua aplicação – Aço ferramenta de trabalho a frio;

1.3. Normas

Como é possível observar na tabela seguinte, existem diversas normas equivalentes para designar este aço:

Normas							
Material	EuroNorm	AISI	AFNOR	DIN	W.Nr.	Boehler	Villares
RL200	X210 Cr 12	D3	Z 200 C 12	X210 Cr 12	12.080	k 100	VC 130

Tabela 1 - Diversas normas para o RL200

1.4. Composição Química e influência dos elementos de liga

A composição química é outro aspecto a salientar, isto porque os elementos de liga alteram as características mecânicas do material.

Composição Química %						
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	W
2,1	≈0,3	≈0,3	12	---	---	---

Tabela 2 - Composição química do aço X210Cr12

Este material contém um elevado teor de elementos de liga, dos quais se destaca o Crómio.

Influência do Crómio como elemento de liga:

- Aumenta a resistência à tracção;
- Aumenta a resistência ao desgaste;
- Aumenta a penetração de Têmpera;
- Aumenta a duração de corte;
- Aumenta a resistência à corrosão;
- Torna a variação dimensional muito reduzida após tratamento térmico.

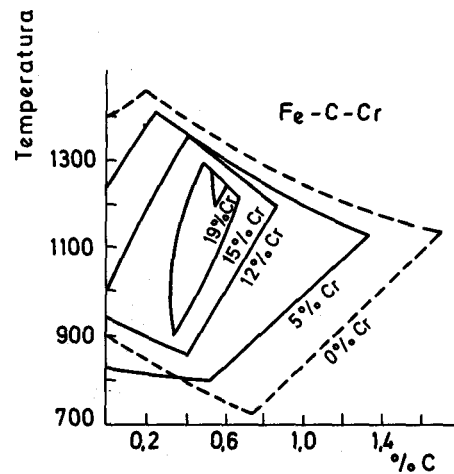


Fig. 6 - Influência do crómio na solubilidade do carbono na austenite

2. Aços Ligados para Ferramentas de Trabalho a Frio

Para além do X210Cr12, existem diversos tipos de aços ligados para ferramentas de trabalho a frio.

2.1. Normas

Seguidamente, é apresentada uma tabela comparando as normas destes aços:

Normas						
Material	EuroNorm	AISI	SS	AFNOR	DIN	W.Nr.
RL 200	X210 Cr 12	D3		Z 200 C 12	X210 Cr 12	12080
C265	(X160CrMoV12-1)	(D2)	-2310	(Z 160 CDV 12)	(X155CrVMo12 1)	-12379
BCW	95 MnWCr 5	O1	2140	95 MWCV 5	100 MnCrW4	12510
GRANE		(L6)	-2550		(50 NiCr 13)	-12721
C220	102 Cr 6	L3		Y 100 C6	100 Cr 6	12067
CROVAN	107 CrV 3				115 CrV 3	12210
D249	(55WCrV 8)	(S1)	-2710		(45 WCrV 7)	-12542
2767	(40NiCrMoV16)	9345H		(Y35NCD16)	X45NiCrMo4	12767

Tabela 3 - Normas de diversos aços de ferramentas para trabalho a frio

2.2. Composição química

Na tabela 4, nota-se a quantidade de elementos de liga presentes nestes aços.

Composição Química %								
Material	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	W	Outros
RL 200	2,1	0,3	0,3	11,8	---	---	---	---
C265	1,6	0,3	0,4	11,8	0,8	---	1	---
BCW	1	0,3	1,1	0,6	---	---	0	0,6
GRANE	0,6	0,3	0,5	1	0,3	3	---	---
C220	1	0,3	0,35	1,5	---	---	---	---
CROVAN	1,2	0,2	0,3	0,65	---	---	0	---
D249	0,5	0,8	0,25	1,3	---	---	0	2,5
2767	0,5	0,3	0,4	1,3	0,3	4	---	---

Tabela 4 - Composição química de diversos aços de ferramentas para trabalho a frio

2.3. Aplicações principais

Compare-se as aplicações principais dos aços de ferramentas para trabalho a frio:

Material	Aplicações Principais
RL 200	Matrizes e Punções. Moldes para Cerâmica. Lâminas para Guilhotina. Navalhas, Ferramentas para Madeira
C265	Matrizes e Punções, Lâminas para Guilhotina, Navalhas, Ferramentas para Madeira
BCW	Matrizes e Punções, Calibres, Mandris, Machos, Cassonetes, Roletes de Cravação
GRANE	Ferramentas para Estampar talheres, Matrizes para Estampagem e Lâminas para Corte de Materiais Grossos, Cunhos para Medalhas, Moldes para Plástico
C220	Anéis de Rolamentos, Roletes, Cavilhas, Casquilhos, Anilhas, Pontos de Torno, Rolos de Apoio
CROVAN	Brocas, Mandris, Limas Rotativas, Punções, Ferramentas de Gravador
D249	Ferramentas Pneumáticas, Lâminas, Matrizes e Punções para Corte de Materiais Espessos, Escopros, Buris
COMPAX	Ferramentas de Corte e Estampagem. Moldes de Injecção e Compressão de Plásticos.
2767	Ferramentas para Cutelaria. Moldes para todo o tipo de Plásticos, excepto os corrosivos ou abrasivos.

Tabela 5 - Aplicações principais de diversos aços de ferramentas para trabalho a frio

Previsão de Resultados

1. Pontos de transformação

1.1. Cálculo do ponto eutético

No caso dos aços com alta percentagem de liga não é coerente calcular-se o ponto eutético, principalmente neste aço, com 12% de cromo.

Deste modo, apenas é calculado o ponto eutético a título didáctico:

Elemento de liga – Crómio – Coeficientes:

- Deslocamento Horizontal: -0,065
- Deslocamento Vertical: +8,3

Coordenadas do ponto S (eutético):

- Temperatura: 723 °C
- Teor em Carbono: 0,86 %

Para o cálculo:

- Deslocamento horizontal = $-0,065 \times 12 = -0,78$
- Deslocamento vertical = $+8,3 \times 12 = +99,6$

Assim temos as novas coordenadas do ponto S:

- Temperatura: 822,6 °C
- Teor em Carbono: 0,08%

Neste caso, o ponto eutético não vai ser necessário para o estudo deste material, isto porque, este “aço” tem mais de 2% de carbono.

1.2. Cálculo de Ac1

O cálculo de Ac1, a temperatura do ponto eutético, cerca de 823 °C, é necessário para implementar a temperatura de austenitização, isto porque é a temperatura a que se dá a reacção eutética, ou seja, o material tem de ser elevado a uma temperatura superior a Ac1 para ser temperado.

1.3. Cálculo de Ms

Devido à inexistência de formulas para calcular a temperatura de Ms, temperatura à qual se forma a martensite, por pesquisa bibliográfica chegamos à conclusão de que deve rondar os 200 °C. Ver diagrama seguinte:

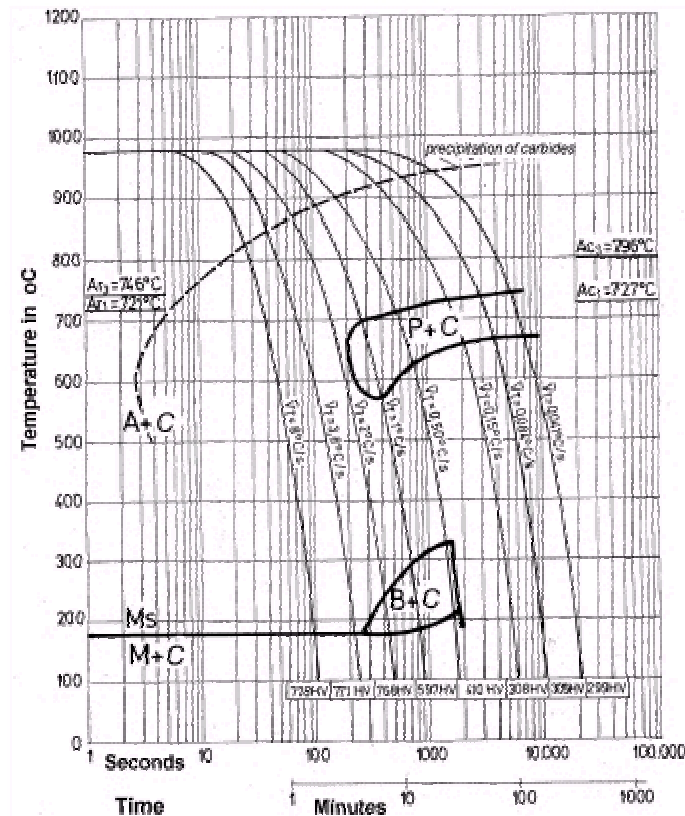


Fig. 7 - Diagrama TTT do aço X210Cr12

2. Características do material

2.1. Dureza

Para a têmpera, a dureza que se prêve obter é de 64 a 66 HRC. Esta dureza deverá ser aproximadamente a mesma desde a periferia da peça até ao núcleo, visto que o aço apresenta grande temperabilidade e o volume da peça é pequeno.

Depois do revenido, prevê-se uma diminuição da dureza para valores entre 57 a 60 HRC, devido ao alívio de tensões provocado pela saída de átomos de carbono da malha martensítica e um conseqüente aumento da ductilidade e tenacidade. Sabe-se que para o aço X210Cr12 existe uma queda de tenacidade entre as temperaturas de 280 e 470°C. Como a temperatura de revenido a que foi sujeita a amostra (300°C), se encontra no intervalo anteriormente referido, a solução para melhorar a tenacidade é a de prolongar o revenido por várias horas tendo sido feito um estágio de 4 horas para o nosso caso.

2.2. Microestrutura

Antes da têmpera, a microestrutura do aço é constituída por glóbulos de cementite embebidos numa matriz ferrítica.

Na têmpera, depois de obtida a austenite, o arrefecimento rápido transforma-a em martensite, sendo a austenite não transformada designada por austenite residual. Existirá ainda na matriz martensítica carbonetos não dissolvidos.

Após o revenido prevê-se que a austenite residual se transforme em bainite e cementite e que ocorra a libertação de átomos de carbono da malha martensítica, aumentando a percentagem de carbonetos.

2.3. Variação dimensional

A variação dimensional da peça será desprezável, visto que o aço em questão é de pequena variação dimensional e a dimensão da amostra sujeita aos tratamentos térmicos é muito pequena.




3. Percentagem de Constituintes

3.1. Depois da têmpera

Pela observação das imagens obtidas da micro-estrutura do aço X210Cr12 não nos foi possível determinar as verdadeiras percentagens dos constituintes da amostra. Assim, com o auxílio do diagrama de quantidade de fases desse aço, conseguimos obter as percentagens dos constituintes:

Com base na espessura da peça que foi tratada termicamente, 10 mm, traçamos uma recta horizontal (a azul), no diagrama da página seguinte. Como o arrefecimento da Têmpera foi feito em óleo traçamos uma outra recta perpendicular à primeira, obtendo assim a percentagem das estruturas.

Assim temos:

-  15 % de Carbonetos, dos quais uns de ferro e outros de crómio;
-  13 % de Austenite Residual;
-  72 % de Martensite.

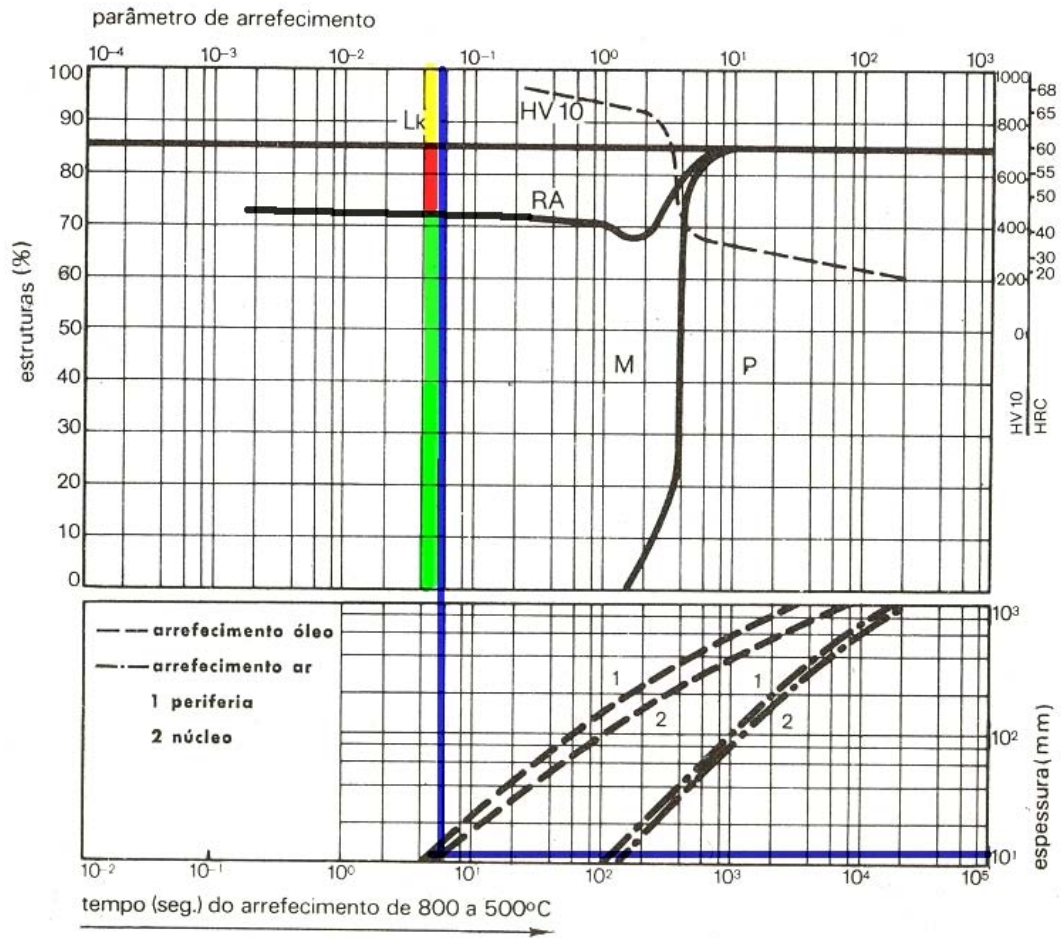


Fig. 8 - Diagrama de quantidade de fases do aço X210Cr12

3.2. Depois do revenido

A austenite residual é transformada em bainite e cementite;
 A martensite perde carbono para os carbonetos, comprovando assim a diminuição da dureza do aço.

Técnicas Operatórias utilizadas

1. Polimento e Observação Microscópica

O polimento da peça consiste em obter uma superfície suficientemente lisa, efectuando uma série de operações, que irão polir a superfície de modo a que se possa observar a peça ao microscópio sem riscos.

Para a amostra 1, foram seguidos os procedimentos apresentados em 1.1 (Polimento automático), no caso da amostra 2, seguiram-se os apresentados em 1.2 (Polimento manual).

1.1. Polimento Automático, na máquina pedemax-2

1.1.1. Com lixas de água

Material: Resina Fenólica Preta;
Lixas de água Numeradas: 80, 180, 320, 500, 800, 1200

- Preparação da peça com resina fenólica preta;
- Adaptação da peça num suporte rotativo automático;
- As lixas são colocadas num tambor rotativo que é alimentado por um pequeno caudal de água;
- Inicia-se o polimento com a lixa de grão mais abrasivo (80). De seguida passa-se para a lixa de grão com tamanho inferior imediatamente a seguir (180) e assim sucessivamente para as restantes lixas;
- A peça é limpa com álcool e algodão e seca ao secador.

1.1.2. Com pó de diamante

Material: Disco de Feltro;
Spray de Diamante: 3 μ m, 1 μ m.

- A peça é colocada numa câmara de ultra-sons, para eliminar vestígios de partículas de lixa, e seca novamente;
- Na mesma máquina é colocado um disco de feltro para partículas de 3 μ m e desligado o caudal de água;
- Pulveriza-se o disco com spray de diamante de 3 μ m e procede-se ao polimento;
- A peça é cuidadosamente limpa com álcool e algodão e colocada na câmara de ultra-sons, e seca novamente;
- É colocado um novo disco de feltro para partículas de 1 μ m;
- Pulveriza-se o disco com spray de diamante de 1 μ m e procede-se ao polimento final;

1.1.3. Verificação da qualidade de Polimento

Com o auxílio de um microscópio é verificada a qualidade do polimento da superfície e a existência de riscos.

1.2. Polimento Manual

1.2.1. Com lixas de água

Material: Lixas de água Numeradas: 80, 180, 320, 500, 800, 1200

- As lixas são colocadas num tambor rotativo que é alimentado por um pequeno caudal de água;
- Inicia-se o polimento com a lixa de grão mais abrasivo (80), tendo a preocupação de se manter a amostra alinhada de forma a obter riscas paralelas, na face polida. De seguida, passa-se para a lixa de grão com tamanho inferior imediatamente a seguir (180), rodando a face a polir 90° de modo a produzir riscas perpendiculares às anteriores, lixando a amostra até as riscas anteriores desaparecerem, repete-se o procedimento para as restantes lixas;
- A peça é limpa com álcool e algodão e seca ao secador.

1.2.2. Com diamante

Material: Disco de Feltro;
Spray de Diamante: 3 μ m, 1 μ m.

- A peça é colocada numa câmara de ultra-sons, para eliminar vestígios de partículas de lixa, e seca novamente;
- Na mesma máquina é colocado um disco de feltro para partículas de 3 μ m e desligado o caudal de água;
- Pulveriza-se o disco com spray de diamante de 3 μ m e procede-se ao polimento;
- A peça é cuidadosamente limpa com álcool e algodão e colocada na câmara de ultra-sons, e seca novamente;
- É colocado um novo disco de feltro para partículas de 1 μ m;
- Pulveriza-se o disco com spray de diamante de 1 μ m e procede-se ao polimento final;
- Verificação da qualidade de Polimento:
- Com o auxílio de um microscópio é verificada a qualidade do polimento da superfície, existência de riscos.

1.2.3. Verificação da qualidade de Polimento

Com o auxílio de um microscópio é verificada a qualidade do polimento da superfície, existência de riscos.

2. Ataque Químico

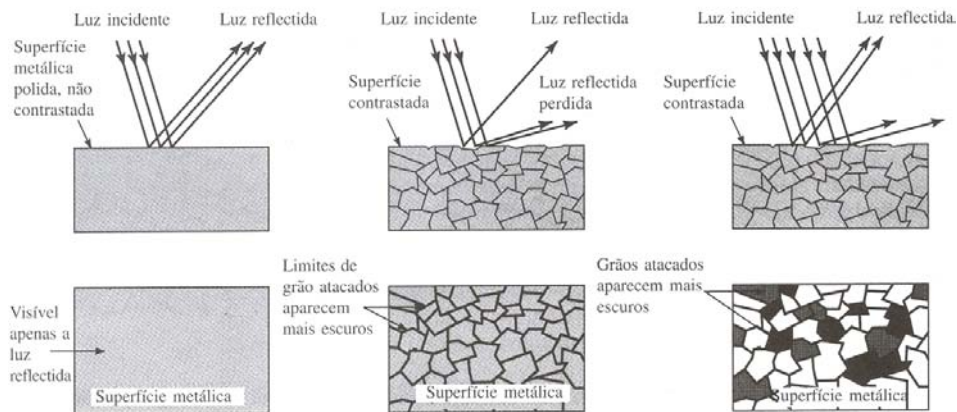


Fig. 9 - Ataque químico: a) Numa amostra apenas polida não se observam quaisquer pormenores micro-estruturais; b) Com contrastação, num aço com baixo teor de carbono, apenas se notam os limites de grão, aparecendo com linhas escuras; c) Na amostra polida de um aço de médio teor de carbono, depois de atacada quimicamente, são visíveis na micro-estrutura, regiões escuras (perlite) e claras (ferrite). As regiões mais escuras, foram fortemente atacadas e, por conseguinte, reflectem pouca luz.

O ataque químico consiste em contrastar a superfície polida da peça com um reagente que irá realçar a micro-estrutura da amostra, denotando-se os limites de grão, bem como os grãos dos constituintes, figura 9.

- Coloca-se o reagente, Nital (2%) - HNO_3 (Ácido Nítrico), num vidro de relógio;
- Seguidamente com algodão, molha-se a peça com o reagente, o tempo depende do tipo de material a ser atacado;
- A amostra é lavada com água para retirar o nital ainda presente e seca;
- A face atacada é visualizada ao microscópio;
- Caso o resultado não seja satisfatório é efectuado mais um ataque químico idêntico ao anterior, por vezes, dada a resistência do material ao Nital é necessária o mergulho da peça no reagente.

3. Observação Microscópica e Fotografia

Após se terem realizado as operações anteriores, passa-se à visualização microscópica da amostra, onde se pode observar a sua microestrutura e retirar algumas conclusões.

No que respeita à fotografia, a amostra é focada de modo a tirar o melhor partido do trabalho efectuado, geralmente ocorre de uma ampliação de 400x seguindo-se uma de 1000x.

Na figura ao lado temos o esquema de um microscópio óptico usado para reflectir luz ampliada vinda de uma amostra metálica polida e atacada quimicamente. A região que, devido ao ataque, está rugosa, não reflete bem a luz e aparece escura.

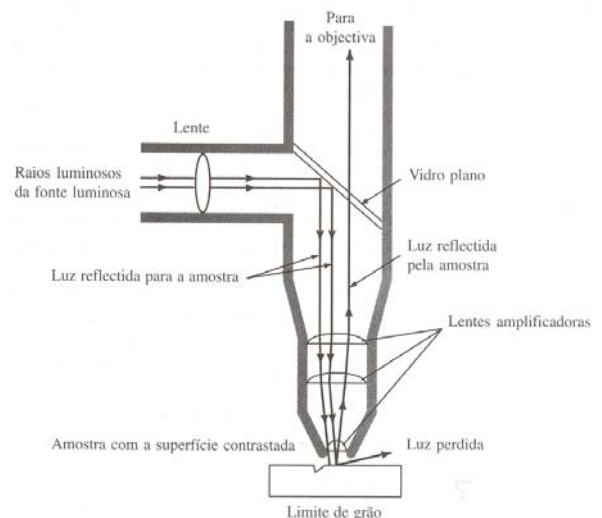


Fig. 10 - Esquema de um microscópio óptico usado na visualização de microestruturas

3.1. Estado inicial, recozido de amaciamento

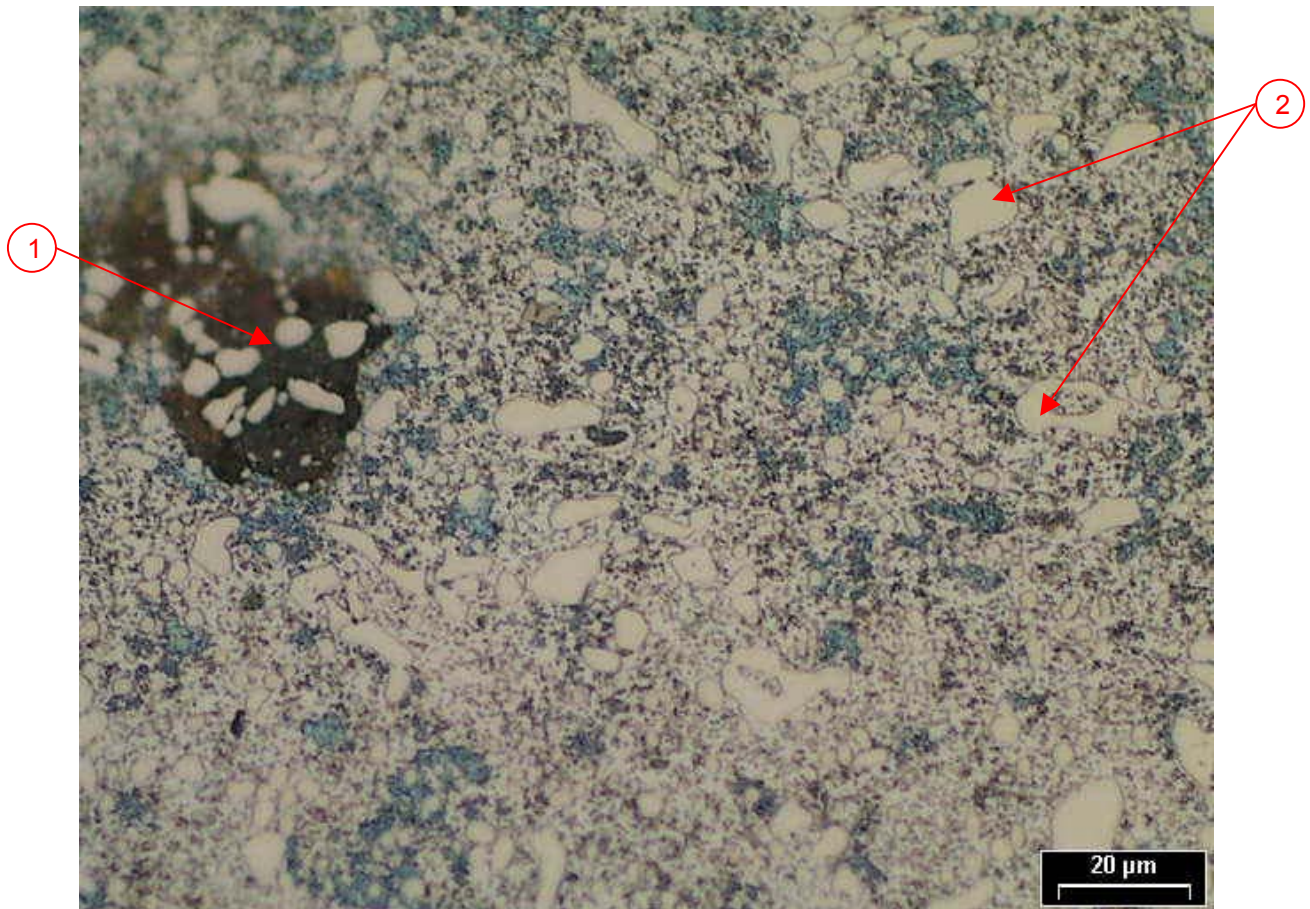


Fig. 11 - Micro-estrutura do aço X210Cr12 no estado de fornecimento, recozido de amaciamento, ampliação 850X

A imagem foi retirada de uma das faces menores da amostra;

Observação:

Matriz Ferrítica

1. Arranque de material, possivelmente devido ao polimento;
2. Carbonetos de ferro e cromo;

3.2. Micro-estrutura da amostra depois da têmpera martensítica

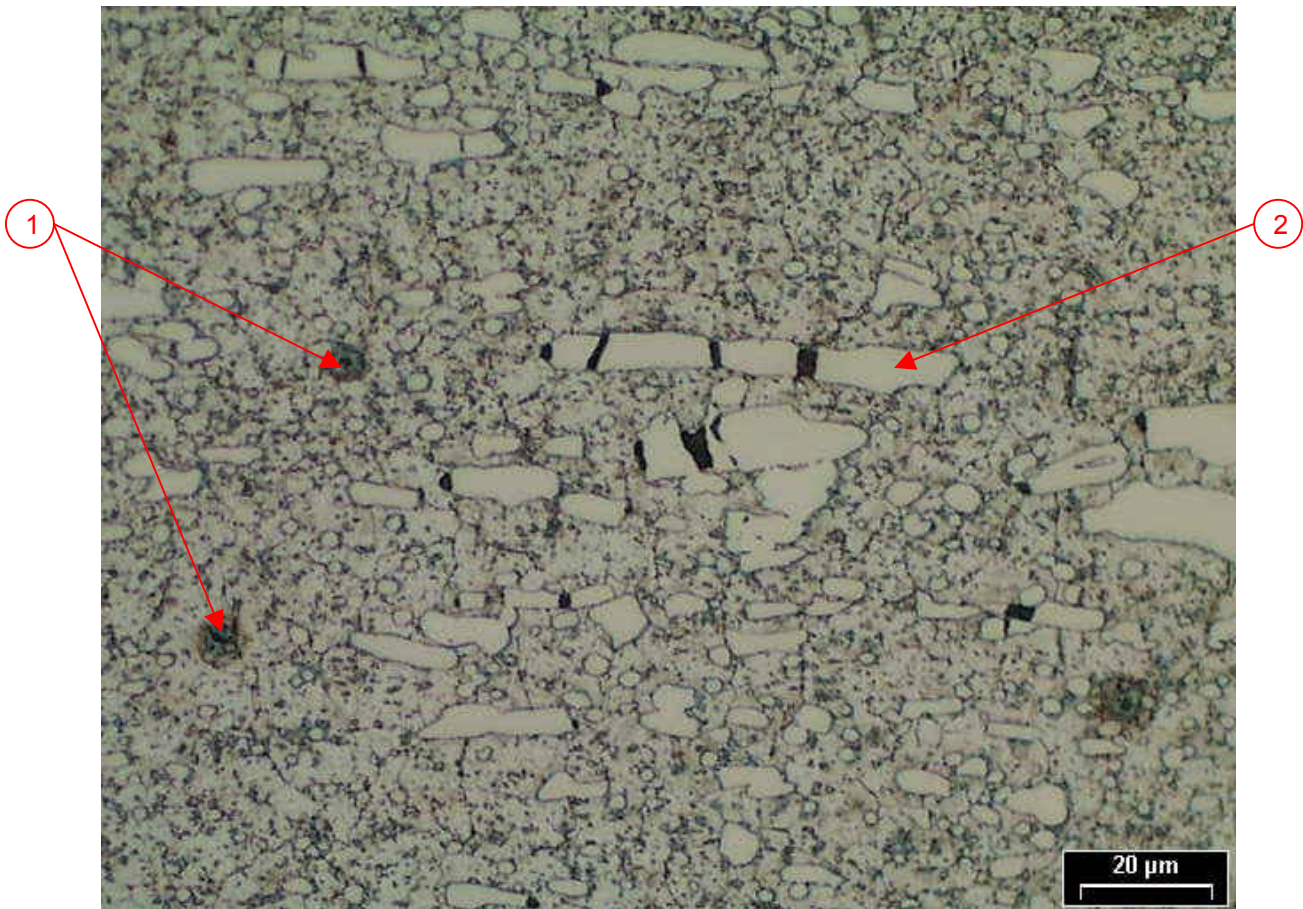


Fig. 12 - Micro-estrutura do aço X210Cr12 depois da têmpera martensítica, ampliação 850X

A imagem foi retirada de uma das faces maiores da amostra;

Observação:

Matriz martensítica

1. Inclusões;
2. Carbonetos de ferro e cromo.

com grandes quantidades de carbonetos de cromo e de ferro

Note-se a direcção dos carbonetos, possivelmente devido à laminagem da placa de onde provém a amostra

4. Medição de Durezas

4.1. No estado inicial, recozido

Foram executados 3 ensaios Brinell com uma carga de 187,5 kgf transmitida através de uma esfera de 2.5 mm de diâmetro, nos quais se obteve os seguintes valores de dureza:

Diagonais		
mm	mm	HB
0,98	1	234
1	1	229
1	1	229

Dureza Média: 230,67 HB

4.2. Depois de temperado a 970°C

Foram executados 3 ensaios Rockwell-C com uma carga transmitida por diamante, nos quais se obteve os seguintes valores de dureza:

HRC
63,5
64
66

Dureza Esperada \approx 64 a 65 HRC, dureza obtida em diagramas...

Dureza média: 64,5 HRC

4.3. Depois de Revenido a 300°C

Foram executados 3 ensaios Rockwell-C com uma carga transmitida por diamante, nos quais se obteve os seguintes valores de dureza:

HRC
60
59
58

Dureza Esperada \approx 58-60 HRC, dureza obtida em diagramas

Dureza média: 59 HRC



Fig. 13 - Amostra 1, envolta em resina fenólica preta, polida e atacada quimicamente, com marcas do indentador do teste de dureza Brinell

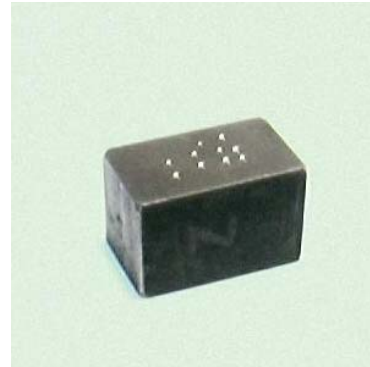


Fig. 14 - Amostra 2, tratada térmicamente por têmpera martensítica e revenido, com marcas do indentador do teste de dureza Rockwell - C

5. Tratamentos térmicos efectuados

5.1. Têmpera Martensítica

Apesar da espessura da peça não ser elevada, decidimos fazer 2 degraus de aquecimento até à temperatura de austenitização.

Assim, a amostra foi pré-aquecida durante 2 horas até uma temperatura entre 550-650°C, onde permaneceu num estágio de 10 minutos para homogeneizar a temperatura e evitar tensões. Seguiram-se mais 2 horas de aquecimento até uma temperatura entre 800-830°C, onde a peça permaneceu num estágio de mais 5 minutos.

Por mais 1 hora aumentou-se a temperatura até 970°C, temperatura de austenitização, o tempo de estágio da temperatura de têmpera foi calculado da seguinte forma:

- 15-20 minutos para espessuras finas (até 20 mm)
- 20 minutos mais 5-7 minutos por cada 10 mm de espessura suplementar.

Tendo a nossa amostra 10 mm de espessura, decidimos fazer um estágio de 15 minutos para a temperatura de austenitização.

Finalmente procedeu-se a um arrefecimento em óleo à temperatura ambiente.

Ver gráfico da têmpera martensítica na página seguinte.

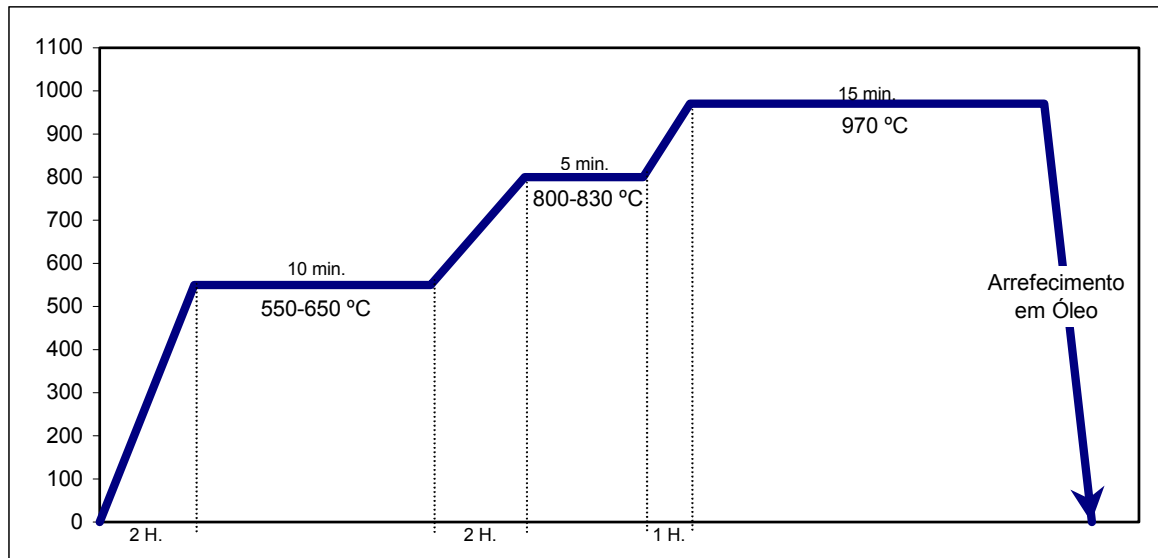


Gráfico 1 - Têmpera martensítica efectuada

5.2. Revenido

O revenido deveria ser feito imediatamente após a têmpera, porém não foi possível.

A título didáctico decidiu-se fazer um revenido a uma temperatura de 300°C, com um estágio de 4 horas, de modo a se verificar as características do revenido:

- Minimizar os efeitos das elevadas durezas (alta fragilidade).
- Homogeneizar a estrutura martensítica.

O que se veio a provar com a diminuição significativa de dureza de 64,5 para 59 HRC.

Esta dureza no entanto, não é a mais correcta para as aplicações principais deste aço: matrizes e punções, moldes para cerâmica, lâminas para guilhotina, etc. Nestes casos seria aconselhado um revenido a temperaturas mais baixas de modo a obter durezas mais altas.

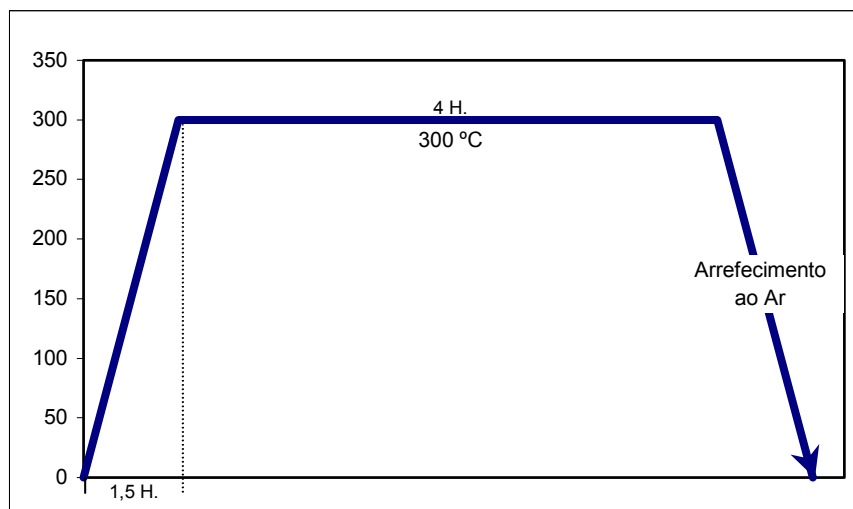


Gráfico 2 - Revenido efectuada

Conclusão

Os aços são dos materiais mais utilizados em construção mecânica, mesmo com o aparecimento de novos materiais, devido ao facto de ser possível mudar as suas propriedades mecânicas.

Este trabalho serviu principalmente para aprofundarmos o nosso conhecimento acerca dos aços, permitindo-nos conhecer melhor as suas propriedades e que tratamentos térmicos aplicar.

O tratamento térmico sugerido foi uma têmpera martensítica seguida de um revenido para o aço X210Cr12.

Verificou-se, tal como era esperado, que a têmpera martensítica aumentou consideravelmente a dureza da amostra, assim como a sua resistência mecânica, diminuindo a tenacidade e a ductilidade.

Após revenido, verifica-se uma diminuição da dureza contribuindo assim para um aumento da ductilidade e tenacidade.

Anexos

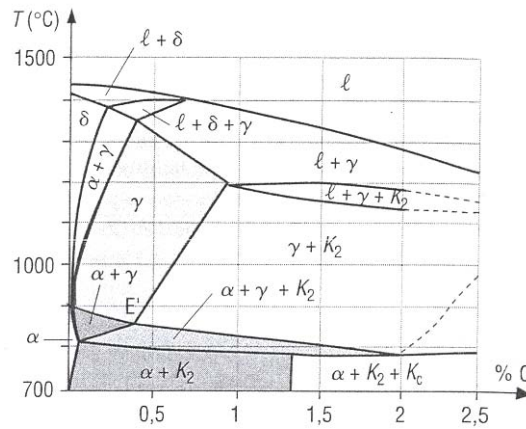


Fig. 15 - Traçado pseudo-binário do diagrama Fe-C-Cr, 12 % cromo

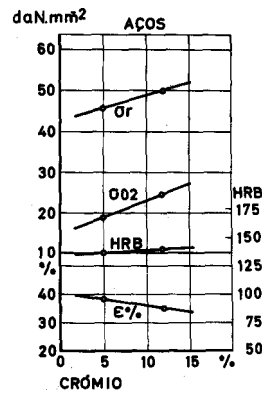


Fig. 16 – Variação das propriedades Mecânicas do aço com a percentagem de cromo

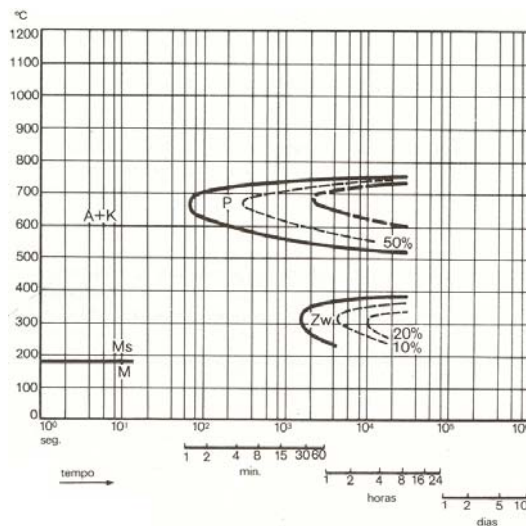


Fig. 17 - Diagrama de transformação isotérmica

Bibliografia

Aços – Características e Tratamentos
Pinto Soares
5ª Edição
1992

Catálogo de aços F. RAMADA

Metalurgia Geral – Volume II
Antera Valeriana de Seabra
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Précis Métalurgie
Élaboration, Structures-Propriétés, Normalisation
Jean Barralis, Gérard Maeder
Afnor, Nathan

Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais
William F. Smith
3ª Edição
Mc Graw Hill

Sebenta teórica
Eng.º Viriato Antunes
FEUP

Sebenta Prática
Eng.º Jorge Lino
FEUP

Páginas Internet

http://www.favorit.com.br/produtos/ferramenta/afrio/aisi_d3.html

<http://www.bestar.de/lager/pdf/1.2080.pdf>

http://www.westyorkssteel.com/Product_Info/Tool_Steel/d3.htm

<http://www.trafilspec.com/English/X210Cr12.pdf>

http://www.gerdau.com.br/port/produtoseservicos/manual/tabelas_gerais.htm

<http://www.brasimet.com.br/ttermico/termin.shtml>

<http://www.metalfforming.com/forum/thread.cfm?threadid=828&messages=20#2553>

http://www.timken.com/products/specialtysteel/engineering/tech_info/html/D2%20Olympic.htm

<http://www.castleindents.com.au/Documents/Catalogue/SheetStrip/SheetStrip.html>

<http://www.principalmetals.com/default.htm>

<http://www.matweb.com>

<http://www.key-to-steel.com>

<http://www.impacthosting.com/rcknives/nMOD2S.HTM>

<http://www.export911.com/ref/tolClass.htm>