

AÇOS PARA FERRAMENTAS

AISI (*American Iron and Steel Institute*)

Séries de composição química e aplicações similares

SÉRIES PRINCIPAIS²

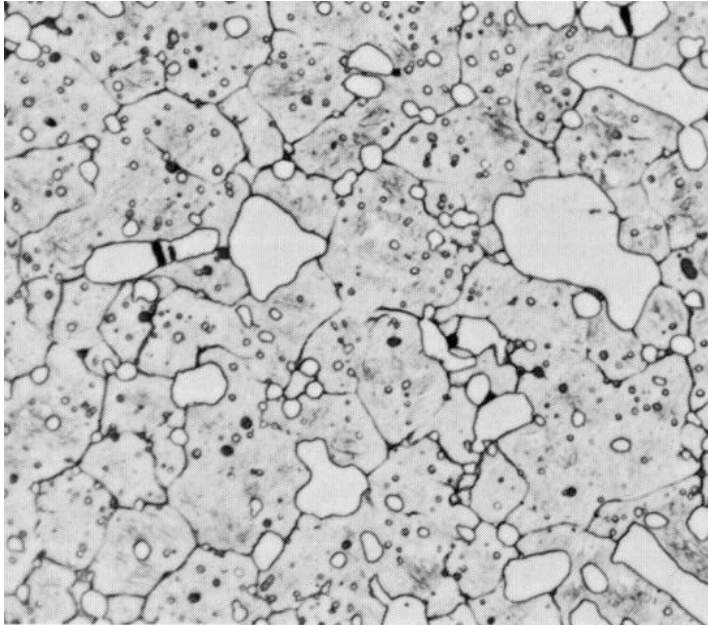
- Aços-rápidos ao molibdênio Mx
- Aços-rápidos ao tungstênio Tx
- Aços para trabalho a quente (ao Cr, W, ou Mo) Hx
- Aços para trabalho a frio³ (temperáveis ao ar) Ax
- Aços para trabalho a frio³ (temperáveis em óleo) Ox
- Aços para trabalho a frio³ (alto C, alto Cr) Dx
- Aços resistentes ao choque Sx
- Aços baixa-liga para aplicações especiais Lx
- Aços baixo-C para moldes Px
- Aços temperáveis em água Wx

² Segundo *METALS HANDBOOK*, 10th ed., v. 1, p. 758-9.

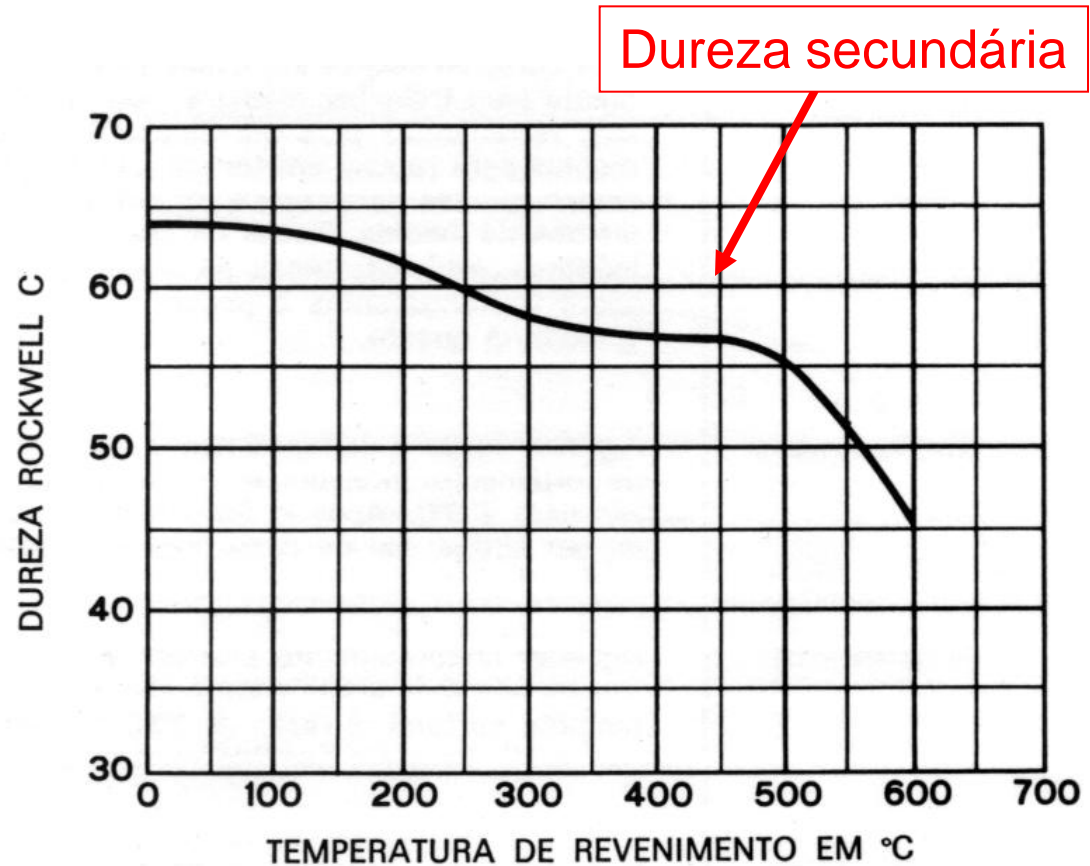
³ Trabalho a frio: utilização não implica em aquecimento prolongado ou repetido acima de 230°C.

AISI D3 (denominação Villares VC-130)

- 2,0% C – 11,5% Cr – 0,2% V
- Aplicações típicas: estampos, matrizes de forjamento, cilindros pequenos para trabalho a quente.



3% nital 1000×
904 Same steel as for 903, austenitized at 1850 F (1010 C), air cooled, tempered at 400 F (204 C). Rockwell C 59.5. Structure is carbide particles in a matrix of tempered martensite. Black dots are sulfide inclusions.

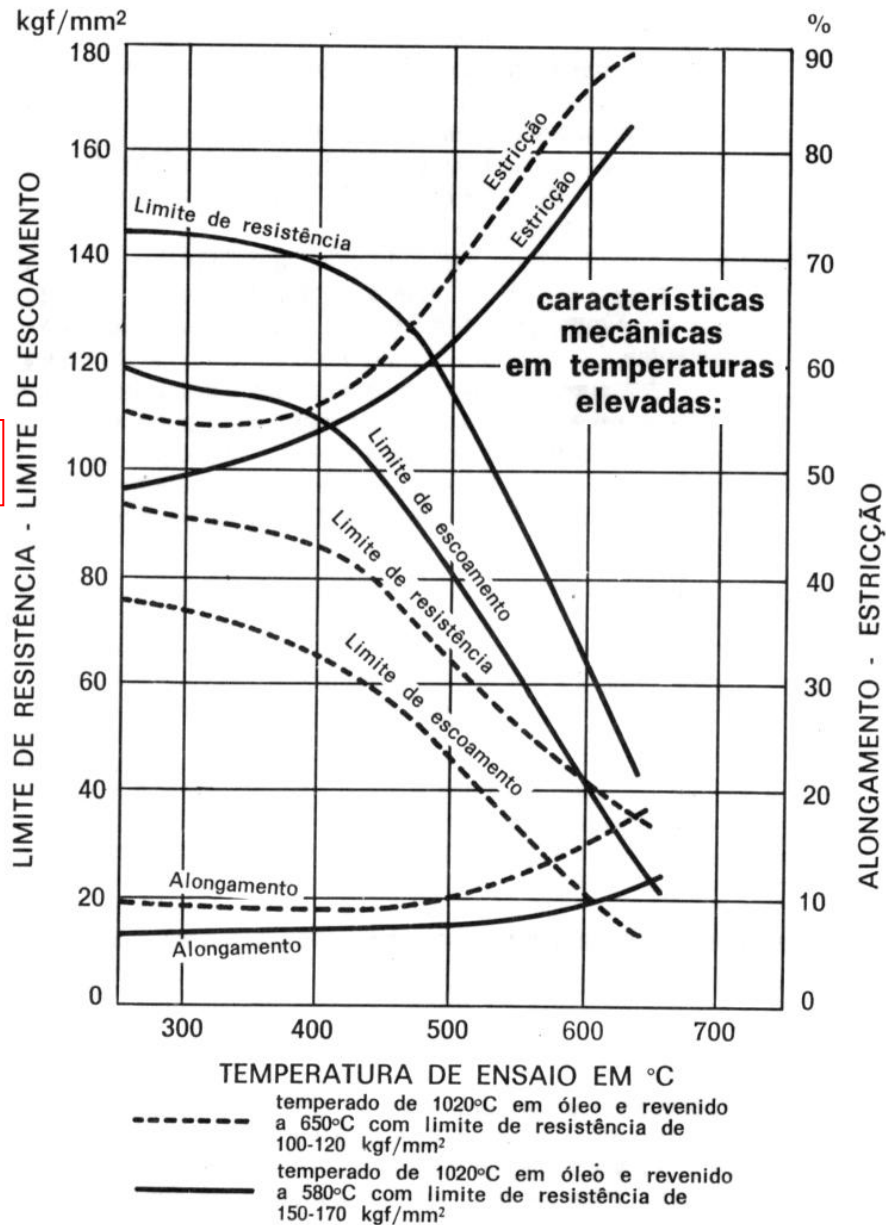
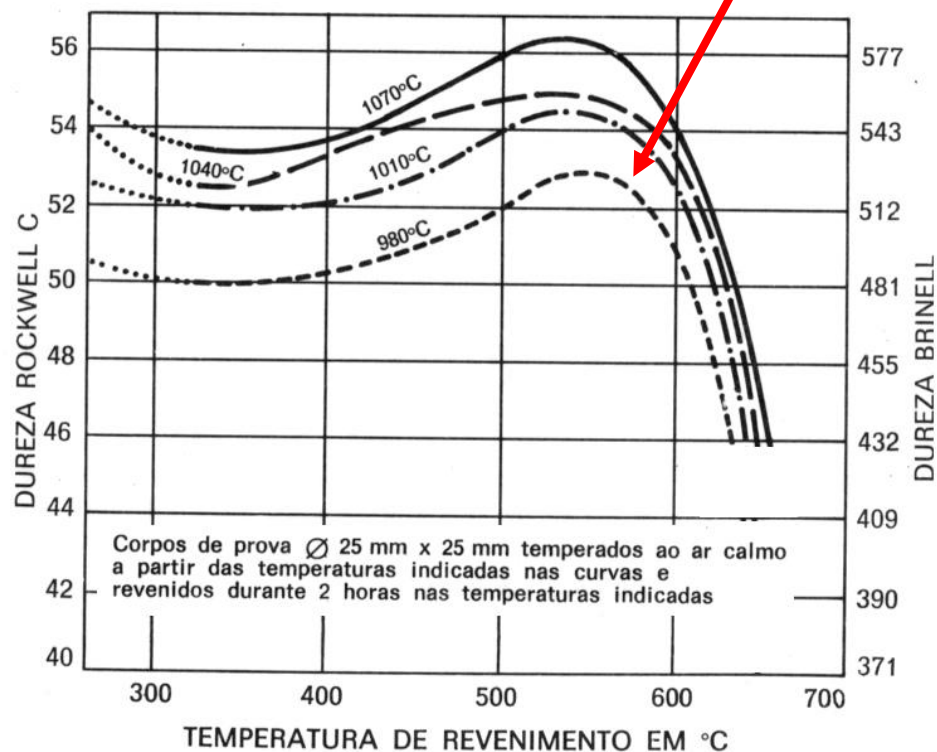


AISI H13

(denominação Villares VH-13)

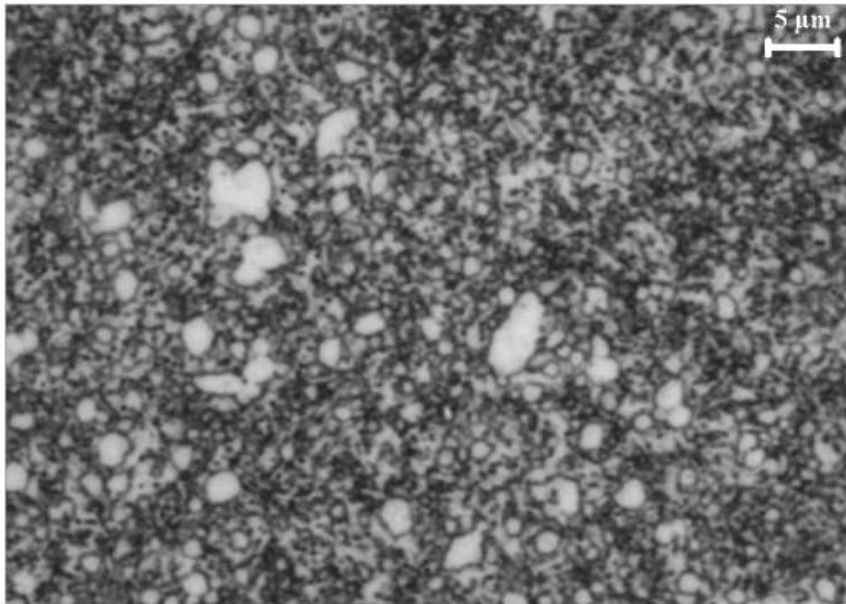
- 0,4% C – 1,0% Si – 5,0% Cr – 1,5% Mo – 1,0% V
- Aplicações típicas: Ferramentas, matrizes, moldes e punções para trabalho a quente.

Dureza secundária



AÇOS-RÁPIDOS

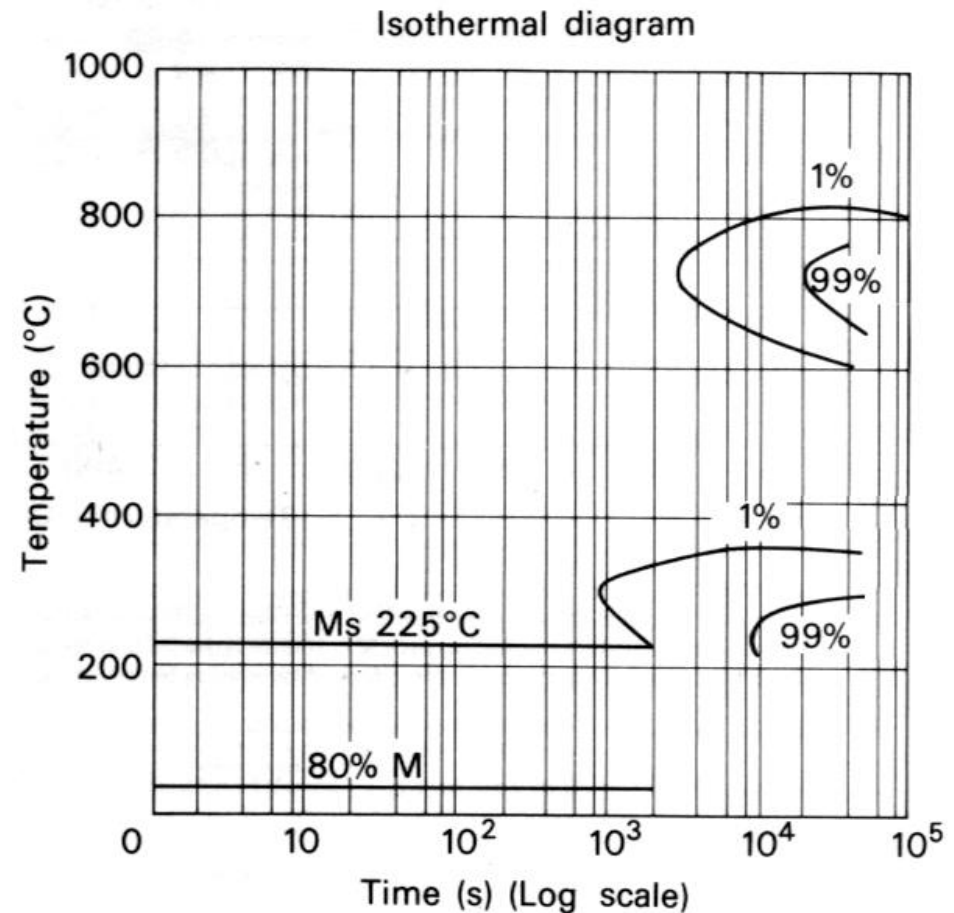
AISI M2 (denominação Villares VWM2)
08%C-4%Cr-5%Mo-6%W-2%V



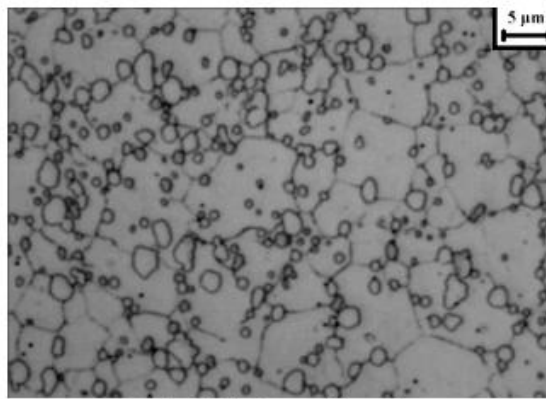
fração volumétrica do microconstituente (%)
condição recozida

M_6C (M = W ou Mo)	$M_{23}C_6$ (M = Cr)	MC (M = V)	ferrita
16	9	3	balanço

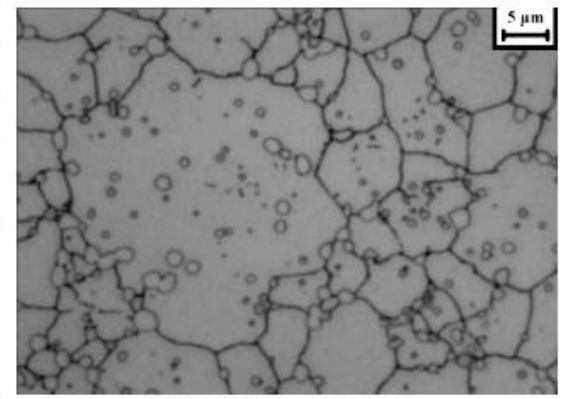
Austenitização é parcial



Austenitização parcial mantém carbonetos de elementos de liga não dissolvidos, e estes contribuem para aumentar a resistência ao desgaste.

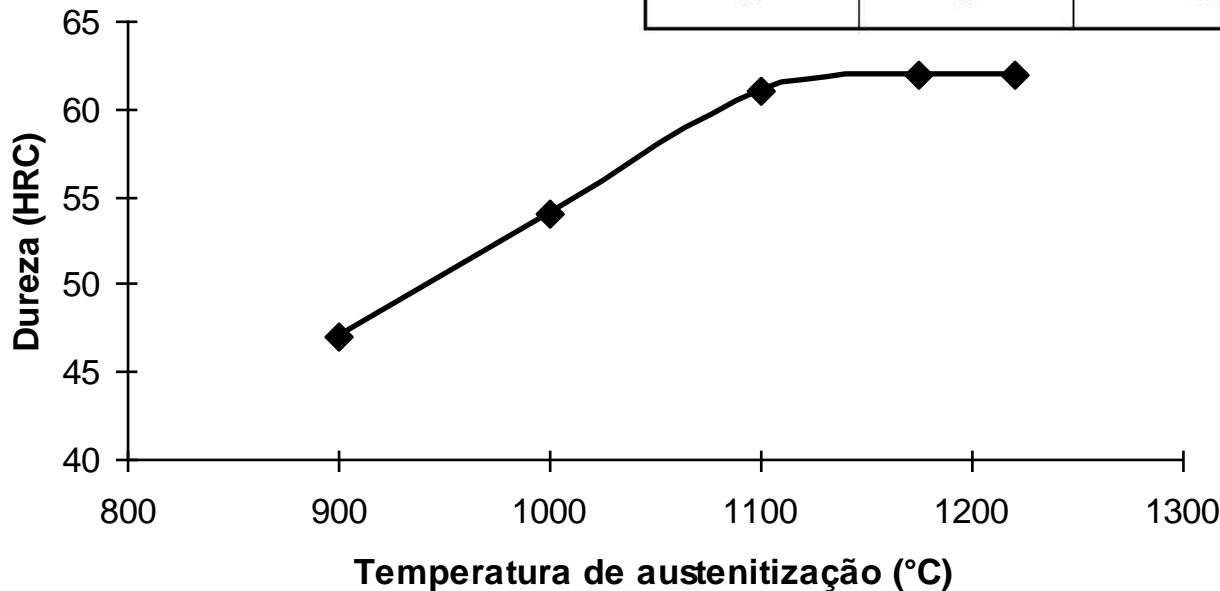


1100°C – 5 min



1220°C – 5 min

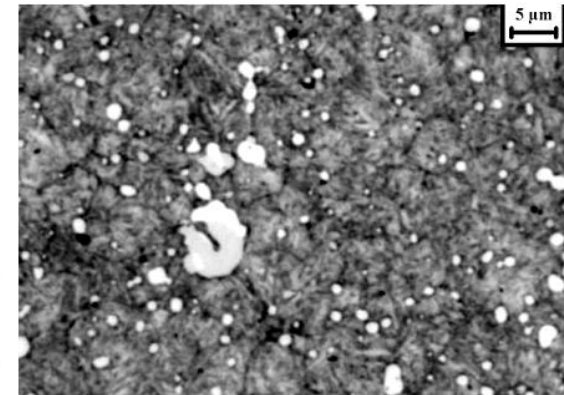
fração volumétrica do microconstituente (%) 1150°C – 5 min			
M ₆ C	MC	martensita	austenita retida
8	2	80	10



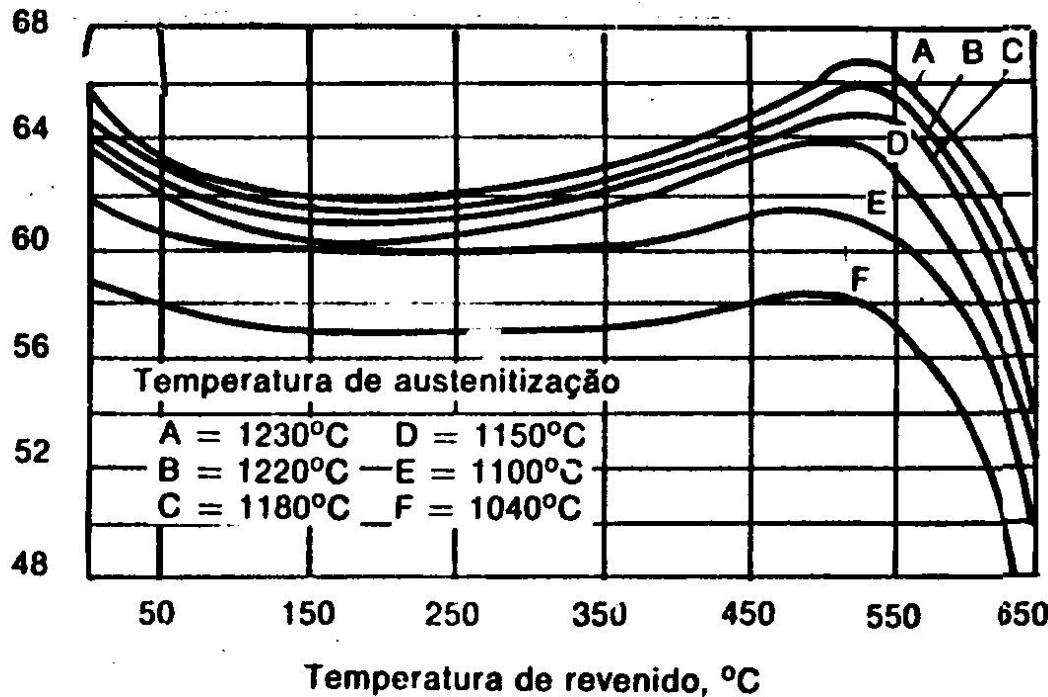
Maior temperatura de austenitização leva a maior dissolução de carbonetos, levando a mais carbono e elementos de liga em solução sólida

2º revenimento é necessário para reduzir austenita retida e revenir a martensita formada no resfriamento posterior ao 1º revenimento

fração volumétrica do microconstituente (%)				
2,5 h @ 550°C	M ₆ C	MC	martensita	martensita revenida
após 1º revenimento	8	2	10	80
após 2º revenimento	8	2	***	90



Dureza Rockwell C



Duplo revenimento de aços rápidos

METAL DURO – composto de matriz metálica (Co) e reforço cerâmico (WC, TiC, TaC)

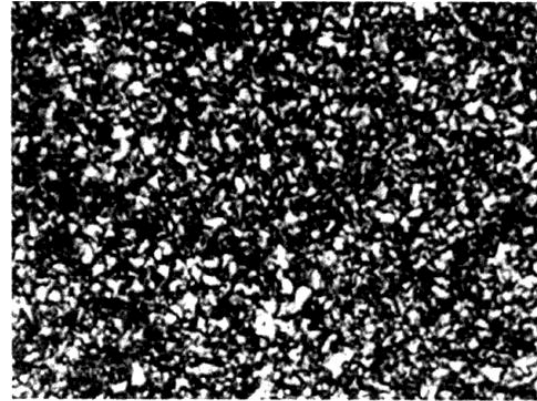
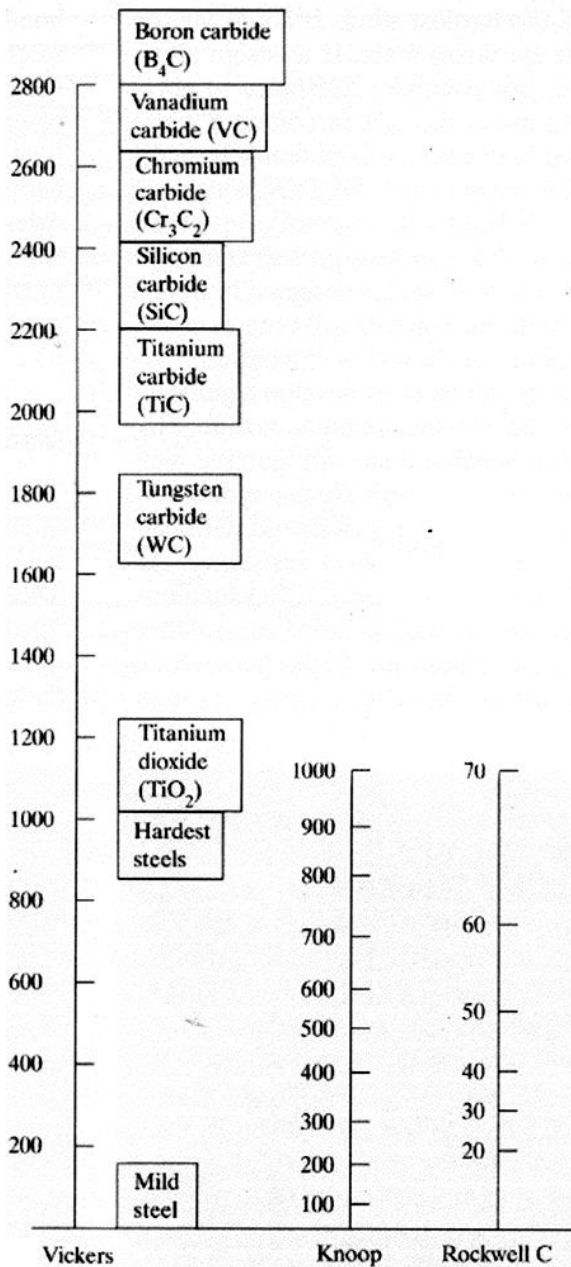


Figure 3.1 Structure of micrograin 94WC/6Co hardmetal, x2000. Hardness HV 1800; used for general-purpose and finish machining.

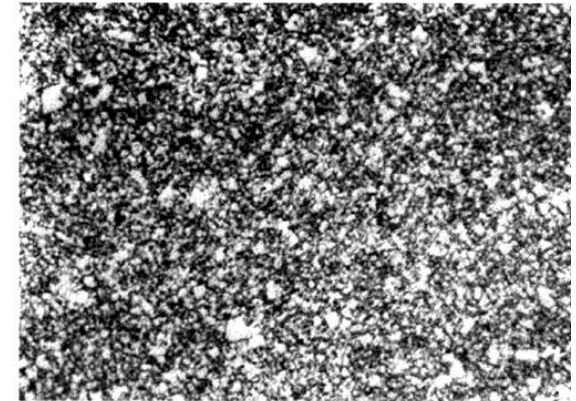


Figure 3.2 Microstructure of fine-grain 94WC/6Co grade, x1500. Hardness HV 1750; used for finish machining.

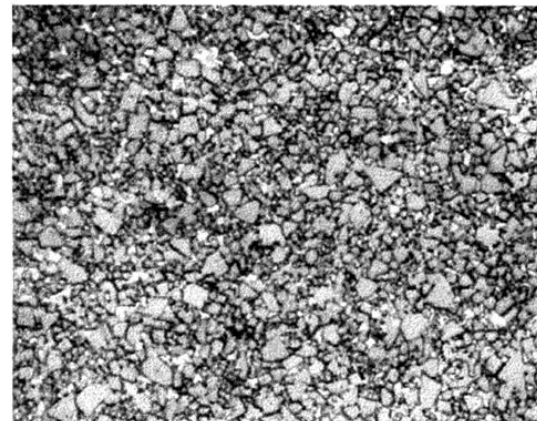


Figure 3.3 Microstructure of medium-grain 94WC/6Co sintered carbide, x1500. Hardness HV 1575; used for general-purpose machining.

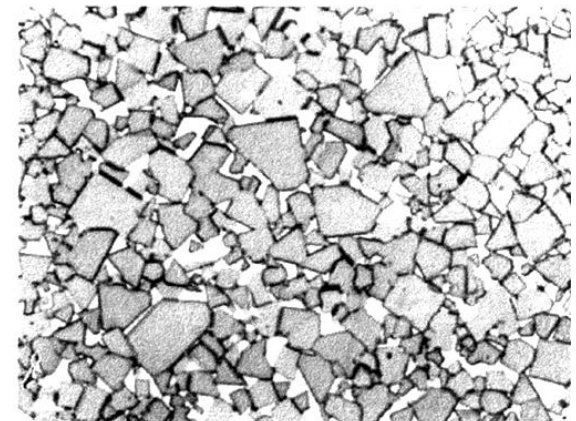


Figure 3.4 Microstructure of coarse-grain 89WC/11Co grade, x1500. Hardness HV 1140; used for rock-drilling and heavy impact.

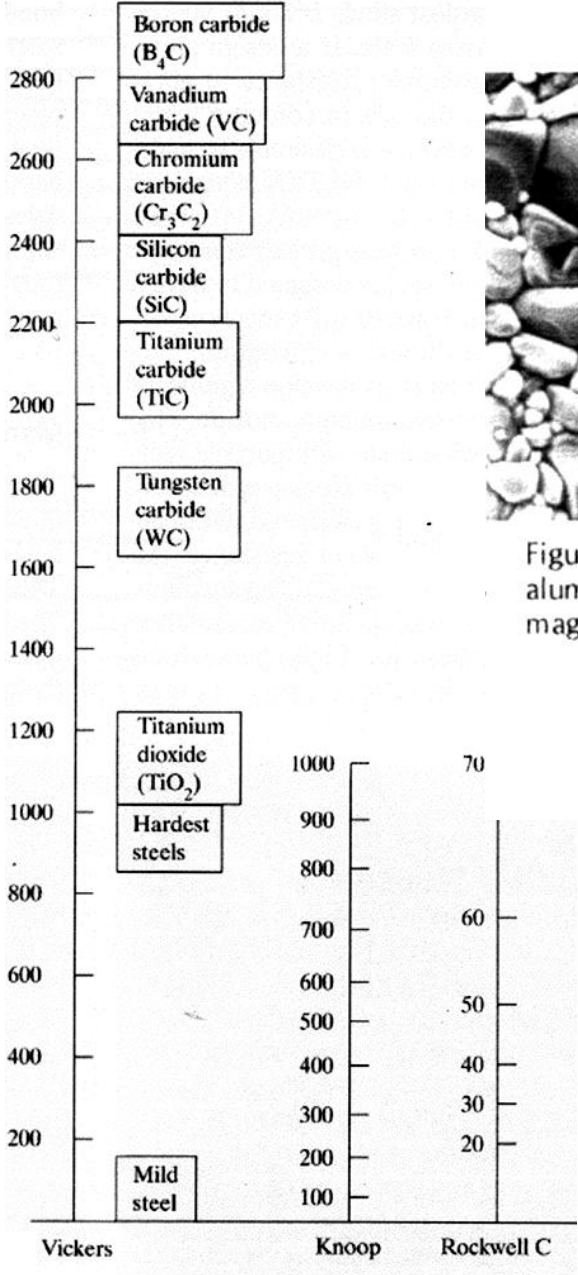


Figure 12.18 Microstructure of Hertel grade AC5 alumina/zirconia cutting ceramic, at 2500 times magnification.

Table 12.1 Typical properties of alumina and alumina/zirconia cutting-tool ceramics

Composition, alumina, per cent	99.5 +	90
zirconia, per cent		10
Average grain size, μm	2	1
Transverse rupture strength, N/mm^2	750	700
Density, g/cm^3	3.97	4.12
Hardness, HV	2000	1900

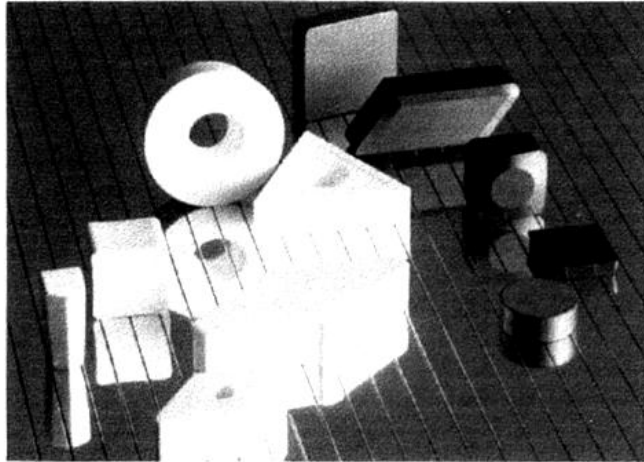
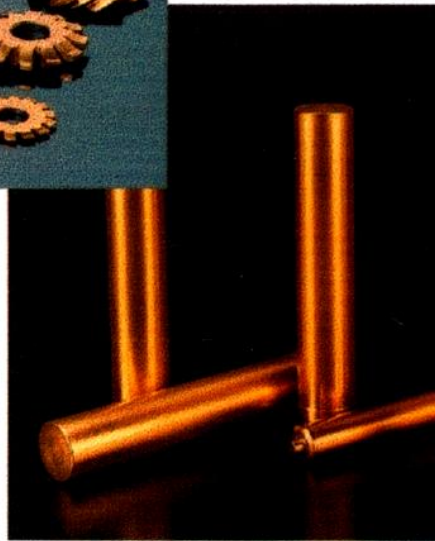
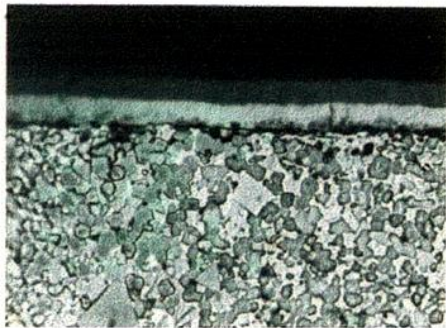


Figure 12.1 Hertel white (alumina) and black (mixed alumina and titanium carbide) ceramic cutting inserts.

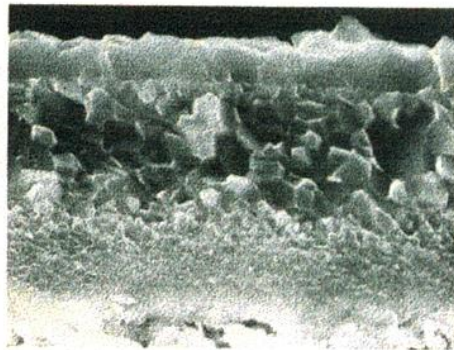
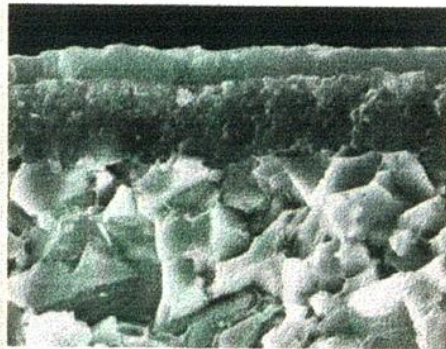
CERÂMICAS



Durezas Comparativas de Superfície.

Buchas de bronze fosforoso	75 HRB	138 Vickers
Aço com superfície cementada	60 HRC	700 Vickers
Aço carbono temperado	63 HRC	800 Vickers
Aço rápido temperado	66 HRC	860 Vickers
Aço rápido nitretado	70 HRC	960 Vickers
Carboneto de tungstênio	—	2800 Vickers
Nitreto de titânio	—	3000 Vickers
Carboneto de titânio	—	3200 Vickers (Estimado)
Óxido de alumínio	—	3100 Vickers (Estimado)
Carboneto de silício	—	3300 Vickers (Estimado)
Diamante	—	6000 Vickers (Estimado)

Etched microsection x1500 and scanning electron micrograph x5000 of TiC+TiN multilayer-coated steel-cutting hardmetals. By courtesy of Berna-Bernex AG, Switzerland.



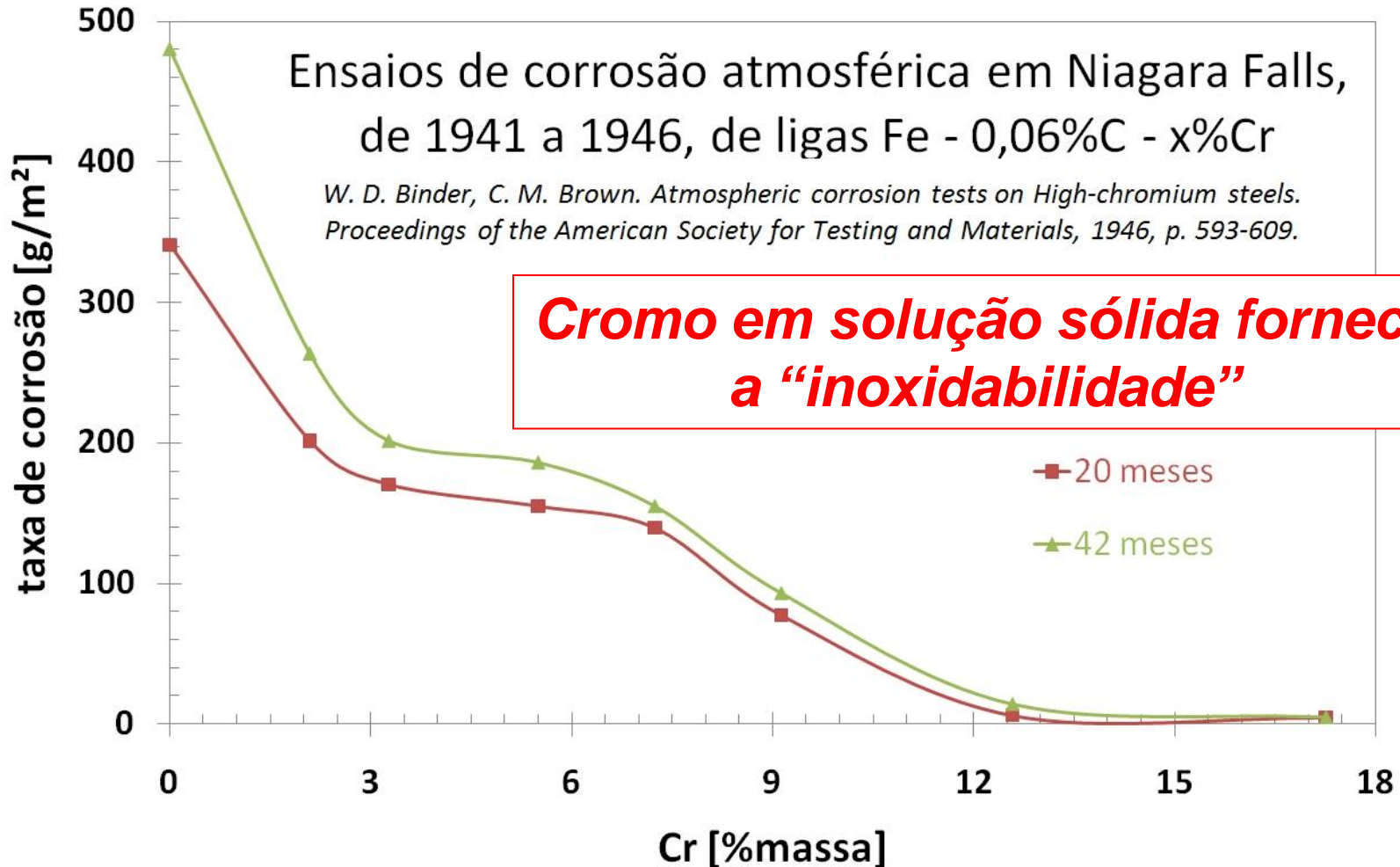
Figures 3.18 and 3.19 Scanning electron micrographs x5000 of two Sandvik Coromant grades, each successively coated with titanium carbide and aluminium oxide ceramic Al_2O_3 . Note how the TiC coating, initially ultrafine-grained, becomes increasingly coarser - though still much finer than the substrate - as the coating progresses.

Recobrimentos para aumentar a resistência ao desgaste

Aços inoxidáveis

Bibliografia complementar:

•Sedriks, A. J., 1996, "Corrosion of stainless steels". Wiley-Interscience:New York, 1996



Aços Inoxidáveis

~12% Cr mínimo em solução sólida na matriz leva a formação de **película passiva:**

filme de óxidos hidratados, de estrutura próxima a de um gel, protegendo o aço do contato com a solução corrosiva.

excelente aderência à superfície
pequena espessura
alta capacidade de auto-regeneração

Associados pelo menos ao mínimo teor de **romo**,
níquel, molibdênio e nitrogênio
melhoram a qualidade das **películas passivas**.

Cromo e Níquel equivalentes

Elementos estabilizadores da ferrita

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5 \cdot \%Si + 0,5 \cdot \%Nb$$

Elementos estabilizadores da austenita

$$Ni_{eq} = \%Ni + 0,5 \cdot \%Mn + 30 \cdot (\%C + \%N)$$

Diagrama de Schaeffler

(descreve microestruturas brutas de solidificação resfriadas de 1050 C)

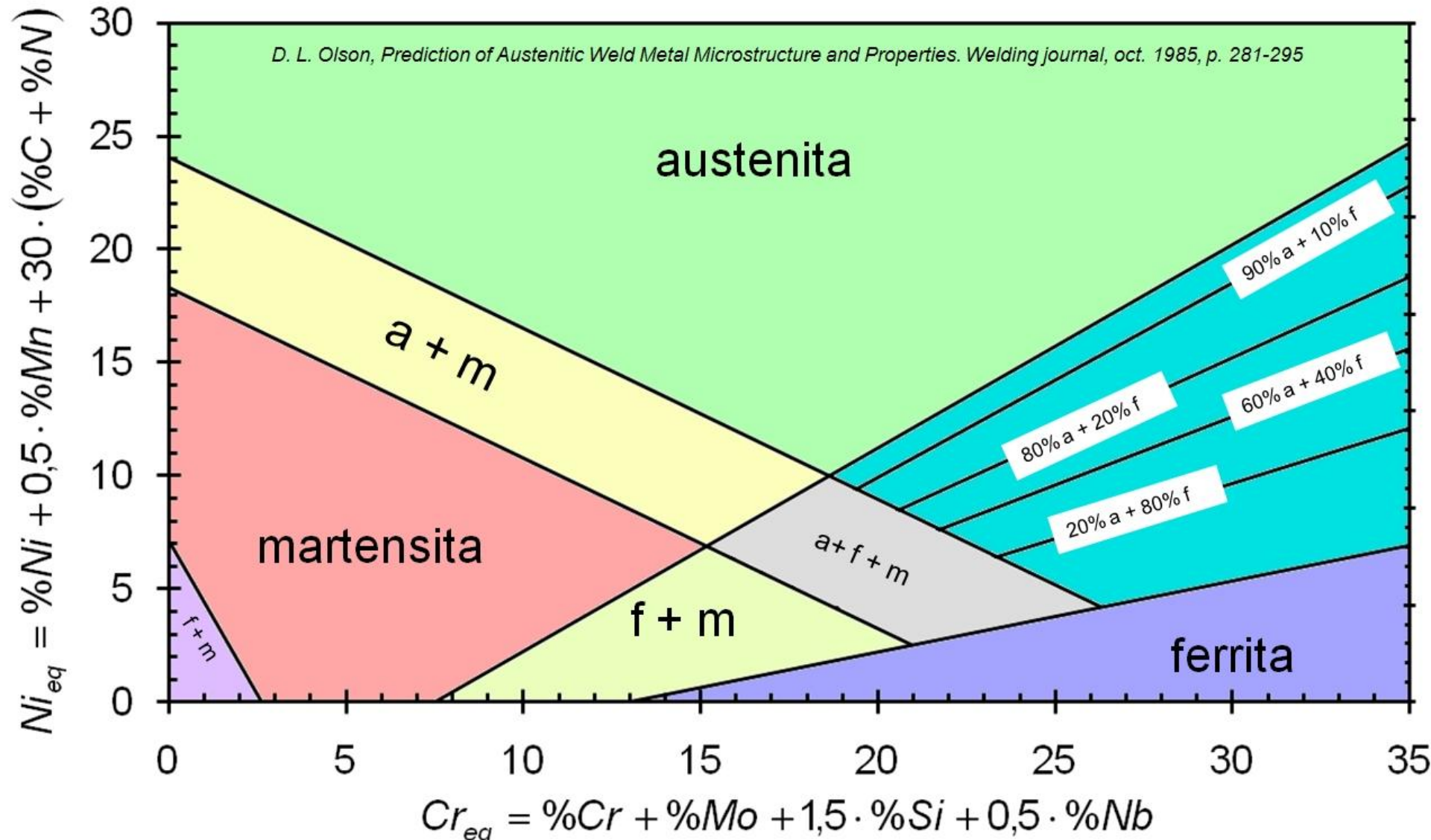
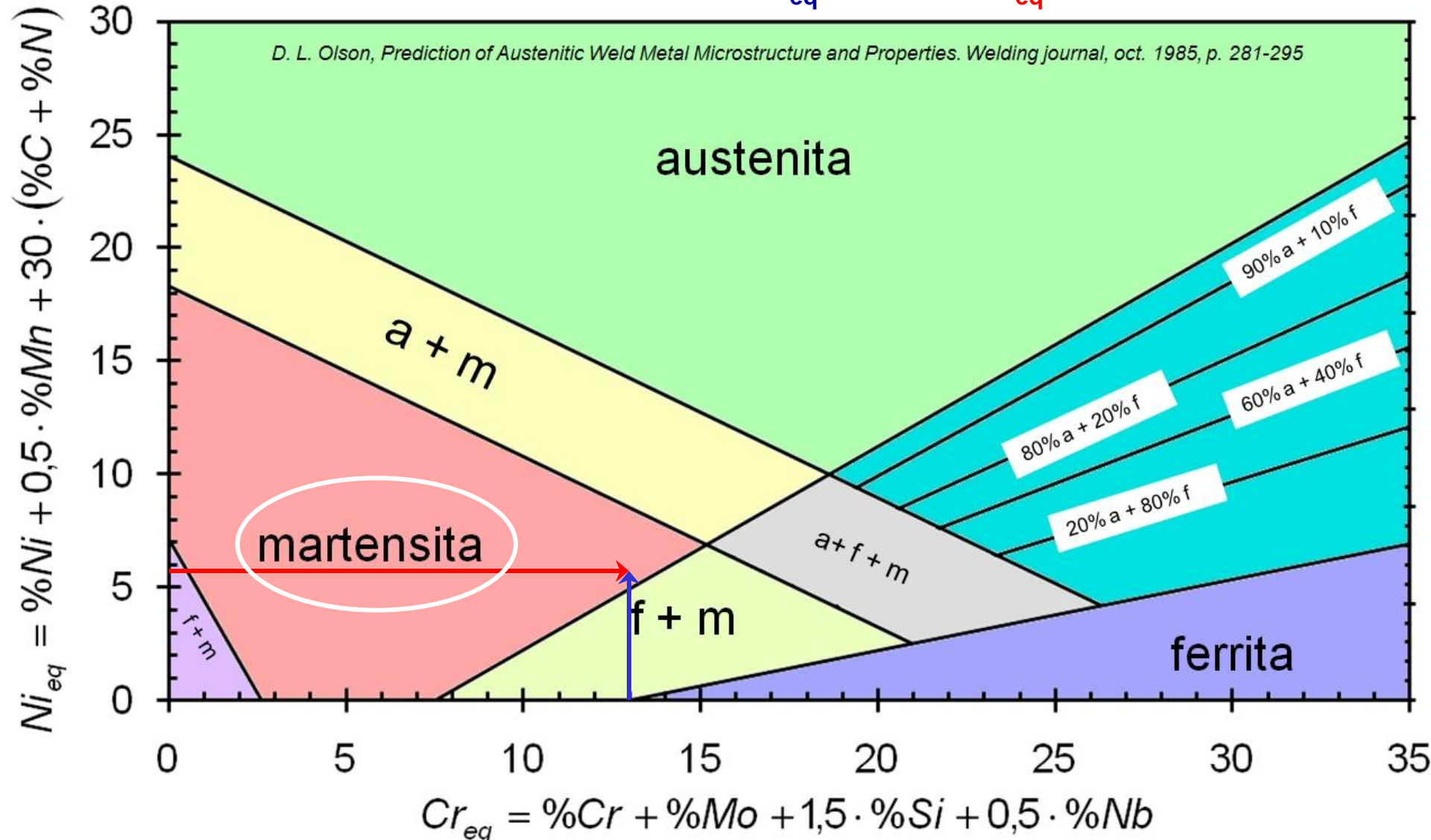
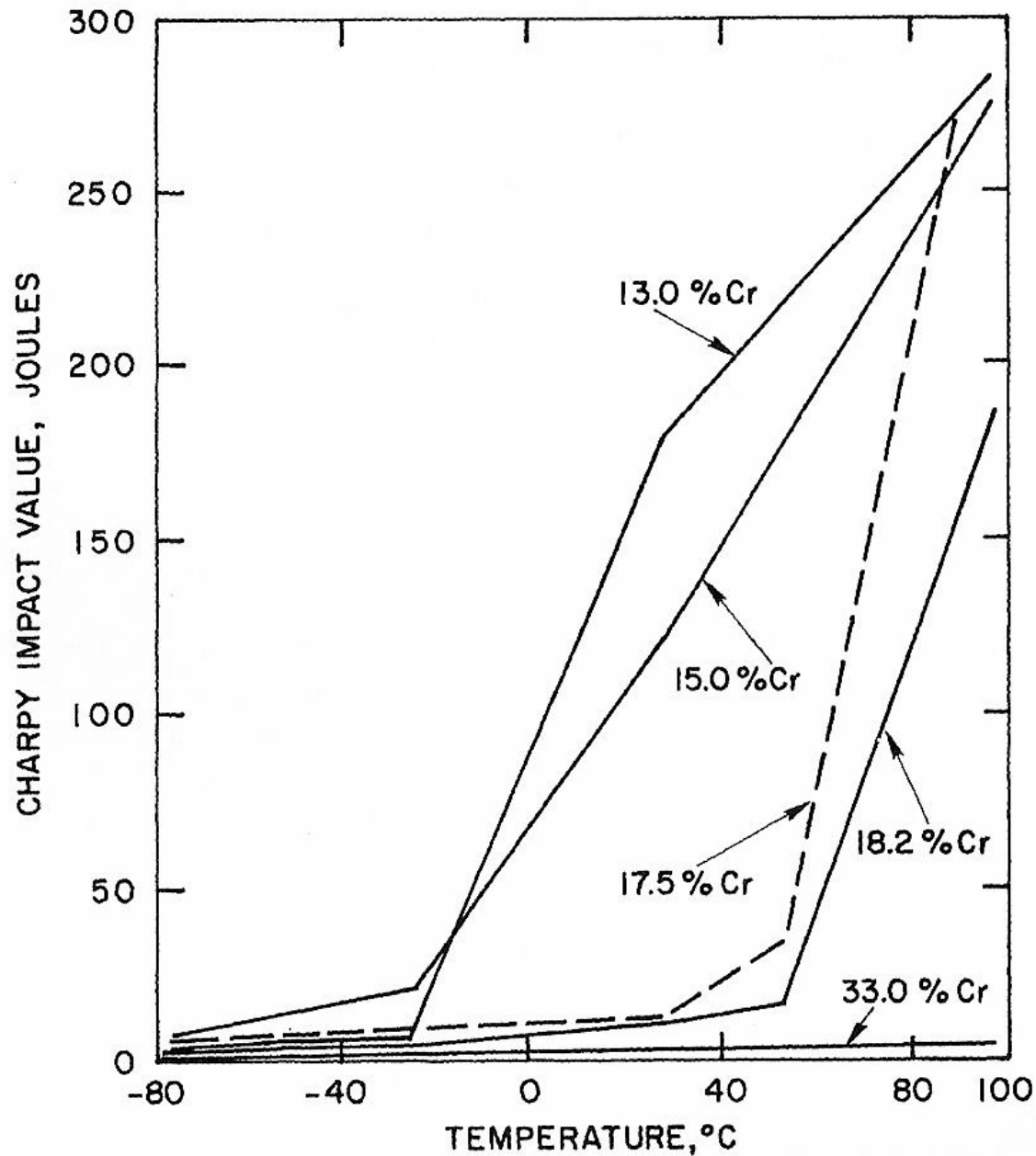


Diagrama de Schaeffler

0,17 %C – 1% Mn – 13% Cr $\therefore Cr_{eq} = 13\%$ $Ni_{eq} = 5,6\%$





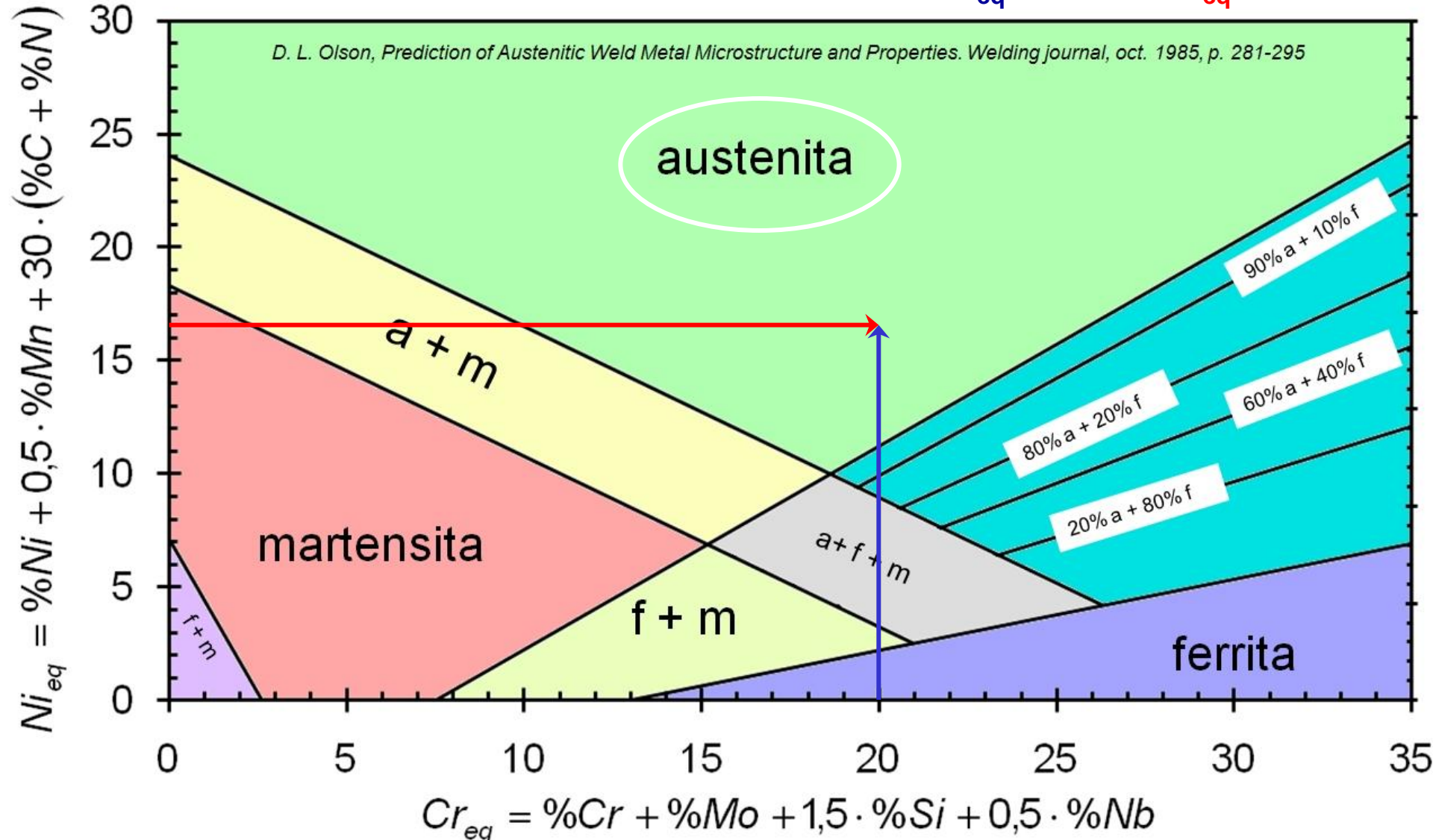
Aumento do teor de Cr em aços de estrutura CCC (ferríticos e/ou martensíticos) leva a fragilização...

... a solução: aços de estrutura CFC.

AUSTENÍTICOS

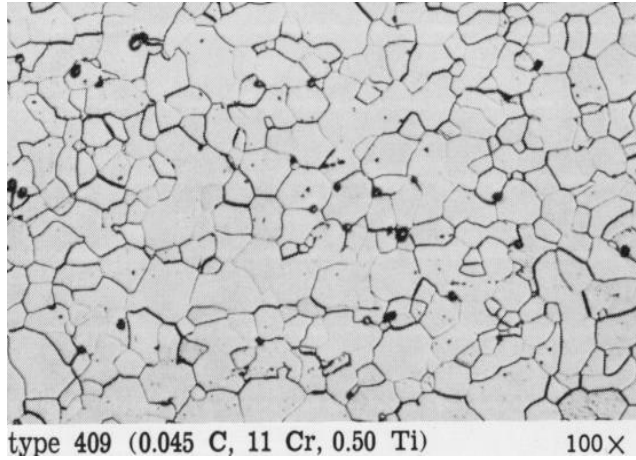
Diagrama de Schaeffler

0,08 %C – 13% Ni – 18% Cr - 2% Mn – 2% Mo $\therefore Cr_{eq} = 20\%$ $Ni_{eq} = 16,4\%$



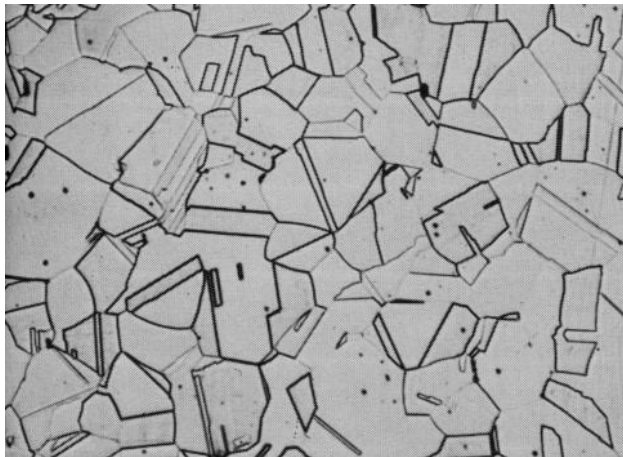
FERRÍTICOS (100x)

AISI 409

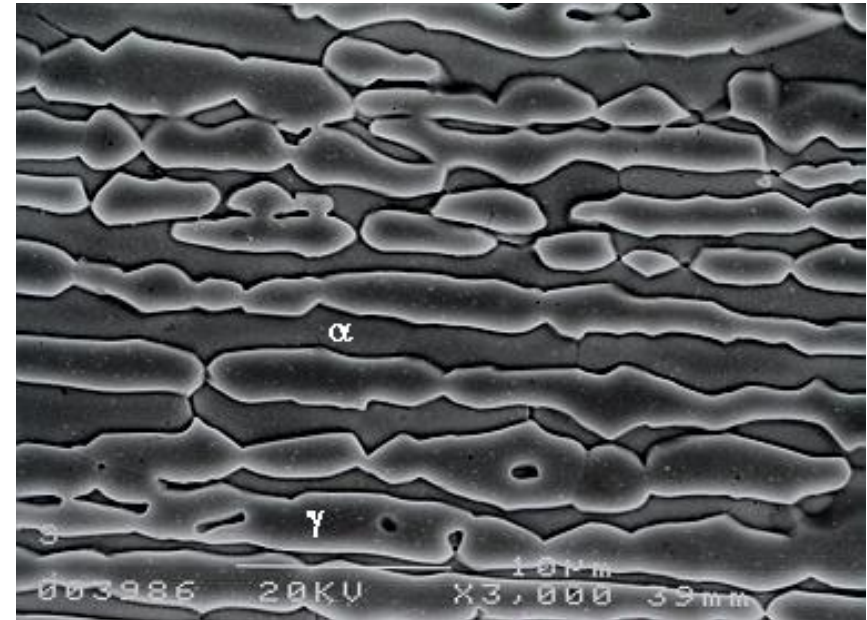


AUSTENÍTICOS (250x)

AISI 316



DÚPLEX FERRITA-AUSTENITA



MARTENSÍTICOS

AISI 420 (0,2%C-14%Cr)

ENDURECÍVEIS POR PRECIPITAÇÃO

Tipos de precipitados:

Fases de *Laves*

$Ni_3(Al,Ti)$

Carbonetos

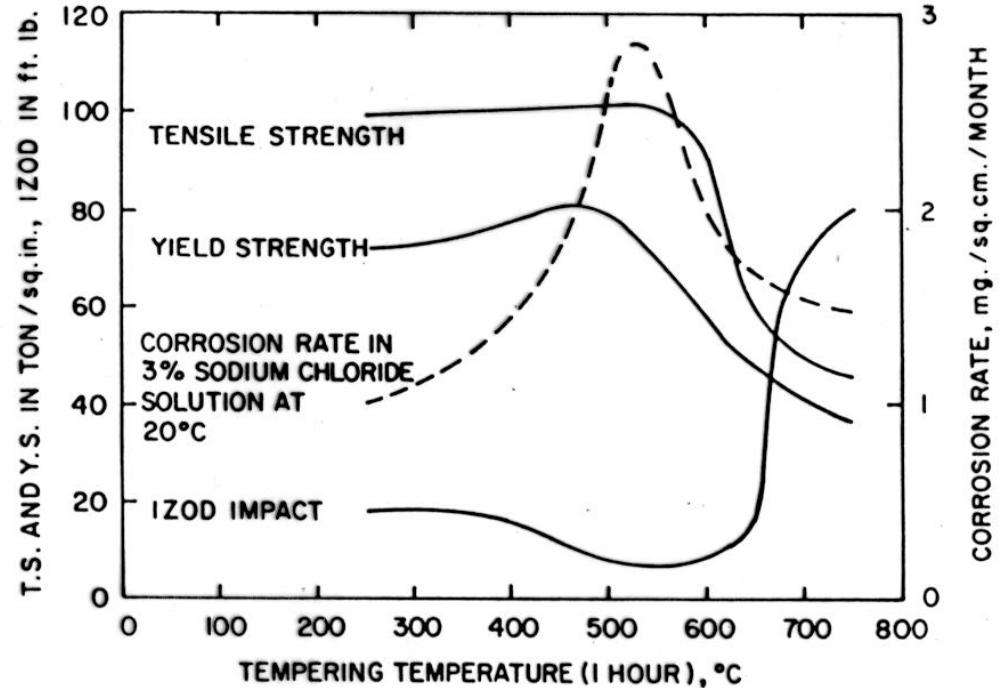


Table 2.16 Basic heat treatments of precipitation-hardening stainless steels

Martensitic	Semiaustenitic	Austenitic
<ol style="list-style-type: none"> 1. Solution anneal in austenite region. 2. Rapidly cool to room temperature to produce a martensitic structure. 3. Age at temperatures in the range 480–620°C to produce precipitation hardening. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Solution anneal in austenite region. 2. Rapidly cool to room temperature to produce metastable austenite. 3a. Cool to about -73°C to transform metastable austenite to martensite. OR 3b. Temper at about 760°C to reduce carbon content of austenite by precipitating carbide; then cool to room temperature to transform austenite to martensite. 4. Age at temperatures in the range 450–579°C to produce precipitation hardening. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Solution anneal in austenite region. 2. Rapidly cool to room temperature to produce stable austenite. 3. Age at temperatures in the range of 700–800°C to produce precipitation hardening.

O limite de solubilidade de carbono na austenita é baixo...

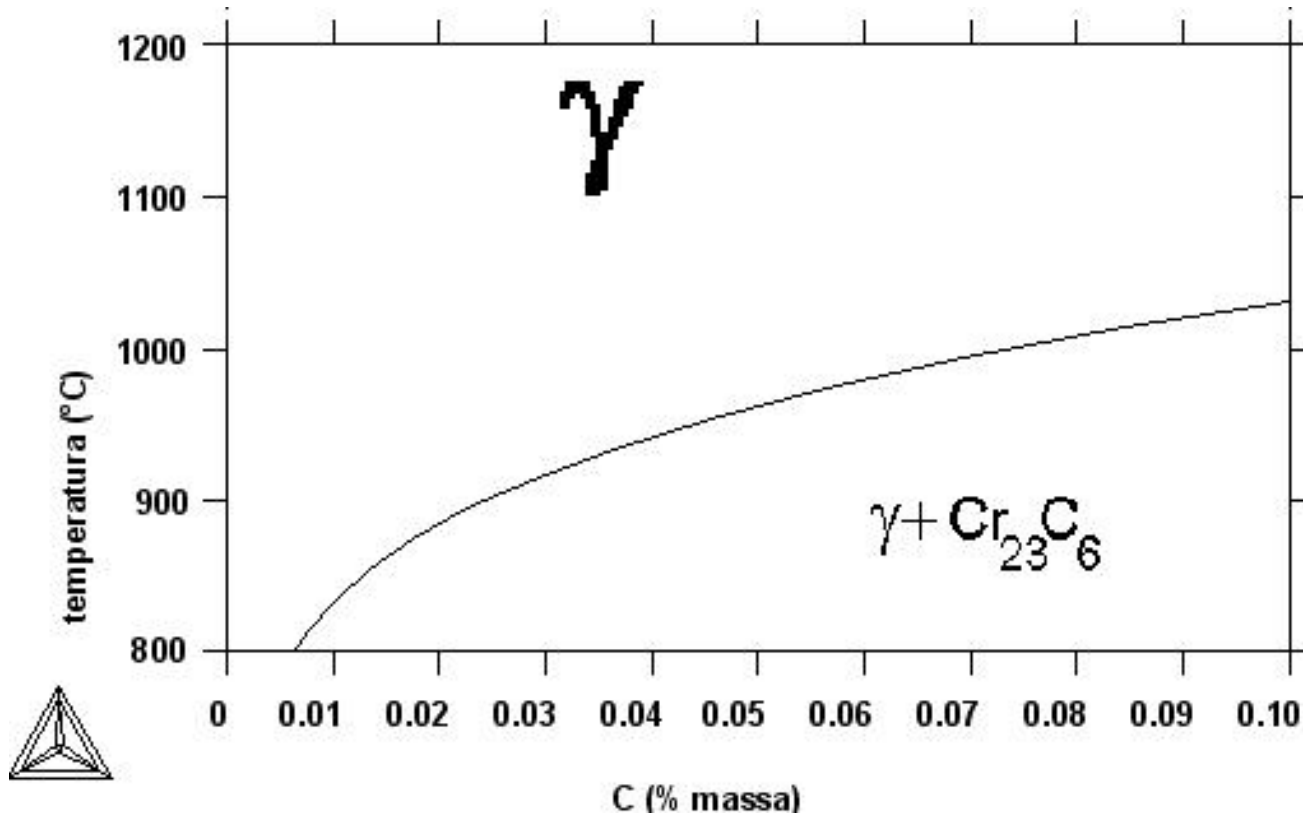
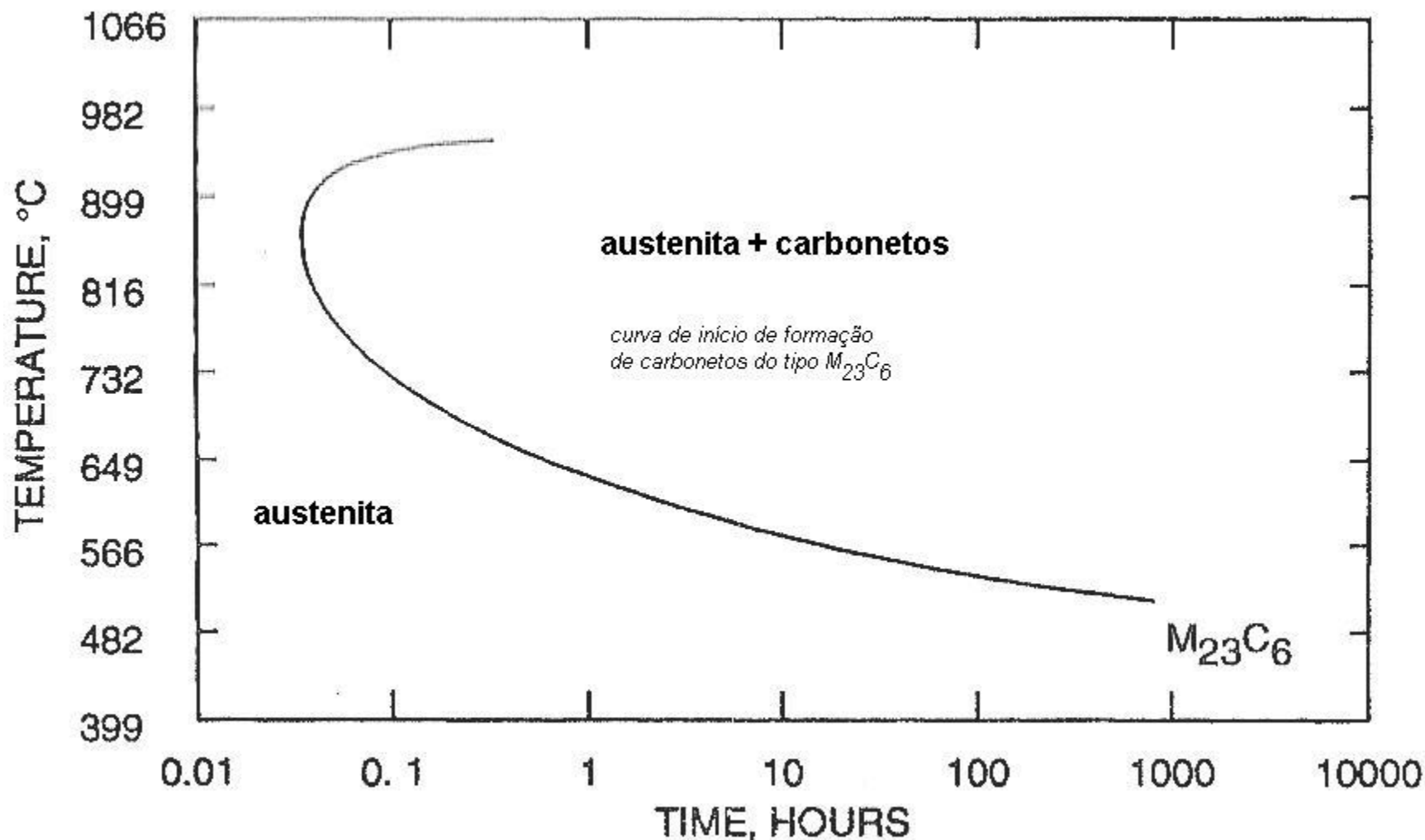
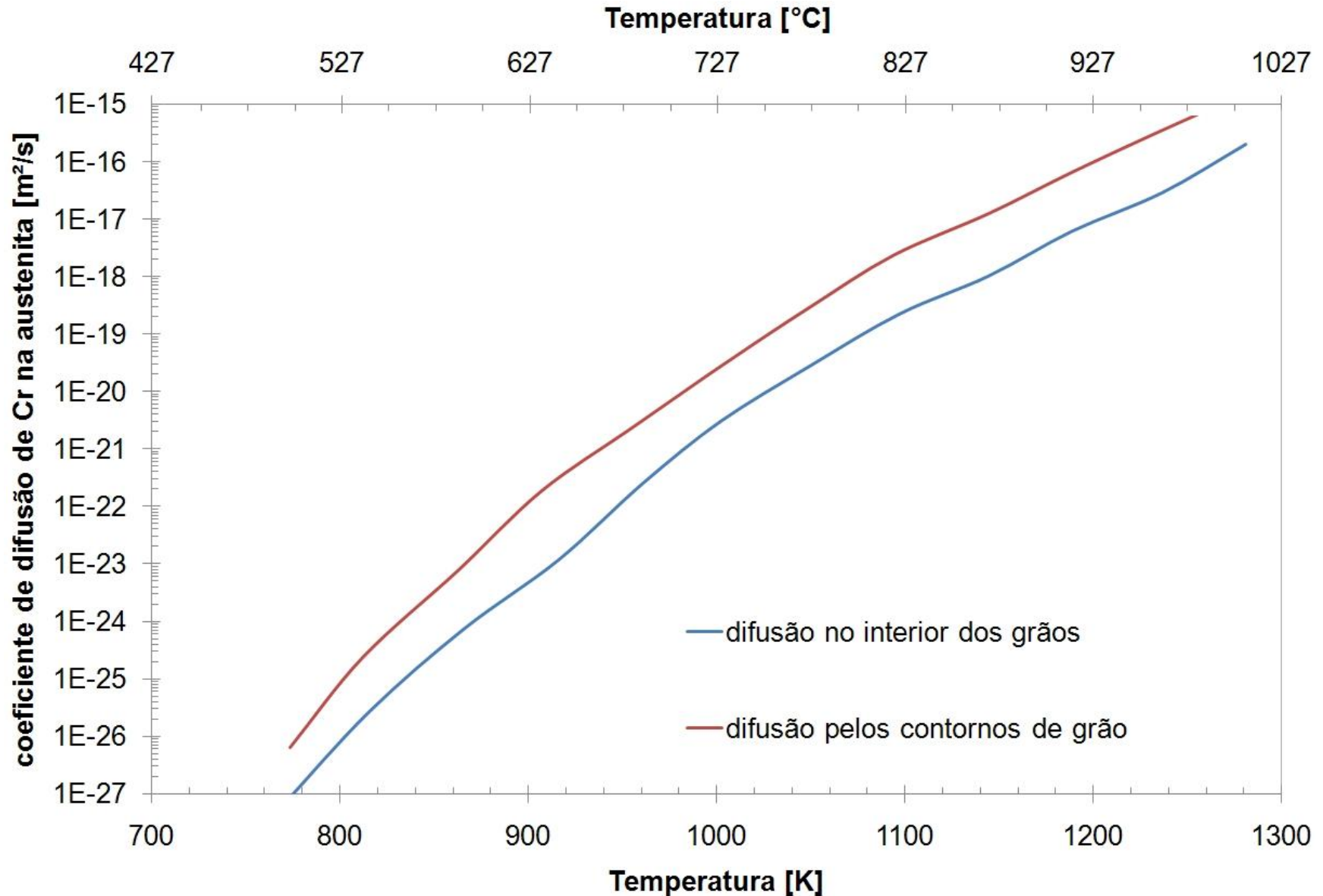


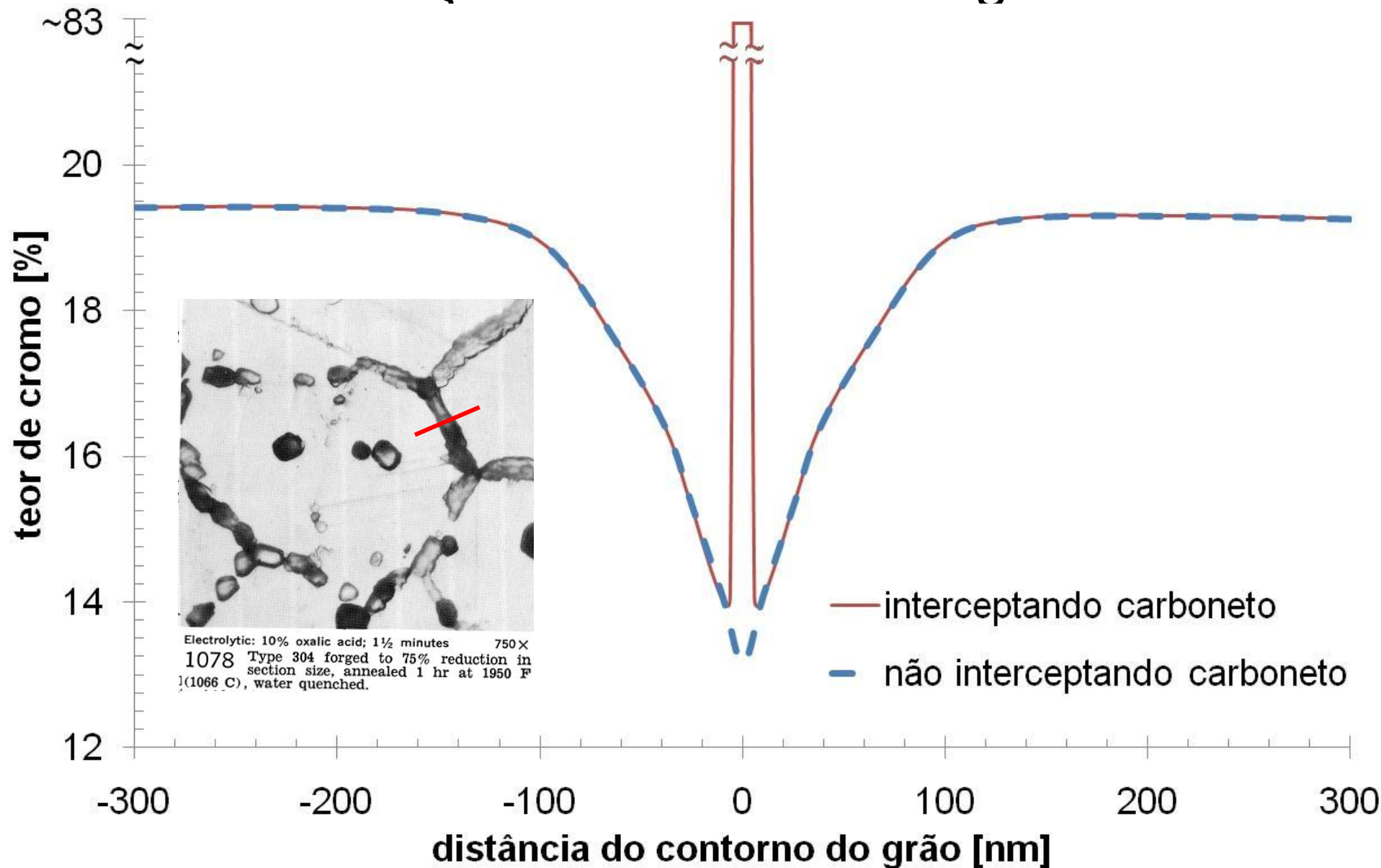
Diagrama Tempo-Temperatura-Precipitação para um aço AISI 316



A formação de carbonetos de cromo depende de difusão...



Sensitização e corrosão intergranular



Corrosão intergranular
causada por
SENSITIZAÇÃO
(precipitação de
carbonetos de cromo, ou
de fases ricas em cromo,
nos contornos de grão).

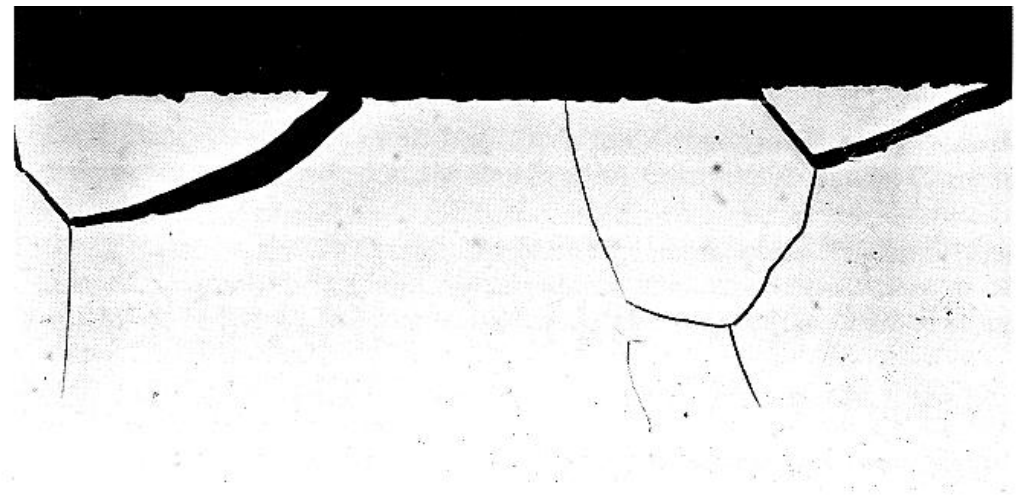
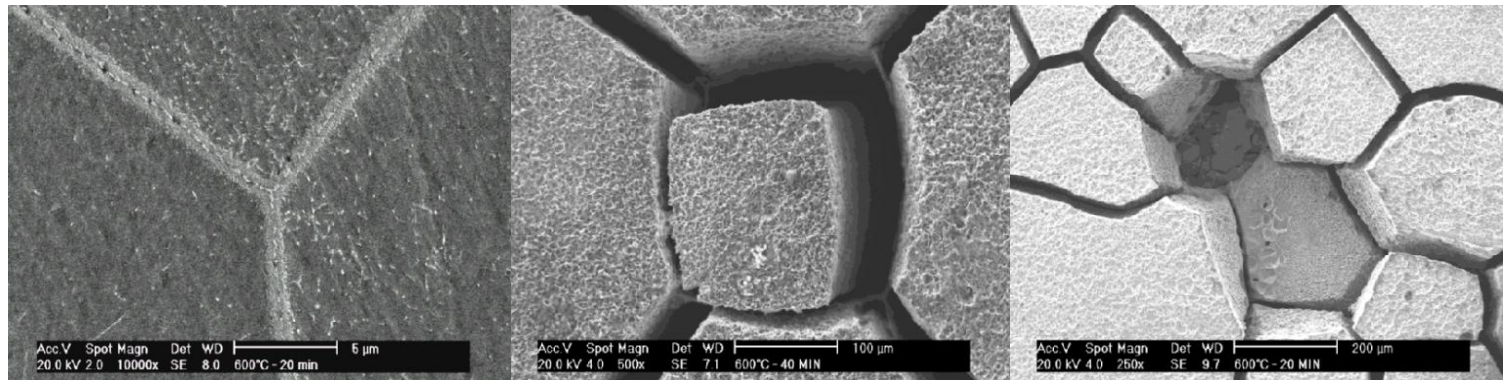


Figure 6.1 Intergranular attack in a sensitized austenitic alloy produced by exposure to a boiling sulfuric acid–ferric sulfate solution. Prolonged exposure causes grains to detach from surface. (Magnification = 100 \times .)



Carlos Augusto Serna-Giraldo, *Resistência à corrosão intergranular do aço inoxidável ferrítico UNS S43000 : avaliação por método de reativação eletroquímica, efeito de tratamento isotérmico e mecanismo de sensitização*. Tese (Doutorado em Engenharia), São Paulo, EP-USP, 2006, 197p.

Ligas resistentes à corrosão e oxidação

Material	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation	Strengthening Mechanism	Applications
Pure Ni (99.9% Ni)	50,000	16,000	45	Annealed	Corrosion resistance
	95,000	90,000	4	Cold-worked	Corrosion resistance
Ni-Cu alloys:					
Monel 400 (Ni-31.5% Cu)	78,000	39,000	37	Annealed	Valves, pumps, heat exchangers
Monel K-500 (Ni-29.5% Cu-2.7% Al-0.6% Ti)	150,000	110,000	30	Aged	Shafts, springs, impellers
Ni superalloys:					
Inconel 600 (Ni-15.5% Cr-8% Fe)	90,000	29,000	49	Carbides	Heat-treatment equipment
Hastelloy B-2 (Ni-28% Mo)	130,000	60,000	61	Carbides	Corrosion resistance
DS-Ni (Ni-2% ThO ₂)	71,000	48,000	14	Dispersion	Gas turbines
Fe-Ni superalloys:					
Incoloy 800 (Ni-46% Fe-21% Cr)	89,000	41,000	37	Carbides	Heat exchangers
Co superalloys:					
Stellite 6B (60% Co-30% Cr-4.5% W)	177,000	103,000	4	Carbides	Abrasive wear resistance

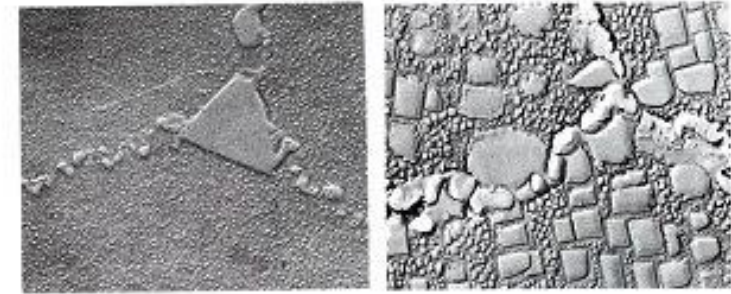
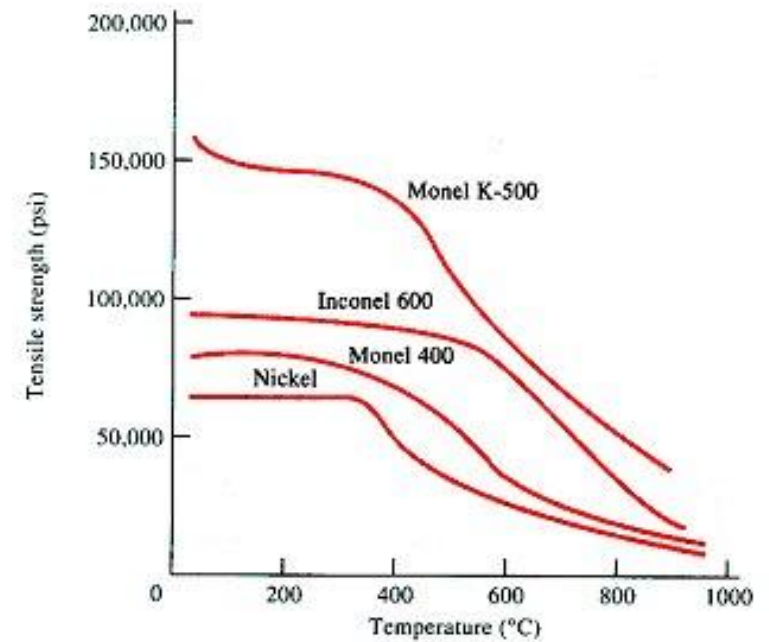


FIGURE 13-13 (a) Microstructure of a superalloy, with carbides at the grain boundaries and γ' precipitates in the matrix ($\times 15,000$). (b) Microstructure of a superalloy aged at two temperatures, producing both large and small cubical γ' precipitates ($\times 10,000$). (From Metals Handbook, Vol. 9, 9th Ed., American Society for Metals, 1985.)



Exercícios de fixação de conceitos

Para a fabricação de uma broca, foi escolhido o aço rápido AISI M2. Após a confecção da broca foram realizados os seguintes tratamentos térmicos, sobre o material na condição de fornecimento, recozida:

- 1) Austenitização a 1100 C por 10 minutos.
- 2) Resfriamento ao ar agitado.
- 3) Revenimento a 550 C por 2,5 horas, seguido de resfriamento rápido.
- 4) Novo revenimento a 550 C por 2,5 horas, seguido de resfriamento rápido.

Com base nestas informações, pergunta-se:

- Quais as alterações microestruturais no aço em cada uma das quatro etapas de tratamentos térmicos? Indique-as num ciclo térmico traçado em escala.
- O que cada uma das microestruturas discutidas no item anterior fornece à ferramenta em termos de comportamento mecânico em uso?
- Quais seriam as conseqüências (nos procedimentos de tratamento térmico, nas microestruturas resultantes e no comportamento mecânico em uso) de reduzir a temperatura de austenitização de 1100 C para 920 C?

Exercícios de fixação de conceitos

1. De que maneira pode-se endurecer um aço inoxidável ferrítico? Justifique sua resposta.
2. Duas chapas de aço inoxidável austenítico soldadas e expostas em um meio corrosivo sofrem corrosão na região da solda. Por que isto ocorre? Qual(is) a(s) solução(ões) para evitar a corrosão?
3. Responda com base nas informações dadas sobre o aço inoxidável martensítico AISI 420:
 - Quais os tratamentos térmicos para obtenção de máxima resistência mecânica, sabendo que na condição de fornecimento o material está recozido?
 - Quais as mudanças estruturais que ocorrem no material após os tratamentos térmicos descritos no 1 item?
 - Como as mudanças estruturais descritas no 2 item afetam a resistência à corrosão e a tenacidade deste material?
 - Como devem ser os tratamentos térmicos deste aço para obtenção da maior resistência à corrosão juntamente com a menor fragilidade possíveis? O que acontecerá, neste caso, com a resistência mecânica?