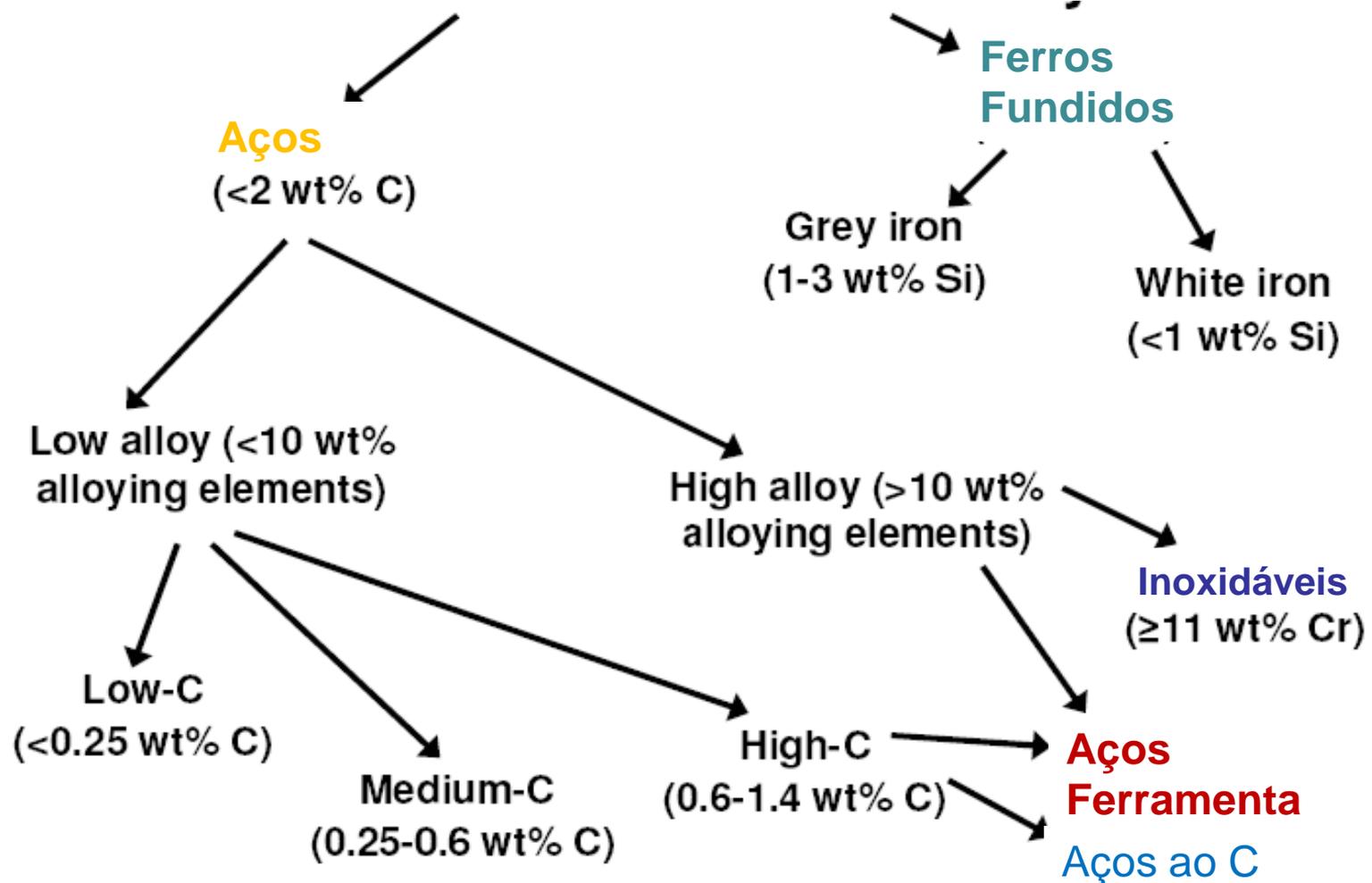


Aços Ferramenta

Classificação das ligas ferrosas



Aços Ferramenta

- ❖ Classe de aços de alta liga projetado para serem utilizados em ferramentas de corte, matrizes e moldes
- ❖ Para atender as solicitações de serviço precisam exibir elevada resistência, dureza, dureza a quente, resistência ao desgaste, tenacidade, resistência ao choque
- ❖ Aços ferramenta são tratáveis termicamente

Classificação AISI de Aços Ferramenta

- T, M** Aços rápidos – ferramentas de corte em equipamentos de usinagem
- H** Trabalho a quente – matrizes para trabalho a quente para forjagem, extrusão e fundição em moldes
- D** Trabalho a frio - matrizes para trabalho a frio de conformação de chapas, extrusão e forjamento a frio
- W** resfriados em água - alto carbono baixa liga
- S** Resistêntes ao choque - ferramentas que necessitem de elevada tenacidade na conformação e dobramento de chapas
- P** Aços para moldes - moldes para plásticos e borrachas

Trabalho a frio:

- perdem dureza com revenidos longos
- 17-95°C
- Até 5% de % de elementos de liga;
- Alto %C
- Elevada dureza, logo boa resistência ao desgaste e boa capacidade de retenção de borda

Resistência ao choque (aplicações a frio)

- Médio %C
 - Tenacidade é a maior preocupação
- < 5% de elementos de liga

Aços Rápidos:

- T_x – tungstênio
- M_x – Molibdênio
- até 25% de elementos de liga
- Alto %C – retenção de borda

Trabalho a quente: aplicações a T elevada,

- Cr, Mo, W – principais lementos deliga
- H_{1x}-Cr
- H_{2x}, H_{3x} – W
- H_{4x}, H_{5x} – Mo
- Médio %C
- Até 25% de lementos de liga
- Tenacidade a alta T é o principal requisito

Classes de aços ferramenta

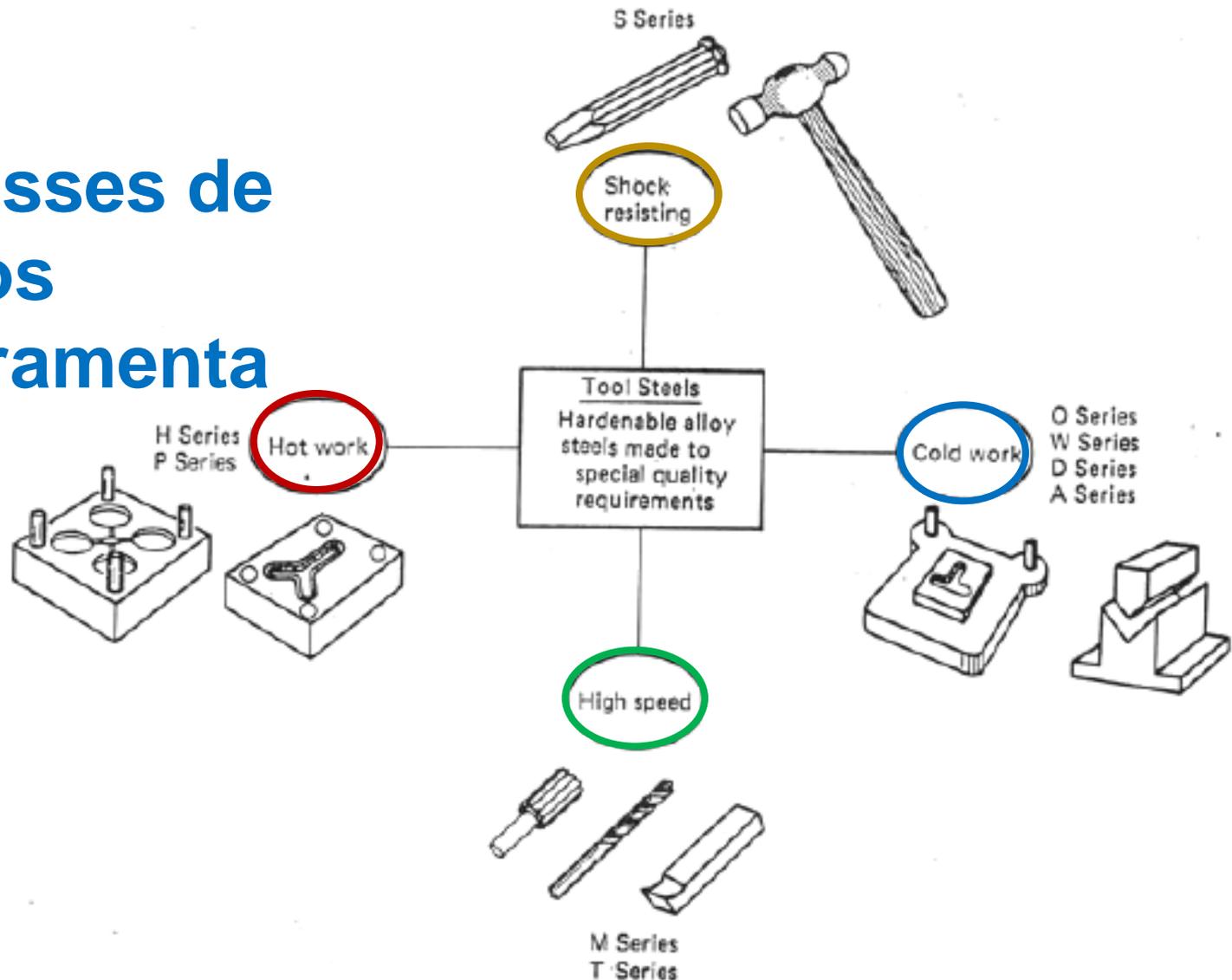


Figure 10-1 Tool-steel categories.

Aços Ferramenta – trabalho a frio

Requisitos: uso a baixas temperaturas –definição de borda/aresta da ferramenta

Incluem todos os aços de elevado Cr da classe D, aços liga Endurecidos ao ar da classe A
Ligas de W resfriadas em água
Ligas O temperadas em óleo.



cutter



punch



shear blade



roll



blanking die

Aços Ferramenta – Resistêntes ao choque

Requisitos: Uso a baixa temperatura – tenacidade

Um dos aços de maior tenacidade dentro dos aços ferramenta.



screwdriver blade



shear blade

Aços rápidos

Requisitos: uso a alta temperatura

Incluem ligas ao Mo (M1-M52) e ao tungstênio (T1-T15).

Podem ser endurecidos até 62-67HRC e manter esta dureza em temperaturas de operação de até 540°C, sendo muito útil em equipamentos de elevada produtividade.



thread rolling die



pin, punch



drill bit

Aços para trabalho a quente

Requisitos: utilização a alta temperatura – tenacidade

Incluem ligas com Cr, W e M



die casting die



extrusion die



punch & die

Aços ferramenta

Efeito dos elementos de liga

Aumento da temperabilidade

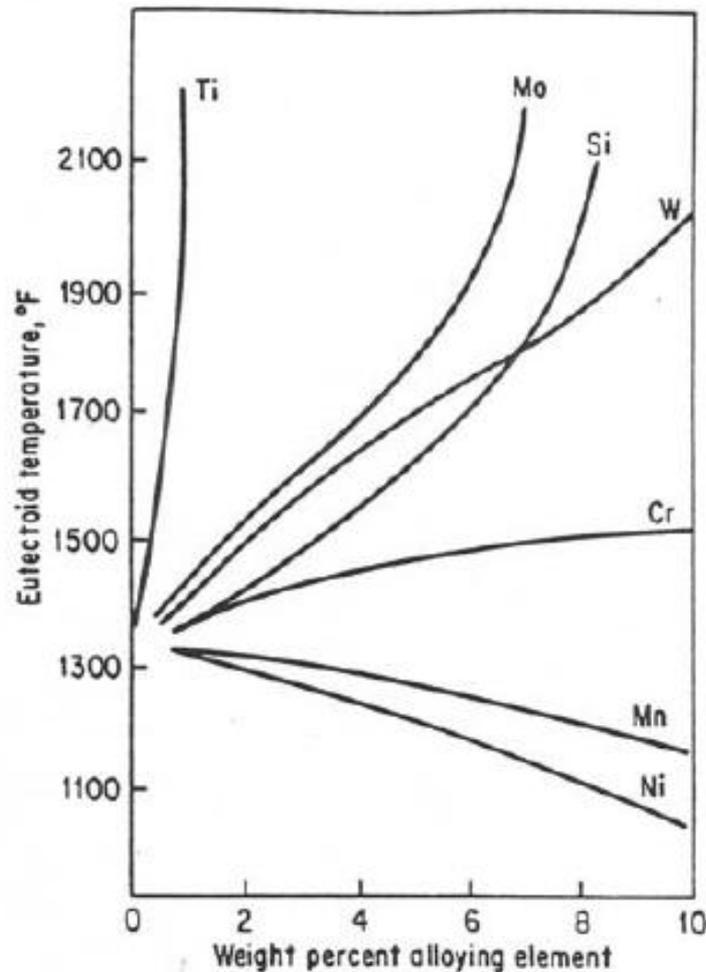
- Elementos se dissolvem na ferrita ou formam carbeto
- Forte formadores de carbeto: Ti, W, Mo, Nb, V, Cr-Mo, Mn ou Ni

Efeito sobre a T eutetoide

- Ti, Mo, W, Cr aumenta a T eutetoide – alfa-gênios; estabilizadores da ferrita
- Ni, Mn baixa a T eutetoide – gama-gênios; estabilizadores da austenita

Aços ferramenta

Efeito dos elementos de liga



Efeito sobre a T do eutetoide

Aços ferramenta

Efeito dos elementos de liga

Alteração da composição do eutetoide

- eutetoide ocorre para menores teores de C

Principais requisitos:

- Dureza para Resistência ao desgaste – alto % C
- Tenacidade – Médio %C

Uma destas propriedades será otimizada ou a Tambiente ou a T elevadas – 600-650C

Aços ferramenta

Efeito dos elementos de liga

%C em aços Ferramenta

- **Dureza/"sharpness" (elevado %C)**
 - Baixa T – trabalho a frio
 - Alta T – aços rápidos
- **Tenacidade (médio %C)**
 - Baixa T – resistência ao choque
 - Alta T – trabalho a quente

Aços ferramenta

Adição de elementos de ligas:

- dissolução na ferrita
- formação de carbonetos – por vezes em combinação com o Fe

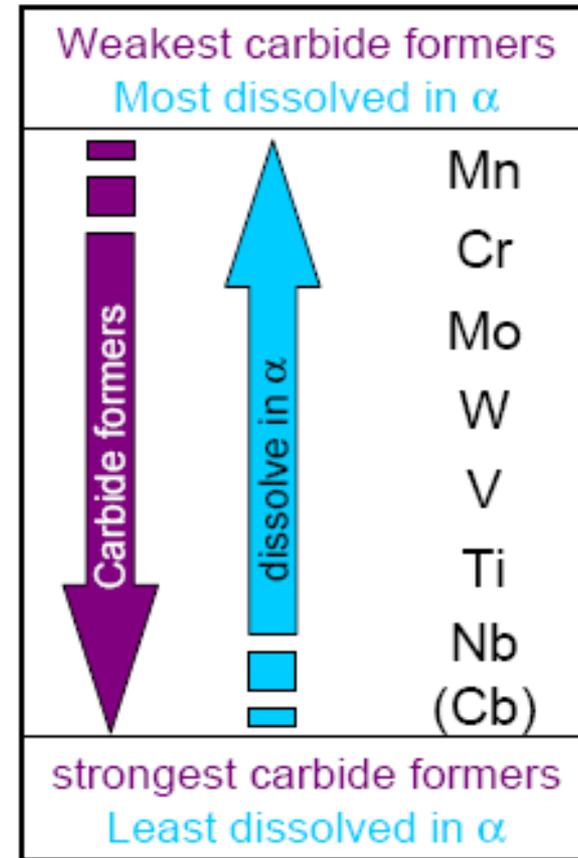


Table 9-1 from Smith

TABLE 9-1
Classification of tool steels

Group	Letter symbol	Reference table in chapter for different types
1. Water-hardening tool steels	W	Table 9-2
2. Shock-resistant tool steels	S	Table 9-3
3. Cold-work tool steels		
Oil-hardening	O	Table 9-4
Medium alloy, air-hardening	A	Table 9-5
High carbon, high chromium	D	Table 9-6
4. Hot-work tool steels	H	Table 9-7
Chromium type	H1 to H19	
Tungsten type	H20 to H39	
Molybdenum type	H40 to H59	
5. High-speed tool steels		Table 9-8
Tungsten type	T	
Molybdenum type	M	
6. Special-purpose tool steels		
Low alloy	L	
7. Mold tool steels	P	

Table 10-1 Smith

TABLE 10-1 TOOL STEELS

	Prefix	Specific Types
Cold work	W (water hardening)	W1, W2, W5
	O (oil hardening)	O1, O2, O6, O7
	A (medium alloy air hardening)	A2, A4, A6, A7, A8, A9, A10, A11
Shock resisting	D (high C, high Cr)	D2, D3, D4, D5, D7
	S	S1, S2, S4, S5, S6, S7
Hot work	H	H10-H19 chromium types
		H20-H39 tungsten types
		H40-H59 molybdenum types
High speed	{ M { T	Molybdenum types: M1, M2, M3-1, M3-2, M4, M6, M7, M10, M33, M34, M36, M41, M42, M46, M50 { Tungsten types: T1, T4, T5, T6, T8, T15
		{ P { L

Element distribution in alloy

Table 4-3 Approximate distribution of alloying elements in alloy steel† *

Element	Dissolved in ferrite	Combined in carbide	Combined as carbide	Compound	Elemental
Nickel	Ni			Ni ₃ Al	
Silicon	Si				SiO ₂ ·M _x O _y
Manganese	Mn ← → Mn		(Fe,Mn) ₃ C	MnS; MnO·SiO ₂	
Chromium	Cr ← → Cr		(Fe,Cr) ₃ C Cr ₇ C ₃ Cr ₂₃ C ₆		
Molybdenum	Mo ← → Mo		Mo ₂ C		
Tungsten	W ← → W		W ₂ C		
Vanadium	V → → V		V ₄ C ₃		
Titanium	Ti → → Ti		TiC		
Columbium	Cb → → Cb		CbC		
Aluminum	Al			Al ₂ O ₃ ; AlN	
Copper	Cu (small amount)				
Lead	Pb				Pb

† From Ref. 1.

* The arrows indicate the relative tendencies of the elements listed to dissolve in the ferrite or combine in carbides.

Aços ferramenta

Tratamento térmico

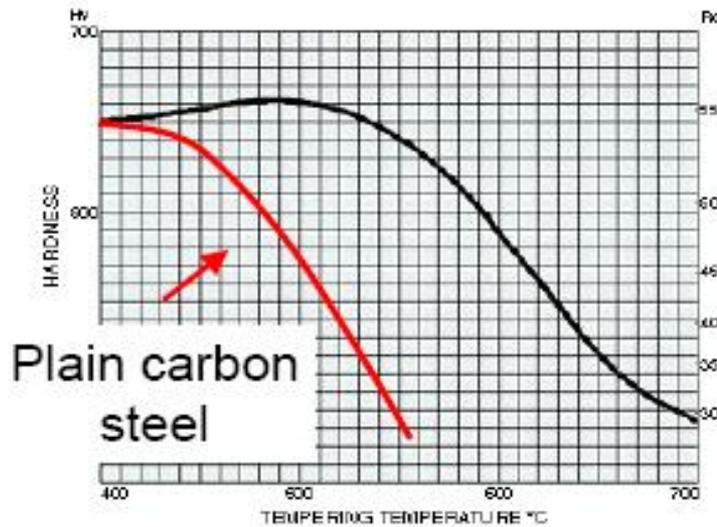
Endurecimento secundário:

- Altas T:
 - Precipitação de carbonetos de liga a elevadas T de revenido
- Baixa T:
 - Precipitação de Fe_3C
 - Fácil difusão intersticial do C
- Carbonetos de ligas só precipitam nas elevadas T de revenido
- Resistência ao choque e trabalho a quente (ambos com médio C)

Aços ferramenta

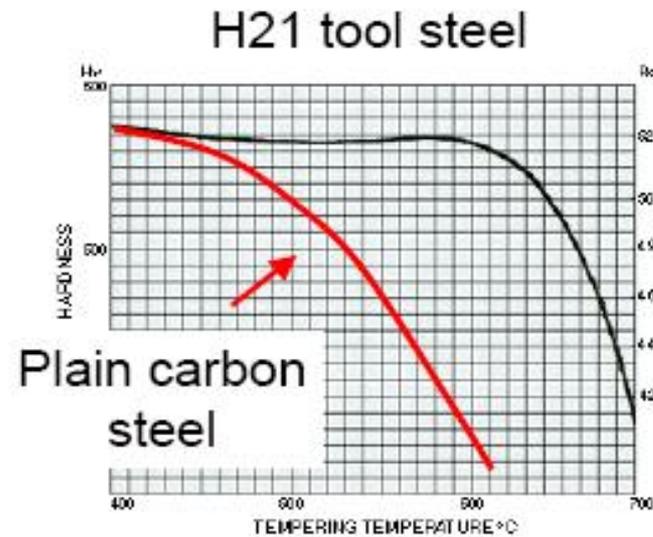
Tratamento térmico

Endurecimento secundário



Plain carbon steel

H13 tool steel



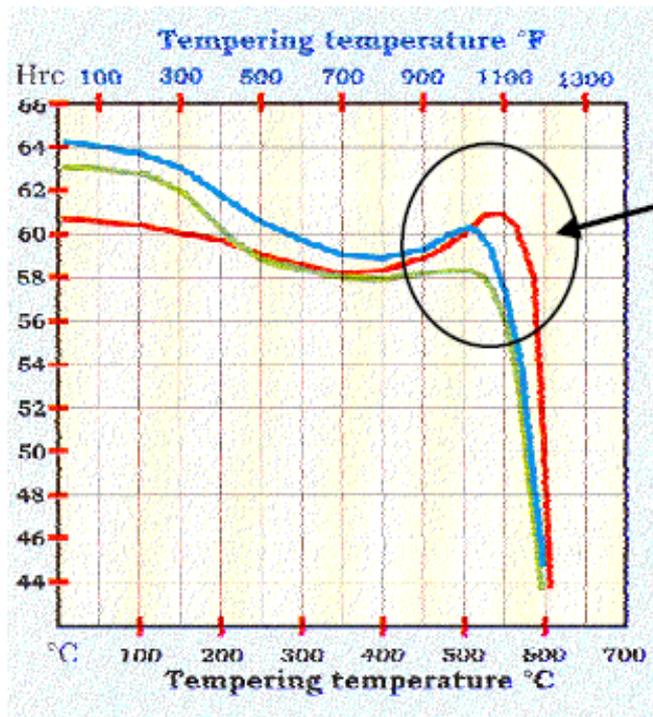
H21 tool steel

Plain carbon steel

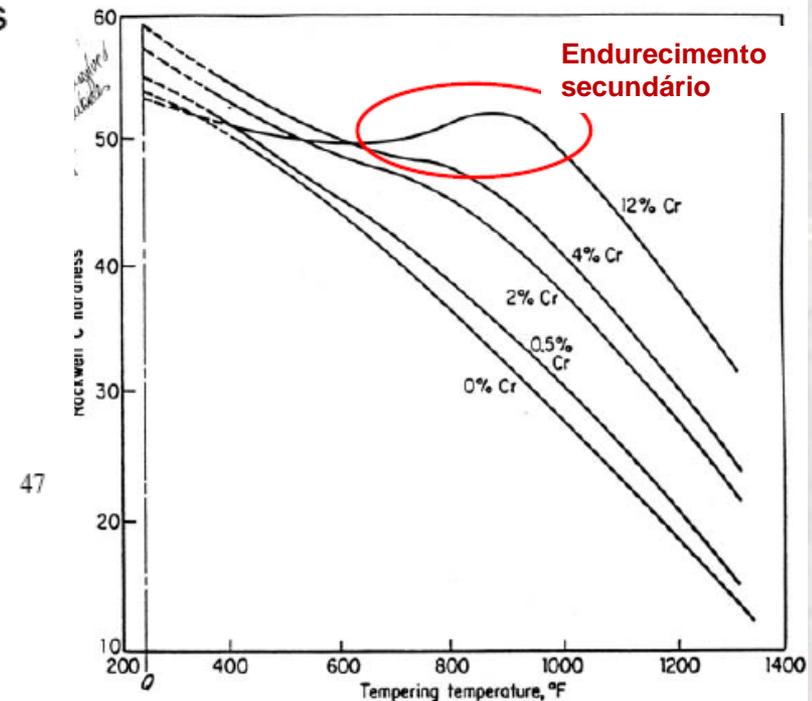
Aços ferramenta

Tratamento térmico

Endurecimento secundário



Efeito da adição de Cr



Aços ferramenta

Tratamento térmico

Duplo revenido

Após tempera a partir da T de austenitização um aço ferramenta apresenta:

carbonetos (não dissolvidos a T de austenitização)
Martensita não revenida
Austenita retida

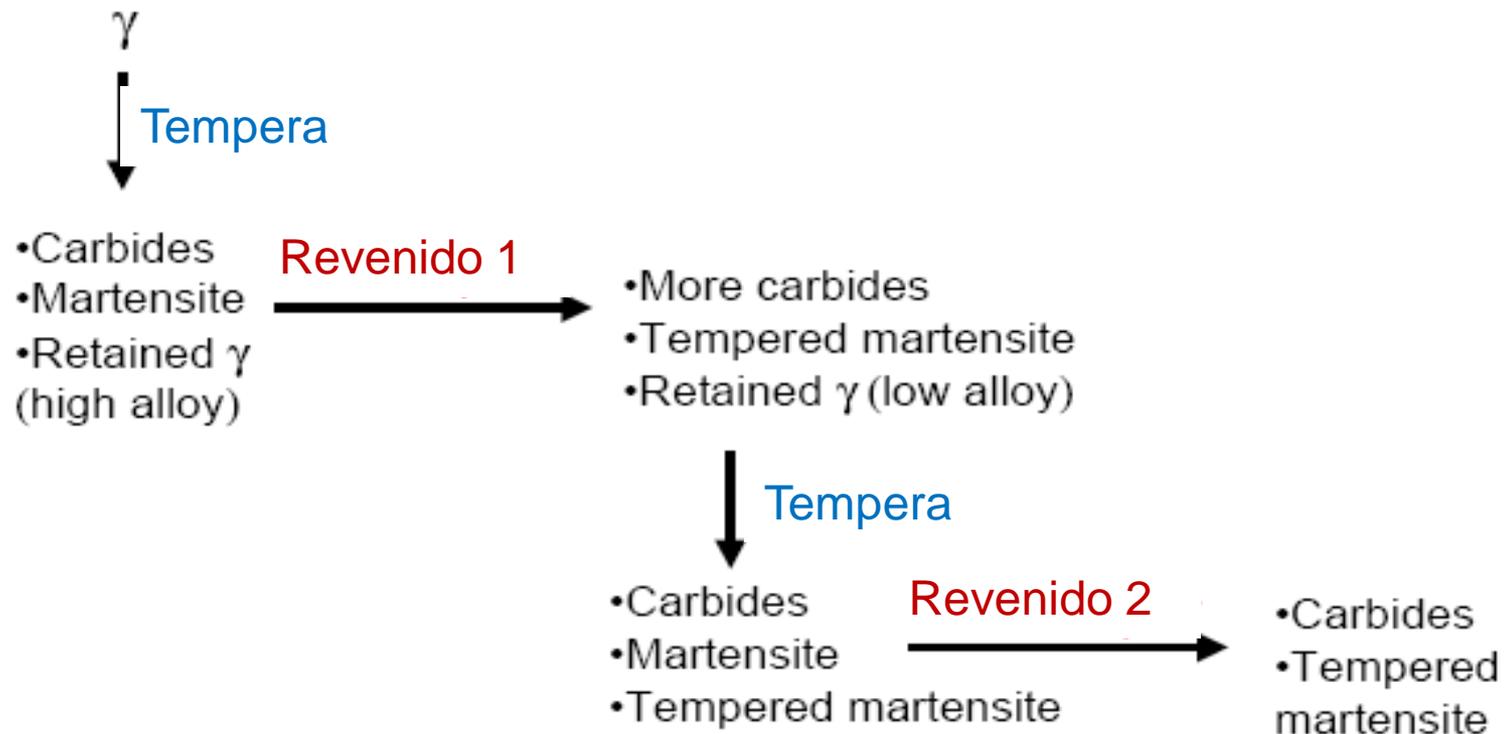
No revenido:

- carbonetos precipitam na austenita retida
- composição da austenita é alterada ficando com menos elementos de liga
- No resfriamento as temperaturas de M_s e M_f são superiores do que as obtidas na primeiro resfriamento
- transformação de parte da austenita retida em martensita

Aços ferramenta

Tratamento térmico

Duplo revenido



Aços ferramenta

Tratamento térmico

Duplo revenido

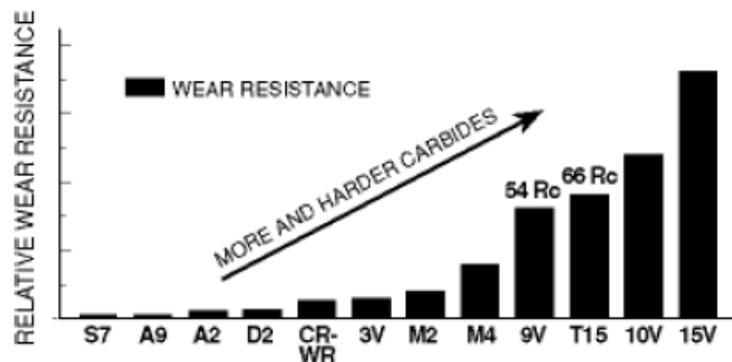
- É preciso o duplo revenido para temperar mais martensita
- A dureza pode aumentar após o primeiro revenido
- Após o duplo revenido o material pode ainda apresentar austenita retida

Aços ferramenta

Propriedades - Papel dos carbonetos

Resistência ao desgaste

Wear resistance



Dureza

Aço temperado – 60/65HRC

Carbonetos de Cr - 66/68HRC

Carbonetos de MO - 72/77 HRC

Carbonetos de W - 72/77HRC

Carbonetos de V - 82/84HRC