

SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA NITRETAÇÃO

J.C.Vendramim¹

[1] João Carmo Vendramim – Engenheiro metalurgista, mestrado em engenharia de materiais pela universidade de Campinas – Unicamp.

Introdução

A seleção do melhor, ou mais adequado, material para aplicação de processo de modificação da superfície por difusão de nitrogênio e subsequente potencialização das propriedades mecânicas superficiais tem relação com a *tribologia* – ciência que estuda o efeito dos movimentos relativos entre superfícies (com componente de tensão normal), tipos de materiais, o meio contido entre as superfícies (lubrificantes), a topografia das superfícies e respectiva interação entre os materiais da superfície e o meio ambiente.

Os fabricantes de materiais ferrosos – Siderúrgicas - oferecem para a indústria metal-mecânica uma enorme variedade de ligas ferrosas para difusão de carbono – *aços para cementação* – que permitem combinar tenacidade de núcleo com elevada dureza de superfície. Em contrapartida, *aços para nitretação* tem uma oferta muito pequena e, por isso, existe uma *adaptação* dos materiais disponíveis – *aço carbono, construção-mecânica, inoxidáveis, aço-rápido, aço-ferramenta* – para cada situação específica de aplicação. Mundialmente, observa-se uma tendência de crescimento da oferta de aços para nitretação, primeiro, em função da execução desse processo em temperaturas inferiores à transformação de fase do ferro que resulta em nenhuma, ou mínima, alteração dimensional, ou distorção; e, segundo, principalmente, pelas elevadas propriedades mecânicas superficiais resultantes. E ainda contribui para o crescimento atual da oferta de aços para nitretação o desenvolvimento de tecnologias de nitretação que garantem repetibilidade de resultados metalúrgicos, em termos de nitretos e morfologia.

Nitretos

Nitretos de metais e Nitretos em metais de ligas ferrosas têm suscitado crescente interesse na indústria metal-mecânica em função de excelentes propriedades físicas e mecânicas, tais como:

*Elevada dureza
Resistência a desgaste
Resistência a corrosão
Resistência à fadiga
Menor coeficiente de atrito;*

E estabilidade química.

Os principais elementos químicos formadores de Nitretos no processo de difusão de nitrogênio em ligas ferrosas são: Ferro, Cromo, Molibdênio, Vanádio, Tungstênio.

Outros nitretos podem ser formados com Boro, Silício, Titânio e Zircônio. A Tabela 1 ⁽¹⁾ apresenta os mais proeminentes nitretos de utilização comercial produzidos por processos diferentes como CVD (“chemical vaporation deposition”), PVD (“physical vaporation deposition”) e difusão (gás ou iônica).

Tabela 1 – propriedades dos principais nitretos

Tipos de Nitretos	Propriedades Principais
AlN	Boa refractabilidade, boa resistência choque térmico e baixo coeficiente de expansão térmica. Efetivo agente endurecedor em aços nitretados.
α-BN	Excelente refractabilidade, boa resistência elétrica semicondutor a altas temperaturas. Muito bom lubrificante sólido (“grafita branca”).
β-BN	Muito duro e substituto eventual do diamante. Utilizado na composição de ligas resistentes ao calor. Excelente potencial para aplicações tribológicas.
Nitretos de Cromo e Ferro	Elevada dureza, muito boa resistência ao desgaste e corrosão e maior resistência a fadiga nos aços nitretados.
TiN e Ti₂N	Boa resistência a choque térmico e boa resistência à abrasão. Excelente para revestimento CVD e PVD. Boa resistência à corrosão.
Si₃N₄	Boas propriedades em altas temperaturas e resistência a oxidação.

(1) – “Effects of Nitrogen in Metal Surfaces” – R.F.Hochman, School of Materials Engineering, Georgia Institute of Technology, 30332-0245, USA

Nitretação

Nitretação é o processo de difusão de nitrogênio atômico na superfície de ligas ferrosas e, geralmente, a temperaturas inferiores a 590° C. A indústria metal-mecânica utiliza três processos de transporte do nitrogênio atômico para a superfície:

- **Banho de Sal** – sais fundidos de cianetos e cianatos de potássio ou sódio
- **Gás** – dissociação de amônia
- **Iônica** – mistura de nitrogênio e hidrogênio ionizados

Os processos Gás (Controlado e Automático – tecnologia Nitrex®) e Iônica estão se tornando mais utilizados devido permitir controlar o potencial de nitrogênio da atmosfera nitretante e, dessa forma, garantir repetibilidade de resultados metalúrgicos – tipos de

nitretos e morfologia - e, também, por não causar agressão ambiental – atender norma ISO 14000.

Principais Camadas na Nitretação

- “Camada Branca”

“Camada branca” ou “Camada de Compostos” são os termos utilizados para denominar a primeira camada superficial formada com os Nitretos de Ferro. Essa superfície, quando submetida ao exame por microscopia ótica e depois de adequada preparação metalográfica – polimento e ataque com reagente químico, geralmente “nital” (“ácido nítrico 5% diluído em álcool) - apresenta coloração branca devido não reagir ao reagente químico, em contraposição ao restante, e interior do material, que reage ao reagente químico, conforme ilustra a figura 1”.

A “camada branca” comporta dois tipos de nitretos de ferro:

- ✓ Nitreto Épsilon (ϵ) - $Fe_{2,3}N$ - nitreto de com teor de nitrogênio superior a 8,0% em peso e de configuração atômica HC, *frágil*
- ✓ Nitreto Gama Linha (γ') – Fe_4N - nitreto com teor de nitrogênio entre 5,9 e 6,5% em peso e de configuração atômica CFC, *dúctil*

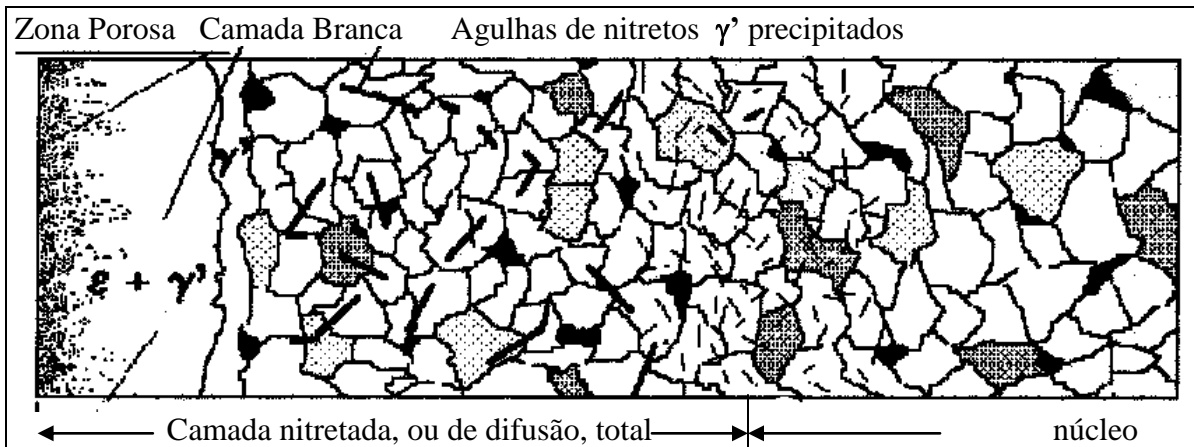
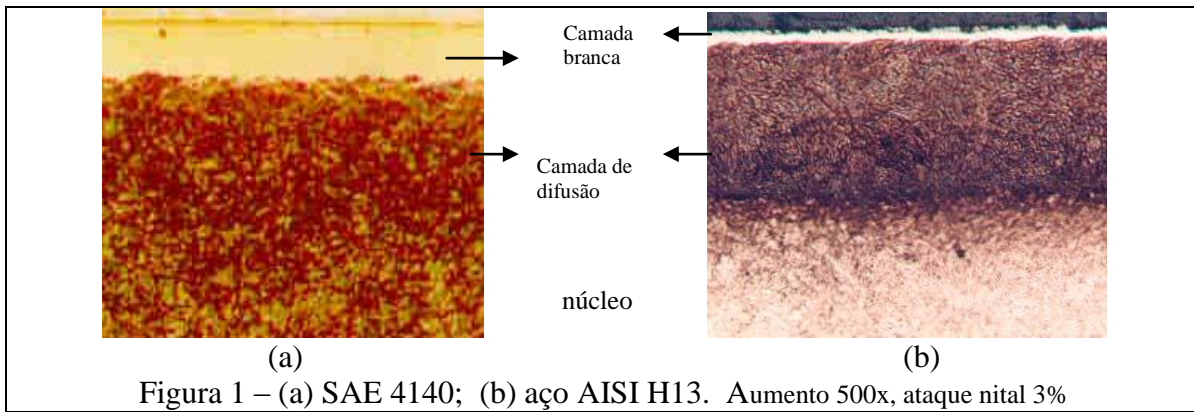
A camada branca responde principalmente pelas propriedades de resistência a desgaste e corrosão e sua espessura pode variar de 0,001 a 0,030 mm para as aplicações industriais habituais. A indústria desenvolveu um teste rápido para avaliar a presença da camada branca na superfície de liga ferrosa. Esse teste consiste na aplicação de gotas de solução de sulfato de cobre na superfície nitretada que reagirá produzindo sulfato de ferro “precipitando” cobre – de coloração “vermelha” – acusando camada inferior a 0,003mm, ou seja, para camada branca superior a este valor não ocorre a reação.

- “Camada de Difusão”

A “Camada de Difusão” refere-se à camada abaixo da “camada branca” sendo constituída de nitretos tipo gama linha (agulhas) e nitrogênio dissolvido na matriz ferrítica. Essa camada responde principalmente pela melhoria das propriedades de fadiga e sua profundidade pode alcançar até 1mm.

A figura 1 apresenta a superfície nitretada de um material – SAE 4140, - onde se observa a “camada branca” e a “camada de difusão”, sendo que a “camada de difusão” está bem visualizada para o material AISI H13 devido elevada presença de elementos de liga formadores de nitretos. Para materiais com menor presença de elementos de liga – aço carbono e construção mecânica, por exemplo - a camada de difusão não é visível ao exame por microscopia ótica, entretanto poderá ser visível – mostrar a presença de agulhas de

nitretos gama linha (γ') – após aquecimento à temperatura da ordem de 300° C, conforme ilustra a figura 2.



A Tabela 2 apresenta valores de espessura de camada branca, profundidade de camada de difusão e dureza dos principais aços nitretados utilizados na indústria metal-mecânica. Os resultados mostrados na tabela 2 referem-se à utilização de processos de nitretação iônica ou gás com controle do potencial de nitrogênio.

Tabela 2 – principais propriedades de alguns materiais ferrosos nitretados

Tipo de Material		Temperatura Nitretação °C	Dureza Superfície HV0,2	Camadas	
DIN	SAE			Branca μm	Difusão Mm
St 37-3	1020	550 - 580	300 min	10 - 30	0,3 – 0,8
C45	1045	550 - 580	350-450	10 - 30	03 – 0,8
GG25	40B	530-570	450-550	0 - 04	0,1 – 0,2
GGG60	80-55-06	530-570	500-650	4 - 10	0,1 – 0,3
16MnCr5	5115	520-550	600-750	10 - 30	0,3 – 0,8

15CrNi6	4320	520-550	600-750	10 - 25	0,3 – 0,8
67SiCr5	(mola)	<= 420	650-800	<= 4	<= 0,1
42CrMo4	4140	500-550	700-850	10 - 20	0,3 – 0,5
30CrNiMo8	4340	480-540	700 – 850	10 - 20	0,3 – 0,5
34CrAlNi7	8550	520-550	> 1000	08 - 20	0,2 – 0,8
-	P20	500-540	750-950	10 - 20	0,3 – 0,6
14CrMoV69	~S14	490-540	750-1000	15 - 30	0,4 – 0,8
X40CrMoV51	H13	480-530	1050 – 1200	4 - 10	0,1 – 0,3
X155CrVMo122	D2	480-510	> 1100	4 - 8	0,1 – 0,2

Como Especificar a Camada para Nitretação

Para maioria dos produtos de materiais ferrosos com pequena presença de elementos de liga, como “aços carbono” e “aços construção mecânica”, especificar a espessura da camada branca seria suficiente. Entretanto, em função de melhorias nas técnicas atuais de nitretação como o controle do potencial de nitrogênio – iônico e gás (Nitrex®) – a especificação pode ser bem elaborada envolvendo a “camada de difusão”, ou seja, condicionar a propriedade dureza a uma dada profundidade e, ou, combinar camada nitretada com maior camada de difusão e pouco, ou nenhuma, “camada branca”. Para ferramentas de trabalho a frio, por exemplo, com aplicação de revestimentos duros posteriormente – nitretos de cromo, ou alumínio, por processos PVD – a camada nitretada total não pode apresentar “camada branca”. Para outros materiais de elevados teores em elementos de liga, a presença, ou ausência, de camada branca depende da aplicação da peça, ou ferramenta.

A especificação da “camada de difusão” obedece a norma DIN 50190 que define profundidade de camada de difusão (NHT) como a profundidade de camada onde a dureza está 50 HV0,5 acima da dureza do núcleo.

O perfil de dureza da camada nitretada deve ser medido com carga 500g, penetrador “Vickers” ou “Knoop”.

Assim, temos a seguinte expressão para camada de difusão:

$$\text{Camada de Difusão (NHT)} = \text{Dureza de Núcleo} * + 50 \text{ HV0,5}$$

(*) medido em HV0,5

A dureza da camada na superfície deve ser medida com penetrador “Vickers”, carga 200g.

Deformação

Um aspecto importante nos projetos de componentes mecânicos – peças ou ferramentas - a ser considerado antes da modificação da superfície pela nitretação diz respeito ao tratamento térmico utilizado, anteriormente: Tempera e Revenimento; ou Alívio de Tensões.

A grande vantagem da nitretação está na mínima, ou nenhuma, variação dimensional. Para evitar efeitos deletérios como deformação, ou distorção, torna-se fundamental executar o processo de nitretação à temperatura de 30°C, pelo menos, abaixo da temperatura de revenimento. Assim, os parâmetros de tratamento térmico de tempera / revenimento, ou alívio de tensão, devem ser transmitidos ao operador do processo de nitretação para este programar o processo conforme a regra acima sugerida.

Componentes mecânicos obtidos diretamente dos processos de usinagem, ou de transformação mecânica (estampagem, forjamento) e que não prevêm o tratamento térmico de tempera e revenimento no roteiro de fabricação devem sofrer o tratamento térmico de “*alívio de tensões*” – mandatório - antes da nitretação, caso contrário as tensões decorrentes dos processos de fabricação serão aliviadas durante a nitretação, podendo resultar em alterações dimensionais e, ou, deformações acima da especificação dimensional de projeto.

A nitretação, quando executada em temperatura correta e respeitadas as condições adequadas de montagem no forno (importante!), não desenvolve deformação e, ou, distorção do componente, ou produto, mas tão somente promove modificações dimensionais da ordem de milésimos de milímetros associadas à expansão volumétrica pela adição de nitrogênio na superfície.

As superfícies nitretadas podem sofrer polimento – exigência em muitas situações - para recuperar o nível de rugosidade anterior à nitretação, sendo essa operação até facilitada devida dureza elevada e característica física da superfície.

Efeitos dos Elementos Químicos na Nitretação

A seguir, discute-se a influência dos elementos químicos das ligas ferrosas nas propriedades mecânicas das superfícies nitretadas.

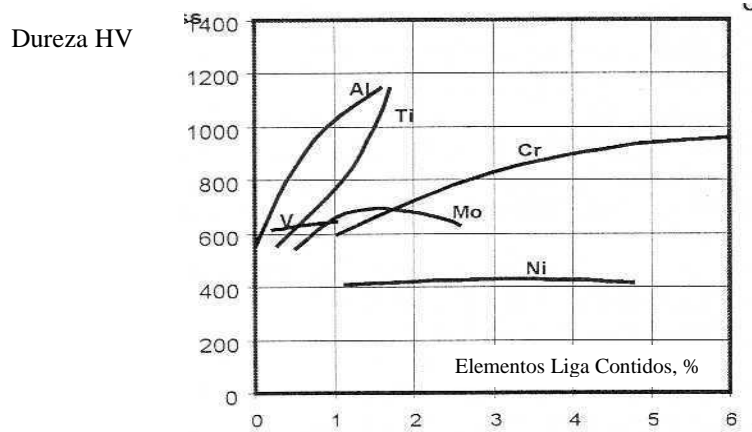


Figura 3 –Efeito dos elementos de liga na dureza do material nitretado

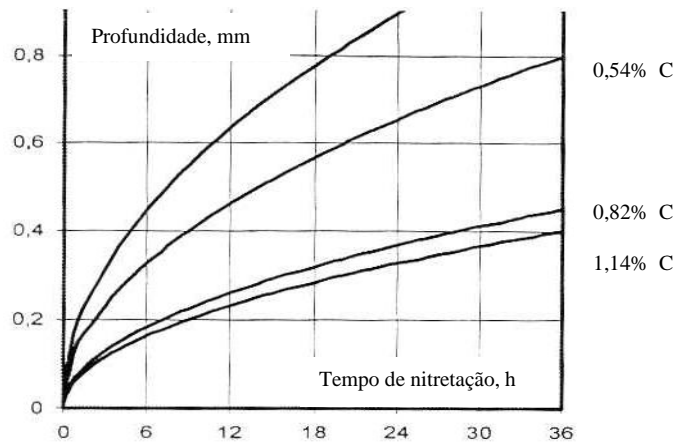


Figura 2 – Influência do Carbono contido na profundidade da camada nitretada

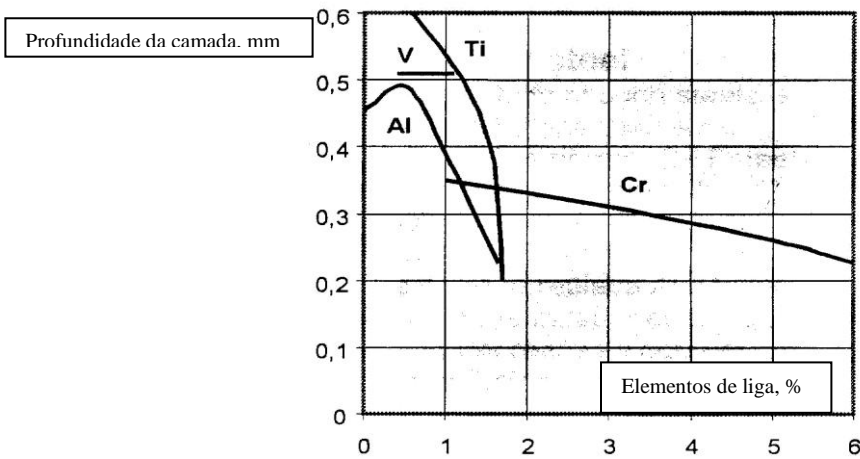


Figura 3 – Efeito dos elementos de liga na profundidade da camada nitretada

ISOFLAMA Indústria e Comercio de Equipamentos Ltda

A Tabela 3, a seguir, apresenta algumas aplicações típicas dos materiais constantes na tabela 2.

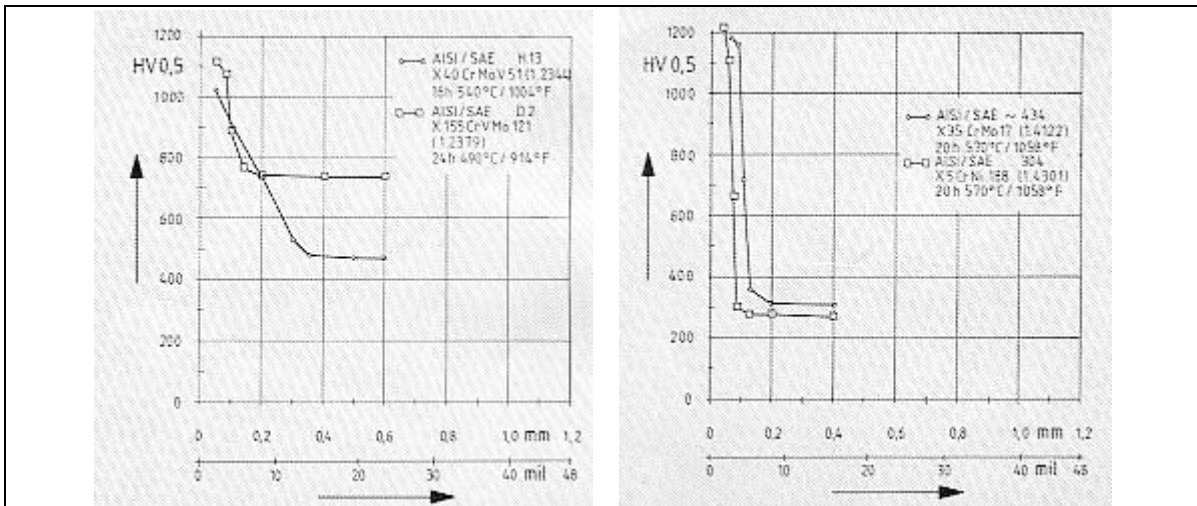
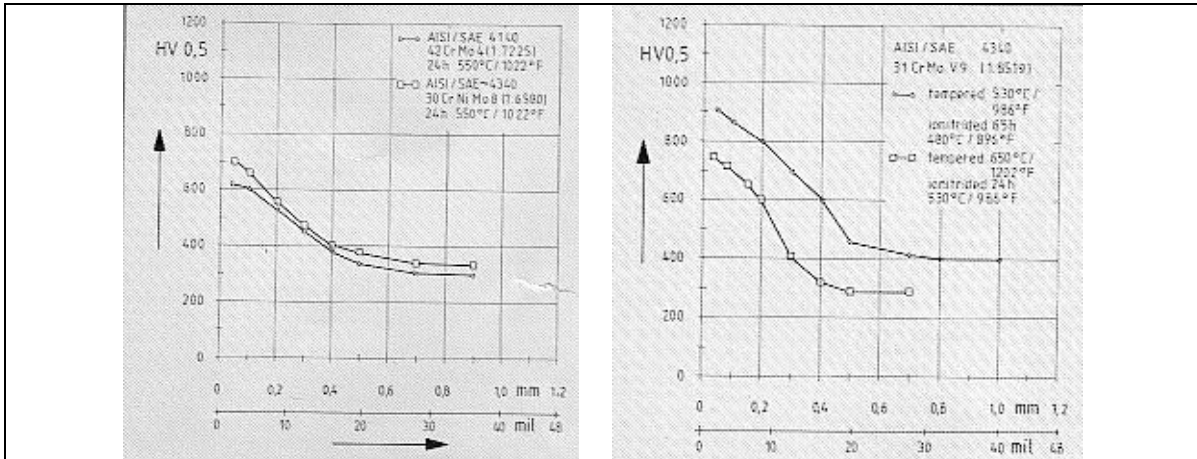
Tabela 3 – aplicações típicas da nitretação na indústria metal-mecânica

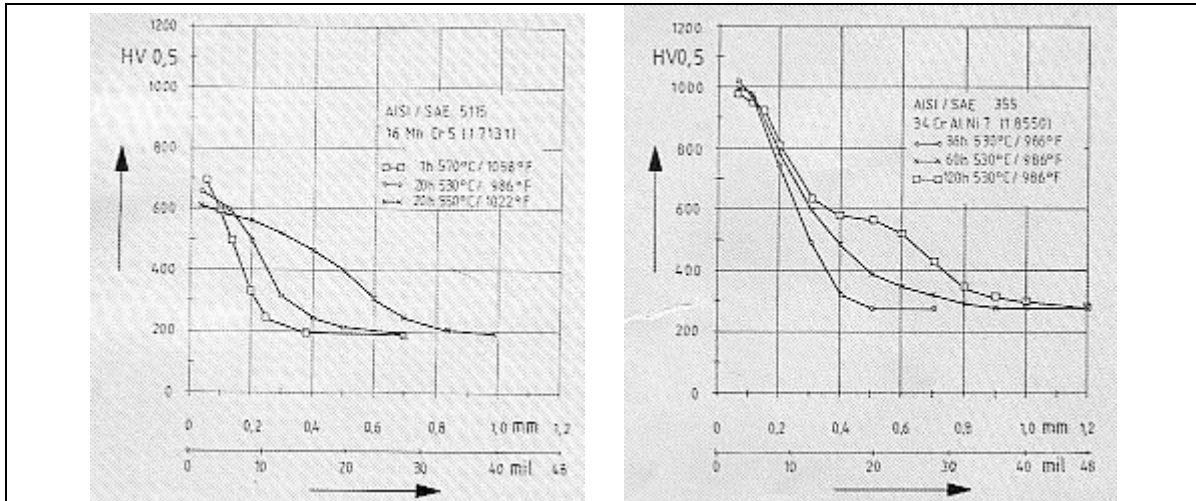
Material	Aplicações Típicas	Objetivo (melhorias de propriedades)
1020	Eixos / Mancais / Tuchos / Luvas	Corrosão / Desgaste
1045	Eixos / Amortecedores / Moldes para Plástico / Guias / Tuchos / Cursores / Luvas / Mancais / Balancins / Cilindros hidráulicos	Corrosão / Desgaste
4140	Eixos-Comando / Virabrequins / Rodas Dentadas para Redutores / Molde para Plástico / Cilindros Hidráulicos / Pinhões	Desgaste
8620	Engrenagens baixa transmissão / Pontas-de-Eixos / Mancais / Pinhões / Carcaças-Diferencial	Desgaste / fadiga
8550	Rosca Extrusora para Plástico	Desgaste
FoFo	Virabrequins / Eixos-Comando / Garfos	Desgaste
M2	Brocas / Fresas	Desgaste / Redução Atrito
P20	Molde para plástico	Desgaste / corrosão
H13	Molde para plástico / Matriz Extrusão de Al. / Matriz de Forja a Quente / Camisas / Balancins / Punções	Desgaste / corrosão
D2	Matriz para conformação a frio / Estampos	Desgaste
Inox Aust.	Anéis	Desgaste

Propriedades das Camadas Nitretadas para alguns materiais ferrosos

A seguir, apresentam-se as principais propriedades mecânicas obtidas com a nitretação para varias ligas ferrosas.

- Gradiente de Microdureza





• Fadiga

