

Tratamentos Térmicos dos Aços Ferramenta – Um Ensaio

Dr. Carlos Eduardo Pinedo
Diretor Técnico

1. Considerações Iniciais – Aços Ferramenta

Dentre os diferentes materiais utilizados pelo homem em seu cotidiano, os materiais metálicos são de longe os mais empregados, não apenas em quantidade, mas também em diversidade de aplicações. Os metais podem ser utilizados em sua forma pura, mas a possibilidade de formar ligas metálicas, combinando diferentes metais e não metais são o fator principal para o sucesso destes materiais. As ligas metálicas são classificadas de acordo com o principal metal de sua composição, por exemplo: ligas ferrosas (Fe), ligas de alumínio (Al), ligas de cobre (Cu), ligas de níquel (Ni), entre outras. De todas estas, a mais empregada na indústria são as ligas ferrosas; denominadas de aços e ferros fundidos.

Os aços correspondem às ligas ferrosas com teor de carbono (C) inferior a 2,0%, podendo ou não ter a adição de elementos de liga. Os elementos de liga mais comuns aos aços são: manganês (Mn), cromo (Cr), níquel (Ni), molibdênio (Mo), Vanádio (V) e tungstênio (W), entre outros. A combinação Fe-C e elementos de liga permite obter um conjunto amplo de propriedades como:

- Resistência à solicitação mecânica (tração, flexão, torção, fadiga, etc.),
- Resistência à fratura (tenacidade),
- Resistência ao desgaste,
- Resistência à corrosão, entre outras.

É importante saber que a otimização destas propriedades depende da combinação apropriada da quantidade e proporção de elementos de liga que são adicionados ao sistema Fe-C. Por exemplo, aços inoxidáveis (de elevada resistência à corrosão) necessitam de um teor mínimo de 11% Cr. Em conjunto ao fator composicional, os aços podem ter sua estrutura interna modificada por tratamentos térmicos, cuja diversidade é responsável por um amplo espectro de combinação de propriedades. Entretanto, não deve ser esquecido que não existe fórmula mágica para se obter o máximo para todas as propriedades simultaneamente. Os elementos de liga têm como principais efeitos:

- Promover endurecimento por solução sólida,
- Elevar a temperabilidade,
- Formar carbonetos e nitretos,
- Promover endurecimento por precipitação,
- Elevar a resistência à corrosão.

Os efeitos descritos acima podem ocorrer de forma isolada ou simultânea, dependendo da complexidade do sistema de liga utilizado. A resposta ao tratamento térmico, geralmente expressa na forma da dureza final do material depende da composição de cada aço.

Os aços ferramenta são ligas ferrosas de médio ou alto carbono com elevada quantidade de elementos de liga e são classificadas de acordo com famílias, destinadas a diferentes aplicações.

1.1 As principais famílias dos aços ferramenta são:

Aços Ferramenta Para Trabalho a Frio: utilizados em ferramentas de corte e conformação a frio, moldes cerâmicos, punções, etc.
=> AISI S1, O1, D2, D6.

Aço Ferramenta Para Trabalho a Quente: utilizados em matrizes de forjamento, extrusão de metais não ferrosos, moldes de injeção de polímeros, etc.
=> AISI H11, H12, H13, H20, DIN 1.2714.

Aços Ferramenta para Moldes: utilizados em cavidades de moldes para injeção de polímeros, com propriedades de polimento e texturização.
=> AISI P20, AISI 420 (Inoxidável).

Aços Rápido: utilizados em ferramentas de corte por remoção de cavaco.
=> AISI M2, M7, M35, M42.

Composição química dos principais aços ferramenta (% em massa).

	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Ni
O1	0,90	0,30	1,00	0,50	-----	0,50	-----	-----
D2	1,50	0,40	-----	11,50	1,00	-----	0,40	-----
D6	2,20	-----	-----	11,50	-----	0,70	0,20	-----
H13	0,40	1,00	-----	5,00	1,50	-----	1,00	-----
P20	0,36	-----	0,60	1,80	0,20	-----	-----	1,00
1.2714	0,57	-----	0,70	1,10	0,50	-----	1,10	1,65
420	0,40	-----	0,50	13,5	-----	0,25	-----	-----
M2	0,80	0,80	-----	5,00	6,00	5,00	2,00	-----

2. Tratamentos Térmicos

Os tratamentos térmicos correspondem a ciclos de aquecimento e resfriamento que controlam a transformação alotrópica do Fe- α (ferrita) em Fe- γ (austenita) e a solubilidade do C e elementos de liga nestas fases. Nos tratamentos térmicos as modificações microestruturais são controladas de modo a obter a melhor combinação entre as diferentes propriedades dos aços.

2.1 Os principais tratamentos térmicos nos aços ferramenta são:

Recozimento: com objetivo de reduzir a dureza do aço, de forma a otimizar o processo de usinagem. Em geral os aços ferramenta são fornecidos no estado recozido - esferoidizado.

Alívio de Tensões: realizado após a pré-usinagem das ferramentas para eliminar as tensões internas distribuídas de forma heterogênea, que podem gerar posterior deformação ou trinca.

Têmpera: consiste da etapa de aquecimento para austenitização e resfriamento rápido para a têmpera. Após este tratamento o aço atinge sua máxima dureza, mas mínima resistência à fratura.

Revenimento: é um tratamento de baixa temperatura, entre 200 – 650°C, no qual a estrutura do material é controlada de modo a obter a melhor combinação entre dureza, resistência à fratura e resistência à corrosão.

2.2 Tratamento Térmico de Têmpera – Principais Variáveis

Como mencionado anteriormente, a têmpera é o tratamento térmico no qual se obtém a máxima dureza do aço, promovida pela transformação martensítica. A dureza da martensita depende fundamentalmente do teor de carbono presente na liga, sendo menos influenciada pelo teor de elementos de liga. Na Figura 1, observa-se, por resultados experimentais que a dureza da martensita aumenta com o aumento do teor de carbono no aço.

Outro fenômeno importante presente no tratamento térmico de têmpera é a formação da austenita retida. Para teores elevados de carbono, a transformação martensítica não ocorre por completo e a austenita não trans-

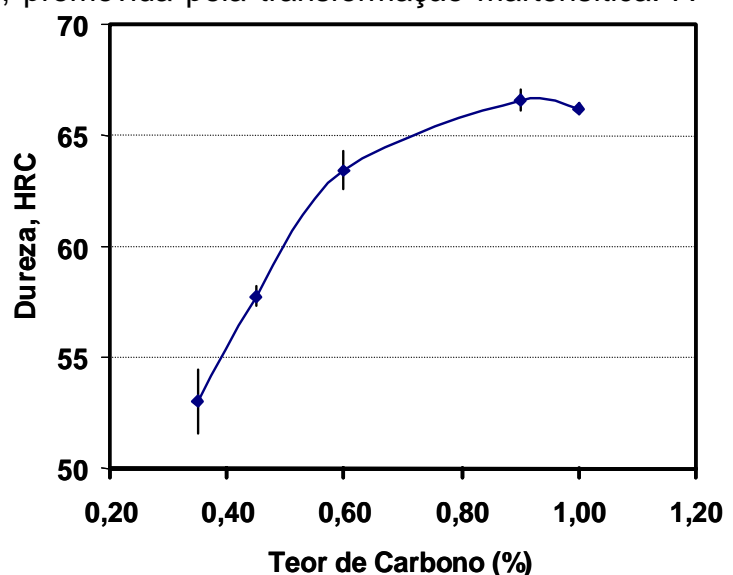


Figura 1 - Variação na dureza do aço com o teor de carbono. Sistema Fe-C.

formada (*austenita retida*) é responsável por uma diminuição de dureza, como observado na Figura 1 para teores superiores a 0,9%C.

Nos aços ferramenta, a presença da austenita retida é particularmente importante, visto que a quantidade desta fase é influenciada não apenas pelo teor de carbono, mas também pela quantidade de elementos de liga. Em geral, os elementos de liga diminuem a temperatura de transformação martensítica e colaboram para um aumento em sua quantidade. Aços ferramenta são aços de alta liga e possuem elevada fração de austenita retida, principalmente em aços para trabalho a frio e aços rápidos.

Outro fenômeno importante a ser considerado na têmpera é a **temperabilidade** do aço. Temperabilidade é a propriedade que mostra a facilidade de um aço sofrer transformação martensítica em função da velocidade de resfriamento após a austenitização. Esta propriedade é avaliada através da determinação de curvas "Transformação sob Resfriamento Contínuo" ou "TRC".

De uma forma geral, a temperabilidade aumenta com o aumento do teor de carbono e elementos de liga. Isto faz dos aços ferramenta aços de boa temperabilidade. Entretanto os processos industriais de têmpera devem considerar não apenas a velocidade de resfriamento necessária para obter uma estrutura predominantemente martensítica, de elevada dureza, mas a influência da velocidade de resfriamento na estabilidade dimensional e nas tensões internas geradas, que podem por sua vez causar **deformações** e **trincas**, respectivamente. Assim, processos como têmpera em: água, óleo, banho de sal e alta pressão de nitrogênio em forno a vácuo possuem diferentes características de resfriamento e combinam **dureza/deformação/tensão interna** de forma diferente.

A diferença em temperabilidade é a responsável pela possibilidade ou não de realizar a têmpera de aços ferramenta em fornos a vácuo. Simplificadamente, aços tipo O1, AISI D6 e carbono não são temperáveis em fornos a vácuo. Aços tipo AISI D2, AISI H13 e AISI 420 podem ser temperados a vácuo.

2.3 Tratamento Térmico de Revenimento – Principais Variáveis

2.3.1 Aços com baixo teor de elementos de liga

O tratamento térmico de revenimento é realizado imediatamente após o tratamento de têmpera. Na têmpera, objetiva-se obter elevada dureza nos aços, mas este aumento de dureza vem acompanhado de uma forte diminuição na resistência à fratura, **tenacidade**. O revenimento, portanto, objetiva obter a melhor combinação entre dureza e tenacidade.

Na têmpera a formação da martensita é acompanhada de uma elevação intensa nas tensões internas do aço, provocada pela supersaturação de carbono. No revenimento este nível de tensões é controlado por meio da precipitação de carbonetos que ocorre nas temperaturas do processo, considerando também o tempo de tratamento. A resposta ao revenimento depende ainda da composição

química do aço ferramenta, basicamente da quantidade de elementos de liga formadores de carboneto: cromo, molibdênio, vanádio e tungstênio.

Em aços ferramenta com baixa quantidade destes elementos de liga a dureza no revenimento diminui constantemente com o aumento na temperatura de processo. A Figura 2 mostra a curva de revenimento do aço ferramenta para trabalho a frio AISI O1. O aço ferramenta para trabalho a quente tipo DIN W.Nr 1.2714 apresenta comportamento similar. O teor de elementos de liga formadores de carboneto nestes aços não é suficiente para promover o endurecimento secundário o que obriga estes aços a sofrer revenimento a baixa temperatura, da ordem de 200 - 250°C, para se obter a dureza especificada ao trabalho da ferramenta. Nestas condições, a queda de dureza é decorrente apenas do alívio de tensões da martensita, em baixa intensidade, o que mantém um baixo nível de tenacidade.

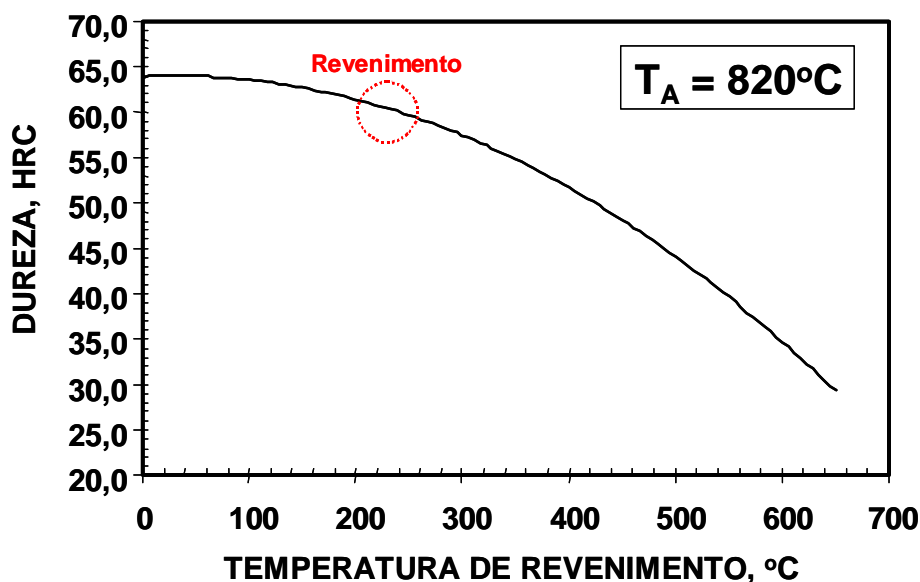


Figura 2 - Curva de revenimento do aço ferramenta tipo AISI O1.
Curva experimental Heat Tech.

2.3.2 Aços com elevado teor de elementos de liga

Em aços com elevado teor de elementos de liga formadores de carboneto, o revenimento ocorre com a presença do fenômeno de endurecimento secundário. O endurecimento secundário ocorre em torno de 500°C sendo responsável por um aumento adicional na dureza. Este aumento de dureza ocorre pela precipitação de carbonetos de elemento de liga sub-microscópicos.

A Figura 4 mostra a presença do endurecimento secundário em aços ligados ao molibdênio (Mo). Observa-se que a intensidade do pico de endurecimento secundário é função da quantidade do elemento de liga presente no aço.

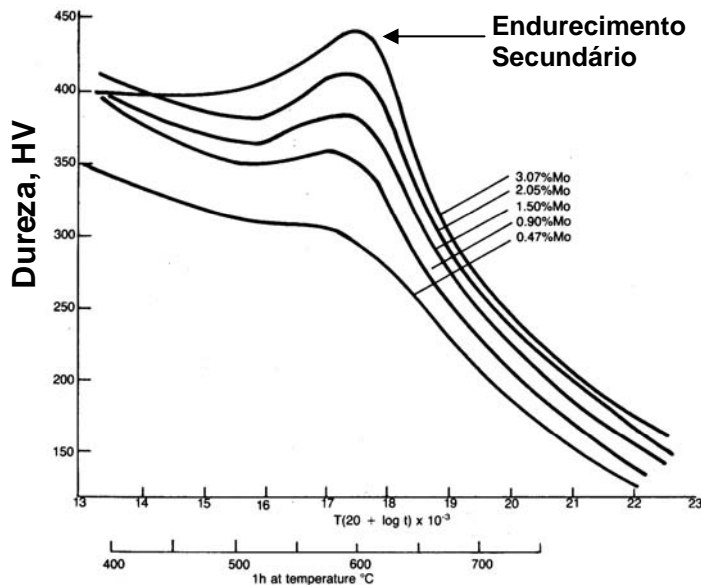


Figura 4 – Curva de revenimento de aços com diferentes teores de molibdênio.

O endurecimento secundário está presente na maior parte dos aços ferramenta. Entretanto, é importante salientar, que o fenômeno do endurecimento secundário é dependente da temperatura de austenitização. Quanto maior a temperatura de austenitização, maior será a quantidade de carbono e elemento de liga em solução e maior será a intensidade do endurecimento.

No aço ferramenta tipo AISI D2 este fenômeno é particularmente importante, pois define diferentes condições de tratamento térmico. A Figura 5 mostra as curvas experimentais de revenimento do aço ferramenta AISI D2 em diferentes para temperaturas de austenitização. Quando a temperatura de austenitização é baixa, a intensidade de endurecimento secundário também o é, obrigando o aço a ser revenido na faixa de 200-250°C para atingir o nível de 60 HRC de dureza. O aumento na temperatura de austenitização intensifica o endurecimento secundário e neste caso o revenimento pode ser realizado tanto a baixa temperatura quanto em temperaturas superiores a 500°C, atingindo sempre o nível de 58 - 60 HRC.

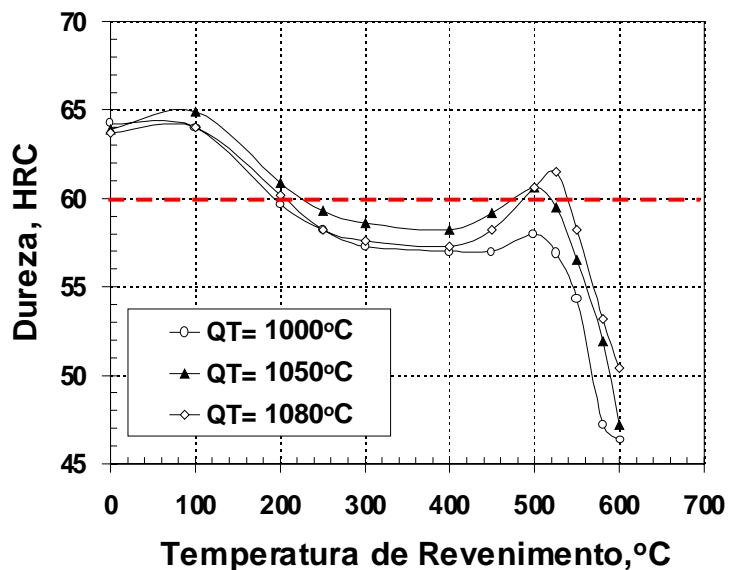


Figura 5 – Curvas de revenimento do aço ferramenta AISI D2 em diferentes temperaturas de austenitização.

2.3.2 Resistência à fratura após revenimento

A escolha de diferentes temperaturas de revenimento tem influência acentuada sobre a tenacidade dos aços. Em baixas temperaturas de revenimento a queda de dureza é consequência apenas do alívio de tensões na rede cristalina da martensita. Por consequência a tenacidade sofre pouca influência do tratamento térmico, permanecendo baixa. Quando o revenimento é realizado em temperaturas superiores a 500°C, a intensa precipitação de carbonetos, causa uma retirada extensa de carbono da martensita e promove uma elevação sensível na resistência à fratura. A Figura 6 mostra qualitativamente como este fenômeno se apresenta em aços de baixa liga. Na faixa de revenimento de 250°C a resistência ao impacto é muito inferior aquela verificada para o revenimento acima de 600°C. Neste caso, é importante executar revenimentos sempre em temperaturas superiores a 550°C.

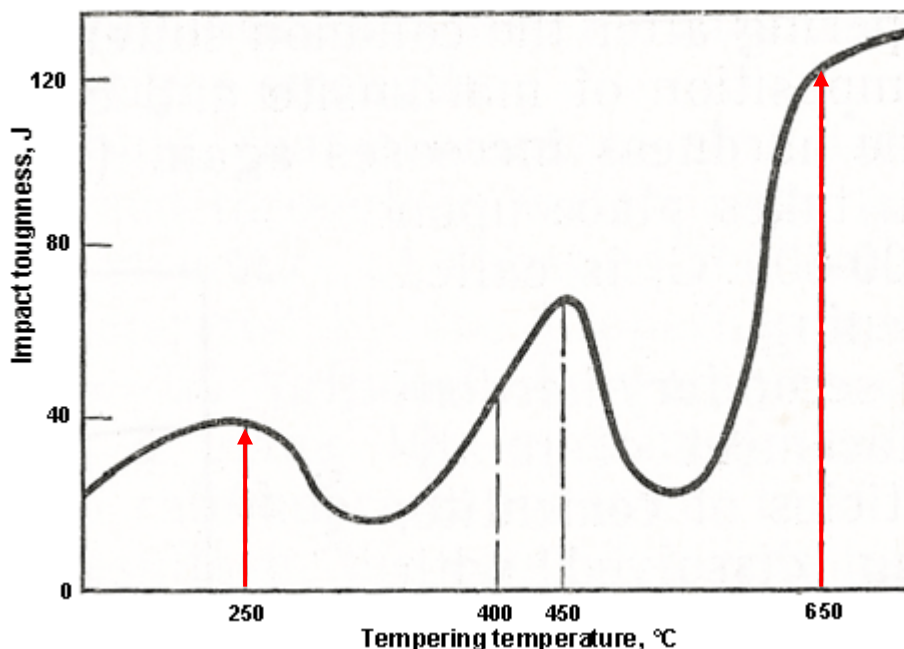


Figura 6 - Variação da resistência ao impacto de aços baixa liga com a temperatura de revenimento.

No caso de aços ferramenta com baixo teor de elementos de liga e médio teor de carbono, como o tipo W.Nr 1.2714, o revenimento em temperaturas elevadas é o único indicado, mesmo pelos catálogos dos principais fabricantes deste aço. Este aço é indicado para trabalhar em uma dureza meia de 40 HRC, correspondendo a uma temperatura de revenimento próxima de 600°C, ver Figuras 3 e 6, exibindo a combinação ótima entre resistência (dureza) e tenacidade. Caso este aço venha a ser revenido em temperatura baixa, objetivando uma resistência (dureza) superior, este procedimento conduzirá a tenacidades inferiores, deixando o ferramental mais suscetível a trincas prematuras.

Resultados experimentais mostram a variação da resistência ao impacto de no aço AISI 4140 em função de diferentes condições de tratamento térmico. A Figura 7 mostra que a tenacidade após a têmpera é mínima, e deverá ser mantida em valores baixos para revenimentos a baixa temperatura. O uso de revenimentos em temperaturas elevadas, como esperado, promove um forte aumento na resistência ao impacto, como considerado na Figura 6.

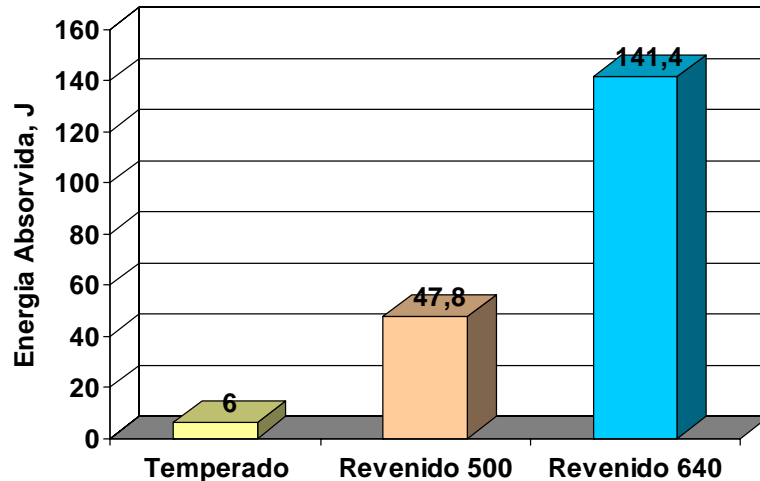


Figura 7 - Variação da resistência ao impacto no aço AISI 4140 em diferentes condições de tratamento térmico

Este comportamento está presente mesmo nos aços ferramenta de alta liga que exibem endurecimento secundário. Verificamos experimentalmente que a tenacidade do aço AISI D2 é inferior quando o revenimento é realizado em temperaturas da ordem de 200-250°C, quando comparado com revenimento acima de 500°C, como mostrado na Figura 8. Neste caso, a escolha da temperatura de revenimento deve ser considerada em função de diversas outras características metalúrgicas e particularidades dos diferentes ferramentais.

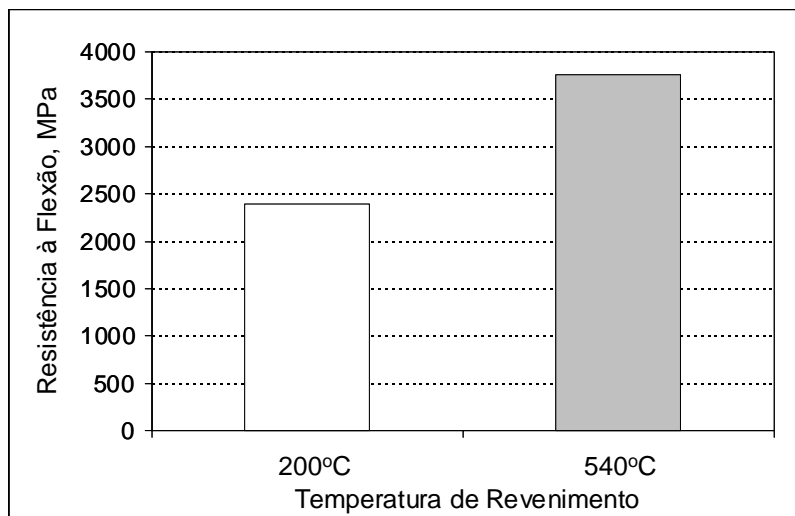


Figura 8 - Variação da resistência ao impacto no aço AISI D2 em diferentes condições de tratamento térmico.

O revenimento também desempenha papel importante no controle da resistência à corrosão do aço inoxidável martensítico tipo AISI 420, utilizado em moldes para injeção de polímeros e borrachas, sujeitos a atmosferas ácidas ou úmidas em serviço. No caso do aço AISI 420 também existe a possibilidade de realizar o revenimento em duas faixas de temperatura, como mostrado na Figura 9. O revenimento pode ser realizado a baixa temperatura, na faixa de 200 – 250°C ou acima do pico de endurecimento secundário, acima de 500°C. Nestas duas condições a dureza atingida é superior a 49 HRC.

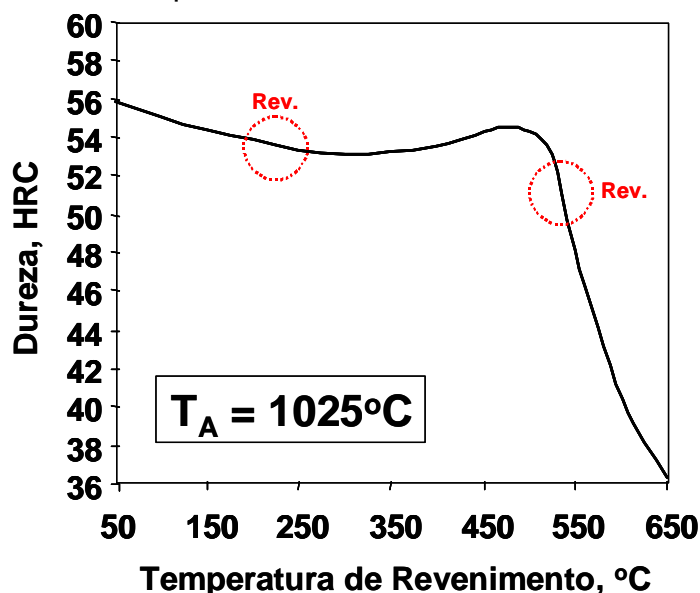


Figura 9 – Curva de revenimento do aço inoxidável AISI 420.

A opção entre uma temperatura e outra pode estar relacionada à resistência à corrosão, ou vantagens de processo. A Figura 10 mostra que, em meio ácido, a resistência à corrosão do aço AISI 420 é superior quando o revenimento ocorre em torno de 200°C, em relação ao revenimento realizado a 500°C. É importante salientar que em ambos os ciclos de revenimento a resistência à corrosão é sempre superior àquela apresentada pelo aço no estado recozido (resultados experimentais).

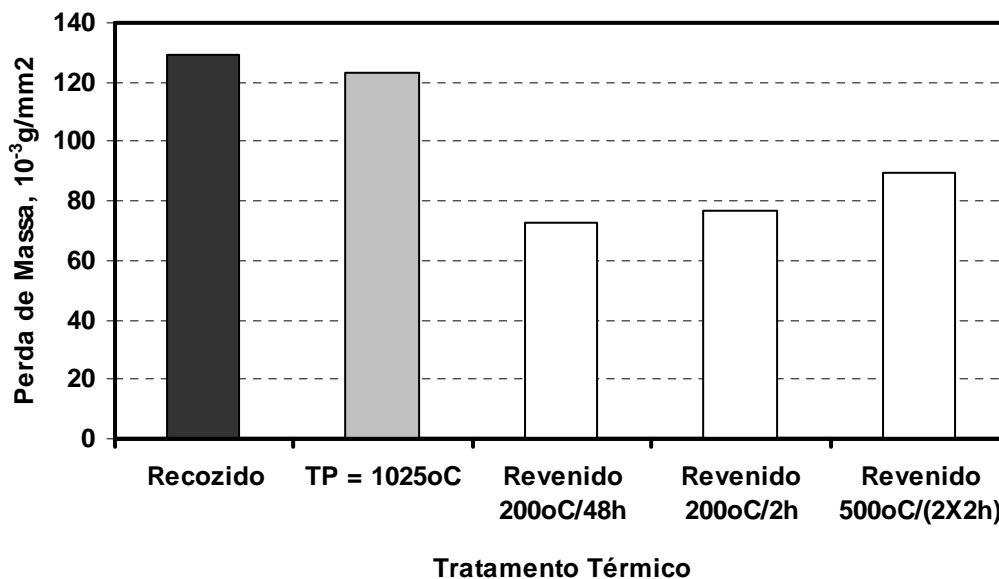


Figura 10 – Resistência à corrosão do aço AISI 420 após têmpera e diferentes condições de revenimentos.

Outro fator importante na seleção da temperatura de revenimento é a tenacidade necessária a ferramenta de injeção. A possibilidade de revenir em temperaturas próximas ao pico de endurecimento secundário permite uma opção de tratamento térmico por um ciclo de "alta tenacidade", similar ao desenvolvido para o aço AISI D2. Nesta condição, a Figura 11 mostra que; para uma mesma faixa de dureza objetivada, por exemplo, 48 – 50 HRC, é possível realizar um revenimento em torno de 520°C. Com isso, se alia dureza e resistência à fratura. O uso de durezas inferiores a 48 HRC necessita de temperaturas de processo situadas na região de queda brusca de dureza na curva de revenimento, Figura 11, e torna o controle do processo crítico.

Frente a estas considerações, a melhor combinação entre elevada dureza e boa tenacidade deve ser realizada por ciclos de tratamento térmico que utilizem; elevada temperatura de revenimento e não baixa dureza final. Com este processo a resistência à corrosão ainda é mantida em níveis aceitáveis para a maioria dos moldes de injeção de polímeros.

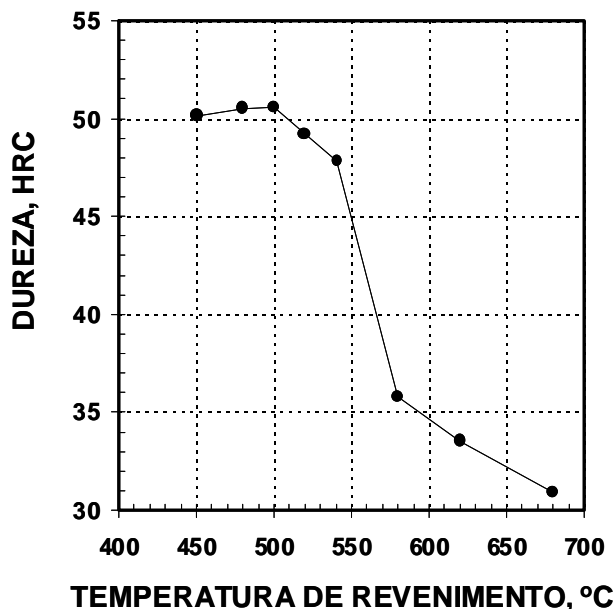


Figura 11 – Curva de revenimento experimental para o aço estudado.

A Figura 12 apresenta, de forma qualitativa a variação das propriedades dos aços inoxidáveis martensíticos em diferentes condições de tratamento térmico.

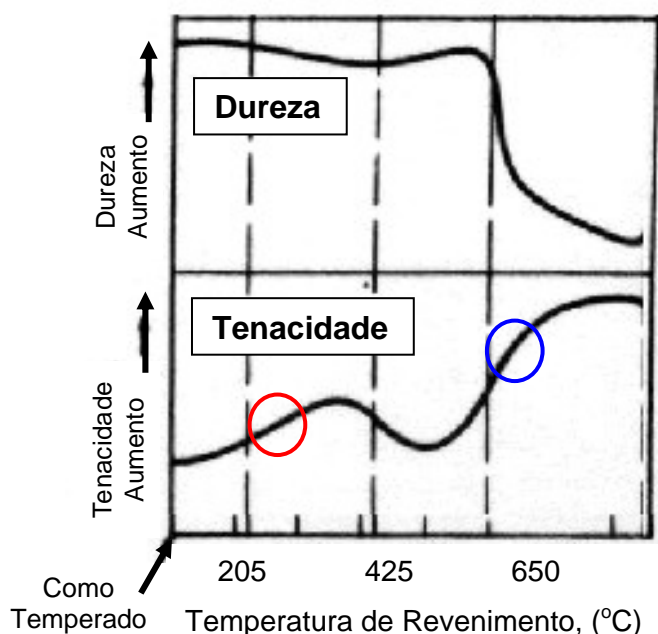


Figura 12. Revenimento em aços inoxidáveis martensíticos.

Observa-se que a tenacidade em torno de 200°C, círculo vermelho, é inferior a tenacidade no revenimento em temperaturas acima do pico de dureza secundária, círculo azul. Esta Figura mostra a importância de utilizar a correta temperatura de revenimento para atingir a melhor combinação entre: resistência ao carregamento (dureza), resistência ao desgaste, resistência à fratura e resistência à corrosão.

Figura 12 - Variação da dureza e da tenacidade de aços inoxidáveis martensíticos com a temperatura de revenimento

3. Tratamentos Superficiais

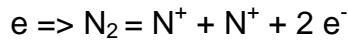
3.1 Nitretação sob Plasma

A ação do desgaste e a corrosão de superfícies têm sido um dos principais fatores de fim de vida de diferentes componentes dentro dos mais diversos segmentos industriais, principalmente na indústria Metal-Mecânica. Recentemente, vem sendo realizado um esforço crescente para solucionar problemas de desgaste pelo uso de tratamentos superficiais, sendo esta uma técnica eficaz para elevar as propriedades superficiais de ferramentas e componentes mecânicos.

O tratamento superficial de nitretação sob plasma é definido como um tratamento termoquímico que envolve a introdução de nitrogênio na forma atômica, por difusão, no interior do reticulado cristalino de ligas ferrosas, no campo de estabilidade da ferrita, em temperaturas normalmente na faixa de 400 a 590°C. Conseqüentemente, no processo de nitretação não ocorre nenhuma transformação de fase que não esteja relacionada com a precipitação de nitretos ou carbonitretos, quando presente também o carbono na liga ou no meio nitretante.

Nas condições usualmente empregadas nos processos comerciais de nitretação gasosa e líquida, a microestrutura da superfície nitretada é normalmente formada por duas regiões distintas, a partir da superfície: (i) a camada de compostos, denominada também de camada branca, por seu aspecto ao microscópio óptico e (ii) a zona de difusão, logo abaixo da camada de compostos que se estende em direção ao núcleo do substrato. As principais melhorias de propriedades obtidas com o uso do tratamento termoquímico de nitretação, que se refletem em um aumento do desempenho de peças, são: elevação da dureza superficial e resistência ao desgaste; alta resistência ao revenimento e elevada dureza a quente; melhoria na resistência à corrosão e elevação da resistência à fadiga (inclusive fadiga térmica).

O princípio do processo de Nitretação sob Plasma consiste na produção do nitrogênio nascente, pela aceleração de elétrons através de um campo elétrico, conferindo-lhes energia suficiente para permitir a reação.



O processo de Nitretação sob Plasma, esquematizado na Figura 13, utiliza os gases: nitrogênio, hidrogênio, argônio e metano, em misturas específicas entre si. Uma vez ionizada, a mistura gasosa atua como meio nitretante e agente de aquecimento.

No reator de plasma a energia é fornecida ao sistema por uma fonte de tensão pulsada. Os pulsos têm duração entre 50-200 μs e repetição do ciclo entre 50-2000 μs , com forma de onda quadrada. O controle da pressão interna do reator é realizado por uma válvula conectada ao sistema de vácuo. O processo de nitretação inicia-se pela aplicação de uma diferença de potencial entre dois eletrodos.

Os eletrodos são compostos

pela parede do reator, que atua como anodo (+) e pelo substrato, peça a ser nitretada, que atua como catodo (-). Quando uma determinada diferença de potencial é aplicada entre os dois eletrodos, posicionados dentro de uma mistura gasosa em condições de temperatura e pressão específicas, pode ocorrer a geração de uma descarga brilhante, "glow discharge", que determina a ocorrência do plasma.

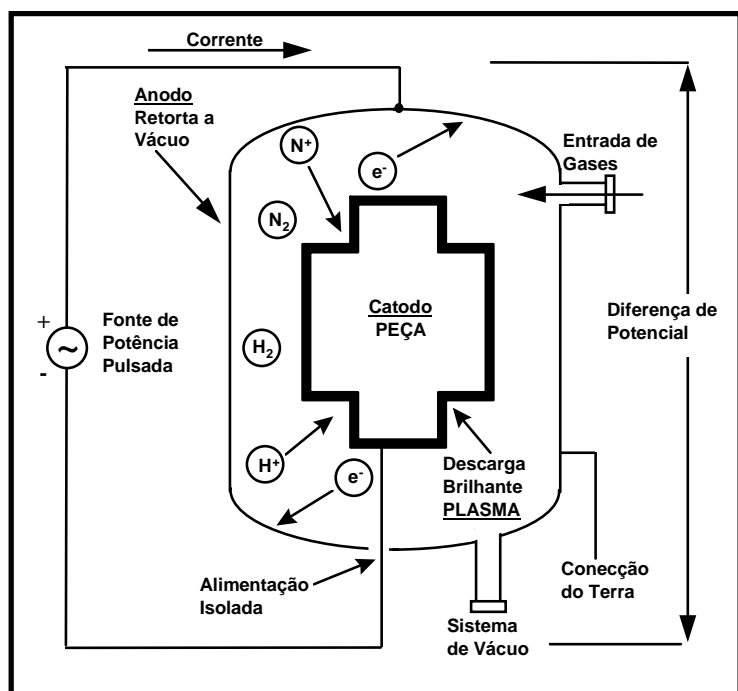


Figura 13 - Esquema de um reator de Nitretação por Plasma.

A versatilidade do processo de Nitretação sob Plasma em permitir a obtenção de superfícies nitretadas com características metalúrgicas projetadas é com certeza sua principal vantagem, principalmente quando comparada aos processos tradicionais. Com uma seleção adequada dos principais parâmetros de nitretação como: temperatura, tempo e composição da mistura gasosa nitretante, é possível projetar a microestrutura da superfície nitretada a fim de obter ou não a camada de compostos. Ou seja, é possível nitretar o aço ferramenta apenas com a Zona de Difusão.

O controle da composição gasosa reside na possibilidade de gerar plasmas a partir de misturas controladas de gases puros de: nitrogênio (99,999%), hidrogênio (99,999%), argônio (99,9%) e metano (99,6%). A Figura 14 mostra as principais modificações da superfície nitretada por plasma a partir do controle destes elementos. Observa-se que uma elevação da quantidade de nitrogênio na mistura gasosa leva a formação da camada de compostos e controla qual o tipo de nitreto que a compõe. A adição de metano ao gás estabiliza o nitreto tipo ϵ .

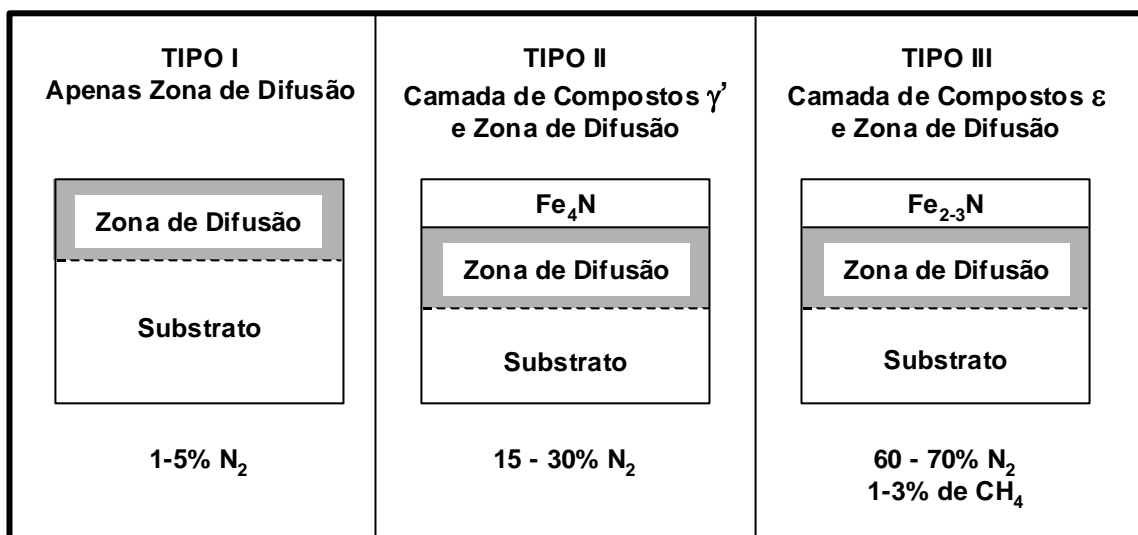


Figura 14 – Configurações da metalurgia da superfície nitretada em função da composição gasosa presente no plasma.

A Figura 15 apresenta o controle sobre a estrutura da superfície nitretada em um aço ferramenta para trabalho a quente do tipo AISI H13 nitretado sob diferentes potenciais de nitrogênio na mesma temperatura e tempo de processo. Observa-se que a utilização de baixos potenciais de nitrogênio na mistura gasosa é eficiente para suprimir a formação da camada de compostos e a precipitação de nitretos em contornos de grão.

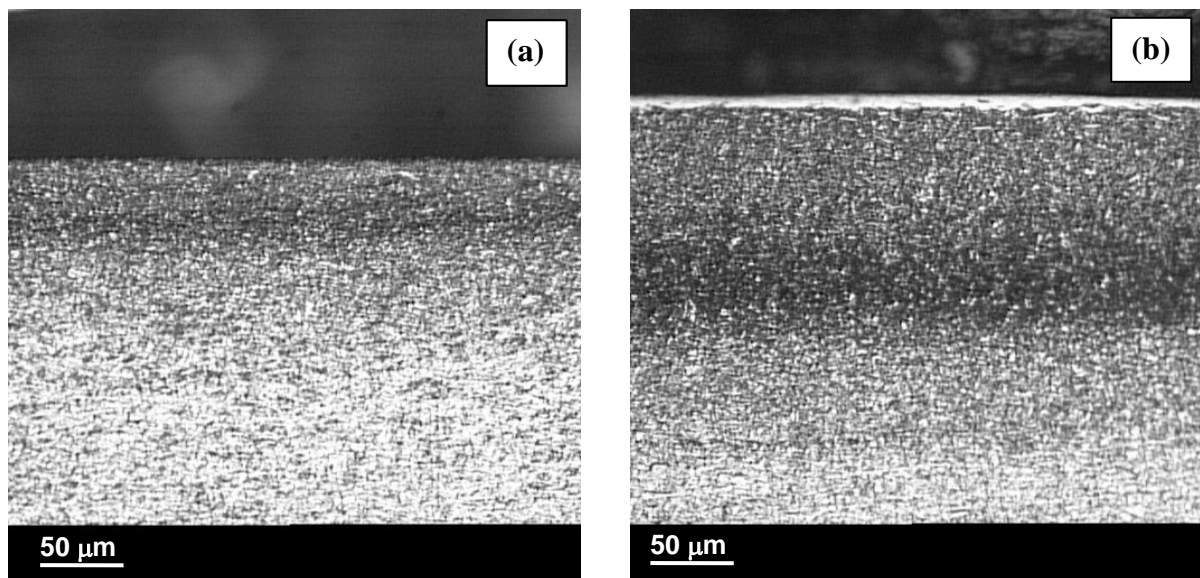


Figura 15 – Microestrutura superficial do aço AISI H13 após Nitretação sob Plasma em baixo potencial de nitrogênio (a) e em potencial elevado (b).

A possibilidade de nitretação sem o aparecimento de camada de compostos, importante principalmente no que se refere ao comportamento sob fadiga, mecânica ou térmica. Trabalhos recentes mostram que existe uma condição “limite de potencial” de nitrogênio e tempo de tratamento para a obtenção de superfícies isenta de camada de compostos. O tratamento de nitretação em que se elimina a camada de compostos é denominado de nitretação brilhante. A nitretação brilhante é favorecida por baixos potenciais de nitretação e/ou tempos curtos de tratamento, o que deve influenciar diretamente no tempo de incubação necessário para a nucleação da camada de compostos.

Estudos recentes sobre a nitretação sob plasma em aço ferramenta destinados a tratamentos dúplex, posterior revestimento com TiN, permitiram determinar a curva das condições limites de nitretação para a eliminação da camada de compostos. Os resultados de Adonias (*Tese de Doutorado – EPUSP*) são apresentados na Figura 16.

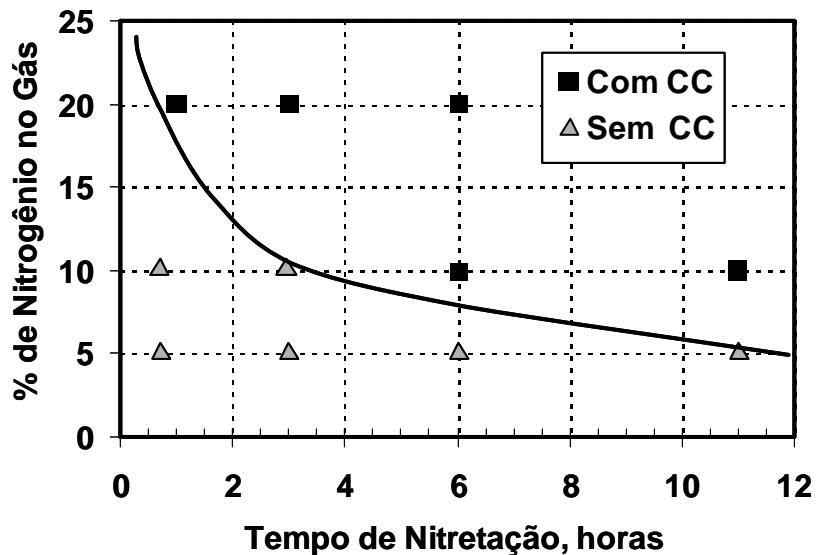


Figura 16 – Potencial de nitrogênio limite na nitretação sob plasma do aço AISI H13.

A formação da camada de compostos e da zona de difusão é acompanhada por uma elevação na dureza da superfície nitretada. A variação da dureza ao longo da zona de difusão, decorrente da precipitação de nitretos, ocorre de forma diferente de acordo com a composição química do material. A presença de elementos de liga formadores de nitreto como Al, Ti e Cr alteram o perfil de dureza na zona de difusão. A Figura 17 mostra a curva de endurecimento para os aços AISI H13 e AISI 420. Estes aços possuem teores de carbono semelhantes, mas diferentes teores de cromo. Quando o teor de Cr está abaixo de 6,0% em massa a dureza diminui gradativamente em direção ao núcleo do substrato, denotando um caráter de interação média entre Cr:N. Por outro lado, quando o teor de Cr é de 13,5% o endurecimento é caracterizado pela presença de um patamar de dureza máxima por toda a extensão da zona de difusão, comportamento característicos de interação forte entre Cr:N. No caso do cromo, a interação Cr:N depende do teor de cromo na

liga e a transição média/forte é próxima de 5,6%Cr. O maior endurecimento obtido pelo aço AISI 420 é decorrente de uma precipitação mais intensa de nitretos de cromo do tipo CrN e Cr₂N.

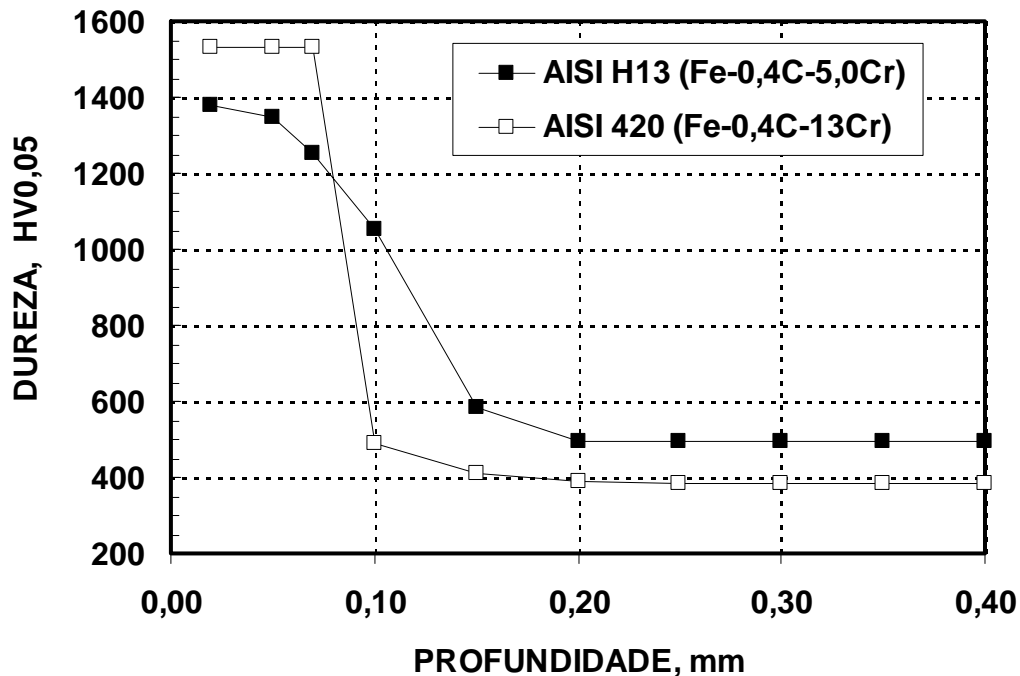


Figura 17 – Perfis de endurecimento para a Nitretação sob Plasma dos aços AISI H13 e AISI 420.

Dentre as diferentes vantagens oferecidas pela utilização do processo de Nitretação por Plasma, podem ser listadas as seguintes:

- Não causa dano ambiental ou a saúde humana,
- Fácil variação nos parâmetros do processo,
- Boa reprodutibilidade, alta flexibilidade e fácil automação,
- Eliminação da presença de poros na camada de compostos,
- Possibilidade de influenciar no tipo da camada composta (γ' e/ou ϵ),
- Possibilidade de nitretar aços com baixa resistência ao revenimento,
- Baixa variação dimensional,
- Possibilidade de nitretação localizada.

3.2 Tratamento Dúplex

Uma combinação ótima entre estes tratamentos superficiais vem sendo buscada nos últimos anos. O tratamento dúplex disponível na Heat Tech, consiste da nitretação sob plasma seguida de revestimento tribológico (tipo TiN ou outro). A combinação do tratamento termoquímico de nitretação com a deposição de PVD permite obter camadas com diferentes propriedades, gerando uma superfície onde o material apresenta uma combinação funcional de ambas para uma otimização de desempenho. Com a nitretação sob plasma prévia, o condicionamento das propriedades mecânicas da superfície nitretada, dureza e Módulo de Elasticidade, se traduz por uma elevação na capacidade de suportar carregamento mecânico, melhorando a aderência do revestimento tribológico.

A Figura 18 mostra o aumento na aderência do revestimento de nitreto de titânio, TiN, sobre o aço AISI H13 pré-nitretado sob plasma. A carga crítica "Lc1" se refere a carga de trincamento do revestimento e "Lc2" a carga de deslocamento. Observa-se que quando a nitretação é realizada sem a camada branca a carga crítica de falha aumentam e o deslocamento ocorre apenas para cargas superiores a 250 kgf. Por outro lado, quando a camada branca esta presente as cargas críticas Lc1 e Lc2 são inferiores. Por este fato, é imperioso o uso do processo de Nitretação sob Plasma na geração de superfícies dúplex, pois apenas este processo conduz, com segurança, a superfícies pré-nitretadas isentas camada branca.

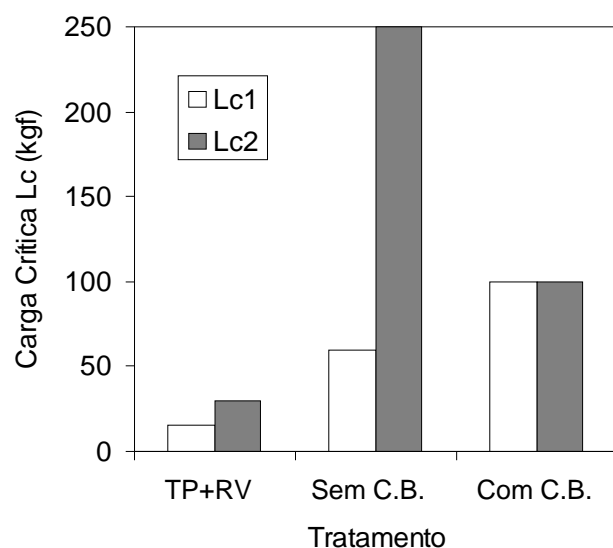


Figura 18 – Cargas críticas de trinca - mento (Lc1) e deslocamento (Lc2) do TiN em aço H13 nitretado sob plasma sem Camada Branca (CB) e com CB.