



1. Introdução

Este texto tem por objetivo discutir importantes aspectos da seleção de temperaturas de têmpera e revenimento das diferentes marcas para o aço AISI 420 em função das propriedades mecânicas que se desejaria alcançar, ou "potencializar", tais como: "dureza", "resistência à corrosão", "tenacidade" e "tensão residual".

Moldes, matrizes, ou ferramentas podem ser construídos em aço-ferramenta inoxidável martensítico com a denominação genérica de "aço 420". Os fabricantes de aços oferecem o aço AISI 420 com algumas variações na composição química para reforçar uma, ou mais, propriedades, tais como: "resistência à corrosão", "polibibilidade", "tenacidade" e "dureza". Cada um dos aços produzidos com variações na composição química indicada pela norma AISI recebe um determinado nome do respectivo fabricante. A Tabela 1 apresenta 12 diferentes composições químicas de marcas do aço AISI 420 de alguns fabricantes de aços que foram desenvolvidas para atender a determinadas condições de aplicação, desempenho, etc...

Tabela 1 – Composição química (%) e marcas de fabricantes do aço AISI 420

Marcas	C	Cr	Mo	Outros
AISI 420	0,15 - 0,40	12,0 - 14,0		
1 VC150	0,35	13,0		
2 VP420IM	0,40	13,5		0,25 V
3 420	0,15 min	12,0 - 14,0		
4 420 F	0,15 min	12,0 - 14,0	0,60 max	
5 420 FSe	0,30 - 0,40	12,0 - 14,0		Se 0,15 min
6 M310	0,41	14,3	0,60	0,20 V
7 M333	0,28	13,5	-	N
8 STAVAX ESR	0,38	13,6		0,30 V
9 STAVAX SUP	0,25	13,3	0,3	Ni 1,4; V 0,3 + N
10 THY 2190	0,40	13,50		0,25 V
11 THY 2316	0,36	16,0	1,2	
12 ESKYLOS 2083	0,35-0,45	12,50-13,50		Si e V <1,00

Legenda:

- 1 e 2 – VILLARES METALS
- 3, 4 e 5 – GERDAU
- 6 e 7 – BOEHLER
- 8 e 9 – UDDEHOLM
- 10 e 11 – SCHMOLZ-BICKENBACH
- 12 – LUCCHINI

O usuário do aço AISI 420, muitas vezes, se refere a este aço, por comodidade e, ou, simplicidade, apenas e genericamente como "420". O distribuidor de aço que compra este de vários fabricantes teria por hábito também adotar a fácil e genérica classificação de "420", ou "Inox 420", mas se solicitado pelo usuário deveria informar o nome do fabricante e respectivo "certificado de qualidade" com a descrição completa de composição química. Essa seria a melhor maneira de se prevenir contra "não conformidades" nos processos de usinagem e, ou, térmicos posteriores.

O não compromisso (involuntário!) com a origem (fabricante do aço) e composição química impacta no momento da seleção dos parâmetros do processo térmico de têmpera e, principalmente, revenimentos. O principal e desagradável efeito seria não alcançar a dureza desejada na etapa de têmpera, ou a seleção da temperatura de revenimento não corresponder a dureza esperada.

As propriedades que se busca alcançar para o aço inoxidável AISI 420 são atendidas com a realização de um correto tratamento térmico. A "dureza" do aço é uma propriedade que pode ser avaliada de maneira rápida e eficiente depois do tratamento térmico e se situar, dependendo da aplicação do aço, numa ampla faixa de 40 até, aproximadamente, 58 HRC. A busca de propriedades como "polibibilidade", "resistência à corrosão", "tenacidade" e menor "tensão residual" não poderia levar em consideração apenas a dureza do aço, pois, como se pretende mostrar aqui, não seria possível compatibilizar, por exemplo, "máxima resistência à corrosão" e "menor dureza", ou "menor tensão residual" e "máxima tenacidade". O concurso simultâneo dessas propriedades não é possível e "escolhas" devem ser feitas na seleção da propriedade de maior interesse, sem comprometer o melhor, ou o bom desempenho da ferramenta construída em aço inoxidável martensítico [1].

2. Propriedades

O tratamento térmico deve ser executado obedecendo às recomendações dos fabricantes dos aços e às condições específicas da tecnologia de aquecimento e resfriamento utilizados neste processo. A literatura técnica especializada e o fabricante de aço fornecem diagramas que retratam as propriedades e as

temperaturas recomendáveis para se obter a melhor combinação de propriedades, tais como a “resistência a corrosão”, “tenacidade”, “tensão residual” e a “dureza” e que serão discutidas a seguir.

As Figuras 1 e 2, por exemplo, mostram os diagramas que relacionam “dureza” versus “temperaturas” para o tratamento térmico de “revenimento” dos aços Stavax ESR e M310 [2] [3]. É interessante observar o comportamento desse aço à temperatura de revenimento que, à medida que a temperatura sobe até 300 °C, aproximadamente, a dureza decresce, porém sofre um incremento desta para temperaturas maiores até a ordem de 480 °C. A partir dessa temperatura (480 °C), a dureza experimenta queda abrupta para mínimos incrementos desta.

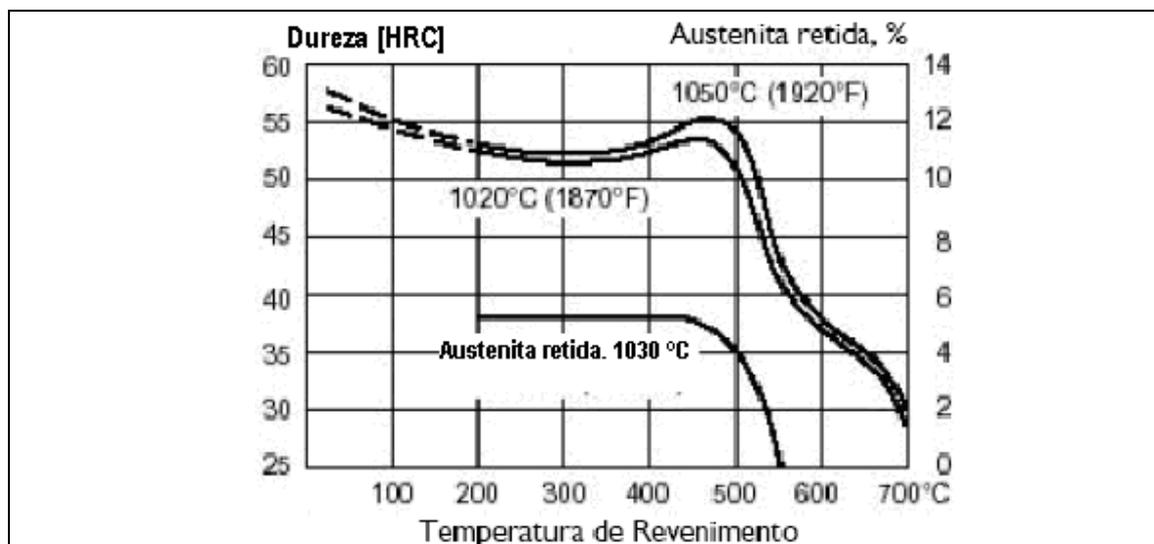


Figura 1 – Curva de dureza para o revenimento do aço Stavax ESR [2]

A zona de temperatura compreendida entre 300 e 500 °C resulta em diferentes propriedades mecânicas que podem afetar o desempenho da peça construída em aço AISI 420. Portanto, é fundamental conhecer aspectos da aplicação da peça e, principalmente, as etapas de finalização de construção desta, em termos de operações como “corte a fio”, “eletroerosão”, “nitretação” e revestimento duro tipo “PVD”, para reduzir o risco, ou mesmo não produzir, eventos não-conformes tais como “trincas”, “baixa qualidade de polimento”, menor “resistência à corrosão”, “tensão residual” elevada, etc...



A Figura 2 mostra o comportamento da dureza para o aço M310 temperado de diferentes temperaturas de "austentização" (temperatura de têmpera) [3]. Nesses casos, semelhante ao comportamento do aço mostrado na Figura 1, uma maior temperatura de austenitização eleva a curva de dureza para as temperaturas de revenimento.

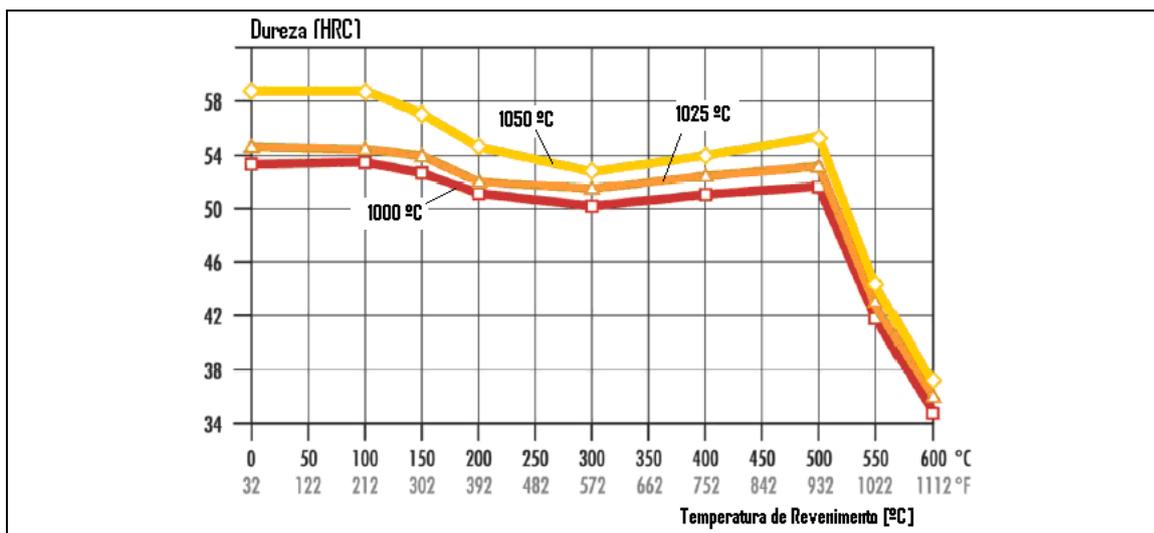


Figura 2 – Curva de dureza para o revenimento do aço M310 [3]

Importante salientar que a modificação da superfície por "nitretação" deve ocorrer em temperatura inferior a 450 °C nos casos em que a aplicação da superfície pode se tornar interessante, ou até uma exigência.

A Figura 3 mostra o comportamento da propriedade resistência à corrosão para o aço Stavax ESR. Observa-se nesse gráfico que a resistência à corrosão sofre redução com o aumento da temperatura, porém a partir de 500 °C inicia um processo de recuperação lenta dessa propriedade.

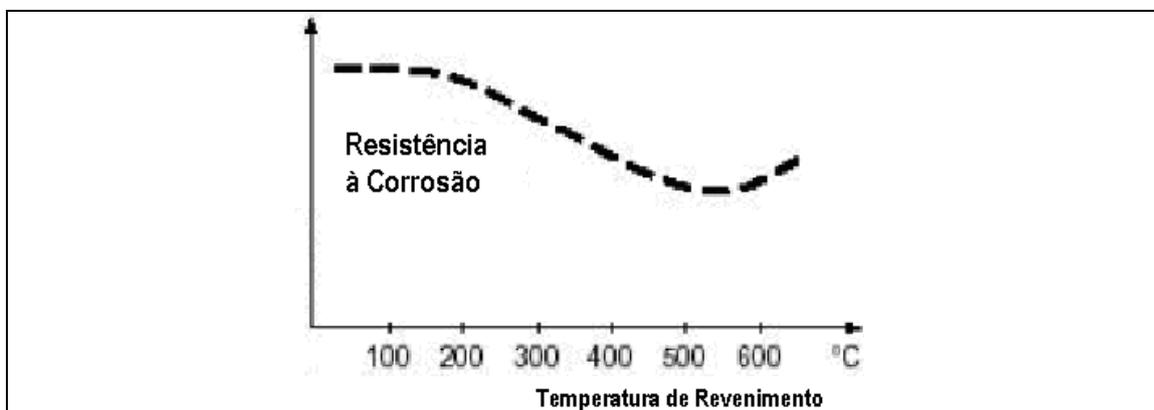


Figura 3 – Resistência à corrosão versus temperatura de revenimento do aço Stavax ESR [2]

O aço inoxidável martensítico apresenta alteração dimensional conforme se eleva a temperatura do revenimento. A partir de 300 °C o aço experimenta considerável alteração dimensional como mostrado na Figura 4 em ensaios realizados para o aço Stavax ESR.

Observa-se que essa variação dimensional é crescente conforme se eleva a temperatura de revenimento, alcançando o valor máximo na faixa de temperatura de 500 a 550 °C, justamente a faixa utilizada para quando se deseja obter dureza inferior a 50 HRC. Em decorrência disso, deve-se prever adequado sobremetal para as peças, ou ferramentas, construídas em aço inoxidável martensítico e na situação de projeto em que a dureza deve se manter inferior a 50 HRC.

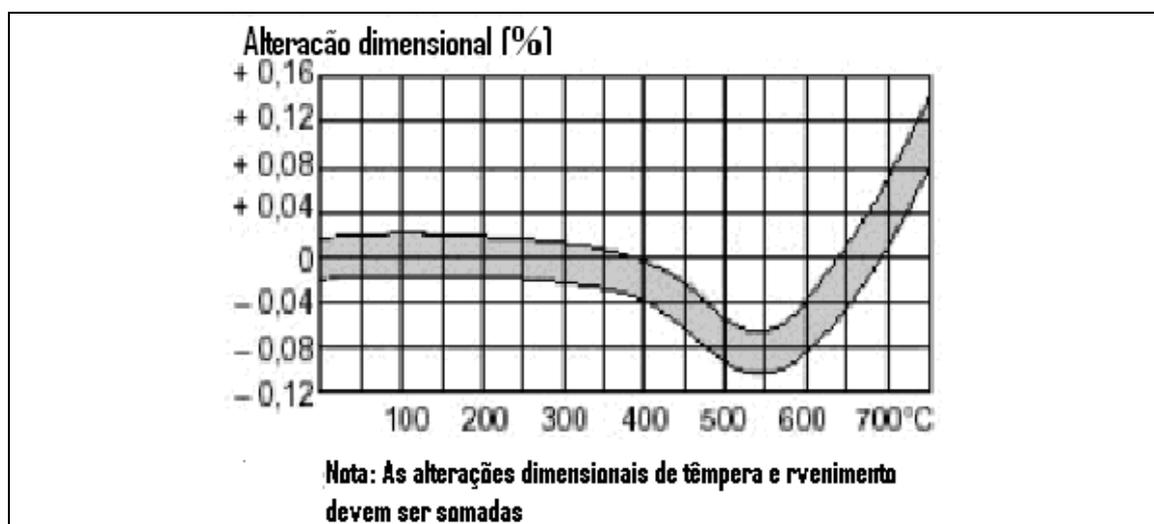


Figura 4 – Alteração dimensional em função da temperatura de revenimento [2]

A Figura 5 mostra todas as propriedades do aço 420F obtidas em ensaios destrutivos de corpos de prova para as propriedades “resistência à tração”, “limite de escoamento”, “tenacidade” e “dureza” [4].

A curva de tenacidade obtida mostra uma variação em função da temperatura de revenimento, ou seja, alcança um valor máximo em temperaturas na faixa de 250 a 300 °C para, em seguida, sofrer declínio até a temperatura próxima de 500 °C e, a partir desta temperatura a curva sofre uma inflexão na direção de crescentes valores conforme incrementa a temperatura. Em contrapartida, a curva de dureza a partir de 500 °C, como mostrado nesse diagrama, experimenta redução para pequenos incrementos da temperatura. Assim, também nesse caso, devem se



utilizar temperaturas superiores a 500 °C quando se deseja obter dureza inferior a 50 HRC.

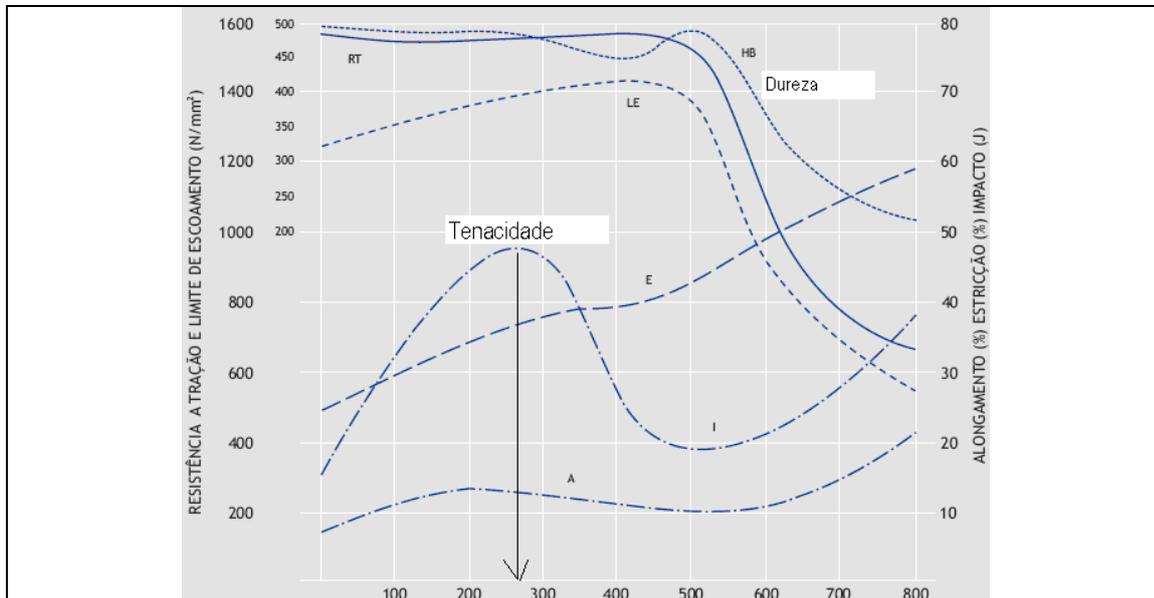


Figura 5 – Principais propriedades do aço 420 F [4].

A Figura 6 mostra o comportamento das propriedades “dureza” e “tenacidade” para o aço M333 [3]. Esse aço mostra o mesmo comportamento para as propriedades “tenacidade” e “dureza” do aço 420F em função da temperatura de revenimento, porém com valores diferentes destas.

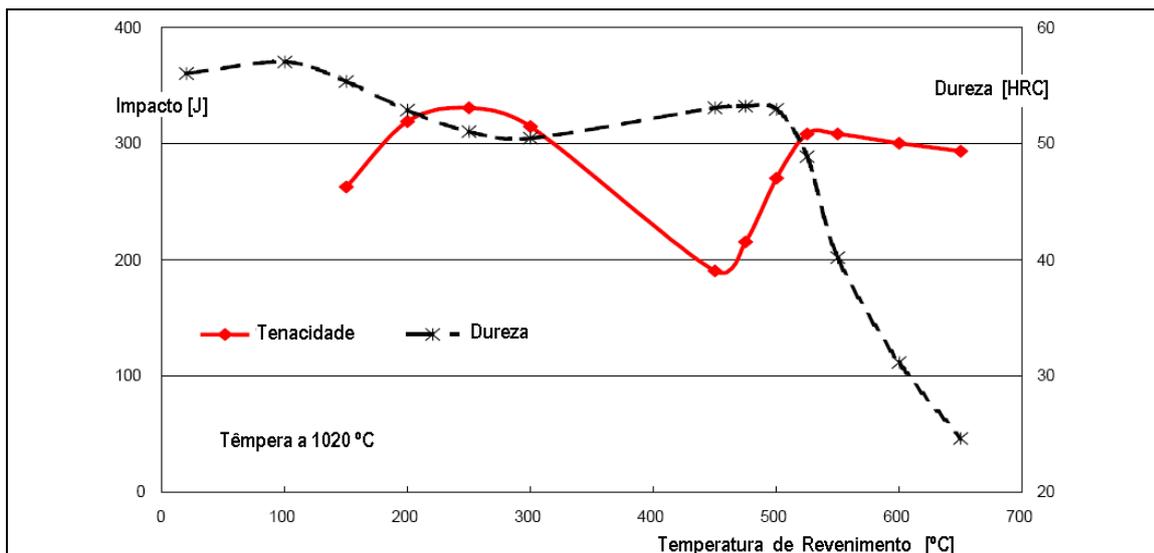


Figura 6 – Propriedades de “tenacidade” versus “dureza” do aço M333 [3]



A Figura 7 apresenta a propriedade “tenacidade” em função da temperatura de revenimento utilizada para o aço M333. O fabricante desse aço sugere que para peças compactas, ou de pequenas dimensões, estas poderiam ser utilizadas com a dureza de 54 HRC (dureza obtida na faixa de temperatura de revenimento de 200 a 300 °C), obtendo-se a condição de melhor “resistência a corrosão” e “tenacidade”. Para peças complexas, grandes, como é o caso de algumas matrizes para injeção de plástico com cavidades, canais de refrigeração, brusca mudança de forma e dimensões, a dureza recomendável, conforme sugere o fabricante desse aço, seria na ordem de 48 a 52 HRC (dureza obtida para temperaturas de revenimento superior a 500 °C) e menor quadro de tensão residual. A tensão residual é o resultado das tensões desenvolvidas durante o tratamento térmico de têmpera e revenimento e que, neste caso, são “tensões de tração” na superfície do aço [5]. O melhor tratamento térmico busca reduzir ao máximo essas “tensões de tração” na superfície. Dessa forma, para um dado tipo de peça, ou matriz, as operações finais de construção – eletroerosão, corte a fio, aplicação de revestimento duro tipo “PVD” – condicionariam a seleção da melhor temperatura do tratamento térmico da etapa de revenimento.

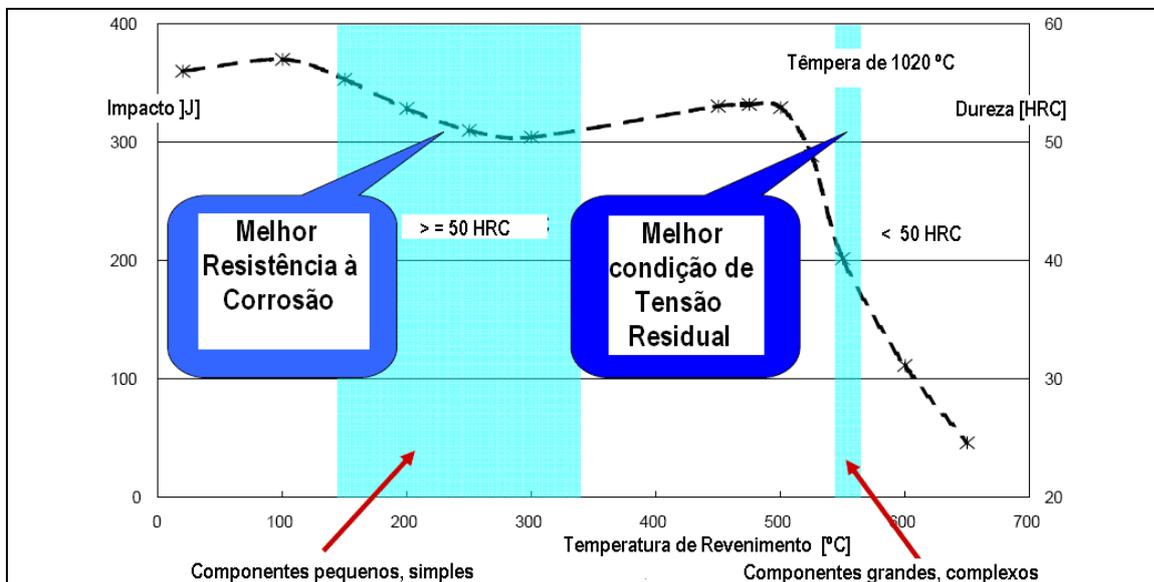


Figura 7 – Comparação das propriedades “resistência à corrosão” e “tensão residual” para o aço M333 [3]

3. Tratamento Térmico

O tratamento térmico seleciona os parâmetros de processo para atender à principal especificação dos aços e mede, a priori, o sucesso deste através do ensaio não destrutivo de "dureza". Entretanto, como se depreende da observação das Figuras 5, 6 e 7 acima, nem sempre a propriedade dureza pode espelhar o melhor resultado para propriedades como "resistência a corrosão", "tenacidade" e "tensão residual". Nas situações de pequenos componentes em que se busca "polibibilidade" e "resistência a corrosão" a temperatura de revenimento deve se situar entre 250 e 300 °C. Porém mesmo para pequenos componentes onde existem etapas posteriores tais como "eletroerosão", "corte a fio" e, ou, "revestimento duro", deve-se utilizar temperaturas de revenimento acima de 500 °C e, neste caso, não deve privilegiar a propriedade "dureza". Para se obter a melhor combinação de "resistência à corrosão" e "tenacidade", o revenimento deve ser executado na temperatura próxima de 250 °C, conforme mostrado na Figura 5 e 7, entretanto a dureza resultante será de, no mínimo, 50 HRC, o que poderia causar dificuldades na operação de usinagem posterior dependendo do equipamento a ser utilizado e aumentar, vale novamente, e insistentemente, lembrar, o risco de se produzir "trincas" caso o aço da peça, ou matriz, ainda seja submetido a operações finais de "eletroerosão" e, ou, "corte a fio".

Dessa forma, e resumidamente, as seguintes considerações poderiam ser utilizadas como critérios na determinação da melhor temperatura de revenimento, ou mesmo da melhor rota de tratamento térmico, tendo em vista alcançar o melhor desempenho da ferramenta em trabalho, ou "potencializar adequadas propriedades":

- a) Seria possível a usinagem na dureza acima de 50 HRC?
- b) Estaria prevista alguma operação de "erosão / corte a fio" depois do tratamento térmico?
- c) A superfície do aço deve sofrer modificação por nitretação e, ou, aplicação de revestimentos duros tipo "PVD" depois da têmpera e revenimento?
- d) A propriedade "resistência á corrosão" não seria relevante?
- e) A condição de "tensão residual" menor não teria muita importância?

Se a resposta é “sim” para todas as questões acima o revenimento deveria ser realizado, indubitavelmente, em temperatura acima de 500 °C. A temperatura de revenimento somente poderia estar na faixa de 200 a 300 °C se a resposta fosse “não” para os itens “b” e “c”. Assim, na seleção da melhor temperatura de revenimento é de suma importância o operador do equipamento de tratamento térmico conhecer as informações citadas acima. Harmonizar todas as propriedades como “dureza”, “resistência à corrosão”, máxima “tenacidade” e menor “tensão residual” não será possível e uma “escolha” deve ocorrer, em termos de qual propriedade se desejaria privilegiar para o aço.

A Figura 8 mostra um fluxograma com a sugestão de possíveis rotas de tratamento térmico para os aços inoxidáveis martensíticos do tipo AISI 420. A rota de tratamento térmico que contemplaria dois (2) revenimentos (*mandatório*) à temperatura, igual, ou maior a 500 °C pode tornar necessário acrescentar (*recomendável*) um tratamento térmico de alívio de tensão (~ 500 °C) se para concluir a construção do molde ainda ser necessário operações de “retífica”, “eletroerosão” e, ou “corte a fio”. Nesse caso é recomendável a realização desse tratamento de “alívio de tensão” em forno a vácuo para preservar a superfície acabada do aço da peça, matriz, ou ferramenta.

A utilização da rota com o tratamento térmico “sub-zero” e, ou “criogenia”, apesar de mais interessante em função da “redução à zero” do microconstituente “austenita” que não sofreu transformação martensítica na etapa de têmpera, para harmonizar as propriedades de “resistência à corrosão” e “tenacidade” com o revenimento na faixa de 250 a 300 °C, deve ser objeto de acurada análise, “caso a caso”, em função de elevados riscos envolvidos (trincas) nesta operação.

(Minha recomendação: molde para injeção de plástico a melhor opção seria “aços da classe trabalho a quente. Se necessário melhorar polibilidade e resistência a corrosão, introduza a Nitretação na construção do molde).

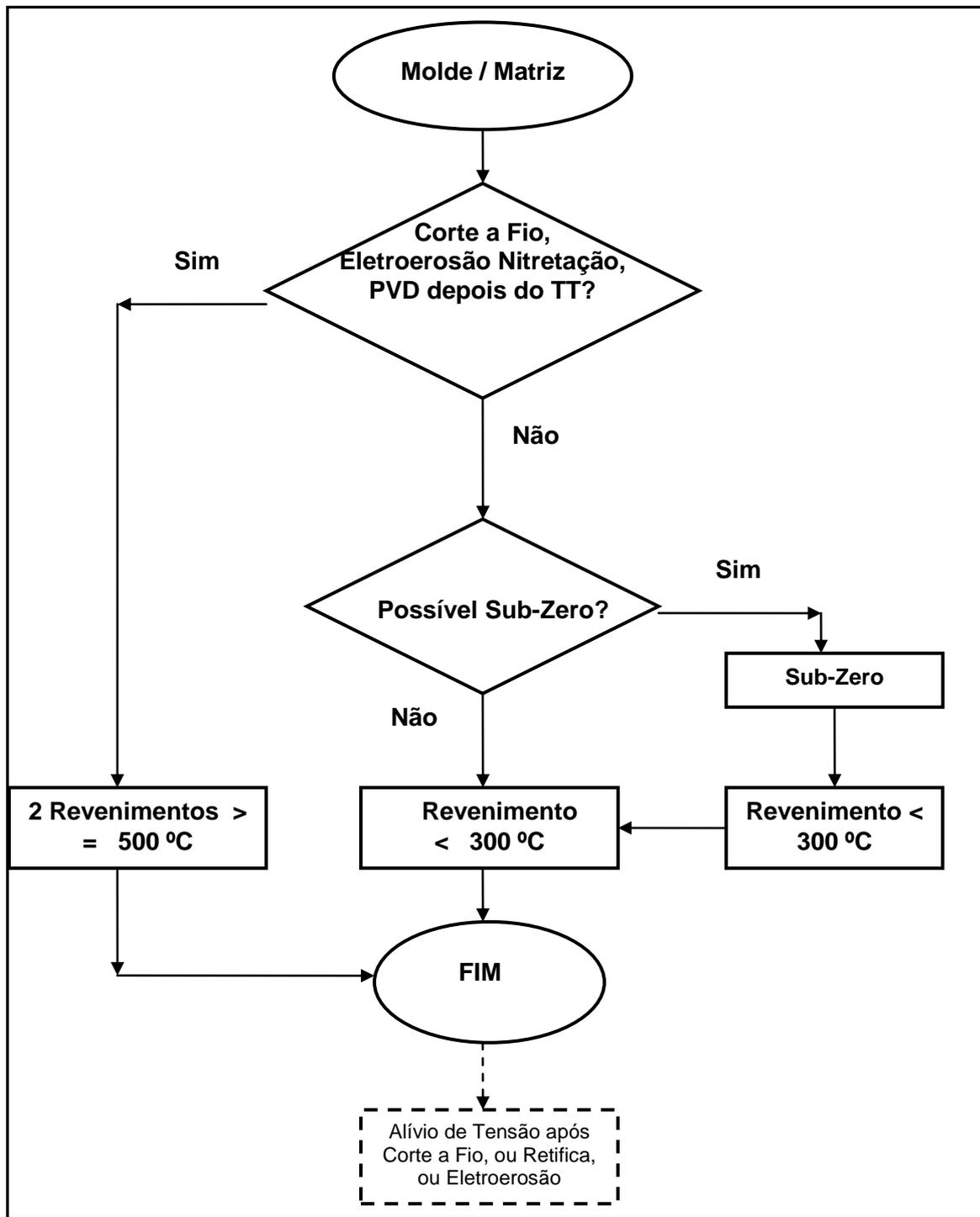


Figura 8 – Fluxograma de rotas possíveis de tratamento térmico para o aço AISI 420.

4. Conclusão

Esta breve exposição de motivos técnicos para a seleção do “melhor” aço e corretas temperaturas de têmpera e revenimentos com o objetivo de se alcançar as melhores e adequadas propriedades mecânicas do aço inoxidável martensítico para a aplicação em moldes, matrizes, ou peças, permite concluir:

- A “dureza”, a priori, não seria a principal propriedade a ser considerada no projeto da ferramenta.
- A máxima “resistência à corrosão” condicionaria a realização do revenimento na faixa de temperatura de 200 a 300 °C, o que resultaria em dureza final acima de 50 HRC e maior “tensão residual”.
- A faixa de temperatura de 200 a 300 °C proporcionaria a melhor “tenacidade”, porém com maior “tensão residual”.
- A melhor condição de menor “tensão residual” seria para o revenimento realizado nas temperaturas acima de 500 °C.
- Operações depois do tratamento térmico, tais como “corte a fio”, “eletroerosão”, “retífica”, revestimentos duros tipo “PVD”, limitação de processos de usinagem e “nitretação”, condicionaria a seleção da temperatura de revenimento de igual, ou maior, a 500 °C. Nesse caso, a dureza final pode ser inferior a 50 HRC.
- A melhor “tenacidade” para o aço M333 é alcançada com a temperatura de 300 °C;
- A condição de menor “tensão residual” do aço M333 é atingida para revenimento igual, ou superior, a 500 °C;

(para informações adicionais, contate Isoflama < isoflama@isoflama.com.br)

Bibliografia

- [1] Heat Treatment of Martensitic Stainless Steels: Critical Issues in Residual Stress and Corrosion. E.D.Doyle; F.Kolak, Y.C.; Wong and T. Randle. Faculty of Engineering and Industrial Sciences, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Victoria 3122, Australia.
- [2] Catálogo de aços Uddeholm
- [3] Catálogo de aços Boehler
- [4] Catálogo de aços Gerdau
- [5] Fadiga dos Materiais. Fem-Unicamp, Pós-graduação, Prof.I. Ferreira, 2003