



AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CICLOS DE REVENIMENTO NA TENACIDADE AO IMPACTO DO AÇO DIN 1.2767

Anderson dos Santos, andedossantos26@hotmail.com¹

Daniela Lupinacci Villanova (orientador), daniela.villanova@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹IFRS – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, Avenida São Vicente, nº 785, Bairro Cinquentenário, CEP 95174-274 - Farroupilha/RS

Resumo: A constante busca por materiais com alto desempenho em aplicações específicas impulsiona a pesquisa por tratamentos térmicos que extraiam as melhores propriedades mecânicas que o material possa oferecer. Nesse sentido, se enquadram os aços ferramenta, amplamente utilizados na indústria nos mais diversos campos de aplicação. Para esses aços são exigidas, em geral, elevada dureza e tenacidade, obtidas por tratamentos de têmpera seguidos de revenimento. O principal objetivo do revenimento é melhorar a tenacidade e aliviar as tensões do componente temperado, logo, as variáveis tempo e temperatura devem ser selecionadas cuidadosamente a fim de se obter a combinação desejada entre resistência e tenacidade. Os parâmetros dos processamentos térmicos são definidos em função do tipo do aço, mas em alguns casos, as temperaturas de revenido podem fragilizar o metal, inviabilizando sua aplicação. Essa fragilização é conhecida como fragilização ao revenido, sendo apenas perceptível em ensaios de impacto, não sendo verificada em avaliações de dureza. Além da temperatura, outro fator importante é a quantidade de ciclos de revenimento aos quais o aço será submetido, necessários para completar transformações de fase associadas ao processo, mas que não devem ser excessivas para que não haja desperdício de tempo e insumos sem ganhos significativos das propriedades desejadas. Neste contexto, a proposta deste estudo foi avaliar a influência de diferentes ciclos de revenido na tenacidade ao impacto do aço DIN 1.2767, usualmente empregado como ferramentas para trabalho a frio. Assim, grupos de corpos de prova foram submetidos a diferentes temperaturas e números de ciclos de revenimento. Para caracterização destes grupos realizou-se ensaios de dureza e impacto. Constatou-se que nos grupos em que houve ciclo de revenimento à 250°C ocorreu fragilização, mesmo a dureza sendo inferior aos grupos tratados somente à 150°C. Não foi observada variação significativa na absorção de energia nos grupos revenidos à 150°C, identificando ciclos de revenimento desnecessários.

Palavras-chave: aços-ferramenta, fragilização, revenimento, têmpera, tenacidade ao impacto.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a gama de materiais existentes bem como suas devidas aplicações é imensurável, e a escolha do material correto para construção de componentes é um importante fator que influenciará no desempenho e também na vida útil destes.

O crescente desenvolvimento das indústrias e de seus processos produtivos exige materiais com características específicas de forma a maximizar sua aplicação e desempenho. O emprego de ligas metálicas tanto na engenharia quanto na indústria é baseado principalmente nas suas propriedades mecânicas, ou seja, na sua capacidade de suportar as cargas a que estão sujeitas quando em serviço (Chiaverini, 1987).

Os aços ferramenta em geral são usados em aplicações para dar forma a outros materiais e são projetados para terem elevada dureza e durabilidade quando submetidos a condições severas de serviço, normalmente situações que requerem resistência ao desgaste e elevada tenacidade nas aplicações (Roberts, 1980).

Esta classe tem importante participação no mercado mundial de aços. São utilizados na indústria metal-mecânica como ferramentas de corte, moldes, punções, matrizes, etc. Devido ao uso de grande responsabilidade, é importante discutir as propriedades mecânicas, porque é uma prática comum na indústria especificar os tratamentos térmicos com base principalmente na dureza final do material, sem considerar que para um mesmo valor de dureza um aço ferramenta pode apresentar diferenças nas propriedades mecânicas, dependendo do ciclo de tratamento térmico aplicado. Logo, esta seleção de tratamento térmico é um aspecto tecnológico relevante no desempenho de aços ferramentas (Soares, 2006).

As propriedades mecânicas de uma liga metálica são função da respectiva composição química e do tratamento térmico ao qual foi submetida, isto é, o tempo de aquecimento, a temperatura do tratamento e a taxa de resfriamento até a temperatura ambiente. Estes parâmetros impõem uma dada microestrutura ao material, a qual será responsável pelas

propriedades finais do mesmo. Portanto, um controle adequado na composição química e no tratamento térmico ao qual será submetido é fundamental para que seja possível aperfeiçoar as propriedades mecânicas do aço (Callister, 2008).

Definido como o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento (Rebecchi, 2011), o tratamento térmico é essencial para que os melhores resultados sejam obtidos e se tenha maior confiabilidade nos materiais empregados (Chiaverini, 1987).

Nas indústrias metalúrgicas e metais-mecânicas, o tratamento térmico é um dos grupos mais importantes do processo tecnológico de produção de semiprodutos e peças de máquinas. É empregado como operação intermediária para melhorar as propriedades mecânicas, entre operações de conformação e usinabilidade, por exemplo, sendo também empregado como operação final para dar ao metal ou liga um conjunto de características, as quais garantem as condições necessárias para a utilização das peças. Quanto mais “responsável” for a estrutura, como regra, mais componentes tratados termicamente são incluídos (Novikov, 1994).

Dentre os diversos tipos de tratamento térmico tem-se a têmpera, a qual é utilizada para endurecer o material, mas que diminui sua deformabilidade podendo fragilizá-lo, deixando-o suscetível a trincas e até mesmo inviabilizando seu uso. A têmpera consiste no aquecimento do aço ferramenta até a temperatura de austenitização selecionada para a liga, permanência nesta temperatura por um tempo mínimo para total austenitização, seguido por um resfriamento rápido do aço, em um meio definido por uma taxa mínima necessária para a transformação da austenita em martensita, atingindo assim a maior dureza possível (Prabhudev, 1992).

O revenimento é realizado no material logo após a têmpera, e seu objetivo principal é a diminuição da fragilidade do material e aumento de sua tenacidade (Krauss, 1989). A tenacidade pode ser definida como a capacidade de absorção de energia na forma de deformação plástica, sem fraturar o material (Viswanathan, 1989). Esta é uma característica bastante desejável nos materiais. Se carregamentos acidentais em um componente estrutural de aço provocarem tensões acima da tensão de escoamento do material, é importante que o mesmo seja tenaz para que não ocorra uma ruptura instantânea e, sim, uma deformação plástica que desperte a atenção para a manutenção do mesmo (Viana, 2015).

A partir do revenimento, que consiste no reaquecimento do aço em temperaturas subcríticas (abaixo da temperatura de austenitização), consegue-se uma sequência de modificações microestruturais que geram as propriedades de dureza e resistência mecânica requeridas no projeto de componentes mecânicos. Estes efeitos são variados e tem ligação direta com o tempo e a temperatura a que são submetidos os aços no tratamento de revenimento (Martins, 2002) e, com os quais, se visa à formação da estrutura denominada martensita revenida.

Aços de alta temperabilidade como os aços-ferramenta são, em geral, revenidos duas vezes, sendo este um processo muito eficiente na estabilização dimensional de ferramentas, calibres, etc. Tratamentos de duplo revenimento são preconizados para muitos aços-ferramenta e aços de alto teor de carbono, visando garantir tenacidade e estabilidade dimensional (Colpaert, 2008). Estes aços podem ser revenidos até mais de duas vezes (Mei, 2010), e em diversas indústrias, podem ser observados até 4 ciclos. O número de ciclos de revenimento é projetado para transformar austenita retida em martensita além de acertar e homogeneizar a dureza do material.

Revenir além do necessário pode implicar na perda de resistência em um grau que o componente se torne inapropriado para a função proposta (Penha, 2010). Porém, tal tratamento tem muitas variáveis, dependentes do material a ser tratado e da geometria do componente.

A fragilização ao revenido, também conhecido, segundo ASM Handbook, 1990, como fragilidade ao revenimento, é um fenômeno metalúrgico em que ocorre a perda progressiva de tenacidade dos aços liga com longo tempo de exposição às condições de aquecimento isotérmico ou resfriamento lento dentro de uma faixa de temperatura de susceptibilidade (Zumpano, 2003). Assim, muitos componentes em boas condições operacionais tornam-se candidatos a serem sucateados (Viswanatan, 1989). Este fenômeno só é observado em ensaios de impacto, não sendo perceptível em ensaios de dureza.

Visando então avaliar o comportamento do material frente à variação de parâmetros de tratamentos de revenido, são empregados os ensaios de dureza e impacto. Em geral, os ensaios mecânicos são realizados pela aplicação em um material de um dos tipos de esforços possíveis (tração, compressão, flexão, torção, cisalhamento, impacto, dentre outros), para determinar a resistência do material a cada um desses esforços (Souza, 1982). Cabe salientar que, para a realização dos ensaios, são empregados métodos normalizados que objetivam levantar as propriedades mecânicas e seu comportamento sob determinadas condições de esforços. Essa normalização é fundamental para que se estabeleça uma linguagem comum entre fornecedores e usuários dos materiais (Garcia, 2014).

O ensaio de dureza consiste na aplicação de uma carga na superfície do material empregando um penetrador padronizado, produzindo uma marca superficial ou impressão. A medida da dureza do material ou da dureza superficial é dada como função das características da marca de impressão e da carga aplicada em cada tipo de ensaio realizado. Esse ensaio é amplamente utilizado na indústria de componentes mecânicos e elétricos, tratamentos superficiais, vidros e laminados, devido à vantagem de fornecer dados quantitativos das características de resistência à deformação permanente das peças produzidas. É utilizado como ensaio para o controle das especificações da entrada de matéria-prima e durante as etapas de fabricação de componentes, e em alguns casos em produtos finais (Garcia, 2014).

O ensaio de impacto Charpy tem grande aceitação devido a sua simplicidade e efetividade na obtenção de valores de energia absorvida pela amostra quando esta é submetida a um carregamento dinâmico. A velocidade de carregamento em um ensaio de impacto é da ordem de 10 milhões de vezes mais rápida que a verificada em um ensaio de tração convencional. Tal velocidade é resultado da queda de um martelo pendular com elevado peso de uma altura, o qual se impacta contra uma amostra que se encontra posicionada perpendicularmente à direção do martelo, de forma

simétrica. A fratura ocorrida após o encontro do martelo pendular com a amostra, consome energia do referido martelo a qual é medida pela altura atingida pelo mesmo após o impacto (Soares, 2006). Como resultado do ensaio, obtém-se a energia absorvida pelo material até a fratura, ou seja, a tenacidade ao impacto, além de resistência ao impacto relacionando-se a energia absorvida com a área de seção resistente (Garcia, 2014).

Dessa forma, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes ciclos de revenimento na tenacidade ao impacto de um aço normalizado DIN 1.2767. Também buscou-se avaliar a influência da quantidade de ciclos nas características do aço, o que permitiu inferir a quantidade adequada de ciclos sem incorrer em desperdício de tempo em insumos com o processo.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1. MATERIAL AÇO DIN 1.2767

O aço normalizado DIN 1.2767 é desenvolvido para utilização em ferramentas para trabalho a frio que solicitam elevada tenacidade. Também é empregado na confecção de ferramentas para estampagem de peças sujeitas a tensões elevadas, ferramentas para estampagem a frio, tesouras para corte a frio, moldes para materiais poliméricos, etc. Segundo o fabricante, para essas aplicações a dureza é especificada entre 54 a 58 HRC, quando temperado em óleo ou banho de sais, ou ainda, de 53 a 57 HRC, quando temperado ao ar. A Tabela 2.1 apresenta a composição química do aço DIN 1.2767.

Tabela 2.1. Composição química do aço DIN 1.2767.

Aço	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Mo	%Ni
DIN 1.2767	0.40-0.50	0.20-0.50	0.10-0.40	1.20-1.50	0.15-0.35	3.80-4.30

Fonte: catálogo do fabricante

A temperatura para têmpera deste aço está na faixa compreendida entre 840°C e 870°C de acordo com o fabricante. Suas curvas de resfriamento contínuo, demonstradas na Figura 2.1, apresentam as possíveis microestruturas obtidas sob diferentes condições de resfriamento. Nota-se que a maioria das curvas apresentadas na Figura 2.1, associadas a diferentes taxas de resfriamento, promovem a formação da estrutura martensítica (M) na microestrutura depois do tratamento de têmpera. A obtenção de bainita (B) e perlita (P) só é possível quando são praticadas taxas mais lentas de resfriamento (curvas de resfriamento indicadas mais à direita).

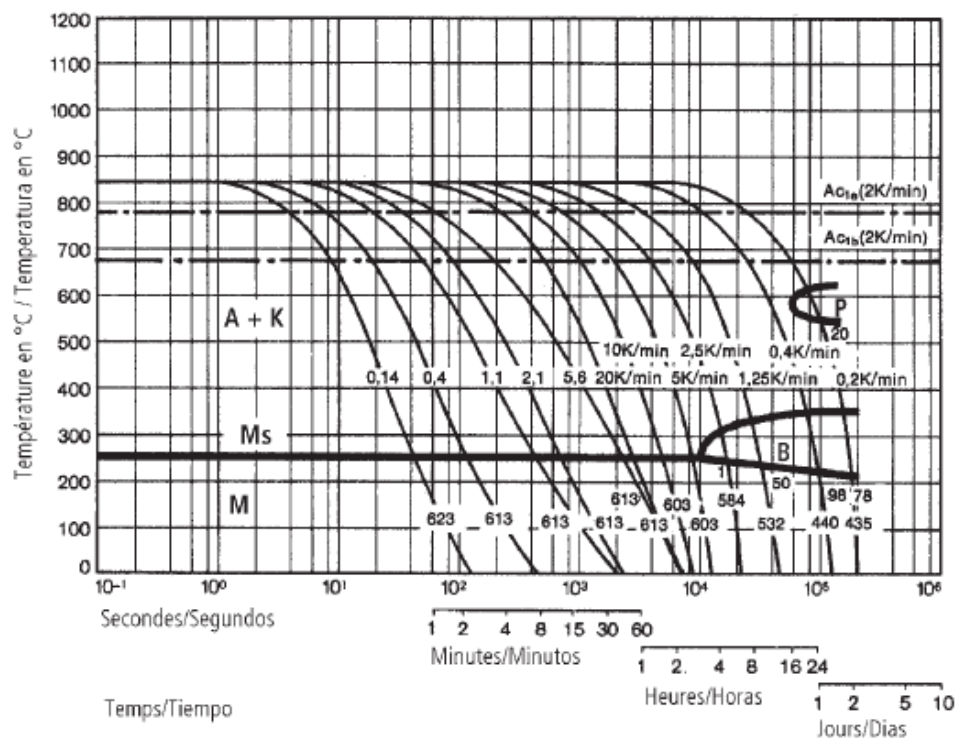


Figura 2.1. Curva de transformação sob resfriamento contínuo do aço DIN.

Fonte: Catálogo digital do fabricante.

2.2. MÉTODO

2.2.1. Fabricação dos Corpos de Prova

Para a análise dos diferentes processos de revenimento, foram confeccionados 30 corpos de prova com o aço DIN 1.2767 de acordo com a norma ASTM E-23, a qual especifica as características e as dimensões necessárias para que seja efetuado o teste de impacto Charpy. Os materiais, portanto, foram usinados nas dimensões de 10x10x55 mm, com um entalhe em V no centro da barra (tipo A). A Figura 2.2 demonstra um corpo de prova para o ensaio Charpy do tipo A. Estes corpos de prova foram submetidos aos diferentes parâmetros de tratamento térmicos, ao ensaio Charpy e, posteriormente, ao ensaio de dureza.

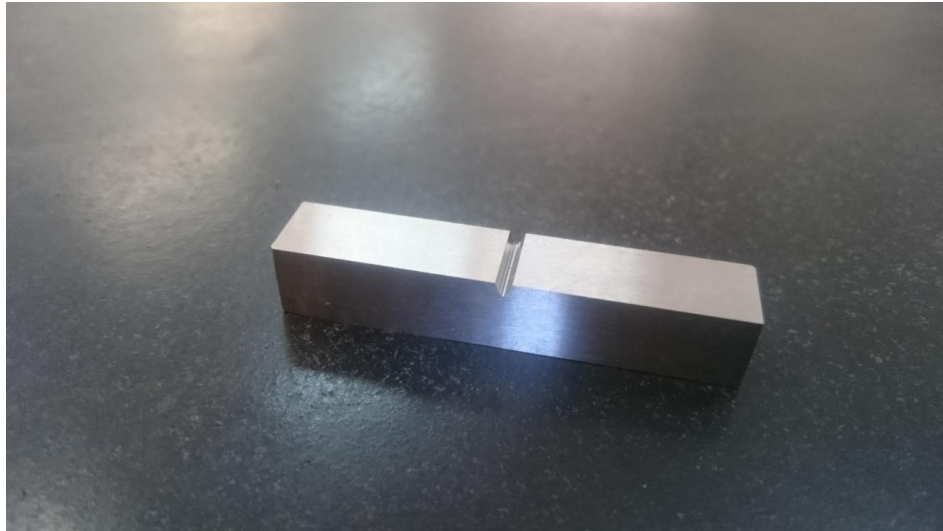


Figura 2.2. Foto do corpo de prova Charpy tipo A.

A Figura 2.3 apresenta as medidas para manufatura de corpos de prova para o ensaio Charpy segundo a norma.

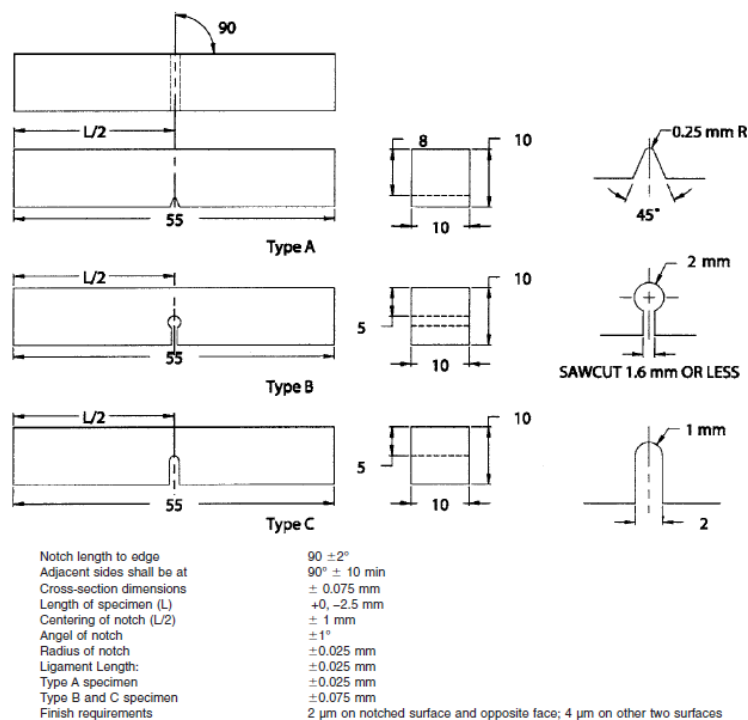


Figura 2.3 – Desenho técnico dos corpos de prova Charpy (ASTM E-23).

2.2.2. Tratamento Térmico

Os corpos de prova foram temperados de uma única vez a 860°C, temperatura compreendida dentro da faixa indicada pelo fabricante (entre 840°C e 870°C), como mencionando anteriormente. A têmpera foi realizada em forno a vácuo, visando maior controle de temperatura e do tempo no qual o material permaneceu em sua temperatura de austenitização, que foi de 15 minutos. As Figuras 2.4 e 2.5 ilustram o forno utilizado para tratamento das peças.



Figura 2.4. Forno a vácuo.

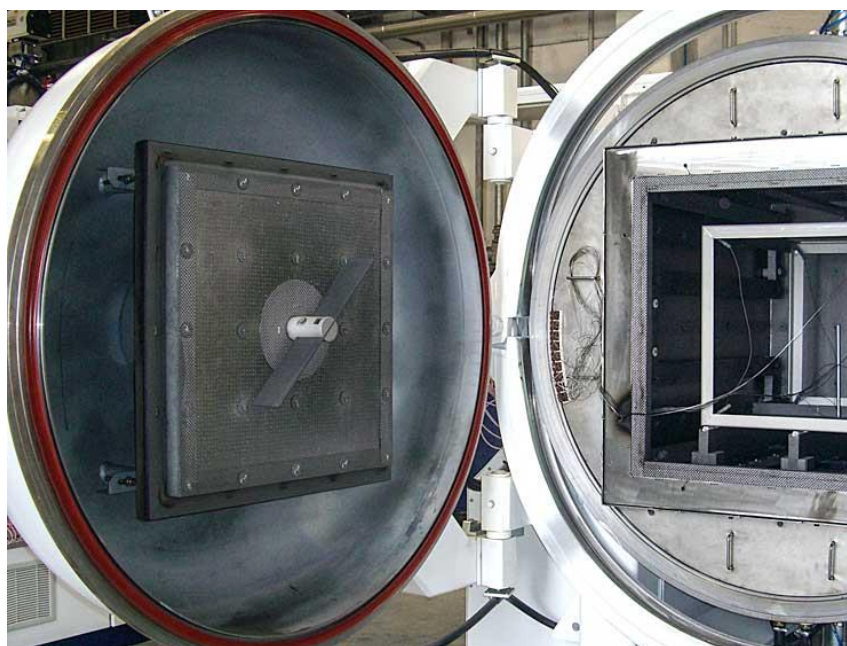


Figura 2.5. Interior do forno.

Com objetivo de avaliar a tenacidade ao impacto e a dureza final, decorrentes de diferentes processos de revenimento para o mesmo aço, os trinta corpos de prova temperados juntos, foram separados em 5 grupos de cinco unidades, para aplicação de ciclos de revenido diferentes.

O tratamento de revenimento foi realizado levando-se em consideração a indicação do fabricante, o qual sugere que o tempo no forno seja de 1 hora para cada 20 mm de espessura da peça. Se a peça não exceder esta dimensão deve permanecer no mínimo 2 horas (120 min) em forno, sendo este o tempo de ciclo o qual os corpos de prova foram submetidos, em função de sua espessura de 10 mm.

As temperaturas de revenimento foram selecionadas de acordo com a curva de dureza em função da temperatura presente na Figura 2.6. Portanto, foram definidas as temperaturas de 150 °C e 250°C, visando obter durezas entre 53 e 55 HRC, geralmente utilizadas em ferramentas de conformação ao frio. Os parâmetros de temperatura de revenido e o número de ciclos aplicados estão demonstrados na Tabela 2.2.

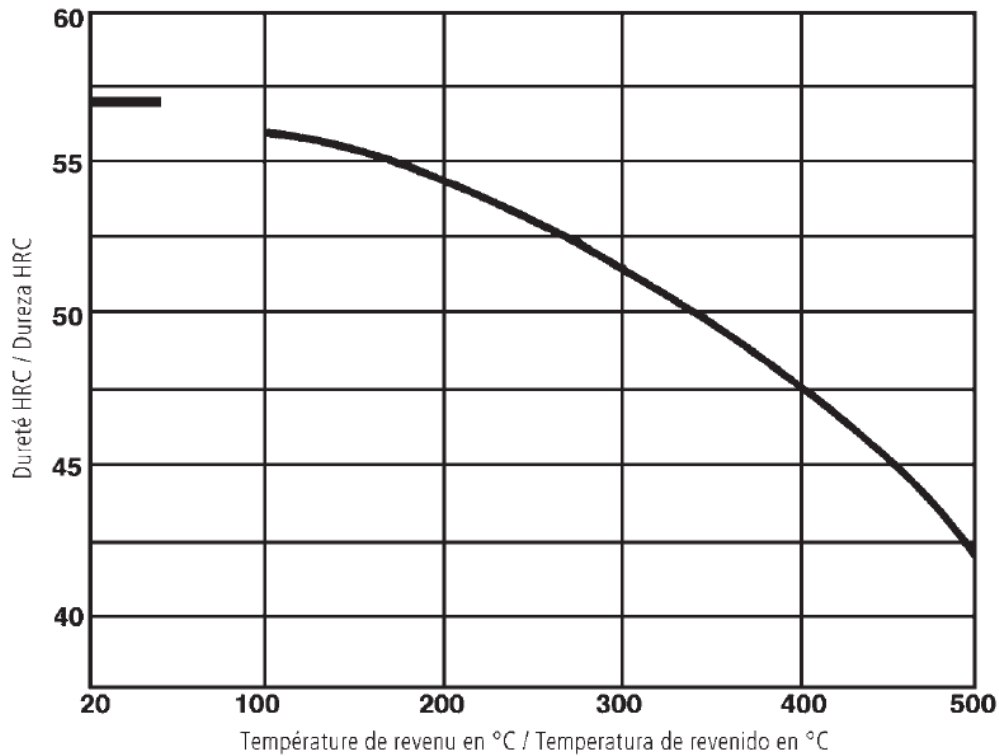


Figura 2.6. Dureza em função da temperatura no revenido.
Fonte: Catálogo digital do Fabricante.

Tabela 2.2. Parâmetros utilizados no revenimento do aço DIN 1.2767.

Grupo	Nº de CPs	Revenido		
		Nº de Ciclos	Temperatura (°C)	Tempo (minutos)
1	5	4	150	120
2	5	3	150	120
3	5	1	250	120
4	5	3	150	120
5	5	2	150	120
6	5	1	250	120
		1	250	120

2.2.3. Caracterização

Os seis grupos de corpos de prova foram caracterizados quanto à dureza Rockwell e ensaio de impacto Charpy.

Ao final dos tratamentos de revenimento os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de dureza Rockwell na escala “C”, o qual utiliza penetrador de diamante com carga máxima de 150 kgf. Foram efetuadas três medidas de dureza em cada corpo de prova. A Figura 2.7 apresenta o durômetro de bancada no qual foram realizadas as medições.



Figura 2.7. Durômetro de bancada.

Visando mensurar a variação na absorção de energia decorrente dos diferentes ciclos de revenimento a que os corpos de prova foram submetidos, foi realizado o ensaio de impacto Charpy. Cada grupo foi ensaiado à temperatura ambiente. O valor da energia absorvida durante o ensaio, para cada corpo de prova, foi lido diretamente na escala da máquina. Para realização dos ensaios foi utilizada uma máquina do fabricante Jinan Shidai Shijin Instruments, modelo JB-300AI/C, com capacidade de absorção de energia máxima de 300J. A máquina utilizada no ensaio é apresentada na Figura 2.8.



Figura 2.8. Máquina de Ensaio de Impacto.

3. RESULTADOS

A Tabela 3.1 abaixo apresenta os resultados médios de dureza Rockwell C (HRC) e tenacidade ao impacto (J) para os 6 grupos de ciclos de revenimento impostos ao Aço DIN 1.2767.

Tabela 3.1. Resultados dos ensaios de dureza e impacto.

Grupo	Nº de CPs	Revenimento		Ensaio de Dureza	Ensaio de Impacto
		Nº de Ciclos	Temperatura (°C)	Dureza Média (HRC)	Energia Média (J)
1	5	4	150	54,5	22,3
2	5	3	150	51,0	17,4
		1	250		
3	5	3	150	54,1	22,8
4	5	2	150	50,9	17,5
		1	250		
5	5	2	150	54,1	21,8
6	5	1	150	50,7	19,7
		1	250		

Nota-se que houve dois patamares de dureza próximos entre os seis grupos, os grupos 1, 3 e 5 obtiveram dureza média próxima aos 54 HRC, enquanto os grupos 2, 4 e 6 ficaram próximos aos 51 HRC. Os grupos 1, 3 e 5 tiveram seus ciclos de revenimento somente com temperatura de 150 °C, enquanto que os grupos 2, 4 e 6 tiveram seus ciclos de revenimento inicialmente com temperatura de 150 °C e sempre finalizando com um ciclo a 250 °C. Essa diferença de dureza está associada à variação de temperatura. Espera-se que quanto maior for a temperatura de revenimento, menor seja a dureza obtida, conforme já apresentado na Figura 2.6. Observa-se também, na mesma figura, um decaimento gradual da dureza com o aumento da temperatura.

Quanto ao número de ciclos, o grupo 1 foi submetido a 4 ciclos, o grupo 3 a 3 ciclos e o grupo 5 a 2 ciclos, todos realizados a 150 °C, e nos três grupos a média de dureza se manteve próxima de 54 HRC. O grupo 2 foi submetido a três ciclos a 150 °C, o grupo 4 a dois ciclos de 150 °C e o grupo 6 a 1 ciclo a 150 °C. Nesse caso, em cada grupo foi realizado um ciclo adicional de 250 °C. A dureza média obtida nos grupos 2, 4 e 6 foi próxima de 51 HRC. Em ambos os casos, a redução do número de ciclos, se considerada apenas a dureza, mostra uma mesma eficiência de processo. Para os grupos 1, 3 e 5, a condição dos 2 ciclos a 150 °C se mostra mais eficiente, pois economiza dois ciclos em relação ao grupo 1 e um ciclo em relação ao grupo 3 e, conseqüentemente, diminui o consumo de energia e o tempo de forno, além de outros insumos utilizados durante o tratamento. A mesma condição foi observada nos grupos 2, 4 e 6.

Vale ainda salientar que a dureza é apenas uma das propriedades mecânicas influenciadas pelo tratamento de revenimento. Pode-se obter um mesmo valor de dureza com diferentes tempos de forno para um mesmo material, mas isso não significa que as demais propriedades mecânicas sejam iguais pelo fato da dureza ser a mesma.

Quanto à tenacidade ao impacto, notou-se que os grupos 1, 3 e 5, nos quais os ciclos de revenimento foram feitos à mesma temperatura, apresentaram maior absorção de energia ao impacto, indicando que tais grupos são mais tenazes em relação aos demais grupos ensaiados, apesar da pequena diferença de valores obtidos. Pode-se verificar através da Figura 3.1, que apresenta os corpos de prova rompidos, que todos os grupos apresentaram um comportamento classificado como frágil.







Grupos	Corpos de Prova rompidos				
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Figura 3.1 Corpos de prova fraturados no ensaio de impacto.

Quando se ajusta a dureza de um aço através da temperatura de revenimento, visa-se aumentar a ductilidade do componente, porém ao escolher a temperatura do ciclo, pode-se entrar na faixa de temperatura a qual ocorre o fenômeno chamado de fragilização ao revenido. Segundo Novikov, 1994, o estado de fragilidade de revenido praticamente não se reflete em outras propriedades à temperatura ambiente. Tais situações em que ocorre fragilização são especialmente perigosas, uma vez que nenhuma das demais propriedades é alterada significativamente, só podendo ser detectada com o auxílio do ensaio de impacto (Mei, 2010).

Nos grupos 2, 4 e 6 optou-se por fazer diferentes quantidades de ciclos de revenimento à 150°C e sempre se finalizar com um ciclo à 250°C com o intuito de baixar a dureza, o que foi alcançado com êxito, e por consequência aumentar a ductilidade do material. Isto não foi verificado, segundo os dados apresentados na Tabela 4.1. Os corpos de prova mostraram maior fragilidade se comparado com os demais grupos que não foram revenidos a 250°C, justamente o contrário do esperado. Para aços-liga, o aumento da temperatura de revenimento até 200°C provoca aumento da ductilidade. Entretanto, se o aço for revenido entre 260°C e 315°C este apresentará uma menor resistência ao choque do que se for revenido a 150°C, ou seja, nesta faixa de temperaturas ocorre fragilização (Mei, 2010).

Sobre a faixa de temperaturas que causa o fenômeno de fragilização, a variação dos valores de acordo com diferentes autores, por exemplo, Freitas, 2014, recomenda que não se deva revenir na faixa de 230 à 570°C, já Novikov, 1994, cita o intervalo de 250 à 400°C, enquanto que Mei, 2010, sugere que não se deve revenir entre as temperaturas de 260 à 315°C.

Excluindo os grupos revenidos à 250°C, pelo fato do decréscimo de ductilidade, permanecem então o grupo 1, revenido quatro vezes, o grupo 3, revenido três vezes e o grupo 5, revenido duas vezes, ambos à temperatura de 150°C. Segundo os dados da Tabela 4.1, não houve variação significativa, pois a maior média de absorção de energia ao impacto foi no grupo 3 com 22.8 Joules, superando o grupo 1 em 2.24% e o grupo 5 em 4.59%.

Analisando o processo de revenimento como um todo, quanto menor for o número de ciclos menor será o tempo de tratamento, em consequência, um maior número de peças poderá ser tratado termicamente durante um mesmo intervalo de tempo. Para o grupo 3, com maior média de absorção de energia, o tempo de forno só para o revenimento é de 6 horas, enquanto que no grupo 5, superado em 4.59% na absorção de energia pelo grupo 3, é de 4 horas, uma queda no tempo de 33.33%. Em termos de desempenho versus tempo e custo de tratamento tem-se uma perda de menos de 5% em desempenho e um ganho de um terço no tempo de tratamento, o que desencadeia uma economia considerável em

termos de insumos necessários para tal processo e também propicia aumento na capacidade do número de peças a serem tratadas num mesmo intervalo de tempo, já que cada peça irá demandar menos tempo de forno.

4. CONCLUSÃO

A correta seleção das temperaturas de revenimento, do tempo e do número de ciclos aos quais o material será submetido, irá resultar em propriedades mecânicas diferentes ao final do tratamento, além disso, a correta programação do tratamento pode evitar ciclos desnecessários, quando o ganho de desempenho não chega a ser significativo se comparado ao tempo necessário para se efetuar este ciclos.

Outro fator muito importante é a temperatura de revenimento, que pode estar compreendida dentro da faixa de fragilização no aço. Tal fenômeno não influencia significativamente características como dureza do aço, porém só pode ser identificado na absorção de energia ao impacto, neste caso identificado pelo ensaio de impacto Charpy.

Na prática, houve dois grupos principais, o revenido somente a 150°C, considerado como primeiro grupo, que obteve dureza próxima aos 54 HRC. Com o intuito de aumentar a ductilidade das peças, analisou-se um segundo grupo, no qual aumentou-se a temperatura de revenido do último ciclo para 250°C, com a decorrente redução da dureza para aproximadamente 51 HRC. Nesse segundo grupo observou-se uma redução da energia absorvida no impacto, o que indica, possivelmente, uma tendência ao processo de fragilização ao revenido do material. Assim, no primeiro grupo, tem-se um material com melhores condições de dureza (mais alta), o que deve refletir em melhores resistência mecânica e ao desgaste e maior tenacidade ao impacto (maiores valores de absorção de energia), mais adequadas à aplicação proposta.

Quanto aos ciclos de revenimento, quanto menos forem aplicados nas peças, se consideradas apenas a dureza e a tenacidade ao impacto, implica em uma redução do custo total de processamento deste aço.

Como sugestão de trabalhos futuros, indica-se refazer os testes de impacto com maior número de corpos de prova para cada grupo, com objetivo de obter curvas de absorção de energia com maior precisão. Também propõe-se levar em consideração o sentido de laminação do aço, o que no presente trabalho não foi avaliado, a realização de análise microestrutural, para verificação de variações microestruturais e análise de Difração de Raios X para identificação de austenita retida e sua transformação após cada ciclo.

5. AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar a força necessária para seguir em busca de aperfeiçoamento pessoal e profissional.

A professora e orientadora Daniela Lupinacci Villanova pelo apoio, confiança, troca de conhecimentos, enfim, por tudo que me ensinaste durante todos estes anos em que convivi no IFRS, seu comprometimento foi de extrema importância para realização deste trabalho e também para minha formação acadêmica e profissional.

Ao engenheiro metalúrgico Samyr Ismail, pelo apoio, pela confiança, amizade, por todos os ensinamentos e por ter se disponibilizado a ajudar na execução deste trabalho, seja intelectualmente ou na parte prática, onde nunca mediu esforço em busca de informações.

Aos meus pais Adelar e Angélica e minha irmã Ariane, por toda a contribuição para a minha formação pessoal e por terem me proporcionado e incentivado a continuidade dos estudos.

A minha esposa Débora por todo apoio, companheirismo e compreensão durante a realização da graduação, sempre me incentivando para que este trabalho fosse concluído.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Câmpus Farroupilha, pela minha formação acadêmica, e por proporcionar o aprendizado contínuo.

A Tramontina Farroupilha, em especial ao diretor técnico Eduardo Portolan, por ter possibilitado a execução deste trabalho e por ter permitido que meus horários fossem os mais flexíveis possíveis em função de minhas aulas.

Aos colegas de graduação e sobre tudo amigos Bruno Vettorazzi, Marcos Smaniotto Slomp e Rafael Domigos Dalagnol por terem me apoiado desde o início da graduação até a conclusão.

E aos demais amigos, colegas e familiares que contribuíram das mais variadas formas para a realização de minha graduação tanto quanto deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ASM - american society for metals handbook, 1990 “Properties and selection: Irons, steels and high performance alloys” 10th ed. Metals Park, Ohio, USA: American Society for Metals, v.1, 2521 p.
- ASTM International, 2007, “E23 – 07 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials”.
- Callister, W. D., 2008, “Ciência e engenharia de materiais - Uma introdução”, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 7ª Ed., Rio de Janeiro, Brasil.
- Chiaverini, V., 1987, “Tratamentos Térmicos das Ligas Ferrosas”, Associação Brasileira de Metais, 2ª Ed., São Paulo, Brasil, pag. 12.
- Colpaert, H., 2008, “Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns”, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, Brasil.
- Freitas, P. S., 2014, “Tratamento Térmico dos Metais – Da Teoria à Prática”, SENAI-SP Editora, São Paulo, Brasil.
- Garcia, A., Spim, J. A., Santos, C. A., “Ensaio dos Materiais”, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, Rio de Janeiro, Brasil.
- Krauss, G., 1989, “Steels: Heat Treatment and Processing Principles”, Materials Park: ASM International.
- Krauss, G., 1999 “Martensite in steel: strength and structure”, Materials Science and Engineering, pag. 40-57.
- Soares, E. J., 2006, “Efeito do Tratamento Térmico na Microestrutura e nas Propriedades Mecânicas de Aços-Ferramenta para Trabalho a Frio”, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Brasil, pag. iv.
- Martins, M., 2002, “Temperabilidade Jominy e Influência do Revenido sobre a Dureza – Um estudo em aços Estruturais Nacionais”, UFSC, Florianópolis, Brasil, pag. 26.
- Mei, P. R., Silva, A. L. V. C., 2010, “Aços e Ligas Especiais”, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, Brasil.
- Nivikov, I., 1994, “Teoria dos Tratamentos Térmicos dos Metais”, Editora UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, pag. 1.
- Penha, R. N., 2010, “Modelagem do Processo de Revenimento por Redes Neurais”, Universidade de São Carlos, São Carlos, Brasil.
- Prabhudev, K.H., 1992, “Handbook of Heat Treatment of Steels”, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Rebechi, J.G., 2011 “Correlações Numéricas entre taxas de resfriamento, microestruturas e propriedades mecânicas para o tratamento térmico do aço AISI/SAE 4140”, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- Roberts, G., Krauss, G., Kennedy, R., 1980, “Tool Steels”. ASM International, USA.
- Souza, S. A., 1982 “Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos – Fundamentos Teóricos e Práticos”, Editora Blucher, 5ª Ed., São Paulo, Brasil.
- Viana, L. A., 2015, “Influência de Diversos Ciclos de Aquecimento Subcrítico sobre a Microestrutura e Propriedades Mecânicas Básicas de Um Aço de Alta Resistência e Baixa Liga Temperado e Revenido”, REDEMAT, Ouro Preto, Brasil, pag. 39.
- Viswanathan, R., 1989, “Damage mechanisms and life assessment of high-temperature components”, 2nd ed. Metals Park, Ohio, USA: ASM Internacional, 503 p.
- Zumpano, P. J., 2003, “Tenacidade à fratura na ZAC de aços 2,25Cr-1Mo”, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, pag. 129.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT TEMPERING CYCLES IN TENACITY TO THE IMPACT OF DIN STEEL 1.2767

Anderson dos Santos, andedossantos26@hotmail.com¹

Daniela Lupinacci Villanova (orientador), daniela.villanova@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, São Vicente Avenue, nº 785, Cinquentenário, CEP 95174-274 – Farroupilha/RS

Abstract: *The constant search for materials with high performance in specific applications drives the research by thermal treatments that extract the best mechanical properties that the material can offer. In this sense, tool steels are used, widely used in the industry in the most diverse fields of application. For these steels, in general, high hardness and toughness are required, obtained by hardening treatments followed by tempering. The main purpose of tempering is to improve the toughness and relieve the tensions of the tempered component, so the time and temperature variables must be carefully selected in order to obtain the desired combination of strength and toughness. The parameters of the thermal processes are defined according to the type of steel, but in some cases, the tempering temperatures can weaken the metal, making it impossible to apply. This embrittlement is known as embrittlement to the tempering, being only perceptible in impact tests, not being verified in hardness evaluations. In addition to temperature, another important factor is the amount of tempering cycles to which the steel will be subjected, necessary to complete phase transformations associated to the process, but that should not be excessive so that there is no wastage of time and inputs without significant gains of the properties. In this context, the purpose of this study was to evaluate the influence of different tempering cycles on the impact strength of DIN 1.2767 steel, usually used as tools for cold work. Thus, groups of specimens were submitted to different temperatures and numbers of annealing cycles. To characterize these groups, hardness and impact tests were performed. It was observed that in the groups in which there was a tempering cycle at 250°C embrittlement fragility occurred, even the hardness being inferior to the groups treated only at 150°C. No significant variation in energy absorption was observed in groups tempered at 150°C, identifying unnecessary tempering cycles.*

Keywords: *tool steels, fragility, tempering, impact toughness.*