



# Efeito dos revenimentos curtos na dureza e resistência ao desgaste do Aço AISI D2

Palavras-Chave: [Austenita], [Revenimento], [AISI D2]

Autores/as:

Julio Cesar Araujo Toqueiro [Unicamp]

Maycoln Depianti Conci [Unicamp]

Profa. Dra. Paula Fernanda da Silva Farina (orientador/a) [Unicamp]

---

## INTRODUÇÃO:

O revenimento após a têmpera é um tratamento térmico amplamente utilizado, sendo empregado para aliar as melhores propriedades mecânicas para a solicitação que a peça deve resistir, tornando possível a obtenção de dureza e tenacidade necessárias. (MEI; SILVA, 2010)

Atualmente tem se verificado a possibilidade de se obter essas propriedades em revenimento de tempo curto, o que agiliza a produção, além de permitir a economia energética (SAHA et al., 2016). A fim de se obter uma melhor compreensão do assunto, foram estudados os seguintes tópicos, sendo dado maior destaque para os três últimos, por ser previsto um maior efeito para o estudo em questão.

- Revenimento padrão do aço AISI D2
- Formação e características da austenita retida
- Formação e características da austenita revertida
- Endurecimento secundário
- Revenimento de tempos curtos
- Resistência ao desgaste do aço AISI D2

A relação entre dureza e ductibilidade costuma ser inversamente proporcional, porém para alguns aços, dependendo dos seus elementos de liga presentes e respectivos teores, ocorre o endurecimento secundário, causado pela precipitação de carbonetos para certas combinações de tempo e temperatura de revenimento, os elementos químicos que causam esse fenômeno são vanádio, molibdênio e tungstênio, além de cromo em altas concentrações. (ROBERTS; KRAUSS; KENNEDY, 1998)

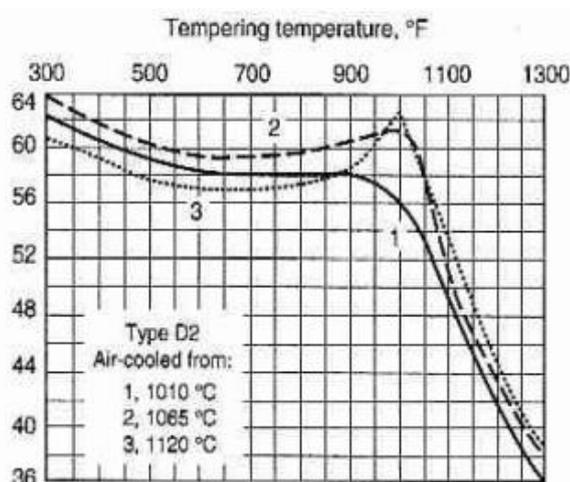
O aço AISI D2 possui a seguinte composição química, em porcentagem em peso: 1,4 – 1,6%C, 11 - 13%Cr, 0,03%P, 0,03%S, 0,1 – 0,6% Si, 0,7 – 1,2 % Mo, 0,5 – 1,1 %V, 0,1 – 0,6%Mn,

0,3%Si, %Fe – balanço (DA SILVA et al., 2009), o que indica que o material a ser estudado deve sofrer o endurecimento secundário (MEI; SILVA, 2010). Outro ponto importante a ser considerado para que esse fenômeno ocorra é a temperatura de austenitização. É possível observar a importância da temperatura de austenitização para a fração volumétrica de austenita retida após a têmpera, na tabela 1 (ARIAS, 2019), onde vemos que para menores temperaturas de austenitização, essa fração de austenita retida é menor.

**Tabela 1:** Fração volumétrica de austenita retida em função da temperatura de austenitização (ARIAS, 2019)

Temperatura de austenitização (°C)	1050	1000	930	900	880	850	800
Austenita retida (%vol) temperado em água 14°C	33±2	33±2	28±2	27±2	27±2	21±2	12±2

O aço AISI D2 apresenta endurecimento secundário, e devido aos seus altos teores de carbono e cromo, favorecendo a precipitação de carbonetos, sendo esses fatores favoráveis para a obtenção de uma melhor combinação de propriedades, como dureza e tenacidade, desse aço. É esperado que para o revenimento de tempo curto também ocorra a precipitação desses carbonetos, porém como esse é realizado a temperaturas maiores e tempos menores, é esperada uma morfologia mais grosseira de carbonetos (SINGH; KHATIRKAR; SAPATE, 2015). Na figura 3 (ROBERTS; KRAUSS; KENNEDY, 1998), é possível observar a ocorrência do endurecimento secundário do aço AISI D2, como esperado, confirmando o que é esperado devido à sua composição química (ROBERTS; KRAUSS; KENNEDY, 1998). Na figura 1, é possível observar que para maiores temperaturas de austenitização, de 1120 °C, a dureza inicial encontrada para o aço AISI D2 é menor do que para menores temperaturas de austenitização, devido à maior fração volumétrica de austenita retida, porém o efeito de endurecimento secundário é mais forte, apresentando o maior pico, ocorrendo o contrário, quando a austenitização é realizada em menores temperaturas, sendo que não é possível observar endurecimento secundário para a amostra austenitizada a 1010 °C, devido à menor fração volumétrica de austenita retida.



**Figura 1:** Dureza do aço AISI D2 em função da temperatura no revenimento para 3 temperaturas de austenitização (ROBERTS; KRAUSS; KENNEDY, 1998)

O revenimento de tempos curtos apresenta a vantagem de permitir que esse possa ser realizado para ligas que sofrem fragilização ao revenido para as temperaturas onde essas são tratadas tradicionalmente (KADOWAKI et al., 2018), sendo possível a realização em temperaturas diferentes das usuais (JUDGE et al., 2018). No revenimento de tempos curtos, o tempo de revenimento é alterado, e conseqüentemente, a temperatura, que pode ser determinada seguindo o parâmetro de Hollomon-Jaffe, para o aço AISI 4340, porém para esse tipo de revenimento, diferentemente do padrão, não é possível a previsão das propriedades mecânicas a serem observadas (EUSER et al., 2019). Além disso promove uma distribuição mais fina de cementita, e um ganho de tenacidade correspondente ao revenimento de 2 horas, fornecendo ainda uma melhor resistência à corrosão. (KADOWAKI et al., 2018)

A aplicação dos revenimentos de tempos curtos permite uma boa repetibilidade, a obtenção de um material mais resistente, com a mesma tenacidade obtida pelo tratamento convencional. Porém, devesse atentar para a possível concentração de tensões de tração na superfície do material, causadas pelo maior gradiente de temperatura envolvido no processo. (KAISER et al., 2020)

Para o revenimento de tempos curtos, a decomposição de austenita é reduzida, causando uma maior fração volumétrica de austenita retida após o revenimento (EUSER et al., 2019), o que é nocivo para o uso de aços ferramenta, como o AISI D2 (SINGH; KHATIRKAR; SAPATE, 2015). Além disso os estágios 2 e 3 dessa decomposição observados em revenimento de tempos longos podem se sobrepor ou mudarem de ordem (EUSER et al., 2019).

O aço AISI D2 é um aço ferramenta, sendo empregado na fabricação de matrizes, moldes, ferramentas de corte, ferramentas para conformação de chapas, corte a frio e componentes de máquinas. As características básicas desse aço que permitem essa utilização são a sua dureza, resistência à abrasão e à deformação. A presença e a formação de carbonetos nesse aço são fundamentais para a sua qualidade, devido à função que deve desempenhar, porém a precipitação de cromo e carbono como carbonetos, também acaba limitando a sua resistência. (DHOKEY; THAKUR; GHOSH, 2020)

O aço AISI D2, apresenta resistência ao desgaste abrasivo dependente da sua microestrutura, assim como todos os materiais, e apresenta a maior resistência quando submetido a têmpera, formando a fase martensítica, com morfologia fina dos carbonetos precipitados, sendo exibida menor resistência quando sua morfologia é grosseira. Portanto, o principal fator na resistência ao desgaste do aço AISI D2 é a distribuição de seus carbonetos, além de sua matriz. (SINGH; KHATIRKAR; SAPATE, 2015)

## **METODOLOGIA:**

Todos os tratamentos térmicos aos quais esse material deve ser submetido serão realizados no Laboratório de Transformações de Fases (LTF) do Departamento de Manufatura e Materiais (DEMM) da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) da Unicamp. Sendo que todas as amostras passarão pelo mesmo tratamento de térmico, sendo austenitizados a temperatura de 1040 °C e mantidos nessa temperatura durante 40 minutos, a fim de se garantir que as diferenças encontradas nas amostras tenham como origem única os diferentes padrões adotados no revenimento, sendo esse tratamento realizado em forno mufla, sob vácuo, com resfriamento em óleo agitado.

Devem ser estudadas 14 amostras, sendo que todas, exceto uma, utilizada para comparações, deve passar por revenimentos duplos, sendo variados apenas o tempo de duração de cada um desses ciclos, que podem ser de 10 segundos, 1 minuto ou 2 horas e a temperatura de do banho de sal. Todos os tratamentos de revenimento serão realizados em banho de sal, com resfriamento ao ar. Após os tratamentos térmicos, deve ser medir a dureza de cada amostra, para a construção da curva de revenimento para o aço AISI D2, para as condições estudadas.

Após esses tratamentos, utilizando a curva de revenimento gerada, deve ser realizada a análise metalográfica e ensaio de desgaste das amostras que apresentarem resultados mais promissores, sendo conveniente um estudo com maior profundidade dos resultados obtidos. As amostras que terão sua microestrutura analisadas devem ser preparadas convencionalmente, a partir do lixamento, seguido do polimento e ataque seletivo, para a caracterização metalográfica. A caracterização metalográfica deve ser realizada em microscópio ótico e microscópio eletrônico de varredura. O ensaio de desgaste deve ser realizado a partir do desgaste microabrasivo, do tipo esfera contra placa, sendo a esfera de aço para rolamento e a placa do aço AISI D2. As condições de pico de dureza devem ser comparadas para as amostras com revenimento duplo por 10 segundos e com revenimento duplo por 1 minuto. A perda de massa de cada amostra deve ser medida para comparação das diversas condições de tratamento térmico.

## CONCLUSÕES:

A partir da revisão bibliográfica desenvolvida durante o período vigente, foi possibilitada a construção do conhecimento teórico necessário para a análise dos resultados a serem obtidos após a realização da etapa experimental deste estudo, uma vez que o desenvolvimento dessa etapa foi impossibilitado devido às condições sanitárias vividas atualmente, o que impossibilitou o acesso aos laboratórios da universidade. A conclusão desse estudo será realizada no Trabalho de Graduação do aluno, sendo alteradas apenas detalhes que sejam necessários, com pequenas inclusões e exclusões.

---

## BIBLIOGRAFIA

MEI, P. R.; SILVA, A. L. V. DA C. E. Aços e Ligas Especiais. v. 3, p. 288–294, 2010.

SAHA, D. C. et al. Effects of tempering mode on the structural changes of martensite. **Materials Science and Engineering A**, v. 673, p. 467–475, 2016.

ROBERTS, G.; KRAUSS, G.; KENNEDY, R. **Tool Steels**. [s.l: s.n.].

ARIAS, E. G. R. **EFEITO DO TRATAMENTO ISOTÉRMICO NA ESTABILIZAÇÃO DA AUSTENITA NO AÇO AISI D2**, 2019.

SINGH, K.; KHATIRKAR, R. K.; SAPATE, S. G. Microstructure evolution and abrasive wear behavior of D2 steel. **Wear**, v. 328–329, p. 206–216, 2015.

KADOWAKI, M. et al. Improving Pitting Corrosion Resistance at Inclusions and Ductility of a Martensitic Medium-Carbon Steel: Effectiveness of Short-Time Tempering. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 165, n. 11, p. C711–C721, 2018.

JUDGE, V. K. et al. Rapid Thermal Processing to Enhance Steel Toughness. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–6, 2018.

EUSER, V. K. et al. Effects of Short-Time Tempering on Impact Toughness, Strength, and Phase Evolution of 4340 Steel Within the Tempered Martensite Embrittlement Regime. **Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science**, v. 50, n. 8, p. 3654–3662, 2019.

KAISER, D. et al. Experimental investigation and finite-element modeling of the short-time induction quench-and-temper process of AISI 4140. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 279, n. October 2019, p. 116485, 2020.

DHOKEY, N. B.; THAKUR, C.; GHOSH, P. Influence of Intermediate Cryogenic Treatment on the Microstructural Transformation and Shift in Wear Mechanism in AISI D2 Steel. **Tribology Transactions**, v. 0, n. 0, p. 1–10, 2020.