

# INFLUENCE OF TEMPERING TEMPERATURE ON THE TENACITY OF THE STEEL SAE 4140

**Thais dos Santos Haas, Flávio Kieckow, Álisson R. Stochero da Silva, Andreas Mutter**

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI

Departamento de Engenharias e Ciencia da Computação, Campus Santo Ângelo - RS

[thais\\_haas@hotmail.com](mailto:thais_haas@hotmail.com), [fkieckow@santoangelo.uri.br](mailto:fkieckow@santoangelo.uri.br), [alissonstochero@hotmail.com](mailto:alissonstochero@hotmail.com),

[andreas.mutter@hotmail.com](mailto:andreas.mutter@hotmail.com).

*Resumo. The steel SAE 4140 is of mechanical construction and is characterized by being good hardenability, good forgeability and low weldability. In the annealed state has good machinability. This study proposes to investigate the tempering temperature effect on the tenacity of this steel. The results obtained from the Charpy impact test show this correlation.*

**Palavras-chave:** SAE 4140. Revenido.

Tenacidade

## 1. INTRODUÇÃO

Os tratamentos térmicos são um conjunto de operações que têm por objetivo modificar as propriedades dos aços e de outros materiais por meio de operações que incluem o aquecimento e o resfriamento em condições controladas (CHIAVERINI, 1996). Estes processos modificam o comportamento dos aços de um modo benéfico, de forma a maximizar a vida útil das partes (alívio de tensões), ou as propriedades de resistência (tratamento criogênico) ou alguma outra propriedade desejada (envelhecimento) (ANAZAWA, 2007).

Segundo Chiaverini, 1996, a têmpera é um tratamento térmico que consiste no aquecimento do aço até sua temperatura de austenitização, geralmente, seguido de resfriamento rápido. O constituinte desejado ao final deste tratamento é a martensita.

Um dos problemas relacionados com o tratamento térmico de têmpera é a baixa ductilidade e a baixa tenacidade do material após o tratamento. Este problema é corrigido

com o tratamento térmico de revenido, que também ajusta a dureza e a resistência mecânica.

Esse tratamento consiste no reaquecimento da peça temperada, dentro de uma faixa de temperatura entre 150°C e 600°C, seguida de resfriamento ao ar. O tempo de revenido deve ser suficiente para que ocorram as transformações necessárias à recuperação de parte da ductilidade e tenacidade perdidas, sendo depois resfriadas até a temperatura ambiente (OLIVEIRA et al. 2011).

A temperatura e o tempo dependem da composição do material e das características desejadas ao fim do tratamento.

A tenacidade é a capacidade do material deformar-se antes da sua ruptura. Essa propriedade pode ser avaliada qualitativamente por meio do ensaio de impacto.

## 2. OBJETIVO

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da temperatura de revenido na alteração das propriedades mecânicas do aço SAE 4140. A variável de controle será a temperatura de revenido. Serão analisadas a microestrutura e a energia de impacto absorvida no ensaio Charpy.

## 3. METODOLOGIA

O trabalho é iniciado com o aquecimento da mufla a 870°C para a realização da têmpera em cinco corpos de prova para ensaio Charpy, do aço SAE 4140, segundo a Norma ASTM A 370.

Cada CP é colocado separadamente no forno, local este que o material fica exposto na temperatura por um tempo de 25 minutos, sendo que o tempo de 1h/pol, é o tempo necessário para encharque. O meio de resfriamento utilizado para a têmpera é a água.

Cada CP é revenido temperatura diferente para que se possa diferenciar a influência que este tratamento tem na formação da microestrutura, dureza e na absorção de energia. As temperaturas de revenido escolhidas são 300°C, 400°C, 500°C e 600°C. Um quinto CP não será submetido ao revenido, pois será analisado no seu estado temperado para servir de referência. O tempo de revenido será apenas o tempo de encharque das amostras, ou seja, 25 minutos. O resfriamento se dará por convecção em temperatura ambiente.

Quando os CPs estiverem totalmente resfriados, será possível realizar o ensaio de dureza. Este ensaio será realizado em um durômetro Reicherter, tipo VA1, com penetrador de diamante e carga de 150kg – escala Rockwell C. Em seguida, é realizado o ensaio Charpy, onde será medida a capacidade de absorção de energia em cada corpo de prova. O ensaio será realizado com martelo de 150 J.

Finalmente, será realizado o ensaio metalográfico para análise da microestrutura. Os CPs são cortados com disco de corte refrigerado, lixados, polidos e atacados quimicamente com reagente Nital 3%. A análise será realizada em microscópio óptico.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após realizar os tratamentos térmicos, é possível proceder o ensaio de dureza e impacto dos corpos de prova. No quadro 1 é apresentado os resultados de dureza e energia absorvida do aço SAE 4140 nas diferentes temperaturas de revenido.

A figura 1 mostra o corpo de prova com a fratura em estado temperado e a micrografia da sua microestrutura. A dureza é elevada, sendo que a energia absorvida é

muito baixa. Isso ocorre devido ao choque térmico da têmpera, transformando a microestrutura de austenita para martensita.

**Quadro 1.** Ensaio de dureza e impacto dos CPs de aço SAE 4140 tratados termicamente.

Temperatura de revenido (°C)	Dureza (HRc)	Energia absorvida (J)
600	36	58,5
500	40	41
400	44	20,5
300	49	5,5
Sem revenido	60	1,5

A seguir serão discutidos os resultados do Quadro 1, juntamente com as macro e micrografias. As imagens dos ensaios metalográficos foram amplificadas em 1000x.

**Figura 1.** Fratura do CP temperado e sem revenimento (a) e a sua micrografia (b).



Na figura 1a mostra uma fratura frágil, típica da microestrutura tensionada formada na têmpera e mostrada em 1b.

Por ser um aço hipoeutetóide, resfriado em água, apresenta predominantemente estrutura martensítica, mas há presença de ferrita na microestrutura.

Na figura 2 é possível visualizar a fratura do aço revenido a 300°C onde é possível perceber que esta possui uma estrutura mais refinada. Pode-se inferir uma certa fragilidade ao revenido devido à baixa capacidade de absorção de energia, 5,5 J. A dureza diminui em relação ao estado temperado como era esperado.

A decomposição da martensita em aços causa a diminuição da resistência mecânica e da dureza e aumenta a tenacidade. Em baixas temperaturas de revenido, a martensita forma duas fases de transição,

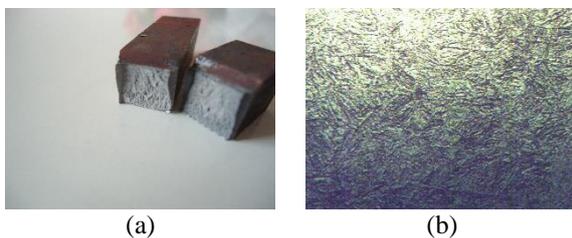
uma martensita de baixo carbono e um carbeto muito fino, mas ainda de não-equilíbrio. Em baixas temperaturas de revenido a martensita não consegue transformar-se totalmente. Nessa condição, o aço ainda é bem resistente e frágil.

**Figura 2.** Fratura do CP revenido a 300°C (a) e sua micrografia (b).



Na figura 3 é possível perceber que o corpo de prova apresentou maior área cisalhada o que dificultou a fratura aumentando os valores de energia absorvida. A microestrutura não é tão refinada e há uma maior decomposição dos carbetos formando uma estrutura de ferrita fina acircular.

**Figura 3.** Fratura do CP revenido a 400°C (a) e micrografia do mesmo (b).



A fratura do aço na figura 4, caracteriza-se por uma fratura com visível deformidade no centro do corpo de prova. Essa deformidade é devido à presença de uma microtrinca causada pela têmpera em água. O aço SAE 4140 possui alta temperabilidade e, por isso, corre-se o risco do aparecimento de microtrincas se não temperado em óleo. Apesar disso a energia absorvida pelo CP continuou crescente, como era esperado. A região cisalhada aumentou.

**Figura 4.** Fratura do CP revenido a 500°C após (a) e sua micrografia (b).



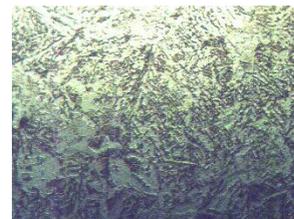
A Figura 5 mostra o material revenido a 600°C, após o ensaio Charpy, 58,5 J. É absorvido elevado valor de energia. Não houve a fratura completa do CP. A amostra para micrografia foi extraída do lado direito da amostra.

**Figura 5.** Fratura do CP revenido a 600°C(a) com a sua respectiva micrografia (b).



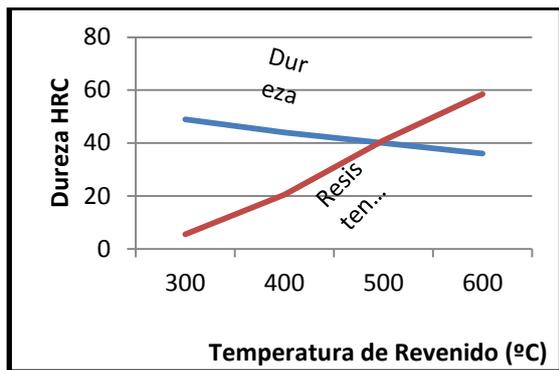
A figura 6 mostra a microestrutura da amostra sem nenhum tratamento térmico. A microestrutura é grosseira mais heterogênea. Todos os aços tratados partiram dessa microestrutura.

**Figura 6.** Micrografia do aço SAE 4140 sem tratamento térmico.



Na figura 7 são apresentadas as curvas de dureza e de resistência ao choque resultante dos valores do Quadro 1.

**Figura 7.** Efeito da temperatura de revenido sobre a dureza e a resistência ao choque do aço SAE 4140.



A dureza diminui quase que linearmente à medida que a temperatura de revenido é elevada. A curva da resistência ao choque, ao contrário da curva de dureza, se eleva com a temperatura de revenido, sendo menos pronunciado o crescimento na faixa entre 300°C e 400°C.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É necessário o processo de revenido, toda a vez que se deseja aumentar a tenacidade e ductilidade do material.

Quanto mais alta for a temperatura de revenido utilizada, maior será o ganho em ductilidade e tenacidade e maior será a perda de resistência e de dureza. Há de se ter cuidado quanto a fragilidade de revenido, por isso é importante conhecer o comportamento do material em diversas temperaturas. Também é importante se ter conhecimento das condições de aplicação que o material será submetido para que se possa fazer um tratamento adequado à aplicação.

### *Agradecimentos*

À URI, pela infraestrutura laboratorial disponibilizada, ao professor, pela orientação, e a minha família e amigos, que contribuem para meu crescimento pessoal e profissionalmente todos os dias.

## REFERÊNCIAS

ANAZAWA, Roberto M. **Caracterização Mecânica e Microestrutural de um aço 300M com Microestrutura Multifásica**, Tese apresentada à Faculdade de Engenharia

do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na Área de Projetos e Materiais. Guaratinguetá, 2007.

ASKELAND, Donald R.; PRADEEP, P. Phulé, **Ciência e Engenharia dos Materiais**, São Paulo, cengage learning, 2012.

ASTM A370: **Standard Test Method and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products**. USA, 2005.

CHIAVERINI, V.; **Aços e ferros fundidos**, 7. Ed., São Paulo, Associação brasileira de Metalurgia materiais e mineração, 2012.

GGD METALS. Banco de Dados em: <<http://www.ggdmetals.com.br>>. Acesso em 21 Agosto. 2014.

INDEK AÇOS. Banco de dados. Disponível em: <<http://www.indek.com.br>>. Acesso em 23 Agosto. 2014.

Oliveira, Adir Rodrigues de. Araújo, Ismael Caetano de Junior, Silva, Gilbert. **INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO REVENIMENTO DO AÇO SAE 4340**. Curso de Graduação em Engenharia de Materiais - Universidade do Vale do Paraíba, Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo. São José dos Campos, 2011.