

# Alívio de tensões na confecção de moldes em peças de aço AISI 420

## STRESS RELIEVE IN MOLDS MANUFACTURING OF AISI 420 STEEL

Fernando Antônio Soares  
Marcos Valério Ribeiro  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Universidade de Taubaté

### RESUMO

Este trabalho consiste em um estudo de caso visando demonstrar os melhores procedimentos para o tratamento térmico de aços inoxidáveis martensíticos, comparando os resultados obtidos aplicando-se o tratamento térmico da maneira recomendada e ao mesmo tempo com algumas variações em relação à temperatura utilizada, no que se refere em particular ao alívio de tensões provenientes da usinagem dos materiais. Para execução do experimento foram construídos quatro corpos de prova utilizando-se o aço inoxidável VP420-IM da Villares Metals, que é largamente utilizado na construção de cavidades de moldes para injeção de termoplásticos. A geometria dos corpos de prova foi definida de maneira a simular uma cavidade de um molde de injeção plástica. Dos quatro corpos de prova, um foi usinado até a dimensão final e submetido diretamente ao tratamento térmico de têmpera e os outros três foram usinados deixando-se um sobremetal e submetidos em seguida a um tratamento intermediário de alívio de tensões e somente então foram usinados até suas dimensões finais e posteriormente submetidos ao tratamento de têmpera. A diferença está justamente na maneira de executar o tratamento intermediário de alívio de tensões, pois em um dos corpos de prova foram seguidos os parâmetros fornecidos pelo fabricante do material e os outros dois corpos de prova foram tratados com temperaturas acima a abaixo da especificação do fabricante. Comparando-se os resultados obtidos, foi possível observar que o corpo de prova que foi tratado segundo as recomendações foi o que apresentou menor deformação após a têmpera e o corpo de prova no qual não foi realizado o tratamento intermediário, foi o que apresentou maior deformação e os demais corpos de prova sofreram deformações intermediárias. Sendo assim, conclui-se que se deve considerar o tratamento intermediário de alívio de tensões, para as tensões provenientes

da usinagem para se evitar a perda de cavidades de moldes devido à deformação e prejuízos decorrentes destas perdas.

### PALAVRAS-CHAVE

Tratamento térmico. AISI420. Deformações. Moldes de injeção.

### INTRODUÇÃO

Cada vez mais se torna necessário produzir bens e serviços com menos custo, alta qualidade e especificamente para a indústria automobilística componentes de alta qualidade, baixo custo e pouco peso. Sempre que usamos materiais metálicos existe dependendo do caso uma dificuldade muito grande em se construir um componente, dada a complexidade de sua geometria, número de operações de conformação, usinagens, tratamentos térmicos, pintura, espessura e tipo de material, etc.. Certos componentes, além disso, precisam estar expostos a temperaturas extremas, alguns ainda precisam ser construídos com ressaltos ou rebaixos que necessitariam de diversas operações de conformação e ou repuxo para que o perfil necessário fosse conseguido (SOARES, 2003).

Além disso, alguns produtos precisam ter roscas, nervuras, espessuras diferentes num mesmo produto, cantos raios, chanfros, etc. Todas estas necessidades fazem que o produto fique com o seu custo de produção muito alto. A solução encontrada pelos engenheiros e técnicos de produto foi passar a fazer alguns destes componentes de material termoplástico, pois a sua transformação é relativamente mais simples, seu custo e peso menores. Certos termoplásticos (plásticos de engenharia) se prestam exatamente para esse fim substituindo com vantagens os materiais metálicos.

Estes materiais possuem uma ótima performance

e resistência mecânica e térmica iguais aos materiais metálicos. Ainda mais, estes materiais suportam condições extremas de trabalho e possuem baixo peso específico, e seu custo de processamento é bem mais barato que do seu concorrente metálico. Mas para que estes materiais apresentem estas qualidades neles são adicionadas as chamadas cargas, que podem ser de origem mineral ou vegetal. Estas cargas (aditivos) são necessárias para que o material venha a atender alguns requisitos do produto tais como estabilidade dimensional, resistência alta e baixa temperatura, flexibilidade e resistência ao cisalhamento, e outras solições mecânicas.

Atualmente torna-se necessário desenvolver aços especiais que suportem estas severas condições e que garantam grande produtividade, hoje em dia é comum encomendar-se moldes para a ferramentaria que garantam a produção de 100.000 peças. Estes moldes fabricarão peças técnicas de alta precisão, então o aço a ser usado para esta finalidade tem que ser do tipo especial, ser inoxidável e, além disso, temperável. Durante a construção de cavidades para moldes de injeção plástica, é muito comum se encontrar problemas dimensionais logo após o tratamento térmico de têmpera, essas deformações muitas vezes são irreversíveis, causando perdas de cavidades e, por conseqüência acarretando graves prejuízos devido ao atraso na entrega e perda do trabalho de usinagem (SOARES, 2003).

O aço inoxidável martensítico tipo AISI 420 é amplamente utilizado em aplicações de cutelaria, componentes mecânicos que combinem elevada resistência mecânica e resistência à corrosão e em particular, foi desenvolvido especificamente para o setor de moldes para injeção de polímeros. É fornecido no estado recozido, com dureza máxima de 200 HBN, a partir do qual, são confeccionados os mais diferentes tipos de componentes (VILLARES METALS, 1998). O tratamento térmico aplicado para esses materiais tem como principal função conferir propriedades mecânicas elevadas ao aço. Entretanto, por atuar diretamente na microestrutura do aço, o tratamento térmico tem, sempre, como efeito colateral indesejável, a deformação. Yoshida (YOSHIDA, 1998) afirmou que esta deformação é inevitável, e, na maior parte dos casos, imprevisível, razão pela qual, é absolutamente imprescindível que seja deixado sobremetal.

Porém, muitos fabricantes deixam de citar que outra causa das deformações que ocorrem num ma-

terial durante a têmpera, está relacionada com as tensões internas provenientes da usinagem. A ausência de um tratamento térmico intermediário de alívio de tensões logo após a usinagem de desbaste pode provocar danos irreparáveis num produto que tenha sido produzido, utilizando-se esse material.

O tratamento de têmpera, conforme recomendação do fabricante e de acordo com o diagrama de fases da liga (Figura. 1), deve ser feito aquecendo lenta e uniformemente (100 °C/hora) até 400 °C, em seguida, no máximo a 300 °C/hora até a temperatura de têmpera de 1000 a 1040 °C, usualmente 1025 °C, mantendo-se em temperatura até a completa homogeneização. O resfriamento deve ser realizado em óleo para têmpera, agitado e aquecido a 40/60 °C. Após a peça ter atingido aproximadamente 80 °C é imprescindível, principalmente em peças grandes, que esta seja transferida para um forno de equalização a 100/150 °C e mantida por um tempo de 1hora/100 mm de espessura antes do início do revenimento.

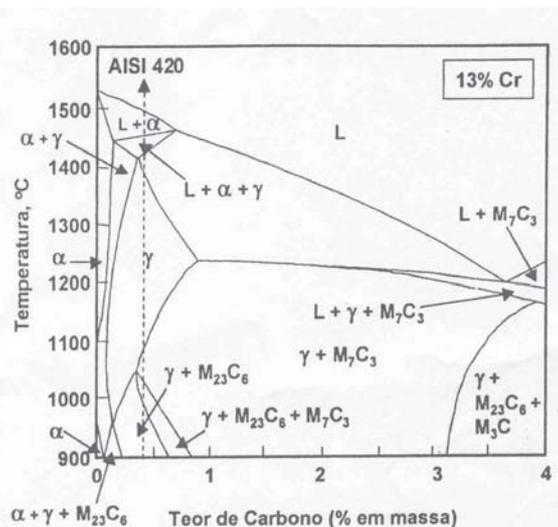


Figura 1 – Diagrama de fases do sistema Fe-C-Cr para a liga AISI 420 (BUNGARDT, 1958)

Como na têmpera o constituinte final desejado é a martensita, os objetivos dessa operação, sob o ponto de vista de propriedades mecânicas são, o aumento tanto da dureza do aço quanto da sua resistência à tração, (MEI; SILVA, 1988). Na realidade, o aumento da dureza deve ocorrer até uma certa profundidade. Resultam também da têmpera a redução da ductilidade (baixos valores de alongamento e estricção) e da tenacidade e, ainda, o aparecimento de apreciáveis tensões internas, que podem, se não bem controladas,

ocasionar deformação, empenamento e fissuração.

Como comentado anteriormente, em geral, os aços inoxidáveis apresentam boas propriedades de resistência mecânica e excelente resistência à corrosão. Eles compreendem uma família de ligas divididas em vários grupos que possuem as suas próprias características de microestrutura, elementos de liga e faixa de propriedades (METALS HANDBOOK, 1989).

Apesar desta diversidade, segundo Trent (1989), pode-se afirmar que os aços inoxidáveis apresentam baixa usinabilidade, com forte tendência à aderência nas superfícies da ferramenta durante o corte. Em alguns casos, podem provocar danos na ferramenta, com a quebra do cavaco aderido. Esta característica de baixa usinabilidade é ocasionada pela composição necessária para que apresentem propriedades de elevada resistência mecânica e à corrosão, especialmente para os austeníticos.

Östlund (1994), ressalta que a despeito de os aços inoxidáveis serem geralmente considerados materiais de difícil usinagem, existe uma variação muito grande de teor e elementos de liga, assim como microestruturas e propriedades mecânicas bastante diversificadas. Isto significa dizer que os graus de usinabilidade entre os diversos tipos de aços inoxidáveis abrangem uma larga faixa, o que sugere a necessidade de testes de materiais específicos com o intuito de se estabelecer as possibilidades de cada um referentes à usinagem.

O intuito deste trabalho é demonstrar que esses problemas podem ser minimizados utilizando-se um tratamento intermediário de alívio de tensões provenientes da usinagem evitando-se assim os prejuízos decorrentes das deformações provocadas por essas tensões.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo compreendeu a realização de tratamento térmico em quatro corpos de prova nos quais foi simulada a presença de uma cavidade, com remoção de material nos níveis de um molde tradicional (com remoção de 16% do volume da peça inicial). Foram realizadas variações na execução do tratamento térmico de alívio de tensões para três corpos de prova, sendo que um deles não sofreu alívio de tensões.

Após o tratamento de alívio de tensões, foi feita a finalização da usinagem da cavidade e em seguida, todas as peças foram submetidas ao tratamento de

têmpera, sob os mesmos parâmetros, também conforme recomendação do fabricante. Como foi possível observar, a diferença está somente no tratamento de alívio de tensões, que seria um tratamento térmico intermediário.

O aço inoxidável VP420-IM da Villares Metals foi escolhido para esse trabalho por se tratar de um aço desenvolvido pela indústria metalúrgica especialmente para a fabricação de moldes para injeção de polímeros de engenharia como, por exemplo, a poliamida, devido às suas características de permitir a execução de uma superfície muito bem polida no estado temperado e revenido, excelente resistência à corrosão e ao desgaste, boa estabilidade dimensional no tratamento térmico, além de atingir uma boa dureza (na ordem de 48-54 HRC). Aços Inoxidáveis Martensíticos normalmente são utilizados no estado temperado e revenido. No estado recozido, apresentam uma estrutura com carbeto esferoidizados, conforme a figura 2.



Figura 2- Micrografia de uma amostra do aço VP 420 IM (SOARES, 2003)

A amostra 1 foi usinada nas dimensões finais conforme a figura 3, já as amostras 2, 3 e 4 foram usinadas deixando-se 2 mm de sobremetal para um posterior acabamento. Após o tratamento de alívio de tensões e as devidas verificações, os corpos de prova 2, 3 e 4 foram enviados novamente para usinagem, porém agora nas dimensões finais.

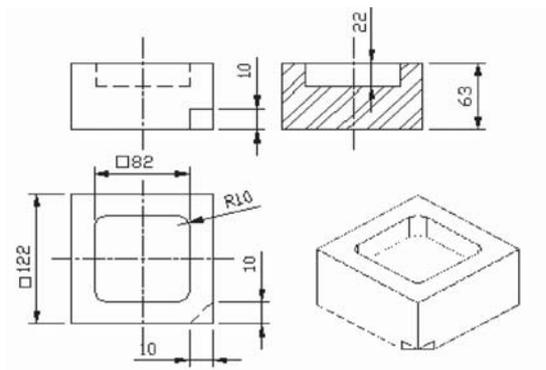


Figura 3 – Dimensões dos corpos de prova

O tratamento de alívio de tensões, segundo recomendações do fabricante, deve ser feito aquecendo-se lenta e uniformemente (100 °C/hora) até 650 °C, manter 0,5 hora para cada 25 mm da maior seção da peça e, no mínimo, 2 horas. Resfriar no forno até 500 °C (30 °C/hora), após resfriar ao ar calmo.

Assim sendo, em três amostras foi utilizado um tratamento de alívio de tensões após a usinagem de desbaste, utilizando para tanto as seguintes temperaturas: amostra 2 – 650 °C, amostra 3 – 715 °C e amostra 4 – 585 °C; para somente depois sofrerem usinagem final e posterior têmpera, conforme o fluxograma da figura 4. Na primeira amostra foi efetuada a usinagem final sem a utilização de tratamento de alívio de tensões e finalmente a têmpera.

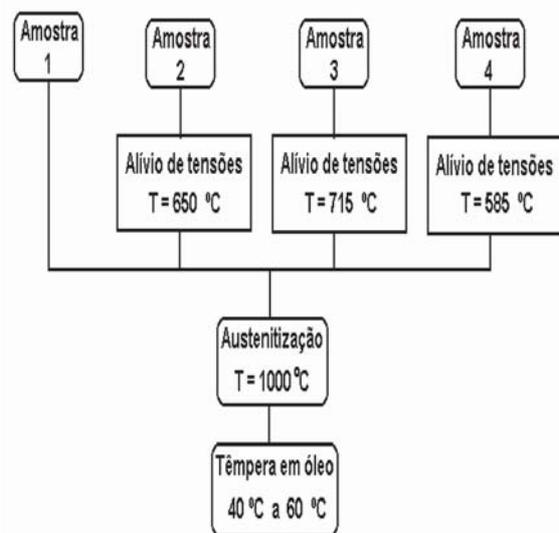


Figura 4 – Fluxograma das operações de tratamento térmico

O tratamento de têmpera obedeceu a recomendação do fabricante, ou seja: aquecimento lento e uniforme até a temperatura de 400 °C (100 °C/h) e, em seguida, no máximo a 300 °C/h até a temperatura de têmpera (1000 °C) e mantendo-se nesta temperatura até a completa homogeneização. Na sequência resfriamento em óleo próprio para têmpera agitado e aquecido a 40/60 °C. Para a execução do tratamento foi utilizado um óleo mineral parafínico, antioxidante, acelerador do tempo de resfriamento próprio para têmpera marca GW tipo TEMP 150.

Para efeito de análise das deformações ocorridas após o tratamento térmico de têmpera, foi analisado somente o perfil inferior dos corpos de prova diagonalmente, pois este é o perfil onde as deformações tendem a ser mais significativas, Figura 5. Isso foi realizado com o auxílio do medidor de topografia, fabricado pela Hommelwerke GmbH tipo Hommel Tester 8000, e utilizado nas dependências de uma indústria de componentes automotivos, conforme a Figura 5.

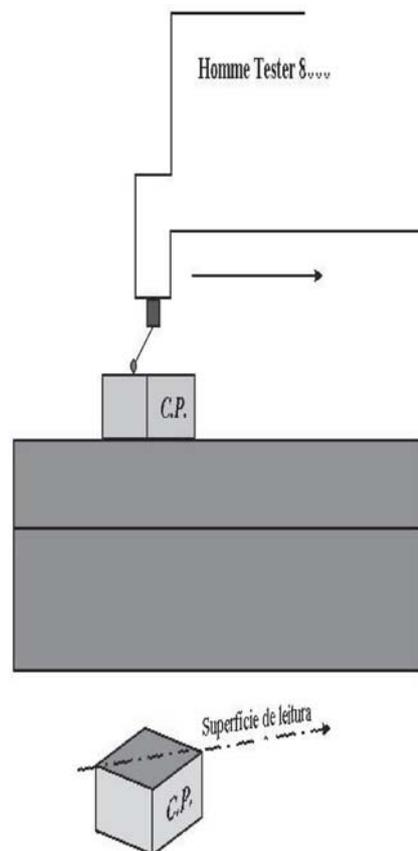


Figura 5 – Representação esquemática da medição da variação do perfil (SOARES, 2003)

Com o objetivo de observar o comprometimento da dureza das amostras em função da aplicação do tratamento de alívio de tensões, foram quantificados os valores de dureza das amostras, para tanto foi utilizado um medidor de dureza da Tokyo Testing Machine, instalado no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da UNITAU. O tipo de ensaio escolhido foi o de dureza Rockwell e a escala utilizada foi a C. Para cada corpo de prova foram tomados três valores em cada ensaio. As medidas foram realizadas antes e depois do tratamento térmico de têmpera.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos testes foi possível observar que a amostra 1, que não sofreu alívio de tensões, foi o que apresentou o pior resultado, ou seja, a maior deformação pós-têmpera. Pois, quando este corpo de prova foi submetido às altas temperaturas de austenitização, as tensões internas resultantes tanto da usinagem quanto das mudanças microestruturais provocaram deformações que, por exemplo, na construção de uma cavidade de um molde plástico (uma das principais aplicações desse material), poderiam causar a perda da mesma. Já a amostra 2, que sofreu o alívio de tensões segundo as especificações do fabricante do material, com o objetivo de minimizar o efeito das tensões resultantes da usinagem, foi o que apresentou o melhor resultado pós-têmpera (Figura 6).

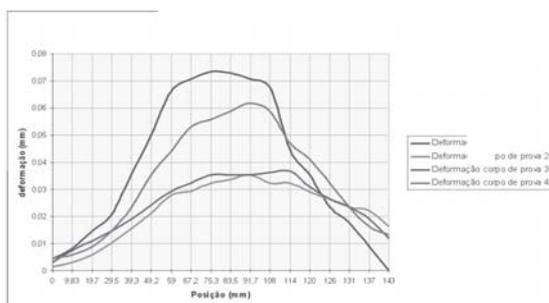


Figura 6 - Comparativo da deformação da face inferior da 4 amostras após o tratamento de têmpera.

E, finalmente, notou-se que a amostra 4 apresentou uma deformação maior do que a da 3, devido ao fato de aquela sofreu alívio de tensões utilizando-se uma temperatura abaixo da temperatura especificada pelo fabricante e, sendo assim, o seu tratamento não foi realizada por completo antes da têmpera. Já na amostra 3, as deformações apresentadas foram muito

próximas da amostra 2, levando a crer que o aumento de temperatura no alívio de tensões não prejudicou o comportamento do material, propiciando uma redução de tensões significativa. Após o tratamento de alívio de tensões, foram realizadas verificações de dureza para efeito de comparação dos resultados obtidos em cada corpo de prova, após o tratamento de têmpera um novo ensaio foi realizado, seus resultados foram assinalados na tabela 1.

**Tabela 1 - Medidas de dureza dos corpos de prova**

CDP	Após alívio de tensões (HRc)	Após têmpera (HRc)
1	Como recebido	48
2	20	48
3	20	47
4	20	48

## CONCLUSÃO

Como foi possível observar nesse experimento, a ausência de um tratamento térmico intermediário de alívio de tensões, logo após a usinagem de desbaste, pode provocar danos irreparáveis num produto que tenha sido produzido, utilizando-se esse material, obtendo como resultado o que ocorreu com a amostra 1. Porém, é interessante notar que, apesar dos bons resultados obtidos na amostra 2 em relação às demais amostras, devido à aplicação correta do tratamento intermediário de alívio de tensões, o mesmo não consta como recomendação do fabricante. Outro fator importante que não é recomendado de forma explícita por parte dos fabricantes em geral é a necessidade de se deixar uma quantidade de sobremetal adequada para ser removida após o alívio de tensões, para se submeter então a peça ao tratamento de têmpera. Porém pelos resultados obtidos neste trabalho, foi possível demonstrar que, pelo menos é possível minimizar estas deformações através da aplicação do alívio de tensões no momento certo. Assim sendo, é possível evitar grandes prejuízos, como a perda de horas de usinagem e de produtos usinados em geral.

## ABSTRACT

This work consists in a case study to show the correct procedures for heat treatments for general steels, comparing the results using a correct procedure to stress relieve and an incorrect procedures. For this experiment were made four samples using the commercial martensitic stainless steel, that is normally used to construct cavities for plastic injection molds. The geometry used for samples is defined trying to simulate a cavity of a plastic injection mold. Between the four samples, one was produced with final dimensions and submitted to the quench treatment. Other three samples were produced with an intermediates dimensions and submitted to a stress relieve treatment and only after this treatment, the samples were finished and submitted to a quench treatment. Comparing the results is possible to analyze that the sample submitted to the corrects procedures to execute the stress relieve heat treatments presented the small deformation after the quench treatment and in the sample that weren't realized the normalization intermediate treatment presented the biggest deformation and the other two samples presented intermediate deformations. The conclusion is that necessary to use the intermediate normalization treatment for stress relieve from works with tool machine to avoid damages in the cavities of plastic injection molds.

## KEY-WORDS

Heat treatment. Steel 420. Stress. Injection mold.

## REFERÊNCIAS

BUNGARDT, V. K. *Untersuchungen über der Aufbau des Systems Eisen-Chrom-kohlenstoff*. Arch. Eisenhüttenwesen, v. 29, n. 3, p. 193-203, 1958.

MEI, P. R.; SILVA, A. L. C. *Aços e ligas especiais*. Eletrometal, 2. ed., Sumaré/SP. 1988.

METALS HANDBOOK. *Machining of stainless steels*. v. 16, 9. ed., p. 681-707, 1989.

ÖSTLUND, S. *Stainless steel turning*. Stainless Steel Europe, p.46-51, Mar/1994.

SOARES, F. A. *Estudo do efeito do tratamento térmico para o alívio de tensões provenientes da usinagem*. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica), Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2003, 61p.

TRENT, E. M. *Metal Cutting*, 3. ed., London: Butterworths, 1989.

VILLARES METALS S.A. *Catálogo do aço inoxidável para moldes VP 420-IM*. 2. ed., Mar/1998.

YOSHIDA, S. *Seleção de aços, tratamento Térmicos e engenharia de superfícies para moldes de injeção de plástico*. Curso do Programa Educacional Brasimet, Set/1998.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradem o apoio recebido por parte das empresas Behr Brasil Ltda., Villares Metals, GW lubrificantes e Metalúrgica SAP o qual possibilitou a realização deste trabalho.

## DIREITO AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.