

ANÁLISE DA FORMAÇÃO DE TRINCAS DURANTE A CONFORMAÇÃO A FRIO DE PARAFUSOS DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO 302HQ¹

Joel Jessin Sire de Paula²

José Mario Fernandes de Paiva Junior³

Emerson Luiz Lapolli⁴

Ricardo Diego Torres⁵

Paulo César Soares Junior⁶

Jeison Sanders L´Hoste⁷

Guido Ganassali⁸

Resumo

Neste trabalho foi estudado o processo de conformação a frio de parafusos de aço inoxidável austenítico 302HQ, para identificar as causas da formação de trincas na borda da cabeça dos parafusos. Foi avaliado o comportamento do material durante a conformação, através de ensaios de metalografia qualitativa e de microdureza Vickers em amostras de parafusos nas diversas etapas de conformação, coletadas ao longo de quatro horas de produção; e ensaios de metalografia qualitativa, microscopia eletrônica por varredura (MEV), dureza Rockwell C e medição de rugosidade Ra das ferramentas de conformação. Os resultados de metalografia e microdureza indicaram um grande aumento de dureza na cabeça do parafuso, caracterizando alto grau de encruamento. Também foi observado um desalinhamento no fluxo de material nessa região. Não foi detectada nenhuma variação na conformação em decorrência do tempo de fabricação. Os ensaios realizados nas ferramentas mostraram trincas e falhas de aderência no revestimento da ferramenta.

Palavras-chave: Conformação a frio; Aço inoxidável austenítico 302HQ; Trinca; Parafuso.

INVESTIGATION OF THE CRACK FORMATION IN 302HQ AUSTENITIC STAINLESS STEEL BOLTS DURING COLD FORMING

Abstract

This study investigated the cold forming process of 302HQ austenitic stainless steel fasteners, to identify the causes of crack formation at the edge of the screw head. Was evaluated the material during cold forming, through qualitative metallography and Vickers microhardness, in samples of screws collected over four hours of production, at various stages of forming; and qualitative metallography, scanning electron microscopy (SEM), hardness Rockwell C and measurement of roughness Ra of the forming tools. The results of metallography and microhardness showed a large increase in hardness of the screw head, featuring a high degree of strain hardening. There was also a misalignment in the material flow in this region. Have detected no change in the elapsed time of manufacturing. Tests conducted on the tools showed cracking and failure of adhesion of the coating tool.

Key-words: Cold forming; 302HQ austenitic stainless steel; Cracking; Bolt.

¹ *Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.*

² *Graduado em Tecnologia de Fabricação Mecânica, SENAI/SC.*

³ *Mestre Engº Mecânico, SENAI/SC*

⁴ *Físico, SENAI/SC*

⁵ *Dr. Engº Mecânico, PUC-PR (Pontifícia Universidade Católica do Paraná)*

⁶ *Dr. Engº Mecânico, PUC-PR*

⁷ *Técnico Mecânico, PUC-PR*

⁸ *Engº Mecânico, Ciser*

1 INTRODUÇÃO

Os elementos de fixação (parafusos, porcas, arruelas etc) são amplamente utilizados nas mais diversas áreas da indústria: automotiva, naval, de alimentos, próteses médicas, entre outras. Nas aplicações em que os elementos de fixação são submetidos a condições agressivas, como ambientes corrosivos e altas temperaturas, é necessária a utilização de materiais com propriedades especiais, como os aços inoxidáveis, que possuem boa resistência à corrosão e a temperaturas elevadas.

A empresa Ciser Parafusos e Porcas, líder do setor de elementos de fixação na América Latina, vem encontrando diversos problemas na fabricação de parafusos de aço inoxidável AISI 302HQ. O mais crítico entre eles é a formação de trincas na região da borda da cabeça dos parafusos (Figura 1), que inutilizam o produto, elevando os índices de refugo no processo. A frequência com que ocorrem as trincas é aparentemente aleatória.

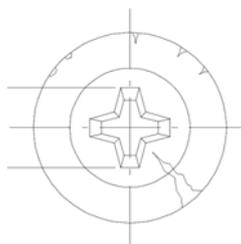


Figura 1: Vista superior de parafuso de cabeça redonda flangeada com fenda Phillips, ilustrando as trincas em sua borda.

O propósito deste trabalho é identificar as causas da ocorrência de trincas no parafuso durante a conformação, analisando a microestrutura e as propriedades mecânicas da matéria prima, e o processo de fabricação do parafuso. Para tanto, foram realizados ensaios metalográficos e de microdureza na matéria prima, para caracterizar sua microestrutura e propriedades mecânicas; e em amostras de parafusos nos diferentes estágios de fabricação, para avaliar o comportamento do material durante a conformação. Também foram estudadas as ferramentas utilizadas na conformação, tanto o metal base quanto o seu revestimento superficial, utilizando ensaios de metalografia, microscopia eletrônica de varredura (MEV), dureza e de rugosidade.

1.1 Conformação a Frio – *Cold Heading*

Os processos de fabricação por conformação a frio, de acordo com Schaeffer⁽¹⁾ e Tschaetsch,⁽²⁾ consistem na aplicação de forças – de tração, compressão ou ambas – na matéria prima, em temperaturas relativamente baixas (abaixo da temperatura de recristalização), causando deformações nesta até adquirir a forma desejada. Suas principais características, segundo Schaeffer,⁽¹⁾ são: grande precisão dimensional; fabricação de peças com geometrias complexas; acabamento próximo ao final (*near-net-shape*); baixíssimos índices de refugo; melhoria das propriedades mecânicas da peça devido ao encruamento do material.

Um destes processos é o de *cold heading*, utilizado principalmente para fabricar peças de pequenas e médias dimensões, como parafusos e porcas.⁽³⁾ Este processo consiste em conformar, com um punção, a extremidade do *blank*, cuja maior porção do comprimento fica alojada na matriz, causando a redução de seu

comprimento e o aumento do diâmetro. Isso ocorre tanto em matriz aberta quanto em matriz fechada.⁽³⁾ A matéria prima utilizada na conformação por *cold heading* vem na forma de barras cilíndricas ou arame. A maioria dos elementos de fixação fabricados por *cold heading* são de aços de baixo carbono com dureza entre 60 HRB a 87 HRB. Os aços inoxidáveis também podem ser processados por *cold heading*.⁽³⁾

1.2 Aços Inoxidáveis Austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos são largamente utilizados na fabricação de elementos de fixação devido a uma combinação favorável de propriedades, que segundo Padilha e Guedes⁽⁴⁾ são: resistência à corrosão e à oxidação, resistência mecânica a quente, soldabilidade e conformabilidade. No entanto, devido às suas propriedades mecânicas particulares, ocorrem diferenças na conformação a frio destes materiais, se comparados com os aços carbono comumente usados na fabricação de elementos de fixação. Todos os aços inoxidáveis possuem taxas de encruamento maiores que os aços carbono comuns.⁽⁵⁾ Conseqüentemente, embora sejam materiais com boa ductilidade, requerem o uso de prensas com maiores forças de deformação, além de serem mais propensos a trincamento nas porções do material sob conformação.⁽⁵⁾

A liga de aço inox austenítico 302HQ, normalmente fornecida na forma de arame, é comumente utilizada na fabricação de elementos de fixação, devido a sua maior ductilidade e menor taxa de encruamento se comparado aos aços inoxidáveis comuns.⁽⁶⁾ Essas propriedades se devem ao acréscimo de cobre (Cu) em sua composição química,⁽⁷⁾ aumentando a sua conformabilidade.

1.3 Possíveis Causas de Falha na Conformação

Diversos fatores influenciam a conformabilidade do material. Entre os fatores mecânicos, Bresciani Filho⁽⁸⁾ cita: a) atrito na interface ferramenta-peça; b) velocidade de conformação (taxa de deformação); c) distribuição de tensões, e; d) relação entre a deformação e o encruamento sofrido (taxa de encruamento). Como fatores metalúrgicos, Tschaetsch⁽²⁾ menciona os seguintes: a) composição química; b) estrutura cristalina, e: c) tratamento térmico.

O atrito na interface peça-ferramenta, além de aumentar a força necessária para deformar o material, causa o fenômeno conhecido como abaulamento (*barreling*), ilustrado na Figura 2. Isso gera tensões secundárias (de difícil avaliação) nas bordas da peça deformada. Dependendo do grau de deformação induzido no corpo, estas tensões criam trincas longitudinais no mesmo, iniciando na superfície do corpo, e que podem causar fratura.⁽⁹⁾ Por isso, uma adequada lubrificação das interfaces críticas se faz necessária para melhorar a conformabilidade. Além disso, têm-se observado que velocidades de deformação menores retardam o efeito de abaulamento.

A qualidade da superfície do corpo, segundo Kalpakjian e Schmid,⁽⁹⁾ também é importante, pois qualquer ponto de concentração de tensão (ranhuras, riscos, corrosão, alta rugosidade etc.) aumenta as probabilidades do trincamento sob compressão, principalmente trincas no sentido longitudinal na cabeça do parafuso.⁽²⁾

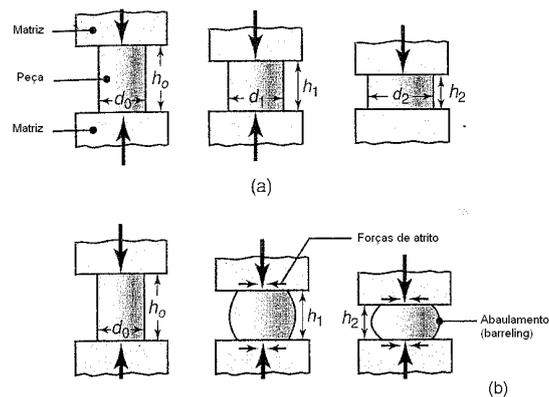


Figura 2: Deformação de um corpo cilíndrico comprimido entre duas superfícies planas. (a) Deformação ideal do corpo contra duas matrizes sem atrito. (b) Deformação com atrito nas interfaces ferramenta-peça.⁽⁹⁾

Tanto Callister⁽¹⁰⁾ quanto Van Vlack⁽¹¹⁾ mencionam que o aumento de resistência causado pelo trabalho a frio (encruamento) é acompanhado pela redução da ductilidade. Logo, no decorrer da conformação o material se torna cada vez mais frágil. Nos casos em que há um alto grau de deformação a frio, o material pode sofrer trincas.

Para minimizar os efeitos do encruamento, a matéria prima é submetida a tratamentos térmicos de recozimento, para cancelar qualquer aumento de resistência decorrente de processos anteriores. Em alguns estudos, foi possível observar que o material tende a melhorar suas propriedades durante o processo de conformação, quando este é submetido a frio. De acordo com Tschaesch, ⁽¹²⁾ (p. 12), “o material tende a melhorar suas propriedades no processo de conformação a frio, quando exposto a temperatura e tempo suficiente para que ocorra o processo de recristalização”.

1.4 Processo de Fabricação

O parafuso objeto deste estudo é fabricado por conformação a frio, pelo método conhecido como *cold heading*, através das seguintes etapas: 1) Alimentação da prensa com o arame aquecido; 2) Corte do *blank* por cisalhamento (Figura 3a); 3) Alojamento do *blank* na matriz de conformação; 4) Conformação da primeira etapa, ou pré-forma (Figura 3b); 5) Conformação da segunda etapa, ou forma final (Figura 3c); 6) Extração da peça.

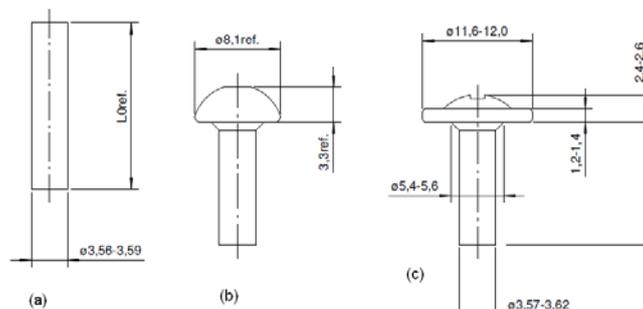


Figura 3: Estágios da conformação do parafuso de cabeça redonda flangeada. (a) Corte. (b) Primeira etapa. (c) Segunda etapa.

Na fabricação do produto estudado é utilizada uma prensa excêntrica de martelo horizontal, com capacidade de bitola até M6, e capacidade de comprimento de 10 mm até 65 mm. As ferramentas utilizadas na conformação do parafuso são: a) Uma matriz fabricada em aço ferramenta indicado para uso na conformação a frio, torneada e fresada, com núcleo de metal duro torneado e alojamento usinado por eletroerosão por penetração (EDM); b) Punções de primeira e segunda conformação, fabricados com aço M2 temperado e revenido, e revestidos com nitreto de titânio (TiN), com dureza de 61 HRC a 63 HRC. Os punções de segunda conformação, ao trabalhar com aço inox 302HQ, apresentam vida útil três vezes menor do que se estivessem conformando aço carbono.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado na fabricação do parafuso objeto de estudo, é o aço inoxidável austenítico 302HQ, na forma de arame com diâmetro de 3,56 mm, no estado recozido, de acordo com a norma EN 10088-3.⁽¹³⁾ Nesta norma, o material é designado pelo N° 1.4567, nome X3CrNiCu18-9-4. A composição química e propriedades mecânicas do material são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Composição química do aço 302HQ⁽⁷⁾

Material		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
302HQ	Min.	-	-	-	-	-	17,0	-	8,5	3,0
	Máx.	0,04	2,00	1,00	0,045	0,030	19,0	-	10,5	4,0

Adaptado de: British Stainless Steel Association – BSSA (2010)⁽⁷⁾

Tabela 2: Propriedades mecânicas do aço 302HQ recozido⁽¹⁴⁾

Material	Tensão de ruptura (N/mm ²)		Tensão escoamento (N/mm ²)		Alongamento (%)	Redução de área (%)	Dureza (HB)
	Min	Max	Min	Max			
302HQ	450	650	-	-	45	-	215

2.1 Coleta de Amostras – Experimento de Fabricação

No parafuso de cabeça redonda flangeada com fenda Phillips de aço inoxidável 302HQ, foi realizado um experimento de fabricação nas dependências da empresa (Ciser), para obter as amostras de parafusos necessárias. Foi iniciado o processo de fabricação, conforme a seqüência mencionada anteriormente, pelo tempo de quatro horas/máquina. Com a assistência do operador de produção, foram coletadas amostras de todos os estágios de conformação – corte, primeira etapa e segunda etapa – na quantidade mínima de dez peças por estágio, a cada meia hora de produção, iniciando no tempo zero (0) hora. Toda a matéria prima utilizada pertence à mesma corrida (n° 518.735). As amostras da matéria prima foram coletadas na mesma ocasião, antes de entrar na prensa, em diferentes extensões da mesma corrida de material.

2.2 Ensaios Realizados nas Amostras de Parafusos

Nas amostras de parafusos de cada estágio de conformação, coletadas durante o experimento de fabricação, foram realizados ensaios de metalografia qualitativa e microdureza Vickers. As amostras foram submetidas aos seguintes procedimentos: a) Limpeza em banho de ultra-som; b) Corte; c) Embutimento a

quente; d) Lixamento; e) Polimento com pasta de diamante de $1\ \mu\text{m}$ e $\frac{1}{4}\ \mu\text{m}$; f) Ataque químico Marble; g) Microscopia ótica - microscópio Olympus, modelo BX-60. Algumas amostras de ferramentas também passaram por estes procedimentos, utilizando diferente ataque químico (Nital 2%). Os pontos onde as micrografias foram tomadas estão representados nas Figuras 4a e 4b.

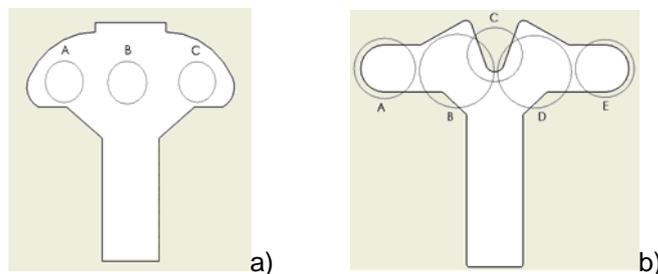


Figura 4: Representação esquemática dos pontos de micrografias: a) primeiro estágio; b) segundo estágio.

Após a tomada das micrografias, foi realizada a medição de microdureza Vickers em um microdurômetro Shimadzu modelo HMV-100, com carga de 50 g, e uma distância entre centros das indentações de $300\ \mu\text{m}$.

Também foi realizada a simulação da conformação, utilizando o software Easy-2-Form. Devido a limitações do software (trabalha apenas com corpos com simetria radial), foi utilizado um desenho simplificado da peça, onde a fenda Phillips é representada por um rebaixo cônico.

2.3 Ensaios Realizados nas Ferramentas

As ferramentas utilizadas para a realização dos ensaios foram dois (02) punções de conformação de fenda Phillips. Estes foram submetidos aos seguintes ensaios: a) Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV; b) Análise da Rugosidade – parâmetro RA; c) Dureza Rockwell C, e; d) Metalografia qualitativa.

Nos primeiros ensaios mencionados (a, b e c) foram utilizados os seguintes equipamentos e parâmetros, respectivamente: a) MEV: Microscópio Eletrônico de Varredura Modelo - Jeol LV 6360 –LV; b) Análise de rugosidade: Rugosímetro da marca Taylor-Hobson. Parâmetros (Ra): Cut-Off de $5 \times 0.8\ \text{mm}$, totalizando 4 mm, com velocidade de deslocamento do apalpador de $0.1\ \text{mm/s}$; c) Dureza Rockwell C: Equipamento de dureza Wilson Rockwell. Carga: 150 Kgf. Penetrador: diamante. Nº indentações: 05 por amostra, 5 mm de distância entre centros das indentações.

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Comportamento do Material Durante a Conformação

As micrografias das amostras da etapa de corte (Figuras 5a e 5b) mostram uma ligeira deformação, evidenciada pelas linhas de deslizamento que, segundo Colpaert,⁽¹⁵⁾ indicam deformação nos grãos. Esta deformação já era esperada, devido ao processo de corte do *blank* por cisalhamento.

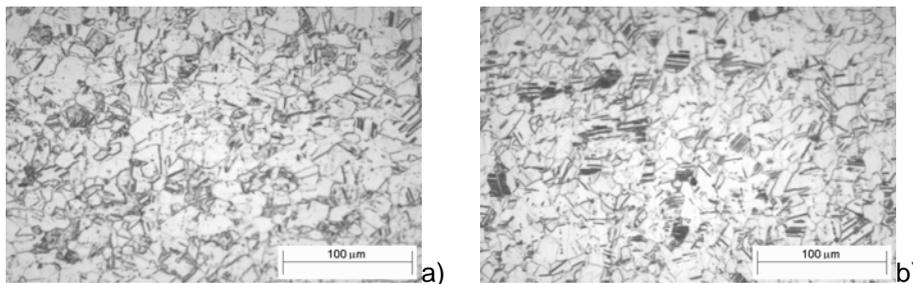


Figura 5: Micrografias da etapa de corte – Ataque com Marble, ampliação 500x. a) tempo 1h; b) tempo 3h.

Durante a conformação da primeira e da segunda etapa ocorre uma distribuição de material assimétrica, quando comparado com a simulação numérica, o que se torna claro ao comparar as micrografias (Figuras 6a e 6b, e 8a e 8b) com as imagens obtidas na simulação de conformação (Figuras 7a até 7e). Esse desalinhamento contribui, para a geração de tensões internas no material.

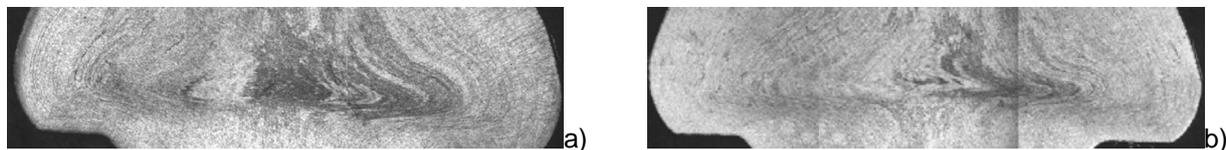


Figura 6: Montagem de micrografias da primeira etapa de conformação - Ataque Marble, ampliação 50x. a) tempo 2h; b) tempo 4h.

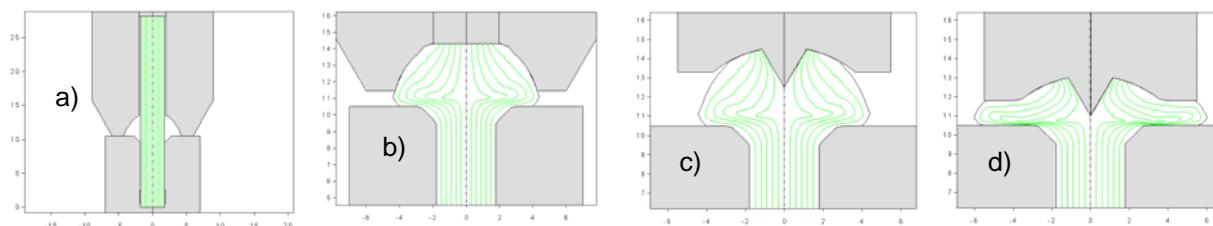


Figura 7: Simulação de conformação. a) *blank*; b) primeiro estágio (pré-forma); c) etapa intermediária; d) segundo estágio (forma final).

As micrografias também mostram o grau de deformação a que a matéria prima foi submetida durante a conformação. Estas mostram em suas bordas o típico abaulamento causado pelo atrito entre peça e ferramenta, mencionado por Kalpakjian e Schmid.⁽⁹⁾

No entanto, como mostrado nas micrografias acima (Figuras 5, 6 e 9) e nos resultados de microdureza Vickers (Figuras 8 e 10), não ocorreu nenhuma variação significativa na conformação dos parafusos no decorrer do tempo de produção. Isso elimina qualquer hipótese de aquecimento excessivo das ferramentas, ou outras falhas da máquina decorrentes do tempo de funcionamento, como possíveis causas das trincas.

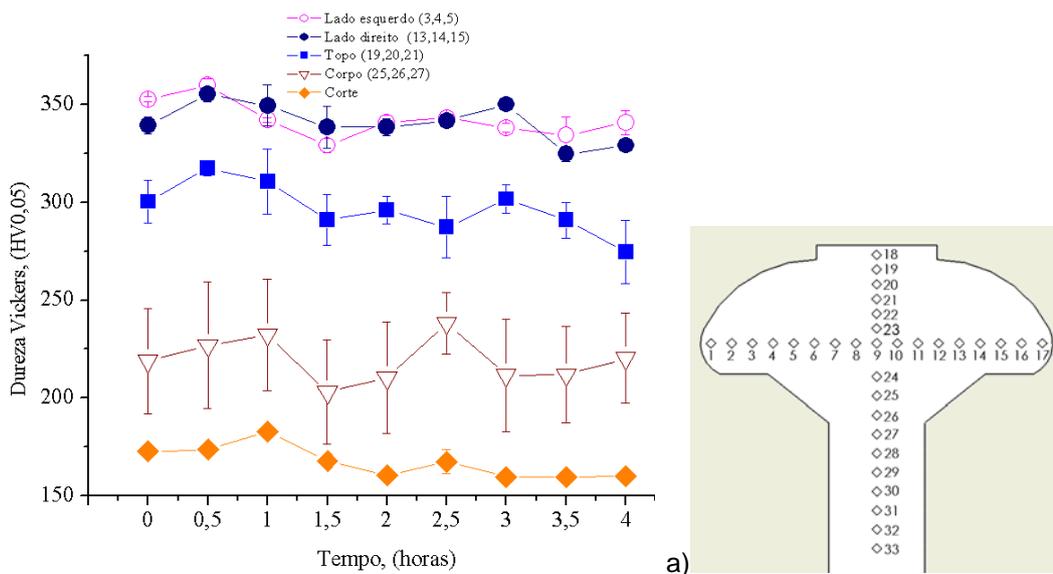


Figura 8: Resultados de microdureza Vickers na primeira etapa de conformação e na etapa de corte (indicado pelo losango laranja). a) esquema dos pontos de medição de microdureza Vickers na primeira etapa de conformação.

Foi verificada uma considerável diferença de dureza entre as regiões da primeira etapa de conformação, quando comparada com a etapa de corte. Os maiores valores de microdureza Vickers foram observados na região das bordas do parafuso, seguido pela região do topo (Figura 8). Assim, fica caracterizado o alto grau encruamento nessa região do material, decorrente do alto grau de deformação na primeira etapa de conformação. Como o encruamento fragiliza o material,⁽¹⁰⁾ as bordas do parafuso tornam-se mais propensas a trincar.

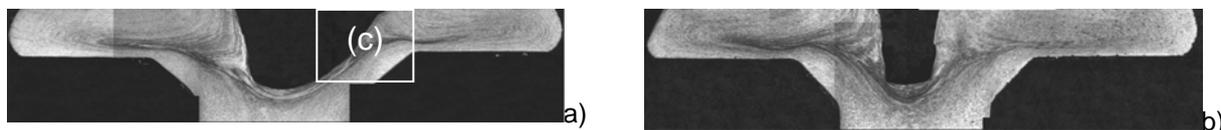


Figura 9: Montagem das micrografias da segunda etapa de conformação – Ataque Marble, ampliação 50x. a) tempo 2h; b) tempo 4h. c) Falha na preparação da amostra.

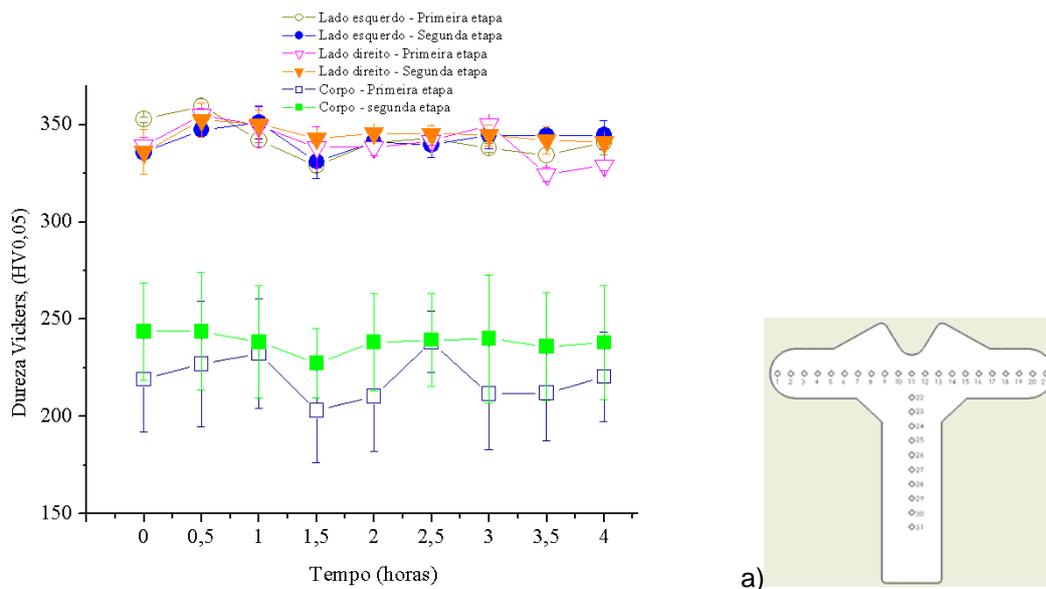


Figura 10: Comparação de resultados de microdureza Vickers, entre a primeira etapa, e a segunda etapa de conformação. a) Esquema dos pontos de medição de microdureza Vickers na segunda etapa de conformação.

Comparando os resultados da primeira etapa com os da segunda etapa de conformação (Figura 10), observa-se um ligeiro aumento de dureza na região do corpo do parafuso. Entretanto, a região das bordas não mostrou diferenças quanto à dureza. Observando a distribuição dos pontos de medição e a forma do corpo nas duas etapas de conformação (Figuras 8a e 10a), deduz-se que o material acima da linha horizontal de medição, na primeira etapa, foi deslocado no sentido radial até atingir o diâmetro final (da segunda etapa de conformação); com a nova configuração de material sob a linha de medição de microdureza, os valores medidos foram semelhantes.

3.2 ENSAIOS REALIZADOS NAS FERRAMENTAS

A microestrutura do metal de base, tanto da ferramenta nova quanto da usada, é composta de uma matriz martensítica com carbonetos uniformemente distribuídos sobre a mesma (Figuras 11a e 11b). Em nenhuma das amostras analisadas foi observada a presença de tratamentos termoquímicos do tipo nitretação ou boretação.

Tanto a presença de trincas (Figura 12) como as falhas no revestimento (Figuras 13 e 14) indicam baixa adesão do revestimento no processo de conformação da cabeça do parafuso.

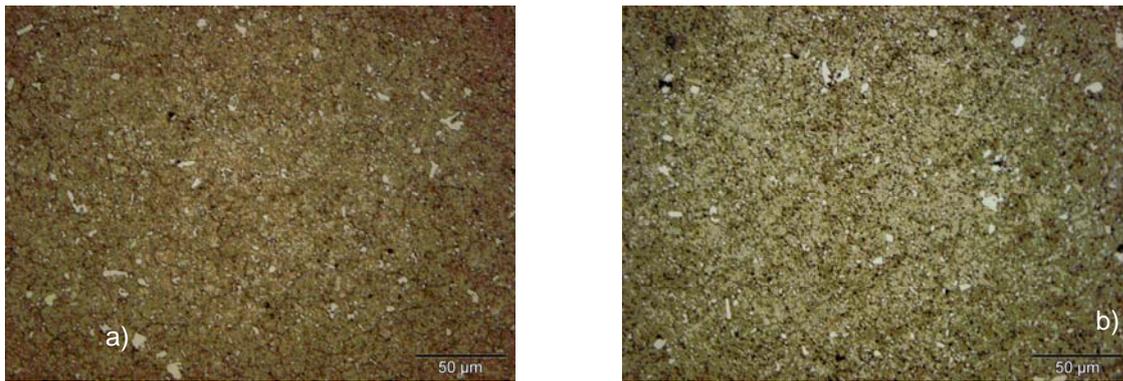


Figura 11: Micrografia do material base da ferramenta de conformação - Ataque Nital 2%, ampliação 500x. a) ferramenta nova; b) ferramenta usada.



Figura 12: Micrografia de indentação Rockwell C, mostrando a região com trincas no revestimento na ferramenta usada. Ampliação 200x.

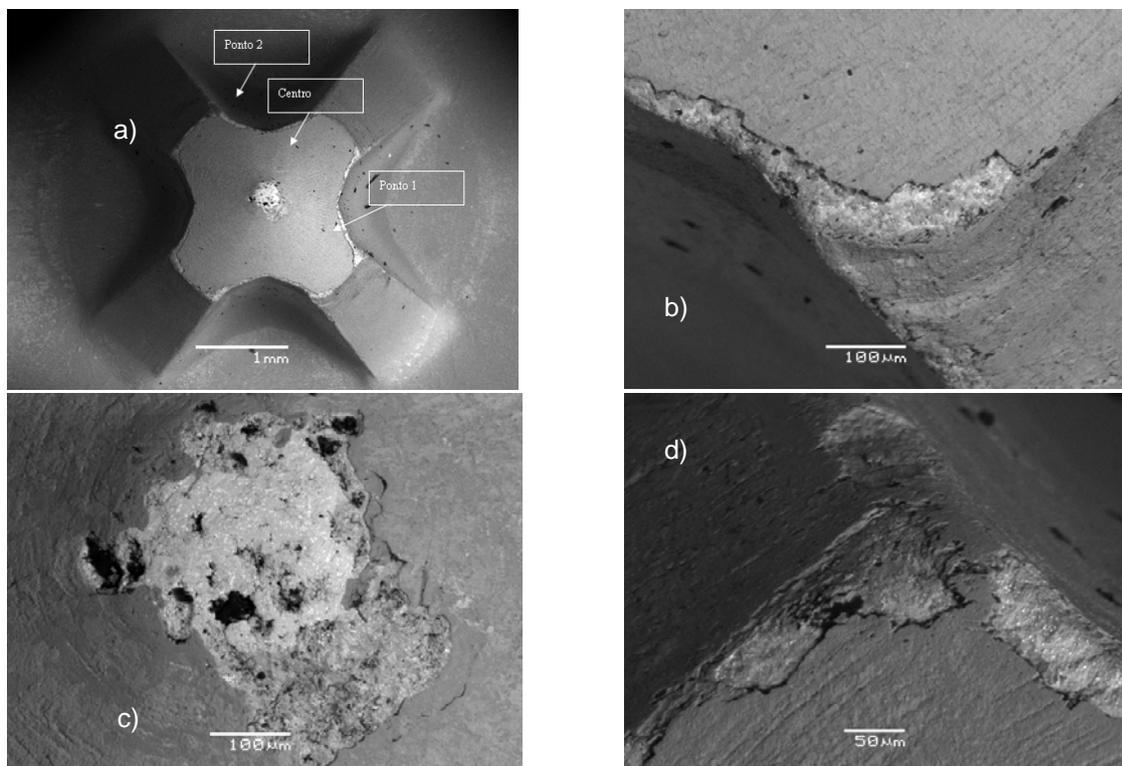


Figura 13: MEV da ferramenta usada. a) Vista do topo, indicando os pontos onde as outras micrografias foram tomadas. Ampliação 23x; b) Vista do ponto 1. Ampliação 200x; c) Vista do centro. Ampliação 200x; d) Vista do ponto 2. Ampliação 200x.

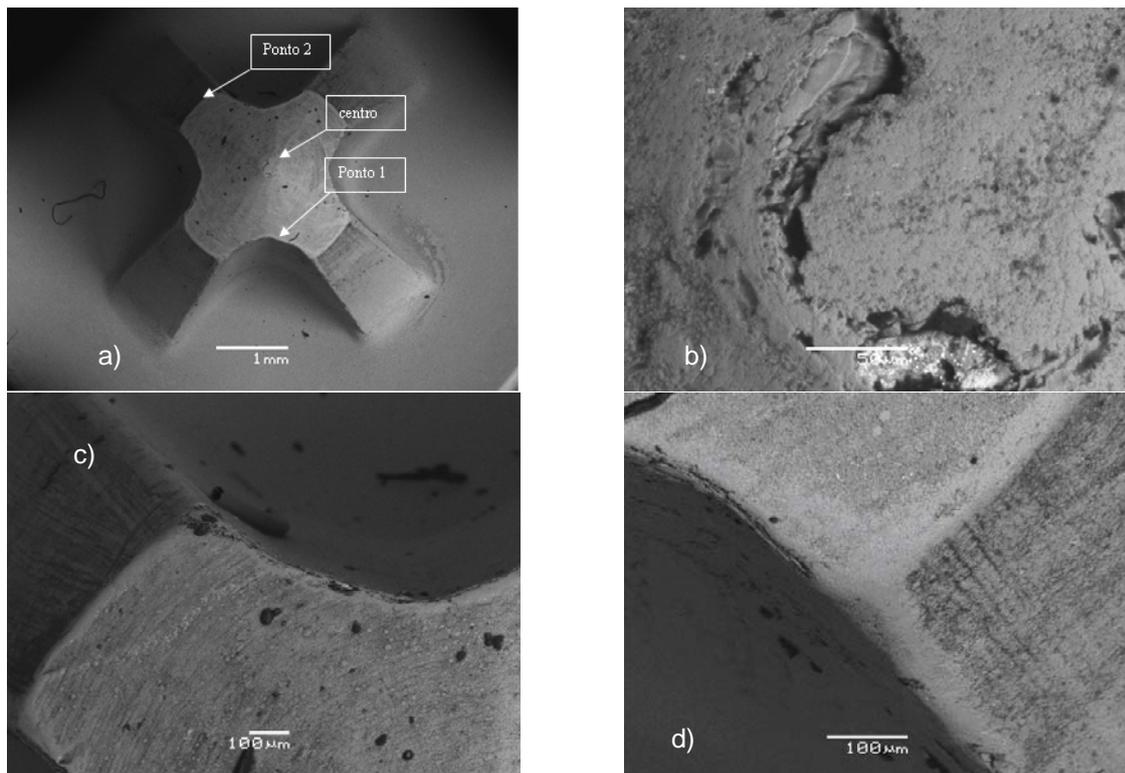


Figura 14: MEV da ferramenta nova. a) Vista do topo, indicando os pontos onde as outras micrografias foram tomadas. Ampliação 18x; b) Vista do centro. Ampliação 200x; c) Vista do ponto 2. Ampliação 100x; e) d) Vista do ponto 1. Ampliação 200x.

As falhas em ambas as ferramentas se localizam na parte central e nos cantos da matriz, onde as tensões de conformação são muito elevadas, além do elevado movimento relativo entre ferramenta e peça, o que causa lascamento do revestimento e desgaste adesivo.

O acabamento da matriz usada sofreu aumento de sua rugosidade em função do desgaste natural adesivo. O revestimento utilizado apresenta um acabamento melhor (menor rugosidade) para a ferramenta nova (Tabela 3). O nível de acabamento da ferramenta sem uso é o mínimo desejável para suportar um revestimento depositado posteriormente. Utilizando grandes ampliações, a textura do material mostra uma superfície irregular (Figura 15)

Tabela 3: Resultados da Rugosidade (**Ra**) para as Ferramentas de Conformação

Amostra Usada	Revestimento (μm)	Amostra Nova	Revestimento (μm)
	0,168		0,124
	0,213		0,136
	0,271		0,126
Média	0,217	Média	0,129
D. Padrão	0,052	D. Padrão	0,006

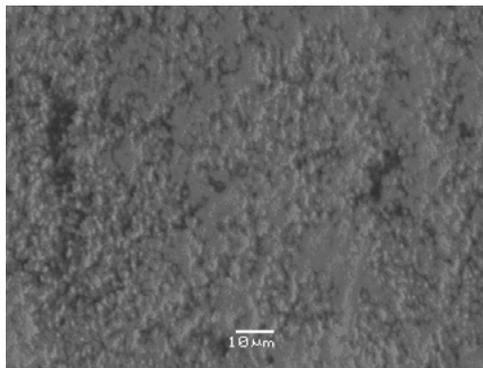


Figura 15: MEV da ferramenta nova - Vista da textura do revestimento do centro. Ampliação 1.000x.

Os resultados de dureza Rockwell C (Tabela 4) do substrato correspondem a valores esperados para aços ferramenta com têmpera e revenimento.

Tabela 4: Resultados de dureza Rockwell C, para as Ferramentas de Conformação

Pontos	Amostra Nova	Amostra Usada
1	62,8	63,5
2	63,6	64
3	63,3	63,9
4	63,6	63,6
5	63,5	62,8
Média	63	64
D. Padrão	0,3	0,5

4 CONCLUSÃO

Os ensaios de metalografia e microdureza Vickers demonstraram que a conformação causou um alto grau de encruamento na região das bordas da cabeça do parafuso, devido às grandes deformações sofridas; também mostraram que não há variações significativas na conformação em decorrência do tempo de processo. Foi verificado também que o fluxo de material é desigual. Isso gera tensões internas que, atuando sobre as regiões do material já fragilizadas pelo encruamento, podem gerar trincas na superfície da borda do parafuso.

Uma possível solução para este problema pode ser vista no processo de simulação numérica através do alinhamento das linhas de fluxo do material distribuídas durante o processo de conformação na matriz: faca cisalhante (para cortar os *blanks* sem desvio no ângulo reto), matriz e punções. Para tanto, é necessário a continuidade da pesquisa, buscando compreender o comportamento mecânico do material estudado durante o momento exato da conformação, comparado com as simulações numéricas.

Nos ensaios realizados nas ferramentas ficou evidente a baixa aderência do revestimento no metal base, gerando trincas e lascamentos prematuros. Isso contribui para o aumento do atrito na interface peça-ferramenta, além de reduzir a vida útil da ferramenta. A ferramenta nova apresentou baixa adesividade do revestimento sobre a matriz, indicando problemas no seu processo de fabricação.

Para melhorar o desempenho das ferramentas de conformação dos parafusos de aço inox recomenda-se que estas passem por um processo de tratamento termoquímico, visando melhorar a adesão do revestimento a ser depositado sobre o aço ferramenta. O revestimento a ser depositado deve ter como característica fundamental o baixo coeficiente de atrito em relação ao inox. O acabamento da ferramenta após a usinagem deve ter um valor de rugosidade inferior a 0.1 μm Ra.



Agradecimentos

Agradecemos a: Aleksandro Foyth, Carlos César Fusinato, pois foi graças ao seu envolvimento e apoio que foi dada a partida a esta pesquisa; Jackson Ferreira D. Comuni, Rafael Gomes König, Karollyne Stefane Correia, James Alberto Pollnow – graças a eles, agora entendemos como funciona a fabricação de parafusos. Também agradecemos ao SENAI/SC, à CISER e à PUC-PR, pois forneceram toda a infraestrutura, apoio material e financeiro necessários à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 SCHAEFFER, Lírio. **Forjamento: Introdução ao Processo**. Porto Alegre: Imprensa Livre Editora, 2001.
- 2 TSCHAETSCH, Heinz. **Metal forming practise: Processes, Machines, Tools**. Berlin: Springer, 2006.
- 3 ASM Handbook – Cold Heading and Cold Extrusions – Cold Heading
- 4 PADILHA, Ângelo F; GUEDES, Luis C. **Aços Inoxidáveis Austeníticos: Microestrutura e Propriedades**. São Paulo: Hemus Editora Limitada, 1994.
- 5 ASM Handbook – Specialty Steels and Heat-Resistant Alloys – Wrought Stainless Steels
- 6 AZOM, The A to Z of Materials, disponível em <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=961> – acessado em 04/08/2010
- 7 BSSA, British Stainless Steel Association. **Chemical composition of stainless steels to BS EN 10088-3**. Disponível em: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=46>, acessado em 05/08/2010.
- 8 BRESCIANI FILHO, Ettore. **Conformação plástica dos metais**. 2. ed. Campinas: Ed. da UNICAMP, 1985. 2 v.
- 9 KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. **Manufacturing processes for engineering materials**. 5th ed. New Jersey: Pearson Education, 2008.
- 10 CALLISTER, Jr, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A, 2002.
- 11 VAN VLACK, Lawrence Hall. **Princípios de ciência dos materiais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.
- 12 TSCHAETSCH, Heinz. **Metal forming practise: Processes, Machines, Tools**. Berlin: Springer, 2006. p. 12.
- 13 BSI, British Standards. **BS-EN 10088-3:2005: Part 3 – Technical delivery conditions for semi-finished products, bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for general purposes**. London: BSI, 2005.
- 14 BSSA, British Stainless Steel Association. **Ambient temperature mechanical properties of austenitic stainless steels to BS EN 10088-3**. Disponível em: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=85>, acessado em 05/08/2010.
- 15 COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.