

PROCESSOS ALTERNATIVOS DE RECALQUE DA CABEÇA DE PARAFUSOS SEXTAVADOS

Marta Ribeiro dos Santos ¹

Paulo Roberto Cetlin ²

Resumo

Por meio de simulações físicas com materiais modelo, foram realizadas análises qualitativas da deformação destes materiais durante as operações de recalque de parafusos de cabeça sextavada de rosca métrica. No primeiro momento, empregando-se Plasticinas de diferentes ductilidades, foi simulada a seqüência convencional de recalque dos parafusos (estabelecida e utilizadas em nível industrial) através da qual foram feitas observações em relação aos defeitos formados no processo de forjamento a frio. Num segundo momento, que é o objeto de estudo deste trabalho, foram simuladas rotas alternativas de formação da cabeça sextavada dos parafusos. Estas rotas consistiram da supressão de uma ou mais etapas da seqüência convencional de recalque dos parafusos. Foram observados os defeitos formados, a severidade e intensidade com que ocorreram, além de se avaliar, de maneira indireta, a ductilidade das Plasticinas empregadas na simulação física. A simulação física de processos alternativos das etapas de forjamento da cabeça sextavada do parafuso com as plasticinas permitiu identificar os possíveis locais de falhas do material devido aos níveis de deformação associados a cada rota. A simulação indicou ainda a possibilidade da extensão das novas etapas à prática industrial a partir de estudos mais profundos sobre a modelagem física com materiais modelo.

Palavras-chave: Plasticina; Simulação física; Forjamento a frio.

ALTERNATIVE INDUSTRIAL COLD HEADING PROCESSES FOR HEXAGONAL HEADS OF SCREWS

Abstract

Physical simulation of cold heading of hexagonal heads of screws was performed using model materials. First, the industrial process was simulated using plasticines with different ductilities. The defects were analyzed and the load was measured. Afterwards, physical simulations were completed in order to examine alternative routes for industrial cold heading. The new sequence of forging was established skipping one or more stages of the industrial process. The same previously analyzed plasticines were used. The results were compared to those associated with the complete industrial stages. The occurrence and the magnitude of the defects were also investigated, as well as the ductility of the plasticines. The physical simulation of the alternative industrial cold heading for hexagonal heads of screws performed with plasticines has indicated the potential failure places of the material. This result was associated to the deformation level involved in each route studied. In addition, further physical modeling studies are necessary to allow extending the new projected stages to the industrial scale.

Key words: Plasticine; Physical simulation; Cold heading.

1 INTRODUÇÃO

O processo de forjamento a frio empregado na fabricação de parafusos envolve, de maneira geral, as seguintes etapas:⁽¹⁾

- Corte por cisalhamento;
- Posicionamento do material na ferramenta (conjuntos matriz-prensa-extratores de material)
- Forjamento a frio da cabeça;
- Laminação da rosca.

A simulação apresentada neste trabalho refere-se apenas à etapa de forjamento a frio das cabeças dos parafusos, particularmente, de parafusos de rosca métrica M9.

Para esta classe de parafusos, a seqüência industrial de fabricação pode ser vista na Figura 1.



Figura 1. Seqüência de passes de recalque para obtenção de parafuso sextavado de rosca métrica M9. Da esquerda para a direita: etapa 1 (tarugo), etapa 2 (recalque da cabeça), etapa 3 (recalque da cabeça) e etapa 4 (corte).

¹ Pesquisador em Ciência e Tecnologia do CETEC e doutorando do Curso de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG

² Professor Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG

Partindo-se de um tarugo, são realizadas duas etapas seguidas (2 e 3 na Figura 1) nas quais ocorre a deformação do material, visando atingir o formato mais adequado à formação do sextavado, última etapa do forjamento, que é feita através do corte de material.

Durante a realização das segunda e terceira etapas, e mesmo na etapa de corte, podem surgir defeitos nos produtos que inviabilizam sua utilização posterior. Os defeitos mais comuns são as trincas e marcas de ferramentas.⁽¹⁾ Os tipos mais comuns de trincas são as trincas de tração, que são trincas de tração formadas na expansão livre do material, e as trincas de atrito (trincas de atrito) formadas por lubrificação ineficiente. As marcas de ferramenta ocorrem quando o material é comprimido contra a borda do punção, imprimindo-lhe uma marca. Para o uso em serviço, há fabricantes de fixadores mecânicos que adotam especificações de profundidade máxima de defeitos toleráveis por faixa de bitola da matéria prima inicial em função das diferentes aplicações a que destinam seus produtos.

Em trabalhos anteriores, defeitos surgidos durante o processo de recalque puderam ser repetidos, e até ampliados, quando da realização da simulação física, com plasticina, da seqüência convencional de formação da cabeça sextavada dos parafusos de rosca métrica M9.⁽²⁾

Neste estudo, procurou-se simular rotas alternativas de formação da cabeça sextavada do referido parafuso usando a mesma técnica de simulação e as mesmas plasticinas anteriormente utilizadas.⁽²⁾ O objetivo foi avaliar os defeitos surgidos quando da formação do parafuso através de caminhos alternativos, comparando-os àqueles resultantes da seqüência convencional e verificando a possibilidade de se estabelecer um novo processo para a formação da cabeça sextavada do parafuso. As rotas alternativas propostas consistiram na supressão de uma ou mais etapas da seqüência convencional de recalque.

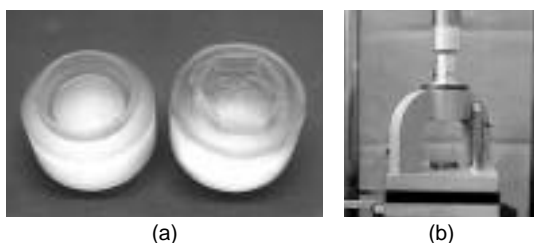


Figura 2. Simulação do recalque da cabeça de parafuso de rosca métrica M9: (a) Punções em resina usados para simular a seqüência de passes de forjamento, (b) conjunto dos dispositivos para simulação montados em uma máquina de ensaios mecânicos Kratos.

As várias etapas de formação das cabeças sextavadas dos parafusos, obtidas através das rotas alternativas, foram comparadas àquelas alcançadas através do processo convencional. Foram observados os defeitos formados, a profundidade e quantidade com que ocorreram e o formato final da região. Finalmente, avaliou-se, de maneira indireta, a ductilidade das plasticinas empregadas na simulação.

2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

2.1 Materiais Modelo

Foram usados dois tipos de materiais modelo, sendo um à base de massa de modelar comercial e um à base de vaselina. A massa de modelar ACRILEX® foi empregada como material modelo sem nenhuma modificação de sua constituição, sendo chamada de ACRILEX®. O material modelo a base de vaselina foi constituído de uma mistura de vaselina filtrada no estado líquido e gesso na proporção de 2,5:1 e chamada de PLASTICINA 2,5:1.

Os tarugos iniciais, de 68,9mm de comprimento e 11,7mm de diâmetro, foram fabricados por extrusão através de um dispositivo adaptado em uma máquina de ensaios mecânicos, marca Kratos.

2.2 Recalques

Os punções de recalque foram confeccionados em resina polimérica transparente para permitir a visualização da deformação do material durante o processo de recalque.

Os recalques foram realizados em uma máquina universal de ensaios mecânicos marca Kratos. Os tarugos ficavam apoiados em uma matriz de alumínio bipartida deixando livre apenas o volume de material necessário ao forjamento. As matrizes de recalque eram acopladas a um dispositivo ligado ao cabeçote da máquina de ensaios mecânicos, que ao se movimentar em sentido descendente (compressão), aplicava o esforço necessário ao forjamento da cabeça do parafuso. O dispositivo que prendia as matrizes de recalque ao cabeçote da máquina também foi confeccionado em alumínio e permitia a troca dos punções de recalque relativos às várias etapas do processo de fabricação do parafuso. Os punções utilizados para o forjamento bem como o conjunto dos dispositivos para o recalque das pré-formas podem ser vistos nas Figuras 2a e b, respectivamente.

A velocidade de compressão do cabeçote da máquina foi de 10mm/min. Os materiais modelo, os punções e as matrizes foram lubrificados com talco industrial. Para simular cada etapa da seqüência de fabricação partiu-se de um tarugo e realizou-se o recalque até a etapa de interesse, parando-se naquela etapa para avaliar os resultados intermediários.

2.3 Rotas Alternativas Usadas no Recalque dos Parafusos

Neste trabalho, etapas de fabricação de parafusos sextavados foram reproduzidas alterando-se a seqüência convencional de fabricação, sendo que cada alteração foi estabelecida como uma rota diferente. A primeira alteração feita

foi a supressão da segunda etapa procedendo-se ao forjamento da terceira etapa diretamente a partir do tarugo. Também foi omitida a etapa de corte a partir da pré-forma formada nessa etapa. Esta alteração foi nomeada de Rota 1. A rota 2 foi a formação da cabeça sextavada dos parafusos diretamente a partir do tarugo. O esquema das etapas do processo convencional e daqueles alternativos pode ser visto na Figura 3.

3 RESULTADOS

Na primeira fase do trabalho foi realizada a simulação física da seqüência convencional de fabricação de parafusos de rosca métrica M9 com os materiais modelo ACRILEX® e PLASTICINA® 2,5:1. Os resultados desta simulação estão reunidos na Tabela 1.

Os resultados do forjamento da pré-forma da terceira etapa pela Rota 1 e da cabeça sextavada do parafuso de rosca métrica M9 via Rota 2 podem ser vistos na Tabela 2.

A Figura 4 apresenta as pré-forma da terceira etapa do material modelo PLASTICINA 2,5:1 formadas pela Seqüência

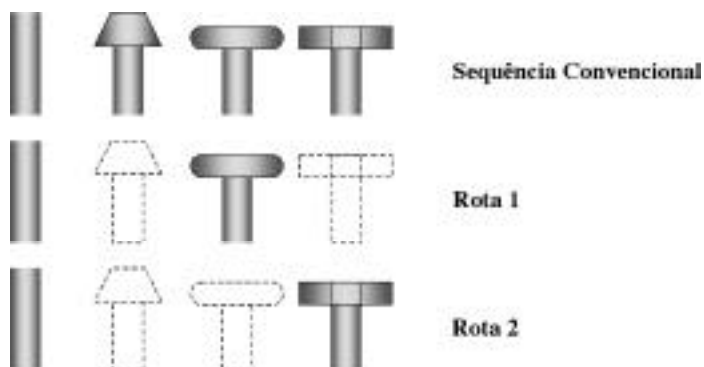


Figura 3. Desenho esquemático das operações de forjamento da cabeça sextavada do parafuso de rosca métrica M9: seqüência convencional, Rotas 1 e 2.

Convencional (Figura 4a) e pela Rota 1 (Figura 4b). Estas figuras permitem a observação e comparação da severidade com a qual trincas do tipo foram abertas nas pré-formas em função da seqüência de deformação imposta. Também foi observada, no forjamento da terceira etapa através da Rota 1, a descentralização ocorrida entre a cabeça e o corpo das pré-formas forjadas para ambos os materiais modelo estudados.

As cabeças sextavadas, forjadas tanto pela Seqüência Convencional quanto pela Rota 2, podem ser vistas na Figura 5 nas quais se observa o abaulamento das quinas do sextavado.

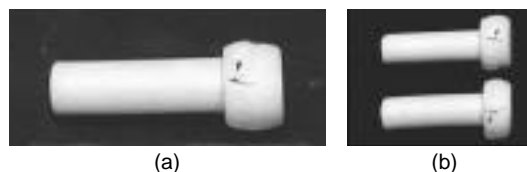


Figura 4. Simulação física, com Plasticina 2,5:1, do recalque da terceira etapa da seqüência de fabricação do parafuso sextavado de rosca métrica M9. (a) a pré-forma fabricada via Seqüência Convencional e (b) via Rota 1.

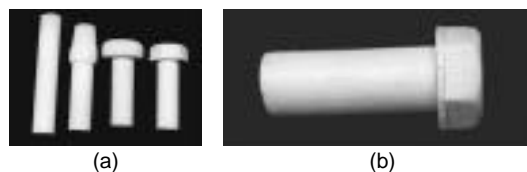


Figura 5. Formação do sextavado do parafuso de rosca métrica M9. Em (a) é apresentado o sextavado e as outras pré-formas formados pela Seqüência Convencional e em (b), via Rota 2. Material modelo: ACRILEX®.

Tabela 1. Resultados da simulação física da Seqüência Convencional de fabricação de parafuso de rosca métrica M9.

Etapa	Material Modelo	Defeitos	Localização	Quantidade	Profundidade
2ª	ACRILEX®	Marcas do punção	-	-	-
	PLASTICINA 2,5:1	Trincas Marcas do punção	Base da parte recalcada	pequena	superficiais
3ª	ACRILEX®	Trincas Marcas do punção	Base e topo da parte recalcada	pequena	superficiais
	PLASTICINA 2,5:1	Trincas	Do topo até a base da parte recalcada	pequena	profundas
4ª	ACRILEX®	-	-	-	-
	PLASTICINA 2,5:1	Trincas	Faces do sextavado	moderada	superficiais

Tabela 2. Resultados da simulação física do recalque do parafuso de rosca métrica M9 pelas Rotas 1 e 2.

Etapa	Material Modelo	Defeitos	Localização	Quantidade	Profundidade
3ª Rota 1	ACRILEX®	Trincas descentralizadas	Do topo até a base da parte recalcada	grande	moderada
	PLASTICINA 2,5:1	Trincas descentralizadas	Do topo até a base da parte recalcada	grande	moderada
4ª Rota 2	ACRILEX®	-	-	-	-
	PLASTICINA 2,5:1	Trincas descentralizadas	Quinas do sextavado	grande	profundas

4 DISCUSSÃO

Comparando-se os resultados do forjamento das pré-formas da 3ª etapa, pode-se notar que, tanto na Seqüência Convencional quanto na Rota 1, o material foi deformado até o surgimento de fratura dúctil (trincas) na superfície das cabeças recalçadas. No entanto, a severidade dos defeitos formados esteve diretamente ligada ao nível de deformação em cada operação. Na Seqüência Convencional, a existência de uma etapa de conformação intermediária entre o tarugo inicial e 3ª etapa permitiu que esta se passasse com um nível de deformação mais baixo. Na Rota 1, a obtenção da pré-forma da terceira etapa a partir do tarugo foi obtida após grande deformação do material inicial, o que gerou um maior número de trincas que ocuparam toda a extensão da cabeça recalçada. A descentralização observada entre o corpo e a porção deformada pareceu estar relacionada à diferença entre os volumes da matriz de forjamento da terceira etapa (maior) e do material exposto ao carregamento. Esta diferença estabeleceu uma folga inicial entre o punção e o material que poderia ter ocasionado a sua deformação preferencialmente em uma determinada direção até o final da operação. A matriz, após ter sido completamente preenchida, tornou evidente a descentralização entre as partes do parafuso, sugerida pelo fluxo desigual do material. O desalinhamento observado entre a cabeça e o eixo do parafuso parece ter ocorrido devido à flambagem do material decorrente desta diferença de volumes e também da diferença de diâmetros entre a matriz e o tarugo. Este defeito não foi constatado na pré-forma da terceira etapa proveniente da Seqüência Convencional.

Na simulação da 4ª etapa, a formação da cabeça sextavada, tanto pela Seqüência Convencional quanto pela Rota 2 houve grande diferença nos resultados devido ao material modelo empregado. Nas simulações utilizando a massa de modelar ACRILEX® não foram observados defeitos na cabeça sextavada, mesmo quando a deformação do material era mais acentuada, como é o caso da conformação através da Rota 2. Apesar da presença de trincas nas etapas anteriores à de corte, a formação do sextavado com a massa de modelar ACRILEX® através da Seqüência Convencional eliminou os defeitos formados nas etapas anteriores pelo fato de serem mais superficiais. O parafuso sextavado forjado com o material modelo ACRILEX®, tanto pela Seqüência Convencional quanto pela Rota 1, pode ser visto na Figura 5.

A Plasticina 2,5:1 não apresentou

ductilidade adequada para a simulação das etapas de recalque do parafuso de rosca métrica M9, haja visto que foram abertas trincas em todas as etapas de operação nas quais foi empregada. Observando-se os dados da Tabela 2, verifica-se que o sextavado formado através da Seqüência Convencional com a Plasticina 2,5:1, apresentou trincas do tipo e características do atrito ocorrido entre o punção e o material modelo utilizado na simulação física. Estas trincas surgiram devido ao arraste do lubrificante, deixando o material em contato direto com punção de forjamento. Diferentemente do ocorrido com a Seqüência Convencional, na conformação seguindo a Rota 2 as trincas do tipo a foram os principais defeitos formados nas cabeças sextavadas ficando localizadas em suas quinas. Estas, por sua vez, ficaram mais abauladas em relação àquelas formadas no sextavado proveniente da Seqüência Convencional, sendo resultantes da falta de preenchimento dos cantos vivos do punção da 4ª etapa. A falta de preenchimento total do punção também ocorreu no forjamento da cabeça sextavada com o material modelo ACRILEX®.

A ductilidade dos materiais modelo empregados na simulação física do recalque do parafuso foi avaliada, de maneira indireta, pela severidade dos defeitos formados, principalmente, nas pré-formas da 4ª etapa. Pode-se observar nas Tabelas 1 e 2 que não houve abertura de trincas quando o sextavado foi formado através da Rota 2, com o material modelo ACRILEX®. Já a Plasticina 2,5:1 apresentou grande quantidade de defeitos quando deformada nesta operação, o que indica que sua ductilidade foi inferior à do material modelo ACRILEX®.

Em relação ao recalque do parafuso de aço mostrado na Figura 1, verifica-se que não foram formados os defeitos observados na simulação física da Seqüência Convencional com os materiais modelo usados no trabalho. No entanto, os resultados obtidos com a simulação sugerem que a localização das fraturas está de acordo com o que ocorre no recalque industrial de parafusos de aço, quando há formação de defeitos (Figura 6) no processo de forjamento.

Já no caso da simulação de processos alternativos de fabricação de parafusos, os resultados obtidos podem ser usados, de maneira qualitativa, para prever os tipos de defeitos que poderiam vir a surgir durante a conformação. Além do mais, para que os resultados da simulação física pudessem ser estendidos à prática industrial, a modelagem do processo de deformação requereria estudos mais aprofundados e melhor compreensão das propriedades, condições de atrito e comportamento do material a ser simulado, além da correta aplicação da teoria da similaridade dos modelos empregados na simulação física.⁽³⁾



Figura 6. Exemplo de defeito formado no recalque da cabeça de parafusos.

5 CONCLUSÕES

A Plasticina 2,5:1 e a massa de modelar ACRILEX® parecem não se adequar à simulação do processo de forjamento da cabeça do parafuso de rosca métrica M9 por meio da Rota 1 devido ao grande número de defeitos formados, o que não se verifica no caso do aço.

A simulação da Rota 2 pareceu mais promissora para a obtenção da cabeça sextavada do parafuso de rosca métrica M9 (apesar do maior nível de deformação imposto), desde que simulada com o material de ductilidade adequada.

Um estudo comparativo da simulação física destes processos alternativos de recalque da cabeça do parafuso de rosca

métrica M9, com materiais modelo metálicos e as plasticinas empregadas neste trabalho, poderia validar a viabilidade do uso das rotas alternativas apresentadas para a fabricação do parafuso estudado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela bolsa concedida à aluna de doutorado e pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 MENDONÇA, A.A. **Desenvolvimento de Fio-Máquina de Aço Ultra Baixo Carbono para Estampagem a Frio**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia da UFMG Belo Horizonte, MG, 1995.
- 2 SANTOS, M.R. **Simulação Física do Forjamento a Frio de Componentes.**; 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia da UFMG - Belo Horizonte, 1999.
- 3 WONG, S.F., HODGSON, P.D., CHONG, C.J., THOMSON, P.F., Physical Modelling with Application to Metal Working Especially to Hot Rolling. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 62, p. 260-274, 1996.

Recebido em: 05/02/2007

Aceito em: 26/03/2007

Proveniente de: CONGRESSO ANUAL DAABM, 61., 2006, Rio de Janeiro. São Paulo: ABM, 2006.