NOTA TÉCNICA

Aplicação de lubrificantes em parafusos ASTM A325 galvanizados

Vitor Cesar Valenciani^{1*} e Plinio Martiliano Lavinias²

¹ Gerente de Engenharia, ICEC – Criatividade e Inovação na Construção
Rodovia Euclides da Cunha, km 455 – Distrito Industrial - Mirassol, SP

vitor.valenciani@icec.com.br

² Engenheiro Mecânico, ICEC – Criatividade e Inovação na Construção
Rodovia Euclides da Cunha, km 455 – Distrito Industrial - Mirassol, SP

plinio.lavinias@icec.com.br

Application of lubricants on galvanized ASTM F3125 Grade A325 bolts

Resumo

Em determinados casos, segundo a Norma Brasileira ABNT NBR 8800 e a “Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts” do “Research Council on Structural Connections” (RCSC), os parafusos ASTM F3125 - A325 devem ser montados de forma a desenvolver uma força de protensão inicial mínima por meio de diversos métodos. A força de atrito entre as superfícies deslizantes é gerada pela decomposição da força de protensão aplicada no plano normal à superfície de contato, que está diretamente ligada à inclinação do fio de rosca e às condições das superfícies, ou seja, a rosca do parafuso e a rosca da porca. É fundamental, portanto, que o coeficiente de atrito seja minimizado para que o fenômeno de “Galling” seja atenuado e que o parafuso possa atingir a força de protensão exigida pelas normas ou especificações. Neste trabalho são apresentados resultados comparativos de ensaios de protensão em parafusos ASTM F3125 Grade A325 galvanizados sem lubrificação, com lubrificação e com a presença de corpos estranhos/incrustações.

Palavras-chave: parafusos, protensão em parafusos, ASTM F3125 - A325, parafusos galvanizados, Galling.

Abstract

In certain cases, according to the Brazilian Standard ABNT NBR 8800 and the Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts of the Research Council on Structural Connections (RCSC), ASTM F3125 Grade A325 bolts shall be required to develop a minimum initial pretension force by several methods. The friction force between the sliding surfaces is generated by the decomposition of the pretension force in the normal plane to the contact surface, which is directly related to thread inclination and the conditions of the surfaces, i.e., the bolt and the nut thread surfaces. Therefore, in order that the bolt can reach the pretension force required by the standards or specifications, it is essential that the coefficient of friction be minimized so that the "Galling" phenomenon is attenuated. In the present work, comparative results of pretension tests on galvanized ASTM F3125 Grade A325 bolts with and without lubrication, as well as in the presence of foreign bodies/incrustations.

Keywords: bolts, pretensioned bolts, ASTM F3125 Grade A325, galvanized bolts, Galling.

* Autor correspondente

1 Introdução

Nas ligações com parafusos de alta resistência, as especificações de projeto devem indicar se o aperto será normal ou com protensão inicial, já que nem todos os parafusos de alta resistência necessitam ser apertados com protensão inicial mínima, somente aqueles em ligações por atrito ou nas ligações por contato relacionadas nos itens específicos da NBR 8800 (2008). Os parafusos de alta resistência com protensão inicial devem ser apertados de forma a se obter uma força mínima de protensão, adequada a cada diâmetro e tipo de parafuso utilizado. Essa força, para os parafusos ASTM F3125 - A325, equivale a 70% da força de tração resistente nominal do parafuso. A força de protensão inicial pode ser obtida pelos seguintes métodos, conforme a NBR 8800 (2008):

- método da rotação da porca;
- método da chave calibrada ou chave manual com torquímetro;
- uso de indicador direto de tração (DTI), como as arruelas indicadoras, conforme a ASTM F959, que vem ganhando espaço;
- uso de parafusos com controle de tração (“Tension Control Bolts”).

Dos métodos mencionados na NBR 8800 (2008), os seguintes relacionam a força de protensão com o torque aplicado: chave calibrada (ou chave manual com torquímetro) e parafusos com controle de tração. Vale lembrar que não existe uma relação geral entre a força de protensão dos parafusos e o torque aplicado, devido a vários fatores, incluindo as condições de atrito nas superfícies. Já o método de rotação da porca e as arruelas indicadoras relacionam a deformação longitudinal do parafuso por meio da rotação da porca ou o esmagamento das protuberâncias das arruelas indicadoras, respectivamente – e não o torque aplicado – com a força de protensão especificada.

O aperto do conjunto é sempre realizado rotacionando-se a porca, porém, se necessário, em função das condições de acesso aos parafusos e das folgas para manuseio das ferramentas, o aperto pode ser efetuado girando-se a cabeça do parafuso e impedindo a porca de girar.

Para os parafusos ASTM F3125 - A325 galvanizados, o “Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts” do “Research Council on Structural Connections”, RCSC

(2014) recomenda que sejam utilizados em conjunto com arruelas ASTM F436/436M galvanizadas, porcas ASTM A563/563M, também galvanizadas e lubrificadas. As porcas podem ser substituídas pela norma ASTM A194/A194M. Tais peças galvanizadas - parafusos, porcas (lubrificadas) e arruelas - devem ser tratadas como um conjunto, ou seja, parafuso, porca e arruela devem ser fornecidos, ter o mesmo tipo de galvanização (a fogo ou mecânica), testados em conjunto, e ser de um único fabricante. Além disso, o Structural Bolting Handbook (2010) recomenda que as porcas galvanizadas em geral recebam um lubrificante que seja limpo e seco ao toque. Usualmente um produto à base de cera é utilizado, mas nem sempre a presença do lubrificante pode ser verificada ao toque. Geralmente um corante é adicionado ao lubrificante com o intuito de verificar se as porcas foram lubrificadas de fato. Em alguns casos, uma solução ultravioleta é utilizada para fazer a porca brilhar sob a luz negra. Caso seja necessária, pode-se fazer relubrificação, utilizando-se o mesmo tipo de lubrificante à base de cera. O lubrificante deve ser aplicado na rosca e na face interna da porca. Não é necessário lubrificar o parafuso ou a arruela.

A galvanização sem lubrificação aumenta o atrito na rosca entre o parafuso e a porca, favorecendo um fenômeno denominado “Galling” – ver definição e conceito adiante. A lubrificação, a ser aplicada preferencialmente pelo fabricante, visa retornar o conjunto a uma condição de atrito similar àquela sem galvanização, devendo o conjunto parafuso, porca (lubrificada) e arruela, todos galvanizados, ser testado para se demonstrar que a porca pode ser rotacionada da condição de aperto normal (“snug-tight”) a um valor igual ou superior à rotação necessária para se atingir a força de protensão mínima especificada. O revestimento de zinco na superfície de um parafuso não afeta as propriedades de resistência estática do parafuso. Estudos de calibração mostram que nem a força de tração, determinada a partir de um teste de tração direta, nem a resistência ao cisalhamento do parafuso é afetada pelo processo de galvanização.

KULAK (2001) salienta que as superfícies dos parafusos galvanizados podem sofrer o fenômeno de “Galling”, que dificulta a obtenção da protensão do parafuso exigida sem sofrer uma falha prematura por torção do parafuso. O “Galling” é uma forma de desgaste causada pela adesão entre superfícies deslizantes. A ASTM G40 (2015) define o desgaste adesivo como o devido à aderência localizada entre superfícies sólidas

deslizantes em contato, levando à transferência de material entre as duas superfícies ou a perda de material de uma para a outra. O Galling é um tipo severo de desgaste adesivo, que a ASTM G40 (2015) define como uma forma de dano superficial que surge entre sólidos em deslizamento, caracterizado por um encrespamento (enrugamento) macroscópico, usualmente localizado, com a criação de protruções acima da superfície original, que frequentemente também inclui deformações plásticas, transferência de material ou ambos.

Durante o processo de deslizamento, se as velocidades relativas são pequenas e as forças de contato são altas, o “Galling” pode ocorrer devido à ocorrência de zonas aderidas, chamadas soldas frias, que ocorre nos picos da rugosidade onde se dá o contato entre as duas superfícies metálicas, seguido do deslizamento e ruptura da estrutura cristalina do material. O material frequentemente exhibe, na zona de fusão, um dos elementos deslizantes com resistência maior que o outro. Logo, partículas do material mais fraco são arrancadas, deixando microcrateras em sua superfície. Certos metais são mais propensos ao “Galling”, devido à estrutura atômica de seus cristais. Por exemplo, o alumínio e o zinco são metais que sofrem “Galling” muito facilmente, enquanto que o aço recozido é um pouco mais resistente e o aço temperado, muito resistente ao “Galling”. A intensidade do “Galling” também é relacionada à afinidade eletrônica entre os metais em contato.

O fenômeno do “Galling” pode ser atenuado pela aplicação de proteções superficiais “anti-Galling”, com a introdução de elementos de liga que impedem a fusão, ou pelo processo de lubrificação, o qual será analisado neste trabalho.

No presente trabalho foram efetuados ensaios de aperto de parafusos pelo método da rotação da porca e aferidos por um dispositivo calibrador de tração da marca “Skidmore Wilhelm”. De acordo com a NBR 8800 (2008) e o RCSC (2014), após o aperto máximo aplicado com chave normal, a porca deve receber um aperto adicional por meio de uma dada rotação da porca, utilizando-se uma chave com extensão. Para ambas as superfícies paralelas e um comprimento do parafuso não superior a 4 vezes seu diâmetro, a rotação deve ser de 1/3 de volta. Ou seja, para o diâmetro de 3/4” (19,05 mm) e comprimento até 3” (76,20 mm), a porca deve ser rotacionada em 1/3 de volta, e a força de protensão deve atingir pelo menos 29 kips (129 kN) (RCSC 2014),

correspondendo a 1,05 vezes a força de protensão mínima exigida. Segundo o Structural Bolting Handbook (2010), algumas normas ou especificações, como a Standard Specifications for Highway Bridges and Bridge Construction Specifications, da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), exigem, para determinados projetos de pontes utilizando-se parafusos A325 e A490, ensaios adicionais de capacidade de rotação. Nesse tipo de ensaio, deve-se comprovar que o conjunto parafuso, porca e arruela (se houver) é capaz de suportar uma rotação mínima especificada, além da capacidade de atingir a força de protensão exigida pela RCSC. Para os parafusos com comprimento não superiores a 4 vezes seu diâmetro, a rotação final a ser atingida é de 2/3 de volta. Sob essa rotação, o conjunto deve desenvolver uma força de protensão mínima (de 32 kips ou 142 kN, para parafusos de 3/4" de diâmetro) - para mais detalhes, ver AASHTO/FHWA Rotational Capacity Test, Structural Bolting Handbook, 2010. Os ensaios apresentados neste trabalho foram realizados de acordo com essas exigências adicionais.

2 Procedimento de ensaio

Os ensaios de protensão foram realizados nas instalações da ICEC, empresa fabricante e montadora de estruturas de aço sediado em São José do Rio Preto, Estado de São Paulo, conforme as recomendações da RCSC (2014) e do Structural Bolting Handbook (2010).

O ensaio foi efetuado em 3 cenários, com 3 corpos de prova utilizados em cada cenário, totalizando 9 corpos de prova. Os corpos de prova utilizados foram conjuntos compostos de parafusos, porcas e arruelas de acordo com a norma ASTM F3125 para parafusos A325, ASTM A194-2H para as porcas e ASTM F436 para as arruelas. A galvanização desses itens foi feita de acordo com a norma ASTM A153. O diâmetro de ensaio foi de 3/4" (19,05 mm) e o comprimento de 3" (76,20 mm).

O cenário 1, de controle, utilizou os conjuntos limpos e sem lubrificantes. O cenário 2 utilizou conjuntos sem lubrificação onde as roscas foram impregnadas com corpos estranhos (areia). O cenário 3 utilizou os conjuntos limpos com aplicação de lubrificante à base de bissulfeto de molibdênio.

Os parafusos foram apertados por meio de uma chave inglesa de 3/4", e a força de protensão foi medida por um calibrador de tração da marca "Skidmore Wilhelm", modelo "Model MS" (capacidade nominal de 90.000 lbs, correspondendo a cerca de 400 kN).

A Figura 1 mostra o dispositivo de testes "Model MS" em sua montagem padrão para os ensaios de tração.

Figura 1 – Calibrador de tração e respectiva montagem padrão para testes.

Para os 3 cenários, os ensaios foram realizados conforme as seguintes etapas, como determina o Structural Bolting Handbook:

- escolheram-se aleatoriamente 3 conjuntos de amostra para o ensaio (um para cada cenário);
- instalou-se cada conjunto no dispositivo calibrador de tração;
- as porcas foram apertadas manualmente até a condição de pré-torque;
- foram feitas as marcas correspondentes e coincidentes no parafuso, na porca e no corpo do calibrador de tensão;
- apertou-se a porca com a chave inglesa até se atingir a rotação de 2/3 de volta;
- verificou-se se o conjunto atingiu a força de protensão mínima de 32 kips (142 kN), após a rotação de 2/3 de volta;

- removeu-se o conjunto e verificaram-se as condições das roscas do parafuso e da porca.

Segundo o Structural Bolting Handbook, o alongamento da rosca é esperado e aceitável, mas sinais de cisalhamento nas roscas do parafuso ou da porca não o são. Sinais de falha por torção ou fissuras no parafuso também não são aceitáveis. Caso haja algum desses sinais ou não se atinja a força mínima de protensão, o conjunto é considerado como não conforme.

3 Resultados

Na Figura 2 têm-se algumas fotos dos ensaios realizados para o cenário 1, de controle, com os corpos de prova limpos e sem lubrificante. O estágio final do ensaio não pôde ser fotografado devido ao rompimento dos corpos de prova.

Figura 2 - Etapas do ensaio para o cenário 1: montagem do corpo de prova, início do ensaio, estado final do corpo de prova (ruptura frágil por torção).

Na Figura 3 têm-se algumas fotos dos ensaios realizados nos corpos de prova para o cenário 2, com a adição de corpos estranhos. O estágio final do ensaio não pôde ser fotografado devido ao rompimento dos corpos de prova.

Figura 3 - Etapas do ensaio para o cenário 2: montagem do corpo de prova, início do ensaio, estado final do corpo de prova (ruptura frágil por torção).

Na Figura 4 têm-se algumas fotos dos ensaios realizados nos corpos de prova para o cenário 3, com lubrificação à base de bissulfeto de molibdênio.

Figura 4 - Etapas do ensaio para o cenário 3: montagem do corpo de prova, corpo de prova atingindo 29 Kips em 1/3 de volta, final do ensaio com o corpo de prova atingindo 32 Kips em 2/3 de volta, estado final do corpo de prova (leve alongamento do corpo de prova).

Os resultados consolidados dos três cenários simulados estão indicados na Tabela 1 (Lavinas, 2017).

Tabela 1 - Tabela de resultados dos ensaios para os três (3) cenários simulados (Lavinas, 2017).

Cenário	Dimensões	Condição de aplicação da porca	Protensão NBR8800 e RCSC após 1/3 de volta (Kips)	Protensão de Teste Mínima após 2/3 de volta (Structural Bolting Handbook) (Kips)	Atingido (Kips)	Observação
1	3/4" x 2"	Sem lubrificação e limpa	29	32	26	Rompeu antes de 2/3 de volta e com 26 Kips
2	3/4" x 2"	Sem lubrificação e com areia na rosca	29	32	20	Rompeu antes de 2/3 de volta e com 20 Kips
3	3/4" x 2"	Com lubrificação (a base bissulfeto de molibdênio)	29	32	32	Não rompeu. Atingiu 29 Kips com 1/3 de volta e 32 Kips com 2/3 de volta

4 Conclusões

Os ensaios realizados comprovaram que os corpos de prova para o cenário 1, de controle, limpos e sem lubrificante, apresentaram o fenômeno de “Galling”, não sendo capazes de atingir a força de protensão exigida pelas normas e especificações, causando

a falha precoce no processo de instalação dos parafusos. Também os corpos de prova para o cenário 2, com a presença de corpos estranhos/incrustações, apresentaram o fenômeno de “Galling”, porém agravado comparativamente aos do cenário 1, não sendo capazes de atingir a força de protensão exigida pelas normas e especificações – os parafusos romperam com força inferior à do cenário 1. Já os corpos de prova do cenário 3, que sofreram lubrificação, atingiram força de protensão superior à exigida, demonstrando que a lubrificação influencia positivamente no processo em questão, atenuando o problema do “Galling”, fato que vai ao encontro das normas e especificações, que exigem a lubrificação dos conjuntos galvanizados.

Embora o método de aperto utilizado nos ensaios tenha sido o da rotação da porca, os demais métodos também podem apresentar o problema de “Galling”, caso não haja lubrificação adequada da porca. Esse fato é evidenciado por ser relativamente comum a quebra de parafusos durante sua instalação com a chave calibrada ou chave manual com torquímetro, muitas vezes erroneamente relacionado ao excesso de torque ou rotação aplicados durante o processo de protensão ou à qualidade do aço do parafuso.

Indica-se o *Structural Bolting Handbook* (2010) como um excelente guia para fabricantes, montadores e outros profissionais envolvidos na construção de estruturas de aço, onde podem-se encontrar diversos esclarecimentos sobre os procedimentos usualmente empregados na instalação de parafusos de alta resistência.

5 Referências bibliográficas

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **ANSI/AISC 360-16 - Specification for structural steel buildings**. Chicago, 2016.

AMERICAN SOCIETY OF TESTS AND MATERIALS. **ASTM G40-15 - Standard Terminology Relating to Wear and Erosion**. West Conshohocken, PA, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

KULAK, G.L.; FISCHER, J.W.; STRUIK, J.H.A. **Guide to design criteria for bolted and riveted joints**. American Institute of Steel Construction. Chicago, 2001.

RESEARCH COUNCIL ON STRUCTURAL CONNECTIONS (RCSC). **Specification for structural joints using high-strength bolts**. Chicago, 2014.

STEEL STRUCTURES TECHNOLOGY CENTER, Inc. **Structural Bolting Handbook**. 2010.

VALENCIANI, V. C.; **Ligações em Estruturas de Aço. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas**. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1997.

PRADO, L. A. R.; **Estudo do desgaste adesivo severo (Galling), em ligas resistentes a corrosão, aplicadas na indústria de óleo e gás**. Taubaté – SP, 2004.