

ANALISE DE CONECTORES DE FIXAÇÃO POR CARGAS EXPLOSIVAS SIMULANDO UMA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA OFFSHORE

Paulo Edison Rubira Silva, paulo.rubira@riogrande.ifrs.edu.br¹
Demostenes Ferreira Filho demostenes@emc.ufg.br²
Luciano Volcanoglo Biehl, lucianobiehl@furg.br³

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Câmpus Rio Grande, Rua Eng. Alfredo Huch, 475 | Bairro Centro | CEP: 96201-460 | Rio Grande/RS

2 UFG - Universidade Federal de Goiás, - Av. Universitária, nº 1488, Quadra 86, Bloco A | Setor Leste Universitário | CEP: 74605-010 | Goiânia/GO

3 Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Campus Carreiros | Avenida Itália km 8 | Bairro Carreiros | CEP: 96201-900 | Rio Grande/RS

Resumo: Conectores de fixação por carga explosiva é um inovador método de fixação podendo ser utilizado em aços pré-pintados sem danificar o revestimento da superfície. São componentes que possuem rosca feita em aço de alta resistência, utilizados para fixar suportes e equipamentos em estruturas metálicas. O sistema de fixação se dá pelo processo de difusão e fricção. Este sistema de fixação tem aumentado crescentemente a sua utilização na Indústria Offshore devido a sua grande produtividade, não necessitando retrabalho em superfícies pré-pintadas. Atualmente não existe uma legislação específica para fabricação destes pinos, sendo necessário então a sua comprovação via ensaios práticos simulando a sua aplicação e os seus limites de carga. Sendo assim, foram feitos ensaios de metalografia, ensaios de tração axial e cisalhamento e comparados aos limites estabelecidos pelo fabricante. A motivação deste trabalho é investigar esta técnica, efetuando um estudo de caso simulando uma aplicação na indústria offshore, definindo suas características e esforços aplicados e indicando como se dá o processo de ancoragem dos conectores com a superfície base.

Palavras-chave: Conectores de fixação por carga explosiva, Sinterização, Difusão, Carga Crítica

1. INTRODUÇÃO

O uso conectores aplicados por carga explosiva em plataformas de petróleo tem crescido nos últimos anos. Este processo de fixação apresenta como vantagens o uso de uma equipe de trabalho reduzida, a sua alta produtividade e a não necessidade de retrabalho nas estruturas suporte. Desta forma o uso deste sistema apresenta-se como uma opção para a substituição do processo de soldagem convencional.

Contudo, este processo ainda não possui grande difusão do seu uso na construção de novas plataformas de petróleo, sendo utilizado principalmente na manutenção e reforma de plataformas já existentes.

Cabe salientar que não existe atualmente uma legislação específica para fabricação destes pinos, sendo necessário então a sua comprovação via ensaios práticos simulando a sua aplicação e os seus limites de carga. Dados definidos neste estudo aplicam-se apenas ao sistema de fixação utilizado e as condições de sua aplicação.

Dado os inúmeros questionamentos quanto a eficácia e eficiência deste sistema de fixação surgiu a oportunidade de se estudar este processo. Uma das razões que motivaram a proposição deste projeto foi a de ilustrar por meio de um exemplo prático o processo de fixação destes elementos em uma superfície de apoio em aço carbono SAE 1020, simulando uma aplicação na indústria naval. Através da simulação de um exemplo prático foi possível analisar as características e os limites de aplicação proporcionando assim um melhor entendimento deste processo de fixação e verificação de limites de aplicação desta técnica.

2. ESTADO DA ARTE

Os conectores de fixação por carga explosiva Fig.1 são sistemas inovadores para fixação de suportes estruturais. Estes pinos são constituídos basicamente por um pino de fixação Fig.1 – seta 1; Barra roscada vasada em seu centro Fig.1 – seta 2; Arruela em aço Fig.1 – seta 3; Manta de elastômero Fig.1 – seta 4. Este sistema torna-se atrativo devido a sua fácil instalação, a não necessidade de retrabalho em superfícies pré-pintadas, ganhando assim em uma maior produtividade.

Segundo Beck (2005) estes pinos fixadores de estruturas são conhecidos como “powder-actuated fasteners” ou “cartridge-fired pins”. Em alemão a palavra “setzbolzen” foi estabelecido para defini-los. Na falta de um termo correlato já difundido em língua portuguesa, foi então definido o uso do termo “conectores de fixação aplicados por carga explosiva” para definir este sistema de fixação.

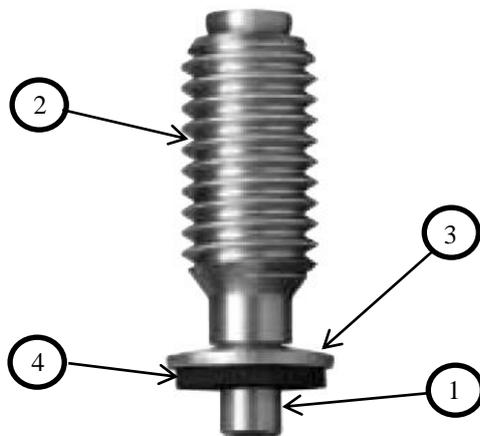


Figura 1. Pino conector aplicado por carga explosiva ensaiado

Segundo Reuter (1995) apud BECK; HERMANN (2005) e Eligenhausen (2000) apud BECK; HERMANN, (2005) em seus estudos o termo “powder-actuated fasteners” é definido como todos os pregos ou parafusos feitos em aço de alta resistência aplicados por carga explosiva e utilizados para fixar componentes de aço em estruturas metálicas e de concreto.

Estes conectores são aplicados em um único movimento em direção ao material da superfície de base impelindo uma grande energia cinética ao pino conector ocasionando a fusão do metal base com o pino conector. Desta forma cria-se uma camada de transição entre o metal base normalmente aço carbono e o pino feito em aço Inox AISI 316.

2.1. PROCESSO DE FIXAÇÃO

Segundo HILTI AG (2010) o processo de fixação do pino conector com a superfície de base se dá por fricção e fusão. O processo de fricção se dá devido a diferença entre o diâmetro do furo de 4mm e o diâmetro do pino 4,5mm e a grande energia aplicada no sistema em uma pequena área de contato. Como resultado desta grande energia aplicada ocorre uma concentração de energia em uma pequena área proporcionando uma transferência de calor concentrada suficiente para proporcionar a fusão do material do pino aço inox AISI 316 e o material da estrutura base normalmente de aço carbono SAE 1020. A este processo dá-se o nome de sinterização.

O mecanismo de sinterização ocorre sob pressão e a temperaturas elevadas, porém a baixo ponto de fusão da liga. Em uma escala cristalográfica os componentes têm sua superfície reduzida e são pressionados uns contra os outros, resultando numa junta entre eles que forma uma força de superfície agregadora.

Este processo pode-se dar com diferentes ligas de aço. A pressão e a alta temperatura gerada pelo atrito entre o pino e o metal base com a pancada do pistão são suficientes para promover este processo.

Durante a sinterização ocorre uma difusão gradativa entre o metal base e o pino. Devido à fusão dar se em uma escala metalográfica a junção entre o pino e o metal base não se dá somente por simples contato. O contato direto entre o aço inox do pino e o aço da estrutura pode ocasionar um processo de corrosão. Para evitar a corrosão na zona de fixação do pino é adicionada ao pino uma junta seladora de elastômero cuja função é evitar o contato direto entre os metais e impedir a entrada do oxigênio na área não sinterizada.

2.2. APLICAÇÃO INDUSTRIAL

Este processo tem sua destinação para a fixação de pequenas estruturas como por exemplo suportes para cargas pequenas massas. A Figura 2 apresenta em detalhe uma destas aplicações, onde temos a fixação de uma luminária fixada em um perfil I através do uso de quatro pinos conectores aplicados por carga explosiva.

O uso deste processo tem sua destinação principalmente na fixação de suportes das áreas elétrica e instrumentação. Como exemplo de aplicações deste processo tem se a fixação de suportes para luminárias, projetores, suportes para botoeiras, eletro calhas, caixas de derivação e suportes para equipamentos.

Conforme HILTI (2004) os pinos modelo X-BT M10 24-6 SN12-R analisados neste estudo deve-se ter o cuidado principal com os carregamentos, momentos e torques aplicados neste pino. Segundo o fabricante recomenda que os valores não ultrapasse aos valores de tensão de arranque com 1.8kN, cisalhamento de 2.6kN e momento de 8kN para garantia da integridade e segurança do sistema.



Figura 2 – Detalhe do uso dos pinos conectores utilizados em uma aplicação naval

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nos conectores aplicados por carga explosiva utiliza-se como mecanismo aplicador uma pistola Fig.3 na qual está insere o conector no material de apoio em uma única operação. Este equipamento apresenta como elementos a sua carcaça Fig.3 – seta 1, gatilho ativador da carga explosiva Fig.3 – seta 2, conjunto cilindro pistão Fig.3 – seta 3 (detalhe internamente a carcaça), mecanismo de fixação do pino na pistola Fig.3 – seta 4 e ajuste de avanço do cilindro Fig.3 – seta 5. Em um cartucho está depositada uma pequena carga explosiva que ao ser acionada impele a um conjunto cilindro, pistão e pino uma grande quantidade de energia motriz. Em ferramentas deste tipo, as funções do pistão vão além da transmissão de energia. Estes apresentam como o elemento intermediário entre o pino e o cartucho explosivo. Possuem também a função de reduzir a velocidade em que o fecho é conduzido. Desta forma é possível se ter um ajuste de energia motriz aplicada ao pino.



Figura 3 – Vista de uma pistola impulsora

Tendo em vista que não existe uma legislação específica para o uso deste processo e com o objetivo de referendar uso em uma aplicação naval foi proposto um programa experimental simulando uma aplicação em uma plataforma Offshore. Este programa experimental foi definido em três etapas: Análise metalográfica, ensaio de tração e ensaio de cisalhamento.

Cabe ressaltar que este estudo visou simular uma aplicação na indústria offshore não tendo assim a obrigatoriedade de obter-se como resultados idênticos aos ensaios efetuados pelo fabricante. Necessariamente estes ensaios deverão obter os valores acima dos valores estipulados pelo fabricante considerando o coeficiente de segurança, garantindo assim que este processo pode ser aplicado sem risco a segurança do usuário.

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISE METALOGRÁFICA DO SISTEMA DE FIXAÇÃO

Este ensaio teve por objetivo definir como se dá o processo de fixação entre a superfície de base e o pino conector. Neste ensaio foi feita uma análise macrográfica observando aspectos gerais de como se dá o processo de fixação. Posteriormente foram feitas análises micrográficas com o intuito de observar como se dá o processo de contato entre o pino conector e os grãos da superfícies de base.

Nesta etapa de ataque surgiu a necessidade de utilização de diferentes fórmulas de ácidos devido termos como material do pino um aço Inoxidável AISI 316 de difícil ataque corrosivo, uma camada de transição e também na mesma amostra um aço carbono SAE 1020 de fácil ataque. Desta forma optou-se por fazer um ataque ao aço carbono SAE 1020 e a camada de transição não atacando o aço Inox AISI 316 de forma eficaz o aço Inox AISI 316. Foram utilizados os seguintes ácidos: Nital 2% (2% HNO₃ para 98% de álcool etílico); gliceregia (60% HCL, 20% HNO₃, 40% glicerol), e villela's (5ml HCL, 1g de Acido Pírico e 100ml de etanol) sendo que o que apresentou os melhores resultados da análise foi o ácido Nital 2%.

Utilizando-se da análise macroscópica do modelo em corte transversal Fig.4 foi possível perceber que o pino não atinge a profundidade máxima gerada pelo processo de furação. Isto se dá devido à broca de uso específico para esta aplicação apresentar uma profundidade de penetração de 7mm e o pino ter em sua penetração máxima em torno de 6mm. Esta pequena diferença se faz necessária devido às altas temperaturas aplicadas ao pino e a sua dilatação térmica neste período. Desta forma é possível que este processo suporte a grande energia aplicada no processo de fixação bem como a variação de suas dimensões devido à dilatação térmica ocasionada da grande energia aplicada desferida pela carga explosiva. Este vazio percebido nesta macrografia na borda axial de maior profundidade do pino define que praticamente não há contato entre esta região do pino e a superfície de base concluindo assim que esta região não interfere no processo de ancoragem do pino.

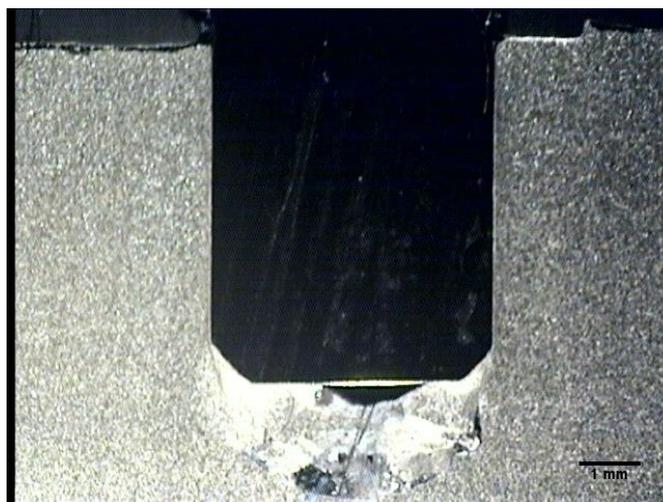


Figura 4 – Análise macrográfica de um pino conector em corte transversal

Em uma análise macrográfica na amostra em corte axial em seu ponto de maior profundidade do pino observa-se uma pequena região de diferente constituição entre o pino e a superfície de base. Nesta análise também não é possível perceber se nesta região o que se apresenta é uma camada de transição entre o metal base e o pino ou se o que ocorre é o simples contato entre dois materiais. Sendo assim foi efetuado uma micrografia a fim de comprovar como se comportam aço inox AISI 316 e aço carbono SAE 1020 nesta região.

Analisando a micrografia temos na Fig.5 – seta 1 a visualização do pino conector AISI – 316 onde este praticamente não sofreu ataque. Em contrapartida temos na seta 2 da Fig.5 a visualização do material de base no qual sofreu ataque. Nesta região é possível perceber a formação de perlita e ferrita sem grandes deformações na sua constituição em regiões afastadas do pino conector indicando um material na superfície de base recozido. Nota-se que à medida que se aproxima do pino conector ocorre uma deformação nesta perlita proveniente das altas temperaturas e pressões oriundas do processo de aplicação dos pinos.

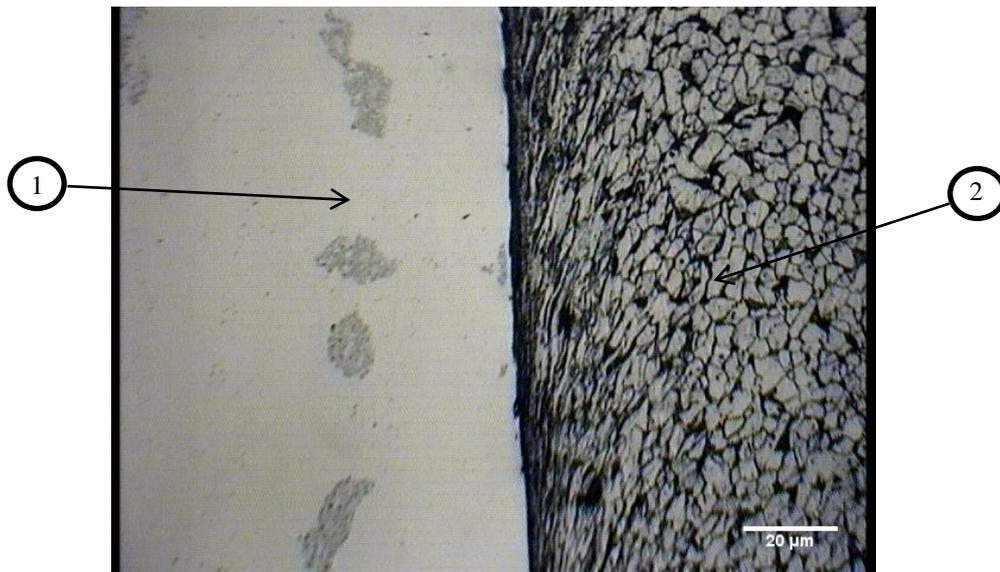


Figura 5 – Análise micrográfica de um pino em corte transversal

Em um primeiro instante foi analisado as amostras com corte transversal podendo assim ser observado o processo de interação entre os dois materiais em regiões da zona de contato do pino e o metal base. Observando em detalhe a micrografia Fig.6 – seta 1 percebe-se que ocorre uma deformação na granulometria do metal base o aço ASTM 1020 indicando assim uma possível presença de uma difusão gradativa do em determinados pontos do material.

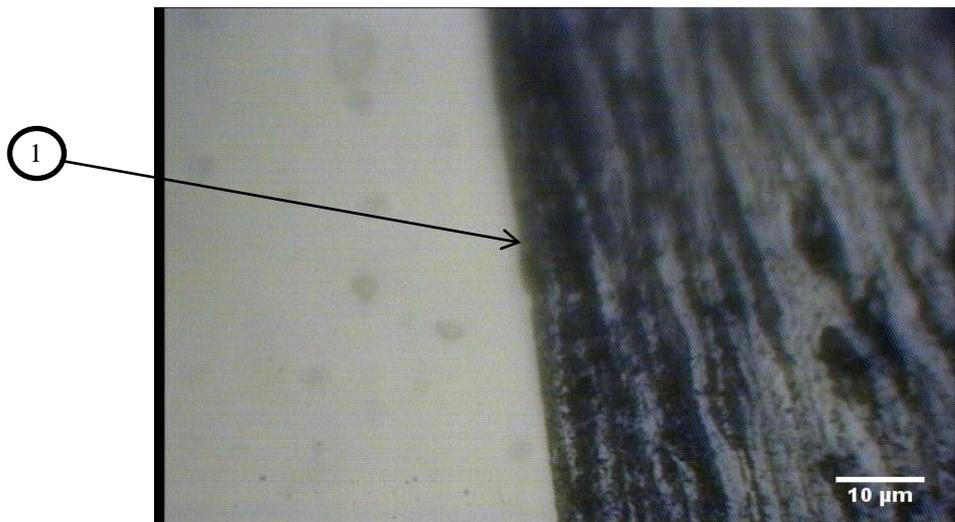


Figura 6 – Detalhe de zona de transição

Efetando o corte axial Fig.7 no ponto de maior profundidade observa-se também a presença de uma zona transição no grão da superfície de base e pino. Desta forma é possível concluir que ocorre o processo de difusão entre o metal base e pino conector em algumas regiões do contato pino superfície de base.

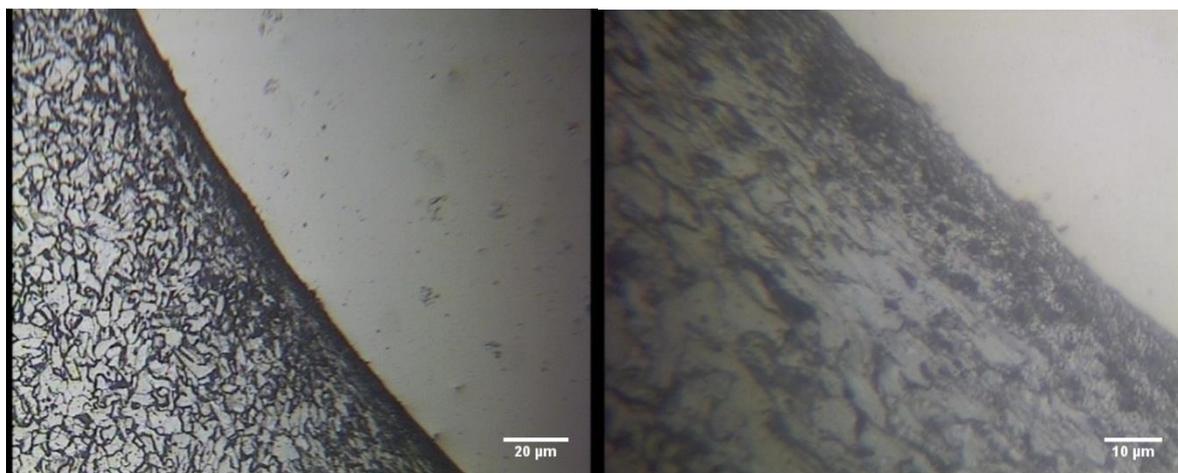


Figura 7 – Análise micrográfica no eixo axial na zona de maior profundidade

Contudo neste processo observou-se em determinadas regiões a presença de vazios indicando que não ocorre o processo de difusão entre os dois materiais ao longo de toda a superfície da estrutura base. Este resultado foi constatado ao efetuarmos a análise metalográfica em corte axial na proximidade da superfície da chapa de base. É possível perceber que nesta região não ocorre interação entre o metal base e o pino conector.

4.2. ENSAIOS DE TRAÇÃO AXIAL E CISCALHAMENTO

Para a elaboração dos ensaios de tração foi proposto a fixação em um perfil I 6"x18,5 padrão americano cujo objetivo é simular uma aplicação prática em uma plataforma Offshore. O perfil foi cortado no centro de sua alma dividindo pela metade. Desta forma em sua alma foi possível a fixação na garra da máquina de ensaios de tração. Na outra metade em que não foi aplicado o pino foi efetuado a furação com broca de 12mm construindo assim a outra metade a ser fixada na garra da máquina de ensaios mecânicos.

Para o processo de ensaio de cisalhamento utilizou-se como corpo de prova uma chapa de aço carbono SAE 1020. Esta chapa apresenta espessura de 10mm. Em uma das peças foi aplicado o pino conector. Enquanto em uma segunda chapa foi furada com diâmetro de 12mm para servir de segundo elemento para o ensaio de tração.

Tendo em vista que o interesse neste estudo é definir a carga crítica que pode ser aplicada em pino conector foi dado maior ênfase a carga crítica aplicada. Neste ensaio foi simulado por exemplo uma aplicação do uso de um pino conector aplicado em uma superfície horizontal e que a carga seja de tração simples, similar a o uso de um pino conector para fixação de um conjunto suporte e luminária onde este será responsável por suportar todo o peso do conjunto sem que ocorra rompimento de sua fixação.

Foram executados três ensaios de tração simples utilizando-se dos corpos de prova elaborados para este ensaio. Utilizou-se todos os procedimentos recomendados pelo fabricante utilizando-se de pessoal treinado para a aplicação dos pinos conectores garantindo assim a qualidade e o rigor exigidos em uma aplicação destinada para a indústria naval.

Após os ensaios de tração simples de esforço axial teve-se como resultado da carga crítica aplicada os seguintes resultados Tab.1:

Tabela 1 – Resultados obtidos nos ensaios de tração no eixo axial

ENSAIO	CARGA CRÍTICA (kN)
1	20,356
2	16,064
3	15,481

Estes ensaios apresentaram como valor médio a carga crítica de 17,300kN com desvio padrão de 2,662kN. Após este ensaio foi efetuado uma avaliação do conjunto superfície de fixação base e pino conector. Nesta análise não foi possível perceber o arrancamento e deposição de material no pino conector, ficando este aparentemente em situação similar sua condição antes de sua aplicação.

Efetuando-se uma análise macrográfica no pino percebe-se a formação de estrias Fig.8 - seta 1 ao longo da zona de contato entre pino conector e superfície de base. Estas estrias são provenientes da fricção entre pino conector e superfície de base. A fricção entre os dois metais é garantido devido o furo aplicado pela broca ser de 4 mm enquanto

que o pino possui diâmetro de 4,5mm. Com isso ao ser aplicada a carga explosiva esta impele uma energia suficiente para mover o pino em direção a superfície de apoio comprimindo o metal base. Desta forma obtém-se uma tensão residual nesta região garantindo assim um alto coeficiente de atrito estático ao conjunto.

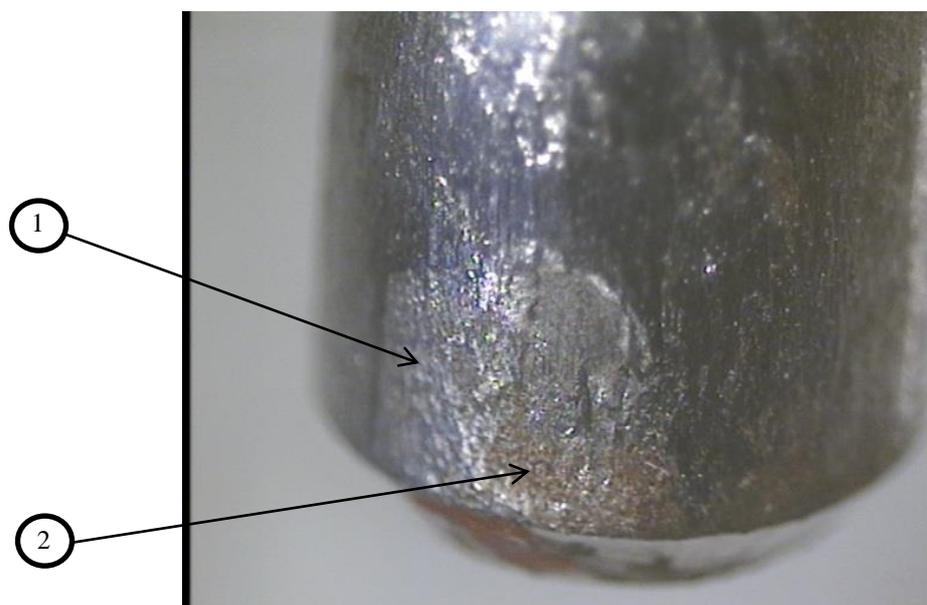


Figura 8 – Detalhe de após ensaio de tração simples

Contudo ao analisarmos de forma mais detalhada o pino retirado do ensaio axial observa-se a deposição de material Fig.8 – seta 2 ao longo da superfície de contato. Esta fina camada dá-se ao longo de todo pino sendo que na medida em que aumenta a profundidade aumenta-se a deposição de aço SAE 1020 na superfície do pino.

Desta forma comprova-se o que foi percebido da análise metalográfica onde a região em que temos maior profundidade é a que se dá a maior taxa de difusão do material verifica que na medida em que se reduz a profundidade de penetração reduz a difusão do material chegando ao ponto da superfície do metal base onde praticamente inexistente a difusão de material.

Por fim traçando um comparativo entre os valores obtidos em ensaio para um aço de base SAE 1020 e com os valores obtidos por HILTI AG (2010, p.19) percebe-se que para o aço SAE 1020 utilizado neste estudo apresenta uma carga crítica média de 17,300 kN com desvio padrão de 2,662kN valores acima dos obtidos por HILTI AG que são de aproximadamente 13,764kN para o aço S355.

No processo de ensaio de tração no eixo transversal utilizou-se do mesmo procedimento aplicado no ensaio de tração no eixo axial. Neste ensaio utilizou-se de 3 corpos montados de forma que praticamente toda a carga aplicada fosse responsável para o cisalhamento ao pino conector. Este ensaio simula uma aplicação de um pino conector responsável na fixação de uma eletro calha em um perfil vertical.

Após os ensaios de tração simples de esforço axial teve-se como resultado da carga crítica aplicada os seguintes resultados:

Tabela 2 – Resultados obtidos no ensaio de tração no eixo transversal

ENSAIO	CARGA CRÍTICA (kN)
1	14,225
2	14,225
3	12,569

No ensaio de esforço transversal apresentou-se uma carga crítica média de 13,673kN com desvio padrão de 0,956kN.

No processo de ensaio de tração no eixo transversal ocorre que em um primeiro instante o pino suporta toda a carga cisalhante aplicada pela máquina de ensaio de tração.

Ao chegarmos no instante de maior carga ocorre à deformação do pino conector fazendo o fletir em torno do seu eixo. Após este instante de maior carga o pino acaba reduzindo a profundidade de penetração chegando ao ponto em que a resistência da chapa de metal base é menor que a carga aplicada acarretando com que o pino que possui maior dureza deslize retirando o material da chapa de base e desconectando da superfície de aplicação. Como é possível perceber a chapa onde foi aplicado o material tem-se as marcas provenientes deste deslizamento do pino após a carga máxima.

Cabe ressaltar que em uma aplicação pratica as componentes de força serão dadas por um conjunto dado por esforços no eixo axial e também em seu eixo transversal. Desta forma necessariamente em um projeto faz se necessário o conhecimento de tais componentes a fim de garantir a integridade do sistema.

Por fim comparando os valores obtidos em ensaio para um aço de base SAE 1020 e com os valores obtidos por HILTI AG (2010, p.21) percebe-se que para o aço SAE 1020 utilizado neste estudo apresenta uma carga crítica média de 13,673 kN com desvio padrão de 0,956kN valores um pouco abaixo dos obtidos por HILTI AG que são de aproximadamente 16,8kN para o aço S355 e acima dos 11,8kN onde foi utilizado o aço S235.

5. CONCLUSÃO E ANALISE DOS RESULTADOS

Com aplicação dos ensaios e discussão dos resultados foi possível obter os seguintes resultados:

- O processo de fixação se dá basicamente em função de dois processos: a difusão entre os dois metais e o processo de fricção.
- A difusão apresenta-se apenas em determinadas regiões sendo que é a diretamente proporcional à profundidade de penetração analisada.
- O processo de fricção entre os dois metais é o principal elemento responsável pela garantia de ancoragem do pino a estrutura base. Este processo é garantido dado à diferença entre diâmetros do furo efetuado pela broca em torno de 4 mm e o diâmetro do pino de 4.5mm. Com isso tem-se uma tensão de aperto neste pino em sua região de contato.
- Os pinos ensaiados atendem ao que foi definido pelo fabricante quanto a sua carga máxima respeitando o seu coeficiente de segurança.

6. REFERENCIAS

- BECK, H.; REUTER, M. "Powder-actuated fasteners in steel construction". Germany: Stahlbau-Kalendar, 2005.
- REUTER, M.;HÄUSER, S. "Direktmontagetechnik: Anwendungsfelder und Montagesicherheit". BMT Baumaschine S Bautechnik, 1995.
- ELIGEHAUSEN, R.; MALLEE, R. "Befestigungstechnik im Beton-und Mauerwerksbau", Ernst & Sohn, Berlin, 2000.
- HILTI AG; "Hilti X-BT Threaded Fastener. Specification Binder", 2010.
- HILTI AG; "Product Technical Guide", 2004.

7. RESPONSABILIDADE AUTORMAL

"O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho"

ANALYSIS OF CONNECTORS MOUNTING EXPLOSIVE CHARGES SIMULATING AN APPLICATION IN OFFSHORE INDUSTRY

Paulo Edison Rubira Silva, paulo.rubira@riogrande.ifrs.edu.br¹

Demostenes Ferreira Filho demostenes@emc.ufg.br²

Luciano Volcanoglo Biehl, lucianobiehl@furg.br³

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Câmpus Rio Grande, Rua Eng. Alfredo Huch, 475 | Bairro Centro | CEP: 96201-460 | Rio Grande/RS

2 UFG - Universidade Federal de Goiás, - Av. Universitária, nº 1488, Quadra 86, Bloco A | Setor Leste Universitário | CEP: 74605-010 | Goiânia/GO

3 Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Campus Carreiros | Avenida Itália km 8 | Bairro Carreiros | CEP: 96201-900 | Rio Grande/RS

Abstract: *Attachable connectors for explosive charge is an innovative method of attachment can be used in pre-painted steel without damaging the surface coating. Are components having thread made of high strength steel used for securing brackets metal structures and equipment. The fastening system is given by the diffusion and friction process. This fastening system has increasingly increased their use in Offshore Industry due to its high productivity, not requiring rework pre-painted surfaces. Currently there is no specific legislation for the manufacture of these pin, if necessary then your proof via practical tests simulating its application and its load limits. Thus, metallographic tests, tests of axial tensile and shear and compared to the limits set by the manufacturer were made. The motivation of this work is to investigate this technique by performing a case study simulating an application in the offshore industry, defining their characteristics and applied efforts and indicating how is the process of anchoring the connectors with the base surface.*

Keywords: *Powder-actuated fasteners. Offshore Industry. Sintering. Diffusion. Critical load.*