

FABRICAÇÃO DE PENETRADORES EM METAL DURO PARA TESTES DE DESGASTE ABRASIVO DE CALHAS PROTETORAS DE RISERS

Luciano da Rocha Magalhães, Universidade Federal de Uberlândia, lucianormag@gmail.com

Rosenda Valdés Arencibia, Universidade Federal de Uberlândia, arvaldes@mecanica.ufu.br

Sinésio Domingues Franco, Universidade Federal de Uberlândia, sdfranco@ufu.br

Resumo. Na extração de petróleo, dutos flexíveis, responsáveis pela ligação do poço à plataforma, sofrem diversos tipos de danos, destacando-se o desgaste abrasivo na região de contato com o solo marinho. Para minimizar o impacto deste desgaste, são empregadas calhas protetoras fabricadas de polímeros. Denomina-se abrasômetro o equipamento capaz de realizar, em laboratório, testes que simulem o desgaste ocorrido em campo. Seu elemento de maior importância é o penetrador, o objeto riscante responsável por simular os agentes abrasivos. Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi fabricar e controlar penetradores de metal duro, utilizados em ensaios de desgaste abrasivo em materiais poliméricos usados na proteção de risers. Para tanto, foram propostas duas etapas: a) medição dimensional e geométrica dos penetradores antes e após a usinagem e b) usinagem dos penetradores utilizando retífica e lapidação. Os resultados permitiram concluir que os processos de usinagem propostos são adequados para a fabricação dos penetradores dentro das tolerâncias dimensionais e geométricas definidas no projeto.

Palavras chave: Desgaste abrasivo, penetradores, metal duro, revestimentos poliméricos.

1. INTRODUÇÃO

Considerando a grande dependência das atividades cotidianas e industriais da sociedade atual por combustíveis fósseis, a extração de petróleo coloca-se como um dos campos de grande demanda por novas tecnologias ou aperfeiçoamento das técnicas existentes.

Um sistema de extração de petróleo pode ser dividido em três subsistemas: a plataforma; os equipamentos de perfuração e prospecção do produto no fundo do mar e os dutos, que podem ser linhas rígidas ou flexíveis (Fig. 1a).

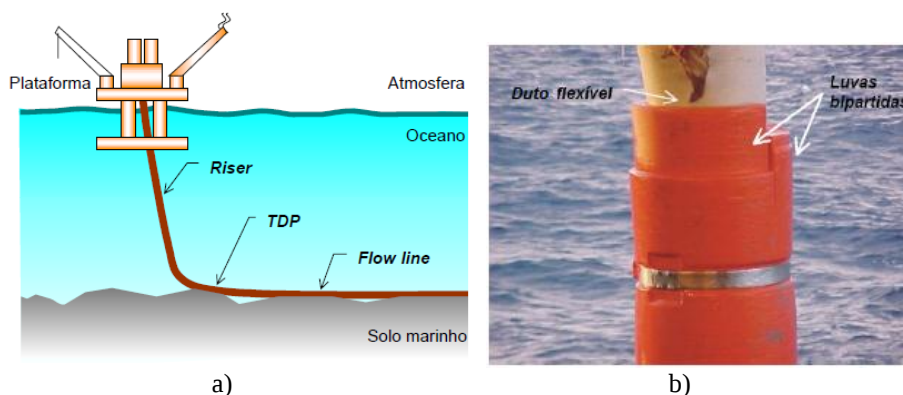


Figura 1. a) Esquema do sistema de extração de petróleo e b) calha polimérica (RAMOS NETO, 2003)

Os dutos flexíveis são elementos que conectam as plataformas aos poços e são responsáveis por levar o óleo até a plataforma. Na região onde o duto desce verticalmente, ele é chamado de *riser*, enquanto que, na região onde ele acompanha o fundo do mar, é denominado linha de fluxo.

O duto é usualmente constituído por um intrincado sistema de camadas concêntricas que intercalam variados materiais com funções distintas e pode chegar a quilômetros de comprimento, dependendo da profundidade de extração. Tal extensão implica numa considerável área exposta ao ambiente submarino, muitas vezes hostil devido à força das correntes marítimas e às particularidades do relevo subaquático. Em toda essa extensão, um ponto de importantes estudos é a região na qual o duto flexível toca o fundo do mar, chamado de *touchdown point* (TDP).

Devido à interação com o solo submarino, o duto flexível, na região do TDP, sofre severos processos abrasivos que podem levar ao desgaste precoce da capa externa e, eventualmente, à falha do duto devido à corrosão das fitas de aço. Para protegê-lo, são empregados revestimentos fabricados de materiais mais resistentes à abrasão do que a capa polimérica externa do duto. Estes revestimentos são denominados calhas protetoras e são fabricados no formato de uma luva bipartida (Fig. 1b) utilizando polímeros. Dentre os diversos materiais poliméricos, os mais utilizados para proteção dos dutos flexíveis são os poliuretanos (PU).

Com o objetivo de testar o desempenho desses revestimentos antes de empregá-los na operação do poço de extração, o Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD) da Universidade Federal de Uberlândia possui um

abrasômetro capaz de avaliar o desempenho do material e, assim, determinar se ele atende às condições mínimas para trabalho, bem como, efetuar uma classificação dos materiais testados (FRANCO *et al.*, 2007).

Dentre os componentes deste abrasômetro, um dos mais importantes é o penetrador (Fig. 3), objeto de estudo no presente trabalho. Ele é fabricado em metal duro (carboneto de tungstênio e cobalto – WC-Co) e tem como função simular a ação de elementos abrasivos do leito marinho. O trabalho desenvolvido por MORAES (2005) mostrou que, por meio da correta seleção da geometria desse penetrador, pode-se reproduzir os mecanismos de degradação mais importantes observados em calhas de PU que trabalharam na exploração de petróleo.

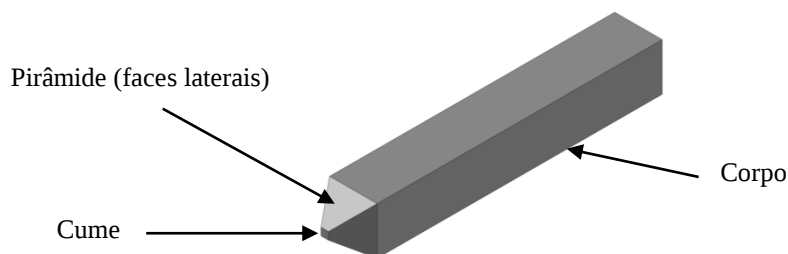


Figura 2. Penetrador em metal duro

No que diz respeito às dimensões e à geometria do penetrador, existem três parâmetros principais. O primeiro é o comprimento do corpo do penetrador, que é responsável pela sua fixação no dispositivo e tem influência direta na profundidade da trilha de desgaste na amostra. Neste trabalho, os penetradores têm comprimento nominal de 30 mm.

O segundo parâmetro é o ângulo da ponta do penetrador (ou das faces laterais), também chamado de ângulo de ataque, que tem importância fundamental para a taxa de desgaste. Segundo LAWN e FULLER (1975), num teste de esclerometria, o material da superfície é removido por microcorte quando o ângulo de ataque da partícula dura é maior que um valor crítico. Quanto menor o ângulo de ataque, maior a tendência de se ter microsulcamento, e, consequentemente, menores taxas de desgaste.

O terceiro parâmetro é a área da ponta responsável pelo início do contato. Em geral, esta ponta é truncada, e não pontiaguda, para evitar a quebra da mesma. Por projeto ela deve ser quadrada, com dimensões de 0,5 por 0,5 mm.

Tendo em vista os parâmetros supracitados, tolerâncias dimensionais e geométricas foram estipuladas para garantir a sua alta exatidão. Para a ponta truncada, a tolerância para a dimensão das arestas do quadrado é a característica principal, e foi fixada em $\pm 12 \mu\text{m}$. Já para a pirâmide, a tolerância de inclinação para o ângulo de ataque ganha destaque. Por último, definiu-se um valor mínimo de acabamento superficial, tanto para as faces laterais quanto para o cume do penetrador, igual a $0,2 \mu\text{m}$ quando avaliado o parâmetro S_a da rugosidade.

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo elaborar uma metodologia para fabricação de penetradores em metal duro utilizados em testes de desgaste abrasivo de calhas poliméricas usadas na proteção de *risers*.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A metodologia para realização deste trabalho foi planejada, dividida e realizada da seguinte forma: a) medição dos penetradores antes dos processos de usinagem; b) retífica; c) lapidação e d) nova medição para controle das melhorias.

2.1. Medição das dimensões do cume

Para realizar a medição das dimensões das arestas do cume do penetrador, foi utilizado um microscópio ótico de inspeção, modelo OLYMPUS BX51M. Cada aresta foi identificada como apresentado na Fig. 3a e foi medida cinco vezes, sendo adotado o valor da média aritmética.

2.2. Medição da rugosidade do cume e das faces laterais do penetrador

Para se avaliar o acabamento superficial dos penetradores utilizou-se um interferômetro TALYSURF CLI 2000, do fabricante Taylor Hobson, com o modo de medição por luz branca (modo CLA), que permite uma resolução vertical de $0,01 \mu\text{m}$. Durante a medição foi avaliada uma área e adotou-se como parâmetro de controle a média aritmética da altura dos elementos do perfil (S_a). Este parâmetro é definido pela Eq. 1.

$$S_a = \frac{1}{A} \int_A |z(x,y)| dx dy \quad (1)$$

A medição do acabamento superficial do cume foi realizada considerando-se uma área de $0,0625 \text{ mm}^2$ e, para tanto, foram definidos dois pontos na superfície objeto de medição. O primeiro (ponto A na Fig. 3b), com coordenadas $[0, 0]$ representa o ponto inicial e o segundo (ponto B na Fig. 3b), com coordenadas $[0,25 \text{ mm}, 0,25 \text{ mm}]$, o ponto final da medição. Cabe ressaltar que, apesar do ponto inicial (A) ser posicionado manualmente e, portanto, nem sempre ser o mesmo para penetradores diferentes, a área medida é significativa e de igual dimensão para todas as amostras.

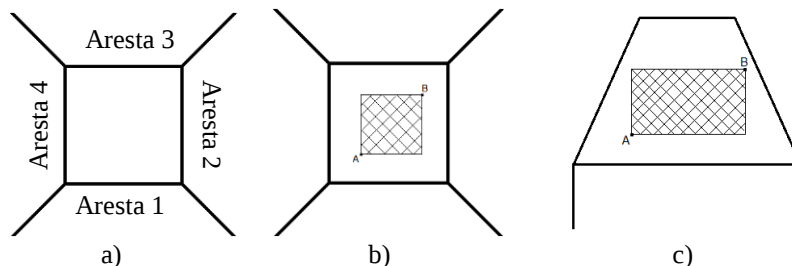


Figura 3. Estratégias de medição: a) medição das arestas; b) medição da rugosidade do cume e c) medição da rugosidade das faces laterais

Para a medição da rugosidade das faces laterais do penetrador, foi escolhida uma face como referência. Similarmente à medição da rugosidade no cume, foi escolhido um ponto inicial A de coordenadas $[0, 0]$ e um ponto B de coordenadas $[0,5 \text{ mm}, 1 \text{ mm}]$ (Fig. 3c). O mesmo princípio para o posicionamento destes pontos cabe nesta medição, entretanto a área medida foi maior, de $0,5 \text{ mm}^2$.

2.3. Processo de retificação

A retífica foi realizada com uma afiadora modelo PP-MC160 do fabricante ATLASMAQ. Utilizou-se um rebolo diamantado específico para usinagem de metal-duro, de código 1A1-125X16X3-C75-D126-H32. Este processo foi utilizado para se atingir dois parâmetros de controle, quais sejam: a) as dimensões das arestas que formam o cume e b) o ângulo entre a base e as faces da pirâmide.

2.4. Processo de lapidação

O processo de lapidação foi realizado com uma lapidadora modelo 15 do fabricante LAPMASTER. Utilizou-se uma emulsão abrasiva de diamante, código LAP5-DIAS-S00-E003, do mesmo fabricante, de granulometria média de $3 \mu\text{m}$. Como lubrificante, empregou-se uma suspensão a base de óleo, código LAP5-LUBP-500-0004. O prato de lapidação empregado é de ferro fundido de alta densidade, específico para lapidação de metal duro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da medição com microscopia ótica podem ser vistos na tabela 1 e 2 antes e após a usinagem, respectivamente. São mostrados os valores médios encontrados para a maior e a menor aresta.

Tabela 1. Valores de dimensão das arestas, em μm , antes da retífica

Penetrador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Maior aresta	485,3	534,2	522,8	521,0	481,7	520,2	483,4	392,1	531,7	506,1	483,2	556,0
Menor aresta	468,6	474,3	497,4	498,3	437,7	497,7	458,7	383,8	485,1	475,3	468,8	535,6

A partir da tabela 1 observa-se que antes da usinagem a maioria das dimensões se encontra fora da especificação, que é de $488,0 \mu\text{m}$ a $512,0 \mu\text{m}$. Ainda as arestas do penetrador 1 estão deterioradas (figura 4a) e as dimensões do cume do penetrador 2 bastante abaixo da tolerância (figura 4b). Enquanto que a tabela 2 mostra que todas as arestas estão com valores dentro das tolerâncias de projeto.

Tabela 2. Valores de dimensão das arestas, em μm , após a lapidação

Penetrador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Maior aresta	507,4	508,7	510,2	509,8	491,5	496,1	510,5	496,4	492,3	503,8	512,5	504,9
Menor aresta	488,6	507,9	492,4	501,3	489,6	492,0	498,7	491,1	488,6	502,4	511,5	488,6

A Figura 4 evidencia os diferentes estágios da fabricação do penetrador de número 2, partindo do penetrador não trabalhado (Fig. 4b), o penetrador retificado (Fig. 4c) e o penetrador lapidado (Fig. 4d). Observa-se claramente a melhoria quanto à forma e acabamento superficial do penetrador.

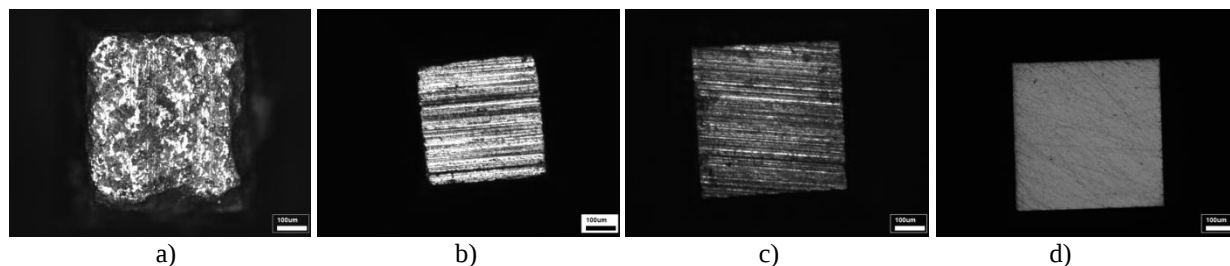


Figura 4. Inspeção visual do cume do penetrador 1 (4a), do penetrador 2 (4b-4d)

A figura 5 mostra os valores da rugosidade superficial antes e após os processos. Antes da lapidação, todos os valores eram superiores ao limite de $0,2 \mu\text{m}$, enquanto que, após a usinagem, todos se encontram bem abaixo. A menor diminuição percentual foi de 71,6%. Resultados similares foram obtidos para a rugosidade das faces laterais.

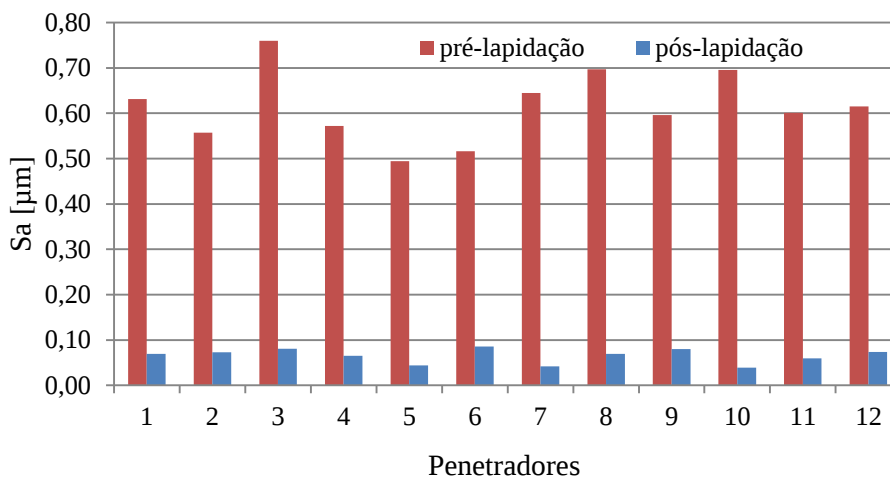


Figura 5. Gráfico comparativo dos valores de Sa para o cume dos penetradores

A incerteza associada às medições foi avaliada em todos os casos aplicando a lei de propagação de incertezas para uma probabilidade de abrangência de 95%.

4. CONCLUSÕES

Os processos de usinagem propostos para a fabricação dos penetradores são adequados e suficientes para se garantir a qualidade dimensional e geométrica dos penetradores. A retífica foi determinante para atender as tolerâncias dimensionais e a lapidação, por sua vez, garantiu o atendimento das tolerâncias impostas para a rugosidade.

5. REFERÊNCIAS

- FRANCO, S.D., MORAES, J.O., ARANTES, M. 2007. "Avaliação *Insitu* da Resistência ao Desgaste Abrasivo de Calhas Protetoras de Linhas Flexíveis". Relatório Final de Projeto do LTAD-UFU.
- LAWN, B. R. e FULLER, E. R. "Equilibrium penny-like cracks in indentation fracture". Journal of Mathematical Science. v. 10, 1975. pp 2016-2024.
- MORAES, J. O. 2005. "Avaliação da Resistência ao Desgaste Abrasivo de Risers Flexíveis – Proposição de uma Nova Metodologia de Teste". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.