

USINAGEM VERDE: ELIMINAÇÃO DO FLUIDO REFRIGERANTE NO ROSCAMENTO DE TUBOS API DA VALLOUREC & MANNESMANN DO BRASIL – VMB¹

Cláudio Geraldo Gomes²

Resumo

A experiência com usinagem verde, realizada na principal linha de produção de tubos com roscas API (American Petroleum Institute) da VMB, mostrou-se tecnologicamente viável, com ganhos ambientais e econômicos. Este trabalho descreve algumas das principais informações técnicas sobre usinagem a seco e as correlacionam aos dados amostrados em campo. Os parâmetros estudados foram: velocidades, forças, potências e temperaturas dos cavacos. Ferramentas de diferentes materiais foram testadas e avaliou-se o desempenho das mesmas em produtividade. As condições que permitiram eliminar o fluido de corte foram encontradas; encerrou-se a fonte de geração do resíduo oleoso e, conseqüentemente, o descarte dispendioso e complexo do mesmo. Há, também, sugestões de possíveis soluções para os casos de roscamento a seco em tubos de aço sem costura.

Palavras-chave: Usinagem; Roscamento; Tubos.

¹ 60º Congresso Anual da ABM – Belo Horizonte – Minascentro – 25 a 28 de julho 2005

² Engenheiro Mecânico pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Extensão em Métodos, tempos e solução de problemas nas rotinas de produção e manutenção pelo Instituto de Educação Continuada IEC/PUC.

Responsável pela fábrica de roscamento de tubos petrolíferos da VMB, Usina do Barreiro - Belo Horizonte/MG.

INTRODUÇÃO

Na usinagem com remoção de cavacos, os diversos tipos de materiais comportam-se de modos distintos. Há influências de muitas variáveis como: máquina, ferramenta, geometria da peça e processo. Usinar a seco os tubos de aço, parecia uma operação impossível há anos atrás. Entretanto, por pressões ambientais, pela evolução dos materiais e tratamentos empregados nas ferramentas, tornou-se uma realidade. Os fatores de ordem econômica, as questões ambientais e os efeitos fisiológicos dos postos de trabalho estão impulsionando o desenvolvimento de fabricantes de máquinas e de ferramentas [01, 02].

ESTUDO DO CASO DA VMB

O planejamento das principais ações da experiência visou os seguintes benefícios na linha de produção:

- Eliminar a emulsão refrigerante, em conformidade com o 2º Passo do TPM - Total Productive Maintenance;
- Melhorar o posto de trabalho, eliminando os riscos inerentes à saúde dos trabalhadores – OHSAS 18001;
- Eliminar o descarte do resíduo oleoso e o passivo ambiental - ISO 14000;
- Reduzir os custos, inclusive aqueles relacionados às paradas de produção para manutenção do sistema de bombas, tubulações e válvulas.

LINHA DE PRODUÇÃO DE ROSCAS API

A linha de produção escolhida para o desenvolvimento da experiência é composta por duas roscadeiras, denominadas Becker CTM-30 - 1 e 2. Cada roscadeira é dotada de sistema hidráulico para pré – centragem e fixação dos tubos, com placa rotativa da PMC (Pipe Machine Company). Há motores elétricos nos eixos X e Z e são máquinas programadas por controle numérico (CNC) Sinumeric, com interface da Siemens. As roscadeiras estão instaladas em lados opostos, de forma que cada uma faça a rosca na respectiva extremidade do tubo. As roscas são inspecionadas em linha, seguindo os critérios da norma API 5CT.

EXPERIÊNCIA DESENVOLVIDA

A experiência consistiu em fazer a usinagem a seco na Becker CTM 30-2, mantendo a roscadeira número 1 com refrigeração.

Os desempenhos nos distintos cenários foram medidos e comparados para o aço nos graus P110, K55, L80 e N80. As características destes graus de aço são encontradas na Norma API 5CT - ISO 11960:2001 – Petroleum and natural gas industries – Steel pipes for use as casing and tubing for wells.

Foram sessenta dias de trabalhos monitorados em turno único de oito horas. Apenas durante quinze dias, a jornada ocorreu em dois turnos consecutivos.

Tamanho da amostra: 29197 roscas, sendo 48,73% com refrigeração e 51,27% a seco.

Formação da amostra: 65% em P110, 31% em N80, 3% em K55 e 2% em L80.

O diâmetro do tubo utilizado foi de 9.5/8 polegadas, com rosca Buttress.

As principais forças, velocidade e potências envolvidas foram:

- Força de corte = entre 13500 e 15000N
- Força de avanço = entre 3000 e 3400N
- Potência de corte = de 33 a 48kW
- Velocidade de corte = de 120 a 190 m/min

O modelo matemático utilizado para o cálculo dos valores acima está descrito neste trabalho, nas páginas sete e oito.

FLUIDO REFRIGERANTE

Os custos para o descarte dos resíduos especiais, como a emulsão de corte, devem crescer na medida das imposições da legislação ambiental. Os gastos podem alcançar valores entre 2% e 18% do custo do produto, incluídos os equipamentos, a operação e os graves riscos para a saúde dos trabalhadores [03, 09, 10].

Neste caso estudado o valor é de 4,0% do custo da usinagem, incluindo as perdas ocorridas devido a quebras no sistema de refrigeração.

A vazão recomendada de fluido é de 20 a 100 l/min, com concentração volumétrica entre 6% e 10%. Os jatos têm que ser adequados, ou seja, direcionados para a aresta de corte, cumprindo a função de prorrogar a vida útil das ferramentas [09, 11, 14, 15, 16].

Na roscadeira nº 1, que foi mantida com refrigeração, trabalhou-se entre 6% e 8% de concentração e vazão de 60 l/min. Foram feitos testes com acréscimos de vazão, mas não houve aumento na vida útil das ferramentas. Na condição de maior vazão, as perdas de emulsão aumentaram devido aos respingos e arrastes pelo interior dos tubos. Por consequência, elevaram-se os níveis de sujidade e de ruído na área. A elevação do nível de ruído ocorreu devido à necessidade de secagem interna dos tubos, realizada com ar comprimido.

Eliminar o fluido refrigerante através da técnica de usinagem verde pode ser complexo, pois é preciso compensar as funções do mesmo. A emulsão é responsável, em grande parte, pelo transporte dos cavacos, resfriamento e lubrificação da ferramenta e da peça. Ela também auxilia na remoção das limalhas e dos vapores gerados durante o processo, bem como na proteção contra oxidação da área usinada [01, 05, 11, 12].

Após a eliminação da emulsão, não se constatou problemas de oxidação das roscas. Não houve acúmulo de limalhas e de poeiras sobre qualquer das partes importantes da máquina, devido à eficiente limpeza periódica realizada. Entretanto, observou-se que durante a usinagem a seco, houve maior emissão de vapores. Este problema foi resolvido com a instalação de exaustores.

CAVACOS: PRINCIPAIS AGENTES TRANSPORTADORES DE CALOR

Os cavacos quentes devem ser separados rapidamente da ferramenta, para manter a transferência de calor dentro do menor tempo possível. O acúmulo de calor conduz energia térmica de forma concentrada para dentro da máquina e da peça, podendo causar deformação e perda de precisão dimensional.

Para reduzir o aquecimento da peça, uma possibilidade é aumentar a velocidade de usinagem, reduzindo o tempo de contato. O efeito de dissipação de calor ocorrerá, principalmente, através dos cavacos. Estes precisam ser formados com menos deformação por compressão e terem menor seção transversal [06, 07].

Em campo observou-se que os cavacos gerados nas operações de chanfro, de torneamento e de faceamento, não apresentaram alterações de aspectos. Os mesmos saíram em forma de fitas largas, de pequenas espiras e de pedaços delgados, respectivamente.



Figura 1. Colar de cavacos.

A temperatura da área chanfrada alcançou valores da ordem de 85°C e os cavacos de 500°C.

A usinagem da rosca, que ocorreu na seqüência imediata, gerou cavacos em fitas finas e que se entrelaçaram em forma de um colar, na ponta do tubo, conforme pode ser visto na Figura 1.

A temperatura média do colar de cavacos (356°C), foi 10 vezes maior que a média daqueles gerados sob refrigeração.

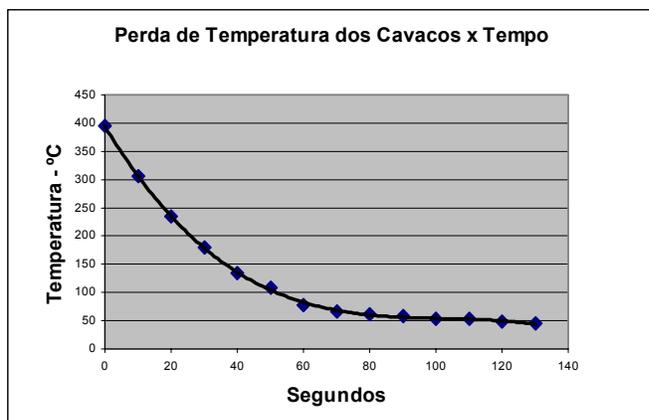


Gráfico 1. Temperatura dos cavacos x tempo.

O resfriamento dos cavacos de rosca ocorre muito rapidamente nos 60 segundos iniciais: 5,42°C/s, conforme Gráfico 1.

Após 90 segundos, observamos um comportamento assintótico, com redução de 0,37°C/s.

Na rotina diária, estas temperaturas não significaram maior risco aos operadores, devido à carcaça externa da máquina ser grande o suficiente para reter os cavacos aquecidos.

FERRAMENTAS E PRODUTIVIDADE

Para trabalhar a seco, a ferramenta tem que apresentar elevada dureza a quente e resistência ao desgaste. O atrito e a adesão da mesma com a superfície a ser usinada, é muito grande, além do cenário apresentar elevadas cargas térmicas.

A principal preocupação na VMB foi o comportamento mecânico das ferramentas. Havia o temor de que os choques térmicos agravariam a formação de trincas e crateras. O efeito imediato seria o maior consumo de ferramentas, perda da qualidade superficial das roscas, etc. A confirmação destes fatos inviabilizaria a usinagem verde.

Entretanto, constatou-se na experiência que as trocas dos inserts ocorreram, principalmente, devido ao desgaste natural das arestas de corte.

As ferramentas de roscas que apresentaram melhor desempenho de produtividade têm três camadas de revestimento em nitreto de titânio e carbonitreto de titânio - TiN TiCN TiN, aplicadas por CVD (Chemical Vapor Deposition). No substrato encontra-se cobalto com cristais mistos de carbonetos de titânio, de nióbio e de tântalo - 6%Co + 8%TiC-Ta(Nb)C.

Os seguintes efeitos nas ferramentas são obtidos com estes constituintes:

- Maior estabilidade, inibindo o fenômeno da difusão com o aço;
- Menor desgaste nos flancos e gumes por formação de crateras e trincas;
- Maior resistência à oxidação e ao desgaste por abrasão;
- Maior temperatura crítica de trabalho e maior dureza a quente.

Foram realizados alguns testes com pastilhas de Nitreto de titânio e cobertura de alumina - $TiAl_2O_3$, sem se obter o resultado esperado: maior vida útil das ferramentas. Observou-se que houve o lascamento da camada superficial de alumina, deixando as arestas de corte sem proteção e o substrato exposto.

Devido à alumina possuir elevada dureza e proteger o substrato do calor extremo, esperava-se maior produtividade das pastilhas.

Para os futuros testes pode-se, por exemplo, usinar com pastilhas de Nitreto de titânio alumínio - TiAlN. Neste caso, espera-se que a formação da alumina ocorra durante o processo de usinagem, a uma temperatura entre 800°C e 900°C, eliminando o efeito do lascamento da camada superficial [01, 04, 05, 07, 12, 20].

MÁQUINAS PARA O PROCESSO A SECO

As máquinas para usinagem a seco têm que ser projetadas, ou adaptadas quando forem de gerações anteriores, para permitir a remoção rápida dos cavacos [04, 05, 20].

As roscadeiras Becker CTM 30 da VMB, foram projetadas na década de 60 para usinar tubos em uma larga faixa de bitola, ou seja, de 2.^{3/8} a 10.^{3/4} de polegadas. Em função desta capacidade, as mesmas apresentam área suficiente para saída rápida dos cavacos e, também, favorável à convecção natural.

Não foi necessário efetuar alterações nas roscadeiras e a preocupação maior foi com o sistema de lubrificação da placa rotativa.

Consultou-se o fabricante e a orientação foi para se fazer o monitoramento de temperaturas na placa de usinagem – Figura 2.

A temperatura média encontrada foi de 70,6°C na máquina sem refrigeração e de 44°C na roscadeira com fluido de corte.

Encontrou-se temperatura de pico da ordem de 135°C nas cápsulas e grampos de fixação das pastilhas.

Por isto houve alteração no cuidado dos operadores ao trocarem as ferramentas e acessórios.



Figura 2. Placa de usinagem.

Para não haver acidentes, os próprios trabalhadores encontraram uma adequada solução: resfriar os componentes, rapidamente, com ar comprimido. O ruído gerado nesta operação foi tratado com investimento em bicos específicos para a função de sopro.

INSPEÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DAS ROSCAS

Inicialmente houve receio quanto às dimensões das roscas, que poderiam ser afetadas pela maior temperatura na usinagem a seco.

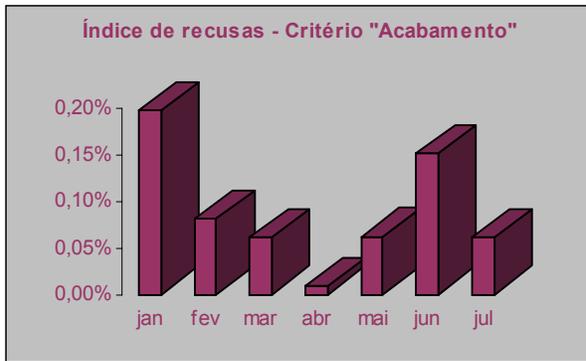
A temperatura média das roscas, medida imediatamente após a usinagem, foi de 50,2°C quando processadas a seco e de 37,9°C sob refrigeração.

No local de inspeção a temperatura das roscas a seco foi de 31,3°C e de 27,2°C para aquelas com refrigeração.

As dimensões das roscas foram medidas a “quente” e repetidas a “frio”. Constatou-se que dimensionalmente, as roscas foram pouco alteradas e dentro das tolerâncias da norma API 5CT.

Os cuidados com o acabamento superficial foram tomados através de medição da rugosidade e inspeção visual. Visualmente cuidou-se de checar aspectos como brilho, riscos e ausência de manchas que pudessem se formar no cenário sem refrigeração.

Não se observou tendência para um determinado tipo de rejeito, cuja causa fosse a ausência do fluido refrigerante.



Para exemplificar, o índice médio de recusas devido ao critério "acabamento", foi de 0,10% durante a experiência e de 0,09% de janeiro a maio/04, conforme Gráfico 2.

Porém, o resultado de junho foi afetado por uma outra causa, sem correlação com a experiência.

Gráfico 2. Índice de recusas por "acabamento".

RUGOSIDADE: este parâmetro foi avaliado em amostras coletadas de ambos cenários, ou seja, com e sem fluido de refrigeração. Para obtenção dos resultados foi utilizado o rugosímetro Mitutoyo – Surfteste – III com Amplificador do sistema de leitura. As medições foram tomadas em três diferentes posições, dentro do limite perfeito de rosca. A média aritmética foi o resultado final para a rugosidade média (Ra) e para a rugosidade máxima (Rz):

Ra = 0,20 μm e Rz = 1,2 μm para rosca usinada com refrigeração

Ra = 0,15 μm e Rz = 1,2 μm para rosca usinada a seco

BRILHO E MANCHAS: a inexistência de brilho e as manchas são causa de recusa, quando comprometem o aspecto das roscas. Sabemos que as temperaturas mais elevadas favorecem a formação de manchas, as quais podem ser simples diferença de tonalidade da cor metálica ou o início de oxidação. Neste último caso, a rosca tem que ser recusada.

No início da experiência com tubos no grau P110, foi observado menor brilho das roscas. Imediatamente solucionou-se o problema, com o acréscimo de 10m/min na velocidade de corte. Não houve registro de casos de manchas na área usinada.

DUREZA: os ensaios de dureza foram realizados conforme norma API 5CT. Os resultados mostraram que não houve alteração desta propriedade mecânica, na área usinada.

Dureza = 27,3 HRc para rosca usinada com refrigeração

Dureza = 25,6 HRc para rosca usinada a seco

PRINCIPAIS RESULTADOS

+ Eliminação de 100% da emulsão de corte e conseqüentemente: fim do controle de concentração da emulsão; postos de trabalhos secos e sem mau cheiro; ganhos em higiene e em clima organizacional;

+ Fim das preocupações com o descarte do fluido refrigerante e com os passivos ambiental e trabalhista;

+ Redução de 2,3% no custo de usinagem, referente exclusivamente à eliminação do fluido refrigerante;

+ Redução de 1,7% no custo da usinagem em função da maior vida útil das ferramentas;

+ Melhoria de 12% no rendimento global ou vida útil das pastilhas de usinagem, sendo distribuído conforme a Tabela 1:

Tabela 1. Rendimento das pastilhas de usinagem

RENDIMENTO DAS PASTILHAS: 9 5/8" BUTTRESS - AÇOS P + K + N (JUN + JUL 2004)						
PASTILHA	ROSCAS / PASTILHA		VARIACÃO DA MÉDIA POR PASTILHA	VARIACÃO DA MÉDIA POR FUNÇÃO (USINAGEM A SECO X COM REFRIGERAÇÃO)		
	CTM I	CTM II - A SECO				
ROSCA Nº 1	138,3	177,0	28,0%	29%	10%	13%
ROSCA Nº 2	95,5	122,6	28,4%			
ROSCA Nº 3	63,5	84,1	32,4%			
TORNEAMENTO	381,4	365,5	-4,2%			
CH. EXT.	319,3	404,6	26,7%	12%		
CH. INT.	465,1	488,1	4,9%			
FACE	281,6	310,4	10,2%			
Total						

+ Ganho de 1,4% na eficiência da Linha, em função da redução de paradas de produção para troca de ferramentas e para manutenção no sistema hidráulico.

CONCLUSÕES

- + Foi uma experiência muito bem sucedida e que permitiu implantar a usinagem a seco na linha Becker CTM-30;
- + O melhor desempenho obtido com a usinagem verde foi resultado de uma correta escolha de ferramentas, acessórios e de adequados parâmetros de trabalho.

DESAFIOS

- + Ganhar produtividade através de parcerias com fabricantes de ferramentas, explorando melhor o uso de pastilhas com Al e Cr;
- + Pesquisar a usinagem a seco ou com MQL (Mínima quantidade de lubrificante), nas linhas da VMB que produzem roscas Premium.

MODELO MATEMÁTICO

Cálculo das Potências de Usinagem e Vida Útil das Ferramentas

[1] – Cálculo da Potência Efetiva_Nef

$$N_{ef} = (N_c^2 + N_f^2)^{0,5}, \text{ onde:}$$

N_{ef} = Potência efetiva, W

N_c = Potência de corte, W

N_f = Potência de avanço, W

[2] - Cálculo da Potência de Corte_Nc

N_c = F_c x V_c / 60 onde:

F_c = Força de Corte, N

V_c = Velocidade de Corte, m/min

[2.1] - Cálculo da Força de Corte_FC - Conforme o Método Kienzle

$$F_C = K_{S1} \times h^{(1-2)} \times b \text{ onde:}$$

K_{S1} = Constante de Kienzle, específica para corte por cisalhamento em função do material e para usinagem sem fluido refrigerante, (N/mm²)

h = f x sen K - Dimensão relativa ao avanço de corte para cálculo da área do cavaco

f = Avanço, mm/rot

(1 - Z) = Expoente constante em função de KS1

K = Ângulo kapa responsável pela posição do gume de corte em relação à peça

b = $a_p / \sin K$ - Dimensão relativa à profundidade de corte para cálculo da área do cavaco

a_p = Profundidade de corte, mm

[2.2] - Cálculo da Velocidade de Corte V_c

$V_c = \pi \times D \times n / 1000$, onde:

D = Diâmetro, mm. Para profundidades (a_p) maiores que 4,0mm, usar diâmetro médio (DM), sendo:

$DM = (D_{ini} - D_{fin}) \times 0,5$

D_{ini} = Diâmetro inicial, mm

D_{fin} = Diâmetro final, mm

n = Rotação, rpm

[3] – Cálculo da Potência de Avanço N_f

$N_f = F_f \times V_f / 60000$ onde:

F_f = Força de Avanço, N

V_f = Velocidade de avanço, mm/rot

[3.1] - Cálculo da Força de Avanço F_f - Conforme Schlesinger

$F_f = F_c / \text{Constante}$ onde:

Constante = 4,5 para cavaco de aço com área aproximada de 5mm^2

[3.2] - Cálculo da Velocidade de Avanço V_f

$V_f = f \times n$ onde:

f = Avanço, mm/rot

n = Rotação, podendo ser calculada pela equação [2.2]

[4] - Cálculo do Tempo de Vida da ferramenta T_v – Conforme Taylor

$T_v = (C_t / V_c)^x$, onde:

T_v = Tempo efetivo de corte entre duas reafiações sucessivas, min

C_t = Constante definida em função do material a usinar e da ferramenta

V_c = Velocidade de corte, m/min

x = Constante definida em função do material a usinar e da ferramenta

[4.1] - Velocidade máxima de corte V_t

$V_t = C / a_p^{0,14} / f^{0,42}$

V_t = Velocidade máxima para uma vida de "t" minutos, m/min

C = Constante definida em função do material a usinar e da ferramenta

a_p = Profundidade de corte, mm

f = Avanço, mm/rot

[5] – Potência de Acionamento N_{ac}

$N_{ac} = N_{ef} / (\text{Rend}_{elet} \times \text{Rend}_{mec})$

Os rendimentos eletromecânicos são conforme a tabela de Dubbel, devendo ser substituídos por valores reais, quando disponíveis.

Agradecimentos

+ à Diretoria da VMB e Superintendência de Tubos Petrolíferos por permitirem a realização e divulgação deste trabalho;

+ aos parceiros das áreas de Produção, Métodos, Qualidade e Manutenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] – Manual técnico do laboratório de Máquinas Operatrizes – Depto de Engenharia Mecânica da PUC-MG
- [02] – The trend to dry machining – broadening applications – Walter R. Frick and Torsten Bell
- [03] – Uma rede de tecnologia para eliminar os fluidos de corte – Jürgen Schimidt and Martin Dick. Tradução: Werner S. Rothschild
- [04] – Fresamento de engrenagem a seco – Ed Huntress. Tradução: Carlos Gouveia
- [05] – A indústria pode ter acesso ao desenvolvimento aprimorado – Jürgen Schimidt and Martin Dick. Tradução: Werner S. Rothschild
- [06] – A usinagem a seco em alta velocidade: revolução ou evolução? – Volker Sinhoff, S. Altmüller e G. Eisenblätter. Tradução: Marco Aurélio Conceição
- [07] – Brocas helicoidais de aço rápido na furação com MAL e a seco – W. L. Weingaertner, Rolf B. Schroeter e Pablo R. Castro
- [08] – O compromisso da rugosidade com a velocidade de corte – Elias A. Cunha e Marcos V. Ribeiro
- [09] – Usinagem sem refrigeração e redução de custos – Peter Muller. Tradução: Marcos Soto
- [10] – Usinagem com e sem refrigeração: verdades e mitos – Flávio G Martinez e Roberto Saruls
- [11] – Furação sem refrigeração: somente razões ecológicas? – D. Kammermeier, B. Borschert, H. Kauper and M. Scheneider
- [12] – Usinagem a seco... ou quase a seco – F. Mason. Tradução: Marco Aurélio Conceição
- [13] – Primeiros passos na furação sem refrigeração - D. Kammermeier, B. Borschert, H. Kauper and M. Scheneider
- [14] – Vantagens do uso de fluidos sintéticos na usinagem – O. Novaski e Márcia Rios
- [15] – A propriedade lubrificante dos fluidos de corte - O. Novaski e Márcia Rios
- [16] – Fluidos de corte solúveis em água - Flávio G Martinez
- [17] – Aspectos tecnológicos do processo de fresamento de topo com utilização de mínima quantidade de fluido de corte - Rolf B. Schroeter
- [18] – Usinagem quase a seco - O. Novaski e Joachim Dör
- [19] – PMC Threading Chasers 2003 – Vallourec and Mannesmann Star – Houston
- [20] – Usinagem a seco e de materiais endurecidos – Friedrich J. Momper. Tradução: Peter Theiser

DRY MACHINING: NO COOLANT IN THE LATHES OF VALLOUREC & MANNESMANN DO BRASIL – VMB¹

Cláudio Geraldo Gomes²

Abstract

Environmental aspects have become more important in productive processes and cutting fluids used for threading pipes are considered a problem for the companies, due the substances can cause serious damages to the workers' health as well as to the nature. This technical report describes the experience of VMB on dry machining at its API (American Petroleum Institute) threading line for casing pipes. Moreover it clarifies what had to be done to meet the target of environmental safeguards. Specific data, such as tools performance, graphs of chips temperature, discussions on tooling temperature and mainly results of the experience will be found herein. The development and the correlations between the bibliography and the field job are presented as well as the savings and environment benefits.

Key-words: Machining; Cutting; Dry machining.

¹ 60th Annual Congress of ABM – Belo Horizonte – Minascentro - July 2005

² Mechanic Engineer – Department of OCTG (Oil Country Tubular Good) – VMB - Belo Horizonte / MG