

Avaliação da influência dos parâmetros de usinagem e do revestimento da broca de metal duro na furação do aço 300M endurecido.

Davi Neves

Instituto de Estudos Avançados. – IEAv. Centro Técnico Aeroespacial. CTA. - Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - São José dos Campos – SP Caixa Postal 6044 - Cep - 12.231-970
Fone: 12 3947-5538 - E-mail: davis@ieav.cta.br

Wilton Fernandes Alves

Instituto de Aeronáutica e Espaço. – IAE. Centro Técnico Aeroespacial. CTA. - Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - São José dos Campos – SP Caixa Postal 6044 - Cep - 12.231-970.
Fone: 12 3947-4809 - E-mail: wfernandes@iae.cta.br

Carlos César de Castro Deonísio

Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia - CIMATEC/SENAI/BA. - Avenida Orlando Gomes, 1845 - Salvador - BA Cep - 41.650-010.
Fone: 71 462-9514 -E-mail: deonísio@cimatec.fieb.org.br

Olívio Novaski

Faculdade de Engenharia Mecânica – Unicamp. Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo - Campinas – SP Caixa Postal 6122 - CEP: 13.083-970.
Fone: 19 3788-3290 E-mail: novaski@fem.unicamp.br

Resumo. A necessidade do uso de aços em aplicações críticas, tais como a da indústria aeronáutica e aeroespacial tem ampliado a utilização dos aços de ultra-alta resistência. Nestas aplicações a principal consideração diz respeito à performance do material. A viabilidade econômica torna os aços de ultra-alta resistência e baixa liga uma opção atraente. Com médio teor de carbono e baixos teores de elementos de liga como o cromo, molibdênio, níquel, silício e vanádio o aço 300M tem sido utilizado em trens de pouso de aeronaves e envelopes de motor foguete. Nestas aplicações as exigências como uma dureza de 49 a 52 HRC, uma resistência à ruptura mecânica de 185 Kgf/mm², uma tenacidade à fratura de 80 MN/m^{3/2}, aliados a severos requisitos de geometria não são raros. Utilizando técnicas de planejamento fatorial, este trabalho objetivou identificar os fatores (parâmetros de usinagem e revestimento) que mais influenciaram nas variáveis de respostas (força de avanço, momento e precisão dimensional) na furação do aço 300M temperado e revenido com dureza de 55 HRC. As brocas utilizadas eram de metal duro revestidas com nitreto de titânio (TiN) e com nitreto de titânio-alumínio (TiAlN). Uma avaliação metalográfica das paredes dos furos foi realizada. Os resultados mostraram que: os revestimentos não influenciam significativamente na força de avanço, momento, precisão dimensional e rugosidade; que o avanço tem forte influencia na força de avanço e no momento; e que a velocidade de corte tem grande influencia na variação dimensional. Identificou-se uma camada branca de martensita não revenida nas paredes dos furos executados com velocidade de corte normal para brocas de metal duro.

Palavras chave; broca de metal duro, revestimentos TiN/TiAlN; aço 300M endurecido.

1. INTRODUÇÃO.

A furação é uma das mais antigas operações de usinagem que se tem registro. Há evidências sobre uma broca egípcia do ano de 4.000 a.C. que se constituía de uma haste de madeira e uma ponta de sílex ou uma outra espécie de pedra dura. Hieróglifos datados de 2700 a.C. apresentam instruções para obtenção de furos (Tonsholf, 1994). A broca helicoidal, inventada por Moses Twist Drill and Machine Company em 1820, (Tomita, 1999) continua se desenvolvendo, mas a forma básica da construção helicoidal continua válida até hoje. As hélices da broca desempenham um papel importante na remoção dos cavacos na medida em que o furo é executado. Sempre que a precisão dimensional é fundamental, a furação é a operação inicial que antecede o alargamento, o mandrilhamento e a retificação. Embora furos relativamente precisos possam ser feitos com a broca, ela é considerada uma operação primária e os parâmetros de maior interesse são usualmente uma longa vida da broca e uma alta taxa de avanço. (Schaw, 1986).

A tecnologia da furação evoluiu seguindo as linhas de pesquisas relacionadas a:

- Estudo do comportamento do processo com a variação da geometria das ferramentas.
- Desenvolvimento de novos materiais para fabricação de ferramentas.
- Seleção de parâmetros para garantir maior vida à broca, melhor qualidade para o furo.
- Desenvolvimento de revestimento para as ferramentas.

Por volta de 1980, a broca de ponta de metal duro foi aplicada pela primeira vez com eficiência na furação de aço, e logo a seguir, desenvolve-se a broca de metal duro inteiriça revestida. O desenvolvimento desta ferramenta nos últimos anos representou uma revolução no desempenho da furação, tanto no aumento da vida como no aumento dos parâmetros de usinagem. Em meados dos anos 90 a eficiência da furação dobrou em relação às primeiras brocas de metal duro do início dos anos 80 (Dorr, 2001). As modernas brocas helicoidais permitem a executar os furos em uma única operação, sem necessidade de pré-furos e buchas guias, e em determinadas condições, operações posteriores de acabamento como alargamentos para melhorar a precisão e o acabamento superficial podem ser eliminadas.

A avaliação da importância da furação é dada pela sua abrangência, ela representa aproximadamente 33% de todas as operações de usinagem (Chen, 2000). A seleção dos materiais de ferramentas, a correta especificação do tipo da ferramenta é feita em função do grau de automação da máquina ferramenta e da crescente complexidade dos produtos. O processo de furação é a operação de usinagem mais amplamente utilizada na área de usinagem de metais, representa aproximadamente 25% do tempo de todas as operações de usinagem (Tomita, 1999).

1.1 O Aço 300M

Os aços de ultra-alta resistência são ligas de aços estruturais que apresentam um limite de escoamento mínimo de 1380 MPa ($140,8 \text{ Kgf/mm}^2$) por meio de tratamento térmico e/ou mecânico (ASM-Metals Handbook, 1978). Os aços de ultra-alta resistência podem ser enquadrados dentro das seguintes categorias (Tomita, 1999):

- Aços de baixa liga (AISI 4340 e 300M);
- Aços de alta liga com endurecimento secundário (AISI HY 180, AF 1410, HP 9-4-20 e HP-9-4-30);
- Aços endurecidos por precipitação (AISI 15-5HP e PH 13-8);
- Aços Maraging (AISI C250).

Os aços de ultra-alta resistência e baixa liga são de médio teor de carbono e contém quantidades variáveis de cromo, molibdênio, níquel silício e vanádio. O aço 300M é um material que apresenta uma boa relação custo benefício, utilizado pela indústria aeroespacial na fabricação da estrutura dos motor foguete, em carcaças de motores, na indústria aeronáutica em trem de pouso, onde a relação resistência / peso é fundamental na seleção dos aços (Suarez, 1984).

O aço 300M é basicamente uma modificação do aço 4340, pela maior quantidade de silício, quantidades ligeiramente superiores de carbono e molibdênio e adição de vanádio (ASM-Metals Handbook, 1978). A sua composição química (tabela 1) foi formulada com o objetivo de obter um

aço que aliasse resistência mecânica e dureza, a boa tenacidade, com pequeno aumento nos teores de molibdênio e carbono e um teor maior de silício.

Tabela 1: Composição química (% em peso) comparativa de aços de baixa liga

Aço	C	Si	Mn	P,S*	Cr	Mo	Ni	V
300M	0,40 - 0,45	1,45 – 1,80	0,60 – 0,90	0,010	0,70 – 0,95	0,30 – 0,50	1,65 – 2,00	0,05 – 0,10
4340	0,38-0,43	0,20 – 0,35	0,60 – 0,90	0,010	0,70 – 0,90	0,20 – 0,30	1,65 – 2,00	-

Os tratamentos térmicos de têmpera e revenido são normalmente utilizados para propiciar melhor combinação de resistência mecânica e tenacidade à fratura. A maioria das propriedades do aço 300M é igual as do aço 4340, porém o teor de silício superior promove uma maior temperabilidade, um aumento de resistência por solução sólida e melhora a resistência ao amolecimento a altas temperaturas, o que facilita o alívio de tensões. Por outro lado este aço é particularmente propenso a descarbonetação em função do aumento dos teores de silício e molibdênio. Durante os tratamentos térmicos, cuidados adicionais devem ser tomados, ou a camada descarbonetada deverá ser removida após o processamento (Tomita, 1991).

Alguns componentes aeroespaciais, após serem submetidos a tratamento térmico, são furados na fase final de fabricação, tal operação é extremamente crítica devido à alta dureza apresentada pelo material, e ao elevado custo de usinagem acumulado no conjunto até esta fase de fabricação. Uma falha ou uma não conformidade nesta fase causaria uma perda substancial de recursos.

1.2 Os Revestimentos de TiN e TiAlN

Os revestimentos separam a ferramenta do material da peça durante a usinagem e oferecem a possibilidade de substituir o fluido refrigerante. O substrato é responsável pela forma, resistência mecânica e rigidez da ferramenta. O papel da interface é garantir uma boa adesão do revestimento com o substrato. A adesão do revestimento depende das características químicas do substrato e das tensões térmicas na interface. Do revestimento se espera a redução do atrito para diminuir a quantidade de calor dissipada pela ferramenta, proteção térmica, proteção contra a difusão e resistência a altas temperaturas. Na superfície do revestimento não devem ocorrer interações mecânicas químicas ou tribológicas com o material da peça (Tönshoff, 1997). Em resumo o máximo benefício do revestimento será atingido pela combinação de uma alta adesão aliada a uma alta dureza do revestimento, uma ótima acomodação da expansão térmica entre o revestimento e o substrato, a presença de uma interface dúctil entre o revestimento e o substrato e a presença de uma favorável tensão residual compressiva no substrato para resistir a propagação de trincas (Mills, 1996). Os revestimentos de ferramentas de corte que mais tem se destacados são: TiN, TiCN e TiAlN. Estes são caracterizados por uma alta dureza, excelente aderência, baixa porosidade, altas estabilidades química e térmica (Diniz, 1999). Na tabela 2 encontram-se relacionadas algumas das propriedades destes materiais de revestimento

Tabela 2. Propriedades dos revestimentos (Van Stappen, 1995)

Revestimento	TiN	TiAlN	TiCN
Dureza (HV 0,05)	2200-2700	3000-3500	2800-3100
Espessura máxima (µm)	1-5	1-5	1-5
Estabilidade térmica (°C)	450	800	400
Coef. Atrito contra o aço	0,4	0,3-0,4	0,25-0,30
Coef. Trans. de calor (w/mK)	70	50	100
Cor	Dourado	Violeta	Lilás
Composição química (%)	50Ti-50N	25Ti-25Al-50N	50Ti-25C-25N
Resistência à oxidação (°C)	500	800	-
Condutividade Térmica (W.m-1.K-1)	30	22	43

O revestimento de TiAlN representa um importante papel no desenvolvimento dos revestimentos aplicados pelo Processo PVD. Mesmo este revestimento sendo conhecido por mais de dez anos, somente os novos processos de deposição de elevada ionização estão permitindo que as propriedades deste revestimento sejam controladas para produzir uma ótima performance na usinagem (Prengel, 1997).

O revestimento de TiAlN é um desenvolvimento evolucionário do largamente utilizado revestimento de nitreto de titânio. O revestimento de TiAlN pode somente ser produzido por processos que geram a formação de um plasma onde ele é depositado como uma fase cristalográfica metaestável. Baseado em diferentes parâmetros como a composição do material alvo, a taxa de evaporação e dos parâmetros de ionização do plasma, parte do titânio pode ser substituído pelo alumínio em diferentes níveis. Os revestimentos de TiAlN são basicamente depositados pela evaporação do material alvo Ti-Al usando o gás reativo nitrogênio. Atualmente os métodos básicos de evaporação para a deposição de TiAlN são a evaporação catódica a arco e “magnetron sputter deposition”. Comparando estes dois métodos, o plasma produzido por evaporação catódica a arco tem um nível de ionização mais alto que o plasma que é criado por uma fonte “magnetron sputter”. O revestimento proveniente do plasma de maior ionização mostra uma estrutura mais livre de poros e uma interface uniforme, o que é extremamente benéfico para a adesão. Variações no processo por sputter que elevem o nível de ionização do plasma melhoram a adesão, propiciam uma microestrutura de revestimento denso, livre de poros interfaciais e formações colunares, que são freqüentemente observadas na evaporação por sputter convencional. Estas características promovidas pela evaporação por sputter com plasma de ionização elevada conferem resistência ao revestimento, promove a adesão, melhorando a performance da ferramenta durante a usinagem (Prengel, 1997).

O TiN pertence ao grupo de materiais metálicos duros enquanto AlN pode ser conectado ao grupo de materiais duros covalentes. Na difração de Raios-X a estrutura cúbica de face centrada pode ser identificada facilmente nos filmes finos de TiN. Nos filmes de TiAlN os átomos de titânio na grade de TiN são parcialmente substituídos pelos átomos de Al. Em função do menor tamanho do átomo de alumínio comparado com o átomo de titânio, a estrutura deste revestimento torna-se deformada, aumentando a resistência da célula unitária. Em diferentes testes de avaliação do revestimento de TiAlN quando comparado com o revestimento de nitreto de titânio, ele mostrou superior resistência à oxidação. Enquanto o TiN se oxida a temperaturas acima de 600° C o TiAlN mostra uma resistência a oxidação superior a 800° C. A formação de uma camada superficial superior de Al₂O₃ aumenta a resistência a difusão e oxidação do filme de TiAlN. Comparado com o TiN o sistema ternário do revestimento (Ti,Al)N mostra uma elevação na dureza mesmo a temperaturas elevadas. O aumento do teor de alumínio nos filmes de (Ti,Al)N causa uma distinta redução na taxa de desgaste das ferramentas, sendo que os melhores resultados são obtidos quando está relação é próxima de Al/Ti = 1.1. (Tönshoff, 1997)

Sobre o ponto de vista químico, a maioria dos revestimentos de TiAlN tem mais que 50% de alumínio e teoricamente deveria ser chamado de AlTiN. Porém desde a introdução desta nova família de revestimentos o nome TiAlN vem sendo utilizado (McCabe, 1999).

A elevada resistência térmica do TiAlN faz deste revestimento adequado para usinagem a seco e usinagem a alta velocidade de corte. (Cselle, 1995). Com ambas tecnologias muito mais calor se desenvolve que sobre as condições normais. De todos os revestimentos a base de titânio, a melhor isolamento térmica é dada pelo revestimento de TiAlN, que confere à ferramenta um relevante aumento na vida, tornando-a apta para a usinagem a seco e a alta velocidade de corte. (Cselle, 1995)

A fundamental vantagem do TiAlN é que este revestimento forma uma densa e altamente adesiva camada protetiva de Al₂O₃ na sua superfície quando aquecido, prevenindo a difusão de oxigênio para o material do substrato. O uso de revestimento contendo Al é relatado também como sendo vantajoso em operações de usinagem que combinam altas temperaturas de corte com altas cargas mecânicas no material da ferramenta. Isto é usualmente explicado por dois efeitos: a formação de uma fina camada de Al₂O₃ na superfície da ferramenta forma uma barreira protetora contra o oxigênio protegendo contra a tribo-oxidação. Verifica-se na figura 1 que o revestimento de TiAlN passa ser o mais duro que os outros revestimentos a partir de 800 °C. Isto propicia boa resistência ao desgaste abrasivo na usinagem em altas velocidades de corte. (Klocke, 1999).

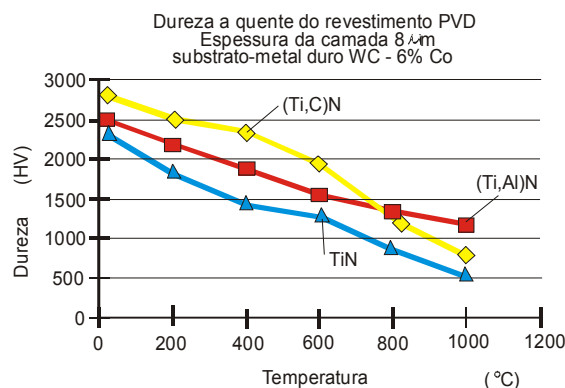


Figura 1. - Variação da dureza dos revestimentos em função da temperatura (Klocke, 1999).

A outra vantagem para as aplicações do revestimento de TiAlN em usinagem é a sua baixa condutividade térmica. Conseqüentemente mais calor é dissipado via remoção do cavaco. Isto propicia que altas velocidades de corte sejam utilizadas, uma vez que a carga térmica no substrato é menor. Entretanto, o revestimento de TiAlN em geral mostra uma performance inferior quando comparado ao TiN nos casos de baixa velocidade de deslizamento ou em processos de corte interrompido, em função do seu elevado coeficiente de atrito e da sua fragilidade. (Hsieh, 1998).

A relativa boa performance do TiAlN em elevadas velocidades de deslizamento é explicada pela sua baixa taxa de oxidação a elevadas temperaturas (Hedenquist, 1997).

A resistência à abrasão do revestimento determina a taxa de resistência ao desgaste da ferramenta. Em função da elevada dureza do filme, um desgaste homogêneo da ferramenta e a melhor resistência ao desgaste ocorrem quando a relação Al/Ti de 1.1 é mantida. (Tönshoff 1997)

2. PREPARAÇÃO DOS ENSAIOS.

2.1. Máquina e ferramenta de corte.

Os ensaios de furação foram realizados no CCM - ITA que disponibilizou uma máquina de controle numérico de três eixos marca HERMLE modelo C-600 V.

As ferramentas utilizadas foram brocas inteiriças de metal duro classe P40, de 10 mm de diâmetro, tipo ALPHA 2, versão direita, com revestimentos de TiN e TiAlN referências A3265 TiN e A3265 TFL (cedidas pelo fabricante TITEX) conforme Normas DIN 6537K, para a broca, e DIN 6535 HÄ, para a haste.

2.2. Fluido de corte

Utilizou-se refrigeração abundante externa com vazão total de 40 l/min proveniente de oito bicos circunferencialmente espaçados que colimavam o fluxo para a ponta da broca à pressão de 3 bar. O fluido de corte utilizado, Vasco 1000, era baseado em ésteres naturais, solúvel em água na concentração de 10% e fornecido pela Blaser Swissslube AG.

2.3. Material usado

O material da peça foi o aço 300M, um aço de alta resistência e baixa liga fornecido pela Villares Metals S/A. A composição química deste aço está na tabela 1. Os corpos de prova de aço 300M, pequenos blocos quadrados de 41 mm com espessura de 10mm, foram submetidos a um tratamento térmico de têmpera e revenimento. O ciclo de tratamento térmico constituía de uma normalização a 930 °C por 30 minutos com resfriamento ao ar, seguida de uma têmpera a 980 °C por 60 minutos com resfriamento em sal a 200 °C e um revenimento duplo a 280 °C por 120 minutos com resfriamento ao ar. Como resultado obteve-se uma estrutura martensítica de dureza média de 55 HRC que corresponde a um limite de resistência a tração de aproximadamente 200 Kg/mm². Neste corpo de prova realizaram-se quatro furos igualmente espaçados num círculo de 25 mm de diâmetro.

2.4 - Metodologia

Para análise da influencia das variáveis revestimento da broca e parâmetros de furação na força de avanço e no momento de torção inicialmente optou-se por efetuar um planejamento fatorial simples com 2 níveis e 3 fatores. O numero de réplicas foi igual a 3 e pode ser visto na tabela 3 os parâmetros de usinagem adotados.

Tabela 3: Variáveis do experimento fatorial

Fatores	Nível baixo	Nível Alto
Revestimentos	TiN (-1)	TiAlN (+1)
Velocidade de corte (m/min)	30 (-1)	45 (+1)
Avanço mm/volta	0,07 (-1)	0,105 (+1)

Para se avaliar como a rugosidade, a variação dimensional do furo e a qualidade do furo são afetados pelos parâmetros de usinagem e pelo tipo de revestimento da broca introduziu-se mais um nível na velocidade de corte. Assim as condições de ensaio podem ser vistas na tabela 4. A ordem em que os experimentos foram realizados foi aleatorizada, para minimizar os efeitos das variáveis não-controláveis.

Tabela 4. - Condições de ensaio

Condição de ensaio	vc	fn	r
1	30	0,07	TiN
2	30	0,07	TiAlN
3	30	0,105	TiN
4	30	0,105	TiAlN
5	45	0,07	TiN
6	45	0,07	TiAlN
7	45	0,105	TiN
8	45	0,105	TiAlN
9	67,5	0,07	TiN
10	67,5	0,07	TiAlN
11	67,5	0,105	TiN
12	67,5	0,105	TiAlN

2.5. Instrumentação

A força de avanço (F_f) e o momento torsor (T) foram medidos por um dinamômetro de quatro componentes Kistler modelo 9272. O dinamômetro (figura 2) estava acoplado ao amplificador de carga modelo Kistler 5019b que convertia os sinais do dinamômetro piezelétrico em tensão proporcional a força e ao torque. Estes sinais eram simultaneamente capturados a uma taxa de aquisição de 10 kHz através de uma placa de aquisição de sinais de 12 bits NI-PCI 6025E da National Instrumets. Usando um microcomputador que rodava o Labview era possível observar os sinais na tela e salvar os dados em arquivo para análise posterior.

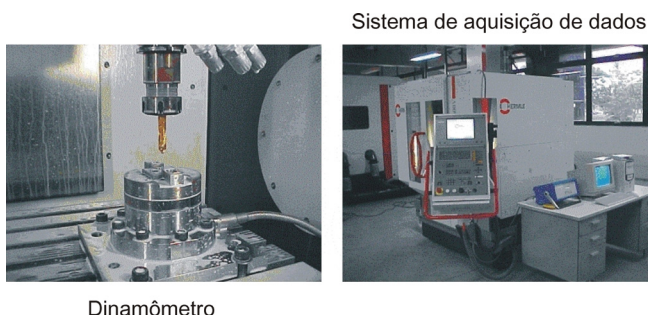


Figura 2: Vista parcial dos equipamentos e instrumentos utilizados

Imicro da marca TESA milésimal para diâmetros internos de 9 a 10 mm foi utilizado para medição dos diâmetros dos furos. A rugosidade da superfície dos furos efetuados foi medida utilizando-se um rugosímetro portátil Taylor – Hobson. Ambas medidas foram realizadas no laboratório de metrologia do IAE/CTA.

As imagens metalográficas foram feitas em um microscópio óptico LEICA modelo DNRXP e as micro-dureza foram realizadas um durômetro modelo FM do fabricante EQUILAM.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 - Os fatores que influenciam na força de avanço e no momento torsor.

Os sinais de força de avanço e momento torsor foram analisados e a influencia de cada variável analisada. Dentro de um intervalo de confiança de 90% os dados dos arquivos de força e de momento evidenciam que não há influencia do tipo de revestimento na força de avanço. Podemos perceber como mostrado na figura 3 que dos três fatores analisados o avanço por volta apresenta influencia extremamente forte na força de avanço e no momento torsor.

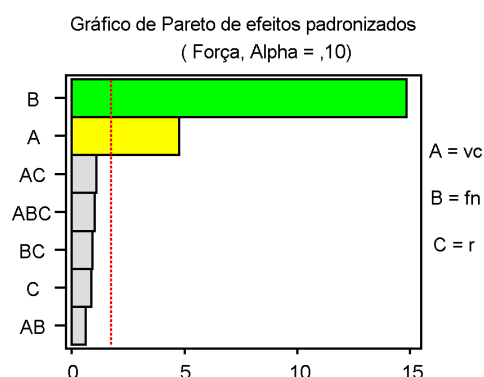


Figura 3. – Influencia do avanço na força de avanço.

3.2 - A influência da velocidade de corte na precisão do furo.

A variação dimensional do furo ou ovalização, considerada como a diferença entre o máximo diâmetro e o mínimo diâmetro, resultante de pelo menos três medidas no mesmo plano foi considerada como uma variável de resposta. Observando o gráfico de efeitos da variação dimensional do furo (figura 4) podemos perceber que a velocidade de corte apresenta uma influencia forte na precisão dimensional do furo.

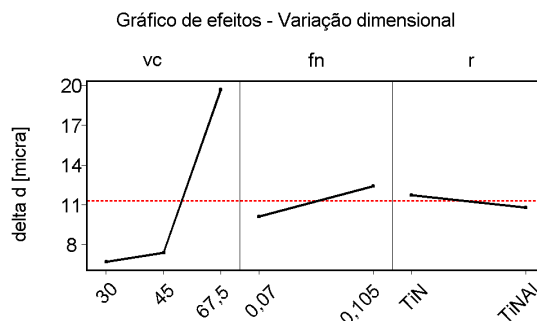


Figura 4. – Influência dos parâmetros de usinagem na precisão do furo.

A rugosidade dos furos também foi avaliada. Os valores considerados foram determinados pela média aritmética de pelo menos três leituras realizadas. As magnitudes dos efeitos das variáveis de influencia foram calculadas e representados graficamente na figura 5.

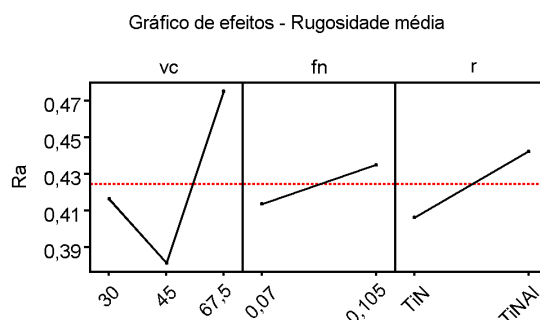


Figura 5 - Influência dos parâmetros de usinagem na rugosidade.

3.3 - Aspectos Metalúrgicos.

Para cada condição de ensaio escolheu-se uma réplica para ser avaliada num banco metalográfico. Cada uma das doze amostras escolhidas foi seccionada ao longo do eixo do furo e a microestrutura resultante de cada amostra foi comparada com as demais. Todas as amostras apresentam um núcleo com a mesma microestrutura característica de aço temperado e revenido. As amostras dos furos realizados com as brocas revestidas com TiN não apresentam uma diferença marcante quando comparadas com as amostras furadas com a broca revestida com TiAlN quando agrupadas pelos mesmos parâmetros de usinagem. Na figura 6 pode-se observar micrografias de amostras furadas a velocidade de corte de 30, 45 e 67,5 m/min com broca revestida com TiN com avanço por revolução de 0,07 mm/rev. Nas amostras furadas com velocidade de corte de 67,5 m/min, independente do avanço por revolução e da broca utilizada, fica evidente uma camada branca de martensita não revenida nas paredes do furo. A energia térmica necessária para promover a austenitização da camada seria proveniente da parcela de calor gerada pelo processo de furação que fluiu para peça.

Formação de camada branca

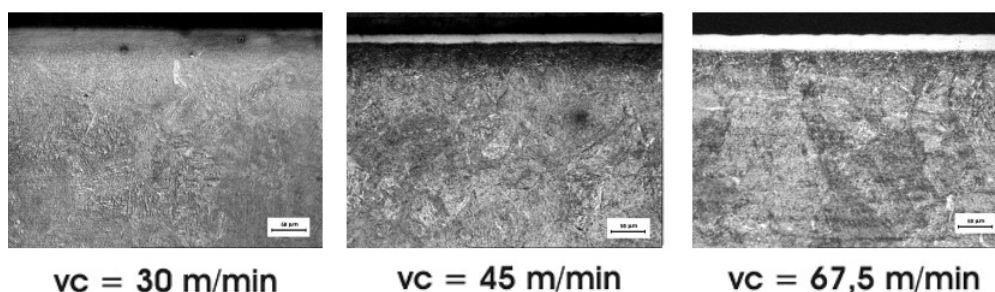


Figura 6. - Micrografia da parede dos furos.

A vazão de fluido de corte sobre a amostra, somada a boa temperabilidade do material provavelmente propiciaram a velocidade de resfriamento necessária para permitir a transformação martensítica dentro do furo. A inferência de que a camada branca constitui-se de martensita pode ser amparada pelo gráfico que mostra o perfil da microdureza a partir da superfície (figura 7). De uma nuvem de pontos distantes de 8,2 a 30 micras da superfície e de outra nuvem de pontos distante de 30 a 220 micras da superfície foram realizados ensaios de microdureza Vickers com carga de 50 gf. O par ordenado dureza Hv e distancia da superfície permitiu construir o perfil de variação de dureza a partir da parede do furo de onde podemos avaliar que a profundidade da camada afetada pelo processo de furação, para as condições analisadas atingiu a profundidade de 30 micras.

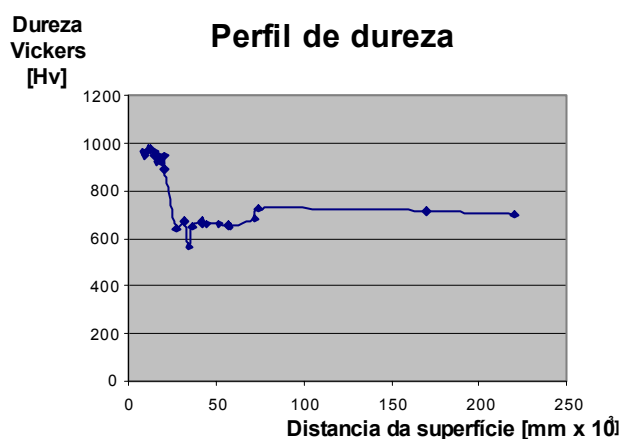


Figura 7. – Variação de dureza a partir da superfície.

4. CONCLUSÕES.

Com base nos ensaios realizados podemos afirmar que:

- 1) – Na análise dos resultados de força de avanço, momento tursor, diferença de diâmetro e rugosidade, praticamente não há influencia significativa dos dois tipos de revestimentos (TiN e TiAlN) aplicados nas brocas utilizadas na furação do aço 300M temperado e revenido. O revestimento praticamente não influencia na força de avanço e no torque de furação
- 2) - O avanço por volta tem forte influencia na força de avanço e no torque na furação
- 3) - A velocidade de corte tem grande influencia na precisão dimensional da furação.
- 4) – A formação de uma camada branca de martensita não revenida ocorre durante a furação do aço 300M a velocidades de corte normais para as atuais brocas de metal duro. Os resultados dos ensaios metalográficas e de microdureza apresentados mostram a necessidade de estudo visando o desenvolvimento da otimização dos parâmetros de usinagem direcionados as características do material, evitando a formação de zonas termicamente afetadas.

5. AGRADECIMENTO

Os autores expressam seus agradecimentos ao Prof. Dr. Antônio Jorge Abdalla pelas orientações na análise metalúrgica e nos ensaios de microdureza. Agradecem também a Titex pela doação das ferramentas para realização dos ensaios e ao ITA e IAE pela disponibilização da infra-estrutura.

6. REFERÊNCIAS

- ASM-Metals Handbook, Strength Steels, in: Properties and Selection: Irons and Steels, v.1, 9. ed., Metals Park, Ohio, 1978, p. 421-428.
- Brocas e furações. Catálogo SKF, 1983.
- Chen, W.C., Liu, X.D., 2000, "Study on the various coated twist drills for stainless steels drilling", Journal of Materials Processing Technology, Vol.99, pp 226-230.
- Diniz, A. E., Coppini, N. L., Marcondes, F. C., Tecnologia Da Usinagem Dos Metais, Artliber Editora, 244 P.
- Dorr, J. Tool coatings – A key for innovative machining solutions. Campinas, II Colóquio em tecnologia de manufatura e gestão da produção, Unicamp, Jun 2001, p.19.
- Hedenqvist, P. Tribological Laboratory Evaluation Of Thin Hard Coatings. Surface And Coating Technology, v.97, p.656-660, 1997.
- Hsieh, J. H. Deposition and characterization of TiAlN and multi-layered TiN/TiAlN coatings using unbalanced magnetron sputtering. Surface And Coating Technology, v.108-109, p.132-137, 1998.
- Klocke, F., Krieg, T. Coated tools for metal cutting – features and applications. Annals Of The CIRP, v.48/2, p.515-525, 1999.
- Klocke, T., Knodt, S., Wurtz, C. Fresamento HSC de cavidades em aço temperado. Máquinas e Metais, v. , p.20-26, 1999
- Mccabe M., New Hard/Lubricant PVD Coating Opens Exciting Machining Possibilities In: 3rd International Machining & Grinding Conference, P. 711-724, 1999 Cincinnati Ohio
- Mei, P. R., Silva, A. L. C. Aços e ligas especiais, 2º ed., Eletrometal S.A. Metais Especiais, Sumaré, 1988, 380p.

- Mills, B., Recent developments in cutting tool materials, Journal Of Materials Processing Technology, v. 56, p. 16-23, 1996.
- Moen, R. D., Nolan T. W., Provost L. P. Quality Improvement Through Planned Experimentation, 2 nd ed., p.266, McGraw-Hill, 1998.
- Prengel, H. G., Santhanam, A. T. Advanced PVD coatings on carbide and cermet cutting tools. Surface And Coatings Technology, v.94-95, p.597-602, 1997.
- Schaw, M.C., 1986, "Metal Cutting Principles", Oxford University Press, NewYork, United States, 594 p..
- Tomita, K. O atual estágio da HSM e dos materiais de ferramentas de corte. Máquinas e Metais, n. 405, Out. 1999, p.36 e 39.
- Tomita, Y. Development of fracture toughness of ultrahigh strength low alloy steels for aircraft and aerospace applications. Materials Science and Technology, v.7, june 1991, p. 481-9.
- Tonsholf, H.K., Spintig, W., Konig, W., Neises, A. Machinings of holes developments in drilling technology, Ann. CIRP 43(2)(1994) 551-561.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Evaluation of influences of the cutting parameters and the coating of the solid carbide twist drill in drilling of the hardened 300M steel

Davi Neves

Instituto de Estudos Avançados. – IEAv. Centro Técnico Aeroespacial. CTA. - Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - São José dos Campos – SP Caixa Postal 6044 - Cep - 12.231-970 Fone: 12 3947-5538 - Fax 12 3944-1177 .

E-mail: davis@ieav.cta.br

Wilton Fernandes Alves

Instituto de Aeronáutica e Espaço. – IAE. Centro Técnico Aeroespacial. CTA. - Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - São José dos Campos – SP Caixa Postal 6044 - Cep - 12.231-970.

Fone: 12 3947-4809 - E-mail: wfernandes@iae.cta.br

Carlos César de Castro Deonísio

Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia - CIMATEC/SENAI/BA. - Avenida Orlando Gomes, 1845 - Salvador - BA Cep - 41.650-010 Fone: 71 462-9514 - Fax 71 462-9599 .

E-mail: deonísio@cimatec.fieb.org.br

Olívio Novaski

Faculdade de Engenharia Mecânica – Unicamp. Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo - Campinas Caixa Postal 6122 - CEP: 13.083-970

E-mail: novaski@fem.unicamp.br

Abstract. The necessity of the steel in critical applications, such as of the aeronautical and aerospace industry has extended the applications of high strength steel. In all these cases the main concern is related to material performance. The financial aspects makes low alloy high strength steel an attractive option. The 300M steel has been used in aircraft industry and rocket engine. It has average carbon contents and low alloy compounds such as chromium, molybdenum, nickel, silicon and vanadium. In these applications the severe requirements of accuracy are not rare and the requirements of 49 to 52 HRC hardness and tensile strength of 185 Kg/mm², with tenacity of 80 MN/m^{3/2}, are put together. The object of this work is to study the drilling of 300M steel quenched and tempered with solid carbide twist drill coated with titanium nitride (TiN) and titanium aluminum nitride (TiAlN). For that end, with the aid of techniques of factorial design, this work had the main goal to identify between the factors (type of coating, cutting speed and feed), them that more influence in the responses (thrust force, torque, circularity and roughness of the holes). The results showed that: the two coatings didn't influence significantly in the thrust force, torque, dimensional precision and roughness of the holes; that the feed has a strong influence in the thrust force and the torque; and that the cutting speed has a important influence in the dimensional precision. Finally it was verified a formation of white layer of martensite not tempered in the wall of the roles in normal speed condition of the solid carbide drill.

Keywords: *drilling; solid carbide drill; TiN / TiAlN coatings; hardened 300M steel*