

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DA FERRAMENTA DE ROSQUEAR COM E SEM REVESTIMENTO TRIBOLÓGICO, NA USINAGEM DO BLOCO DO MOTOR DE FERRO FUNDIDO.

Josué Olímpio dos Santos, josueolimpio@gmail.com¹

Carlos Alberto Neves, carlos.neves@fcagroup.com²

Marcos Miranda, marcos.miranda@fcagroup.com³

Querlem Saraiva, querlem.saraiva@fcagroup.com⁴

Diego Barbosa Pratis, diego.pratis@fcagroup.com⁵

Gilmar Cordeiro da Silva, gilmarcord@gmail.com⁶

Ronan Ferreira, ronan.ferreira@fcagroup.com⁷

Jose Rubens Carneiro, jrubens@pucminas.br⁸

¹ Fiat Powertrain, Av. Do Contorno da Fiat, 3455 CEP: 32530-490 Betim – MG.

²PUC Minas, Av. Dom José Gaspar 500, prédio 10, Coração Eucarístico CEP: 30535-401 Belo Horizonte – MG.

Resumo: O aumento da vida útil das ferramentas de corte nos vários processos de usinagem tem sido um desafio para os engenheiros de processos. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de comparar o desempenho da ferramenta de rosquear (machos) com e sem revestimento tribológico, no processo de rosqueamento do bloco do motor, especificamente na operação de rosqueamento dos furos de fixação do cabeçote ao bloco do motor. Para isso, foram avaliados dois revestimentos tribológicos: o revestimento de nitreto de titânio – TiN, e o revestimento de carbonitreto de titânio – TiCN. Foram realizados testes preliminares que possibilitaram identificar qual dos revestimentos era mais adequado ao processo em análise. Os testes finais comprovaram a eficiência do revestimento escolhido, resultando no aumento da produtividade da ferramenta em 143,67 %.

Palavras-chave: Usinagem, rosqueamento, revestimento tribológico e desgaste.

1. INTRODUÇÃO

O termo usinagem compreende todo processo mecânico no qual a peça é o resultado de um processo de remoção de material. Segundo o dicionário Michaelis usinagem significa o ato ou efeito de usinar. Na prática isto significa submeter um material bruto à ação de uma máquina e/ou ferramenta para ser trabalhado.

Existem vários processos de usinagem: serramento, aplainamento, torneamento, fresamento (ou fresagem), furação, brochamento, eletroerosão, entre outros.

Em todos os processos de usinagem, ao longo da produção de seus produtos, ocorre desgaste nas ferramentas de corte, tornando-as cada vez com menor desempenho. Nos últimos anos, tornou-se uma prática comum, a deposição de revestimentos para aumentar a vida útil das ferramentas, através da redução do desgaste, facilidade de escoamento dos cavacos, proteção térmica do substrato, entre outros.

Neste trabalho, será analisado o processo de rosqueamento, que é um processo de usinagem cuja função é produzir roscas internas ou externas, por meio de ferramentas como, por exemplo, o macho.

Mais ainda, será analisada a influência da deposição de revestimentos tribológicos nas ferramentas de corte cujo principal objetivo é aumentar a vida das ferramentas. Será avaliada também a evolução do desgaste das ferramentas.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, o bloco do motor em ferro fundido cinzento GH-190, dureza de 190-240 HB é submetido em um processo de furação. Os dez furos cegos realizados com Ø 7,78 X 32,95 mm posteriormente serão rosqueados, e serão responsáveis pela fixação do cabeçote ao bloco do motor.

Atualmente, o processo de rosqueamento dos furos é realizado em um equipamento Transfer, rosqueando 10 furos simultaneamente utilizando machos de aço rápido sinterizado M9 X 1,25 HSSE PM sem revestimento, com profundidade de 27,8 mm, produzindo em média 4500 peças cada grupo de 10 machos.

Os parâmetros de corte utilizados são:

- Rotação: 354 rpm;
- Velocidade de corte: 10 m/min;
- Avanço: 1,25 mm/rotação;
- Alimentação: 442,5 mm/min.

O instrumento utilizado para avaliar se as roscas realizadas atendem aos requisitos necessários é um calibre passa/não-passa. A verificação é feita em 01 peça a cada hora em todas as roscas. Assim, quando uma rosca não é aprovada através da utilização do calibre, realiza-se a troca de todos os machos do equipamento.

No estudo deste trabalho foram mantidos os mesmos parâmetros de corte do processo, mesma geometria da ferramenta, mesmo sistema de refrigeração e o mesmo material a ser usinado. A única alteração foi a inclusão de revestimentos tribológicos nos machos. Foram testados dois tipos de revestimentos, o Nitreto de Titânio (TiN) e o Carbonitreto de Titânio (TiCN). A Tabela 1 apresenta as principais características desses dois revestimentos.

TABELA 1
Principais características dos revestimentos TiN e TiCN.

Revestimento	TiN	TiCN
Processo de deposição	PVD	PVD
Temperatura de deposição (°C)	450-500	450-500
Substrato	Aço –rápido e metal duro	Aço–rápido e metal duro
Estrutura	Mono	Multi
Número de camadas	1	Mínimo 7
Cor	Dourado	Cinza-violeta
Espessura (µm)	1,5 – 3	4 – 8
Dureza (HV _{0,05})	2200	3000
Coefficiente de atrito contra o aço	0,4	0,25
Condutividade térmica (kW/mK)	0,07	0,1
Máxima temperatura de trabalho (°C)	600	450
Remoção do revestimento	Somente aço–rápido	Não
Novo revestimento	Sim	Somente TiN
Aplicação de novo revestimento sem remoção do antigo	5X	2X
Ideal para a usinagem dos materiais	Universal	Aço
Processo de usinagem	Universal	Fresamento, furação e rosqueamento
Especialidades	Custo/benefício	Resistência ao impacto

Foram realizados três testes preliminares para avaliar qual dos dois revestimentos apresentaria um melhor desempenho e, conseqüentemente, limitar os testes finais para apenas 01 revestimento tribológico. Pois o objetivo desse estudo era comparar o desempenho dos machos com e sem revestimento tribológico.

Pelo resultado obtido nos testes preliminares, constatou-se que não seria viável a continuação das análises do revestimento de TiN, pois o macho com a cobertura TiN quebrou com uma produção de 4300 e 3318 peças, que são inferiores à produção média das ferramentas de aço rápido sinterizado sem revestimento.

TABELA 2
Resultados dos testes preliminares.

Sequência	Revestimento	Produção	Motivo da troca da ferramenta
1º teste	TiN	4300	Quebra de 01 ferramenta
2º teste	TiN	3318	Quebra de 01 ferramenta
3º teste	TiCN	10700	Rosca com Ø menor que o especificado

Concluídos os testes preliminares, verificou-se que a ferramenta com revestimento TiCN apresentou um melhor desempenho quando comparado à ferramenta com revestimento TiN. Por essa razão os testes finais foram realizados apenas com ferramentas revestidas com TiCN.

No 1º teste final, foram produzidas 12.978 peças, quando ocorreu a quebra de filetes de 04 machos. Já no 2º teste final foram produzidas 9.219 peças ocorrendo após essa produção a quebra de um dos machos.

A ferramenta com revestimento TiCN produziu em média 10965 peças, enquanto que atualmente consegue-se produzir em média 4.500 peças com ferramentas sem revestimento. Logo, a produtividade foi aumentada em 143,67 %.

Os resultados dos testes finais de produtividade estão relacionados na Tabela 3.

TABELA 3
Resultados dos testes finais.

Sequência	Revestimento	Produção	Motivo da troca da ferramenta
1º teste	TiCN	12978	Quebra de filetes de 04 machos
2º teste	TiCN	9219	Quebra de 01 dos machos

Monitoração do desgaste

Para a monitoração do desgaste, foram selecionadas 05 ferramentas de aço rápido sinterizado sem revestimento (M9 X 1,25 HSS PM) e mais 05 ferramentas de aço rápido sinterizado com revestimento de Carbonitreto de Titânio (M9 X 1,25 HSS PM TiCN).

Cada ferramenta, com ou sem revestimento, foi colocada na máquina e quando atingiu a produção pré-determinada, como mostra a Tabela 4, foi retirada para avaliação do desgaste.

TABELA 4
Definição da produtividade para monitoramento do desgaste das ferramentas.

Ferramenta	M9X1,25 HSS PM		M9X1,25 HSS PM TiCN	
	Produção	%	Produção	%
1 ^a	50	1,11	50	0,45
2 ^a	900	20,00	2200	20,00
3 ^a	2250	50,00	5500	50,00
4 ^a	3150	70,00	7700	70,00
5 ^a	4500	100,00	11000	100,00

Após cada ferramenta atingir a produção definida na TABELA 4, passaram por um processo de limpeza e foram analisadas no microscópio eletrônico de varredura – MEV.



Figura 1 - Microscópio eletrônico de varredura – MEV.

3. DESENVOLVIMENTO/RESULTADO

Na sequência é apresentada a evolução do desgaste na superfície de folga e também na superfície de saída dos machos, conforme pode ser verificado nas figuras 2 e 3 (“a” a “j”). Essas figuras foram analisadas pelo microscópio eletrônico de varredura dos machos com e sem revestimento.

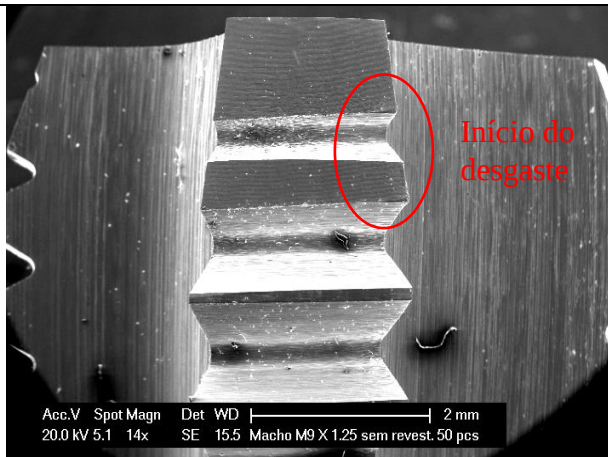
Machos sem revestimento

Figura 2a – Produção 50 peças = 1,11 %

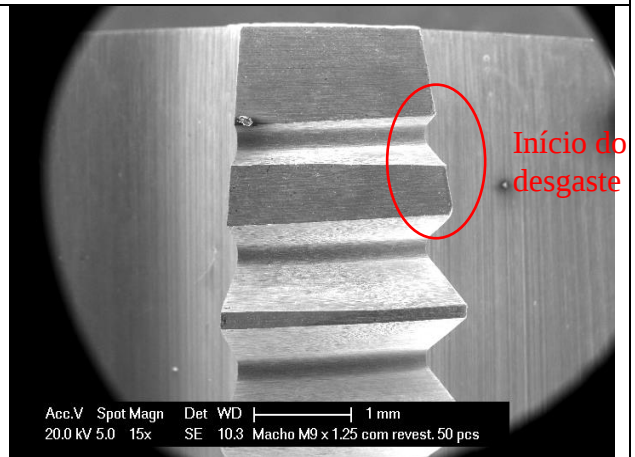
Machos com revestimento

Figura 2b - Produção 50 peças = 0,45 %

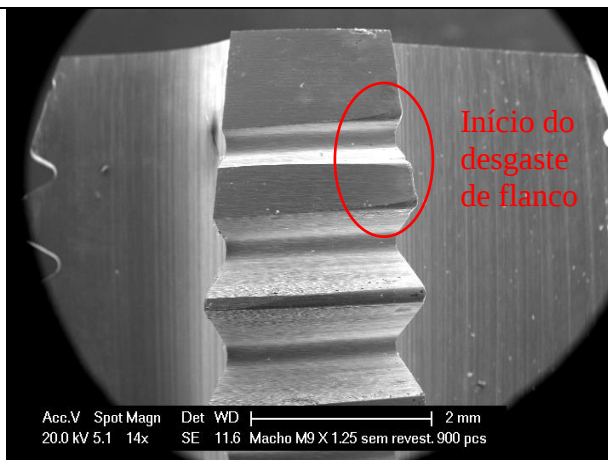


Figura 2c - Produção 900 peças = 20,0 %

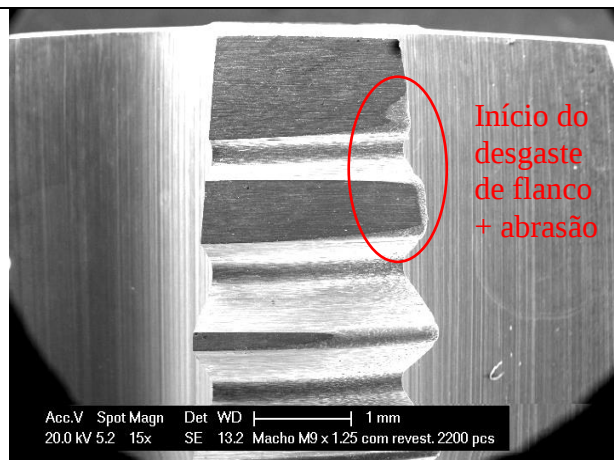


Figura 2d - Produção 2200 peças = 20,0 %

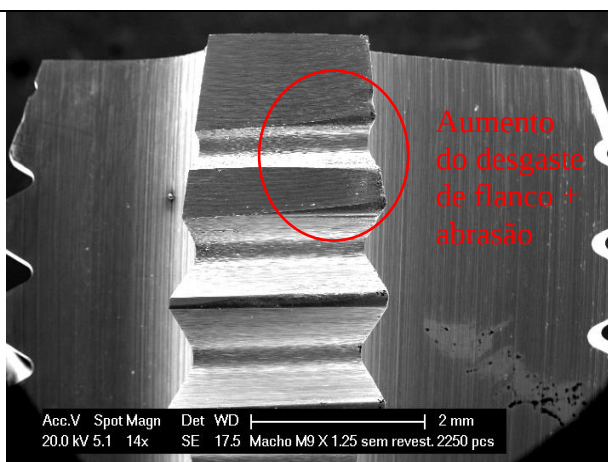


Figura 2e - Produção 2250 peças = 50,0 %

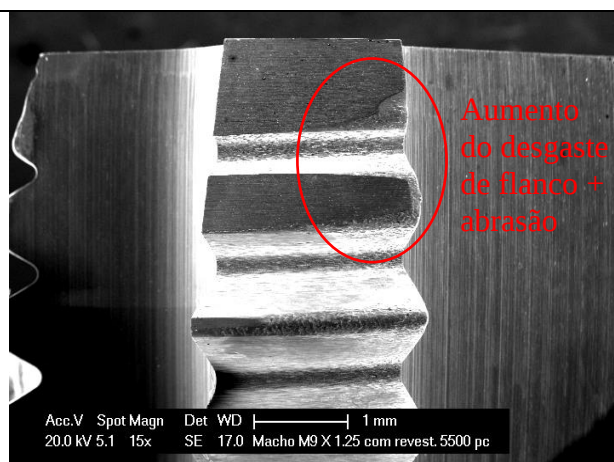


Figura 2f - Produção 5.500 peças = 50,0 %

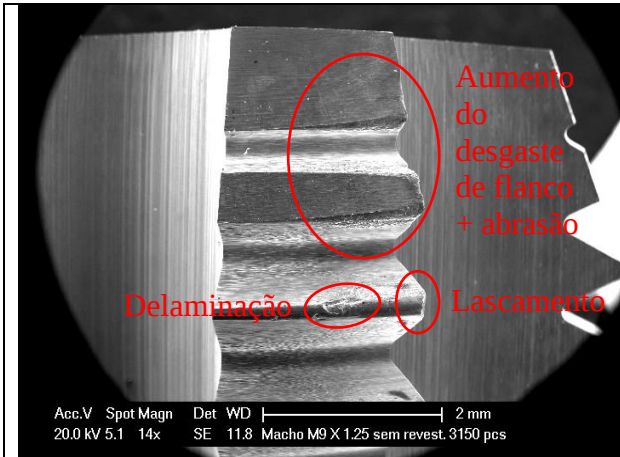


Figura 2g - Produção 3150 peças = 70,0 %

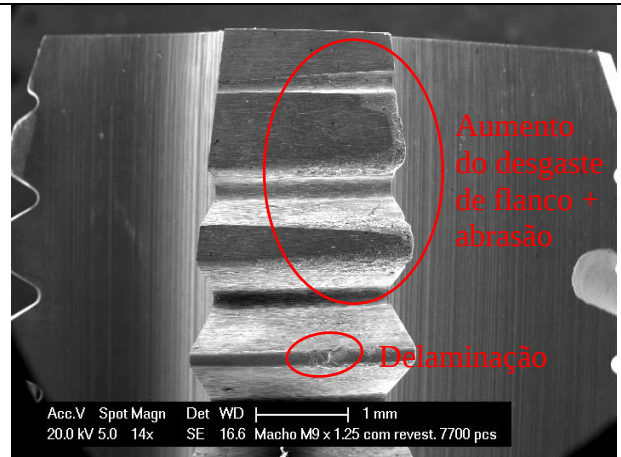


Figura 2h - Produção 7700 peças = 70,0 %

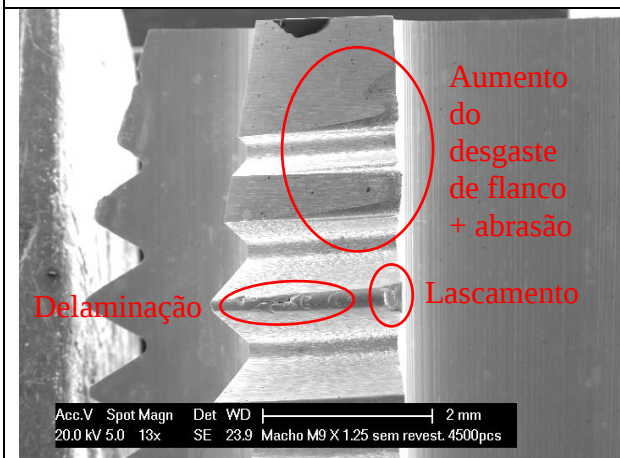


Figura 2i - Produção 4500 peças = 100,0 %

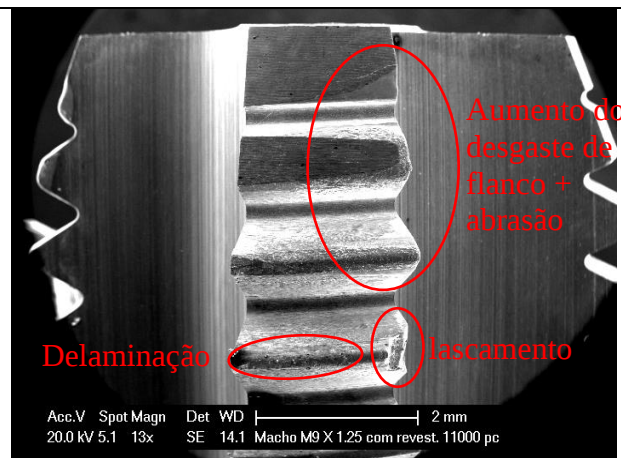


Figura 2j - Produção 11000 peças = 100,0 %

Figura 2 – Evolução do desgaste na superfície de folga.

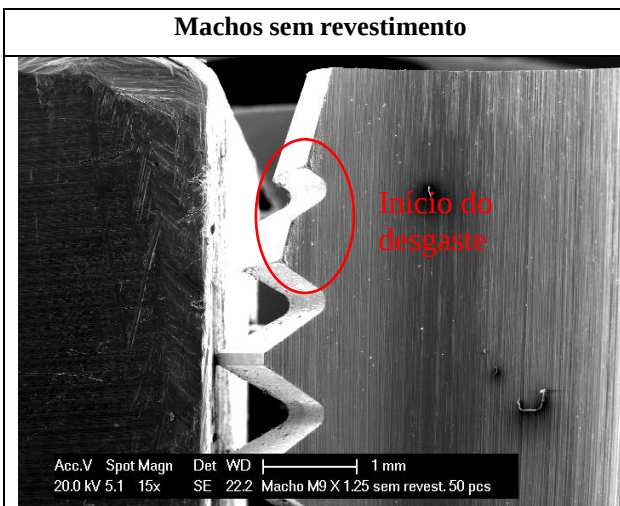


Figura 3a - Produção 50 peças = 1,11 %

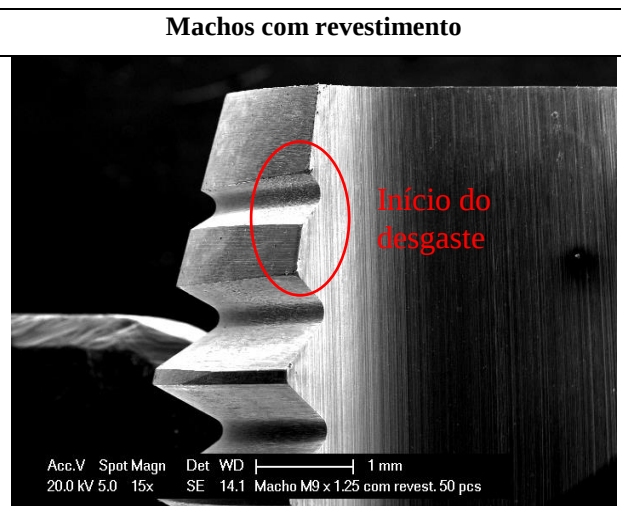


Figura 3b - Produção 50 peças = 0,45 %

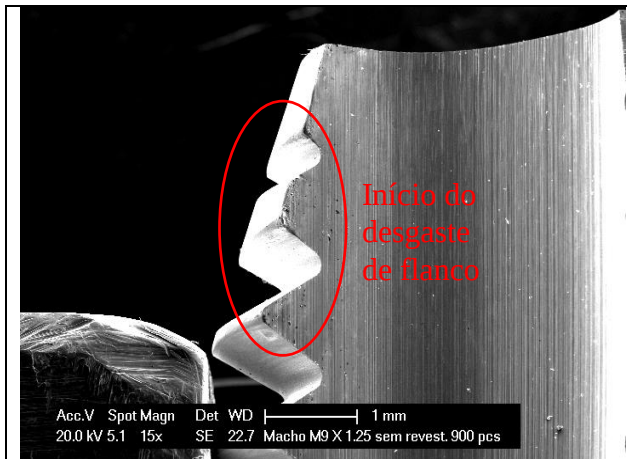


Figura 3c - Produção 900 peças = 20,0 %

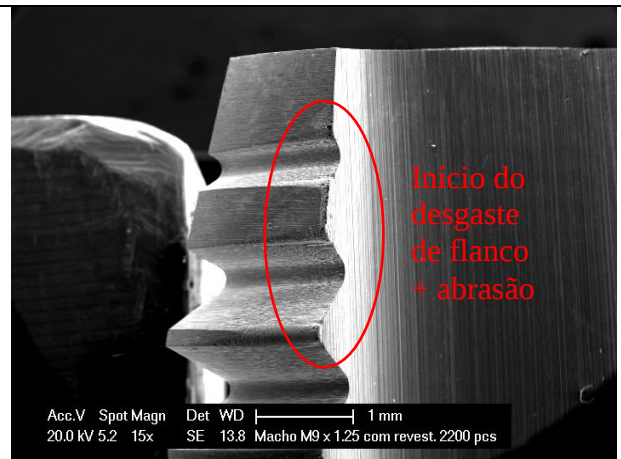


Figura 3d - Produção 2200 peças = 20,0 %

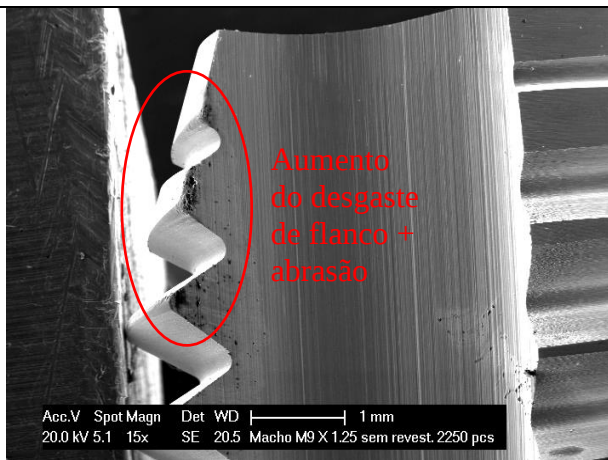


Figura 3e - Produção 2250 peças = 50,0 %

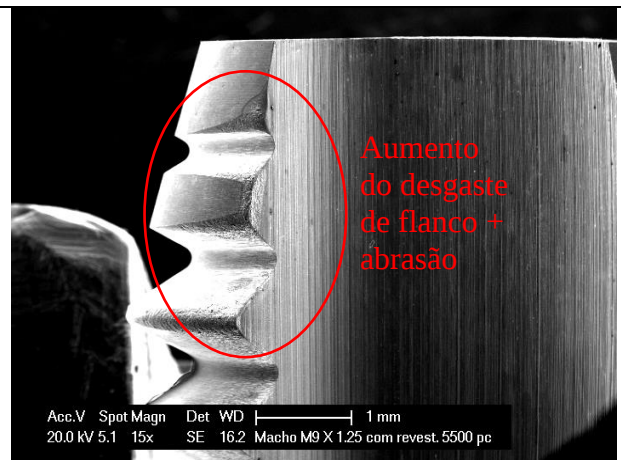


Figura 3f - Produção 5.500 peças = 50,0 %

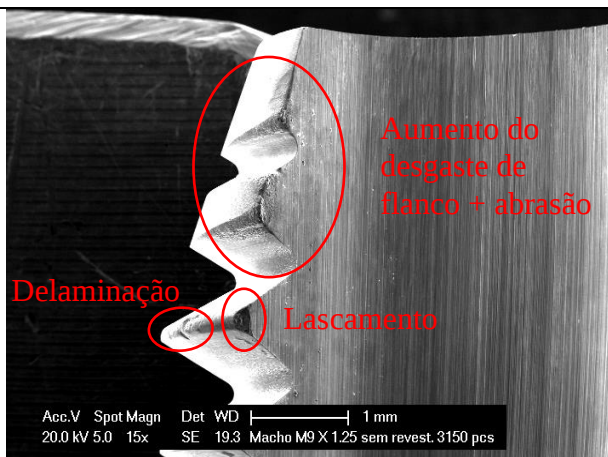


Figura 3g - Produção 3150 peças = 70,0 %



Figura 3h - Produção 7700 peças = 70,0 %

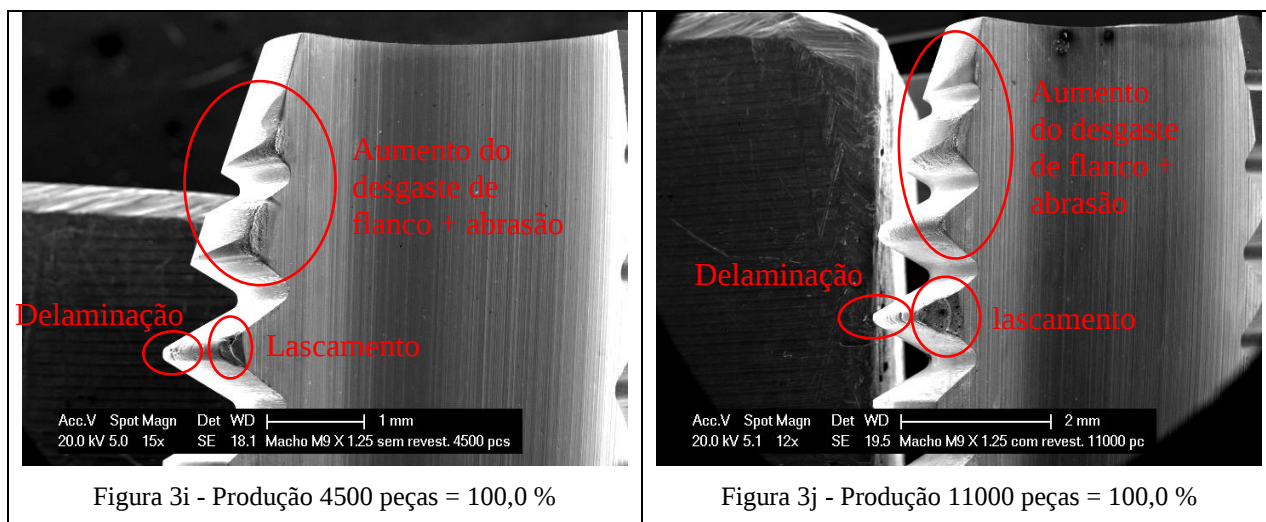


Figura 3 – Evolução do desgaste na superfície de saída.

Verificou-se que as avarias e desgastes dos machos que surgiram durante a operação de rosqueamento ocorrem em maior grau nas arestas da região cônica do macho, ou seja, os três primeiros filetes, devido a esta ser a primeira porção do macho a realizar as ações de corte.

Observou-se que o mecanismo de desgaste predominante na ferramenta sem revestimento é o “attrition”, como mostram as Figuras 2 e 3. O attrition é o mecanismo de desgaste por aderência e arrastamento, ocorre geralmente a baixas velocidades de corte, onde o fluxo de material sobre a superfície de saída torna-se irregular.

Com a produção de 50 peças (Figuras 2a e 3a), já é possível notar o início do desgaste da ferramenta. Com 900 peças, observa-se o início do desgaste de flanco (Figuras 2c e 3c). Com 2250 peças, há um aumento significativo do desgaste de flanco e observa-se também a ocorrência de abrasão (Figuras 2e e 3e). Com 3150 peças, é possível identificar que ocorreram delaminação e lascamento da ferramenta (Figuras 2g e 3g). O mesmo ocorre na ferramenta que produziu 4500 de forma bem mais acentuada (Figuras 2i e 3i).

Na ferramenta com revestimento, o mecanismo de desgaste predominante também é o “attrition”.

Com a produção de 50 peças, inicia-se o processo de desgaste da ferramenta (Figuras 2b e 3b). Com 2200 peças, observa-se o início do desgaste de flanco e a ocorrência de desgaste por abrasão (Figuras 2d e 3d). Com 5500 peças, há um aumento significativo do desgaste de flanco e de abrasão (Figuras 2f e 3f). Com 7700 peças, é possível identificar que ocorreu delaminação (Figuras 2h e 3h). E, no fim da vida útil da ferramenta, com a produção de 11000 peças, além de tudo que foi citado anteriormente, também há ocorrência de lascamento da ferramenta (Figuras 2j e 3j).

Comparando-se as fotos das ferramentas com e sem revestimento a uma produção de 50 peças (Figuras 2a, 2b, 3a e 3b), observa-se que o nível de desgaste das duas ferramentas é muito semelhante.

Comparando-se a ferramenta sem revestimento com produção de 2250 peças (Figuras 2e e 3e) com a ferramenta com revestimento que produziu 2200 peças (Figuras 2d e 3d), verifica-se que na ferramenta sem revestimento, o desgaste de flanco é mais acentuado do que na ferramenta com revestimento. Vale ressaltar que a ferramenta sem revestimento está em 50 % da sua vida útil, enquanto que a ferramenta com revestimento está em apenas 25 % da sua vida útil.

Com a utilização do MEV também foi possível verificar a espessura da camada de TiCN dos machos, como mostram as Figuras 4 e 5.



Figura 4 – Corte para a verificação da espessura de TiCN.

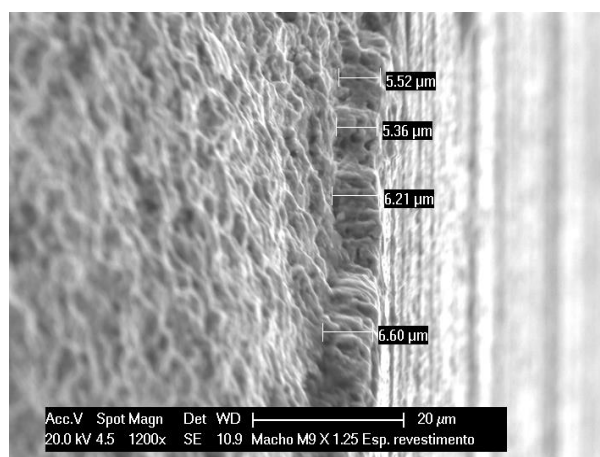


Figura 5 – Espessura da camada de TiCN.

4. CONCLUSÃO

Após a realização de todos os testes foi possível concluir que a ferramenta com revestimento TiCN teve melhor desempenho do que as ferramentas com revestimento TiN e melhor do que as ferramentas sem revestimento, no processo de usinagem analisado neste trabalho.

As ferramentas com revestimento TiCN apresentaram maior desempenho do que as sem revestimento pois, no ato da usinagem, o mesmo atua como proteção do substrato que é o próprio HSS PM e somente após um determinado número de peças produzidas o substrato entrará em contato com a peça de ferro fundido.

Com relação ao desgaste, tanto nas ferramentas com revestimento quanto nas ferramentas sem revestimento, ocorreu de forma gradativa. Foi possível observar que o desgaste ocorre de forma mais acentuada nos três primeiros filetes do macho. Isso ocorre porque os primeiros filetes recebem a maior carga de força de usinagem.

O mecanismo de desgaste apresentado predominantemente nas ferramentas foi o “attrition”. O tipo de desgaste apresentado foi o desgaste de flanco e também houve a ocorrência da avaria lascamento.

Com a utilização dos machos com revestimento podemos considerar ainda que houve um ganho operacional pois a frequência de troca das ferramentas foi reduzida. Com a ferramenta revestida com TiCN a troca acontecerá a cada 11000 peças produzidas enquanto que com a ferramenta sem revestimento a troca acontecia a cada 4500 peças produzidas. A ferramenta com revestimento TiCN apresentou aumento de produtividade de 143,67 % em relação à situação atual.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FCA – *Fiat Chrysler Automobiles* e a Universidade PUC Minas pelos dados, disponibilidade de materiais e laboratórios para as análises. Agradecem ao Professor José Rubens pela orientação e contribuição acadêmica e ao fabricante de ferramentas de rosquear – Emuge, pelo apoio e fornecimento de ferramentas para efetivação dos testes práticos.

6. REFERÊNCIAS

- SANTOS, Sandro Cardoso; SALES, Wisley Falco. Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais. São Paulo: Artliber Editora, 2007. p. 127-164.
- TRENT, Edward M.; WRIGHT, Paul K. Metal cutting. 4 th. Boston: Butterworth-Heinemann, c2000.
- REIS, Alexandre Martins Reis. (et. Al). Monitoramento da vida de ferramentas de aço-rápido no processo de rosqueamento interno de ferro fundido cinzento.
- DINIZ, Anselmo Eduardo. Tecnologia da usinagem dos materiais. Coppini – 6º edição – São Paulo: Artliber Editora, 2008. p. 105-129.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF THE TOOL FOR TAPPING WITH AND WITHOUT TRIBOLOGICAL COATING, IN THE MACHINING OF THE BLOCK OF THE CAST IRON ENGINE

Josué Olímpio dos Santos, josueolimpio@gmail.com¹

Carlos Alberto Neves, carlos.neves@fcagroup.com²

Marcos Miranda, marcos.miranda@fcagroup.com³

Querlem Saraiva, querlem.saraiva@fcagroup.com⁴

Diego Barbosa Pratis, diego.pratis@fcagroup.com⁵

Gilmar Cordeiro da Silva, gilmarcord@gmail.com⁶

Ronan Ferreira, ronan.ferreira@fcagroup.com⁷

Jose Rubens Carneiro, jrubens@pucminas.br⁸

¹ Fiat Powertrain, Av. Do Contorno da Fiat, 3455 CEP: 32530-490 Betim – MG.

²PUC Minas, Av. Dom José Gaspar 500, prédio 10, Coração Eucarístico CEP: 30535-401 Belo Horizonte – MG.

Abstract: Increasing the service life of cutting tools in various machining processes has been a challenge for process engineers. This work was developed with the objective of reducing the cost of tapping process in the engine block machining, specifically in the tapping operation of the head fixing holes to the engine block, through the use of tools for tapping (taps) with tribological coatings. To this, they were evaluated two tribological coatings: coating of titanium nitride - TiN, and coating titanium carbonitride - TiCN. Preliminary tests were performed which allowed to identify which of the coatings was more suitable for the subject process. The final tests have proved the efficiency of the chosen coating, resulting in increased productivity tool in 143.67% .

Keywords: Machining, tapping, tribological coating and wear.