

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICA DE MOLDAGEM PARA MEDIÇÃO DE REBARBAS FORMADAS NO FRESAMENTO DE BLOCO DE MOTORES

Jefferson Duarte Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Uberlândia/MG, CEP: 38402-902.)
jeffminas@yahoo.com.br

Danilo Alves Vicente

danilovicente@gmail.com.br

Álison Rocha Machado

alisonm@mecanica.ufu.br

Márcio Bacci da Silva

mbacci@mecanica.ufu.br

Resumo: Este trabalho estuda a formação de rebarbas após o fresamento frontal em blocos de motores de Ferro Fundido Cinzento. Foram utilizados insertos de cerâmica e PCBN montados em uma fresa com diâmetro de 160 mm e capacidade de vinte e dois insertos, sendo dezoito de desbaste e quatro de acabamento. Durante os ensaios variou-se as condições de corte (V_c , f_z , a_p), a partir de um planejamento fatorial completo 2^3 , destacando-se que os ensaios foram realizados à altas velocidades de corte – HSM (1000-1500 m/min). Através de uma técnica de moldagem com massa à base de polissulfeto conseguiu-se modelar a rebarba, fundindo-se a massa de moldagem em três regiões diferentes das bordas de saída dos blocos, variando-se assim o ângulo de entrada e saída da ferramenta ao longo da borda de saída da ferramenta da peça. Esta técnica permitiu reproduzir os detalhes morfológicos das rebarbas, que foram utilizadas para comparar o comportamento das mesmas quando se variou as condições de corte. Os resultados obtidos foram analisados através de ANOVA e gráficos de superfície de resposta, os quais demonstraram que geralmente as rebarbas diminuem com o aumento de V_c e f_z e aumenta com o aumento de a_p .

Palavras-chave: Rebarbas, Fresamento de FoFo, Ferramentas de PCBN e Cerâmica e Planejamento Fatorial Completo.

1. INTRODUÇÃO

Existem várias definições de rebarba, podendo ser justificado pela sua formação nos diversos processos de fabricação. Define-se rebarba como sendo uma projeção indesejável de material formada pelo resultado do escoamento plástico na operação de corte ou cisalhamento, Ko and Dornfeld (1991).

Pela ASTM (1959) e segundo Olvera e Barrow (1996) as rebarbas são definidas como sendo projeções indesejáveis do material da peça formada na frente da aresta de corte devido à deformação plástica durante a usinagem.

O conjunto e a operação de componentes usinados, em particular componentes de precisão, são afetados extremamente pela presença das rebarbas produzidas durante a usinagem.

Elas são causas de desajustes dos conjuntos de precisão, e se vierem a se destacar da peça, podem causar o bloqueio de dutos internos durante operação e a falha prematura dos componentes.

A rebarba está presente na maioria dos processos de produção e é de difícil remoção, sendo seu processo da formação um fenômeno complexo, envolvendo deformação plástica tridimensional, altamente dependente de diversos parâmetros do processo. São identificadas geralmente por suas dimensões.

Sabe-se que as rebarbas geradas em peças fabricadas por processos de usinagem são extremamente indesejáveis, pois podem causar uma série de problemas ao processo produtivo. Acidentes com operários que manuseiam inadequadamente peças com rebarbas, são frequentes. Além disso, elas podem comprometer a integridade superficial das peças, ocasionar o desgaste prematuro da ferramenta de corte, causar problemas nas linhas de montagem automatizadas e ainda provocar falhas no funcionamento dos dispositivos mecânicos e em sistemas hidráulicos, pneumáticos, de lubrificação, refrigeração entre outros.

A formação da rebarba é praticamente inevitável nos diversos processos de usinagem e não se tem notícia sobre algum benefício ou aplicações práticas que a mesma possa proporcionar.

Segundo Ko & Dornfeld (1991), diversas pesquisas têm sido realizadas na tentativa de minimizar as dimensões das rebarbas, uma vez que o aparecimento destas é inevitável em todas as operações de usinagem.

Vários foram os pesquisadores que trabalharam na classificação das rebarbas. Eles utilizaram três formas diferentes para classificá-las. Em alguns casos o mecanismo de formação das rebarbas foi utilizado, em outros elas foram classificadas em função da aresta da ferramenta de corte geradora de rebarba. A forma e a direção da rebarba também foram critérios utilizados para classificá-las.

Gillespie e Blotter (1976) identificaram três mecanismos básicos: a deformação lateral envolvendo o fluxo do material para a superfície livre da peça, flexão do cavaco na mesma direção do corte quando a ferramenta chega ao final da peça e ruptura por tração do material entre a peça e o cavaco. As rebarbas geradas por estes mecanismos foram classificadas em quatro tipos diferentes: i)- *Poisson*; ii)- *enrolada* ou de *encurvamento (rollover)*; iii)- de *estiramento (tear)*; e iv)- de *ruptura ou interrupção ao corte (cut-off)*.

Nakayama e Arai (1987) as classificam conforme a atuação da aresta de corte da ferramenta na peça em: *maior aresta de corte* e *menor aresta de corte*. Quanto ao modo e direção da formação da rebarba, estes pesquisadores as classificaram em: *rebarba de entrada*, *rebarba lateral*, *rebarba de saída* e *rebarba de inclinação*.

Na classificação das rebarbas formadas no fresamento de faceamento, Gillespie (1976), investigou a influência dos parâmetros de usinagem na dimensão e nos mecanismos de formação das mesmas. Foi proposta por ele a identificação usando o seguinte critério: Rebarba 1 – aparece no topo da borda, Rebarba 3 – aparece na borda perpendicular à superfície gerada, Rebarba 5 – rebarba de saída na direção do avanço, Rebarba 9 - na direção do corte, conforme a Figura 1.

Kishimoto et al (1981) investigaram a formação das rebarbas 5 e 9 e introduziram os termos de rebarba primária e secundária para identificar as etapas da sua formação e dimensões, determinando as condições de corte para o seu aparecimento.

A profundidade de corte e o ângulo de saída da fresa da peça (θ) são fatores determinantes na dimensão da rebarba 5 e 9. Eles observaram que para um dado ângulo θ existe um determinado intervalo de profundidade de corte responsável pela transição da rebarba primária para secundária, chamada de profundidade de corte de transição (a_{pt}), conforme mostra o gráfico da Figura 2, onde h é a altura da rebarba.

No fresamento de faceamento, em pequenas profundidades, o corte será formado principalmente pela aresta secundária da ferramenta, gerando-se a rebarba primária. À medida que a profundidade de corte aumenta, a participação da aresta secundária de corte em relação à primária diminui (dividindo a função do corte com a aresta principal) gerando-se a rebarba de transição. A geração da rebarba secundária acontece quando a ação do corte ocorre principalmente pela aresta principal da ferramenta de corte.

Observa-se que a rebarba secundária tem altura bastante reduzida em relação à rebarba primária. Devido ao seu tamanho reduzido, (Kishimoto *et al*, 1981, Olvera & Barrow, 1996) passaram a considerar as bordas formadas por rebarbas secundárias como regiões livres de rebarba.

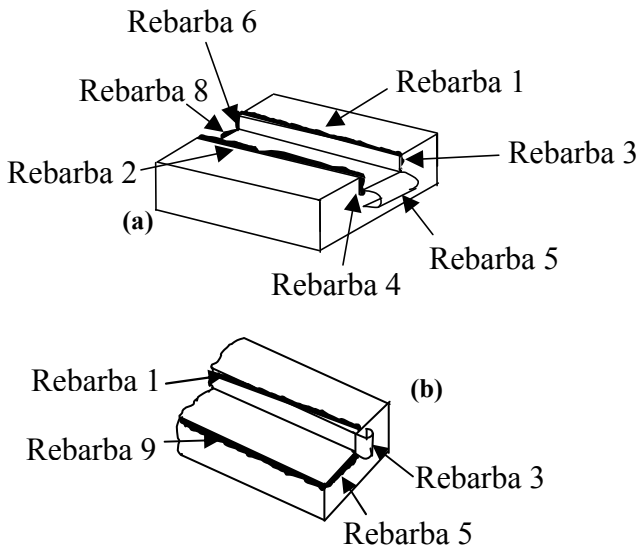


Figura 1: Tipos de rebarbas formadas no faceamento da operação de fresamento (a) - fresamento de rasgo passante, (b) - fresamento de rebaixo, Gillespie, L. K. (1976).

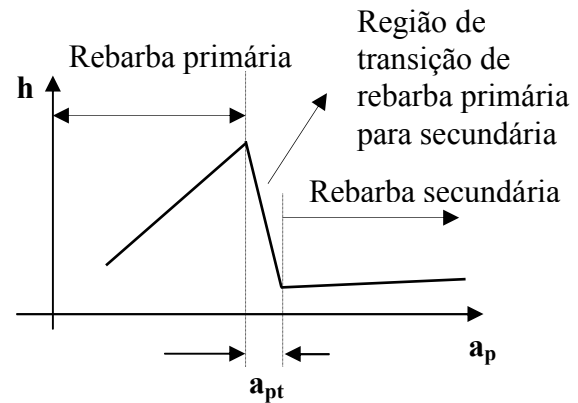


Figura 2: Formação e transição da rebarba primária para secundária, Da Silva (2004).

As etapas de formação das rebarbas foram identificadas por Ko e Dornfeld (1991) em: *corte contínuo*, *pré-iniciação*, *iniciação*, *pivotamento* e *desenvolvimento da zona de cisalhamento negativo*. A partir desse ponto, a identificação será dividida em função da ductilidade ou fragilidade do material usinado. Para materiais frágeis, tais como o ferro fundido cinzento, observa-se o fenômeno denominado de *breakout* que é a ruptura do material abaixo do plano de cisalhamento negativo, Pekelharing (1978).

Olvera & Barrow (1996), analisaram a influência dos principais parâmetros de usinagem nas dimensões da rebarba no fresamento de um aço com médio teor de carbono. Verificou-se que o aumento da velocidade de corte proporcionou uma redução na altura da rebarba e um aumento em sua espessura. Quanto ao avanço por dente, observou-se uma diminuição da altura da rebarba em função do aumento deste parâmetro, quando a mesma foi formada pela aresta principal de corte. Já quando a formação da rebarba se deu pela aresta secundária, notou-se um acentuado aumento de sua altura em função do avanço. Quanto à profundidade de corte, a rebarba do tipo enrolada (*rollover*) teve altura correspondente à profundidade axial. Para outros tipos de rebarbas (aquelas geradas pela aresta principal) percebeu-se o crescimento da altura das rebarbas em função do aumento da profundidade de corte em até 5 mm aproximadamente, já para a rebarba formada pela aresta secundária, sua altura manteve-se constante, principalmente para uma profundidade de corte acima de 0,5 mm.

A Figura 3 mostra os principais parâmetros geométricos a serem considerados na análise do fenômeno em questão, onde “b” e “h” são a espessura e altura da rebarba, respectivamente.

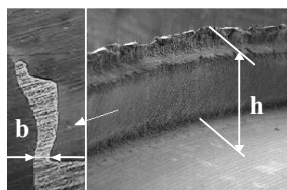


Figura 3: Principais dimensões consideradas na análise das rebarbas, altura “h”, e espessura “b”, Kaminise, A. K. et al., (2001).

Segundo Olvera e Barrow (1998), a principal dimensão da rebarba é a sua espessura, pois quanto maior for o valor de “b”, maior será a dificuldade em se removê-la na etapa de rebarbação (processo de remoção da rebarba). Mas devido à maior dificuldade de medição a altura é freqüentemente utilizada para sua caracterização.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu na realização de ensaios de fresamento frontal em blocos de motores (FIRE da Fiat Automóveis, em ferro fundido cinzento lamelar GH190, dureza Brinell=190 a 240 HB, módulo de elasticidade = 117700N/mm^2) com ferramentas intercambiáveis de PCBN e cerâmicas. Os ensaios foram realizados em uma fresadora Interact IV da Romi com potência máxima de 7,5 CV. A Figura 4 apresenta a vista superior do bloco de motor, identificando a borda de saída e os pontos A_s , E_s e I_s , onde as dimensões das rebarbas foram controladas.

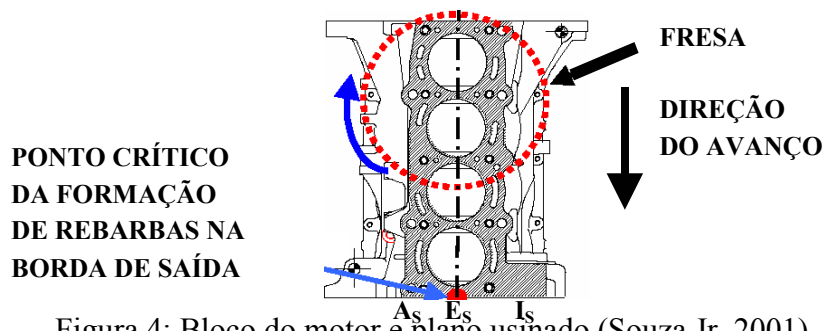


Figura 4: Bloco do motor e plano usinado (Souza Jr, 2001).

A fresa utilizada tem diâmetro nominal de 160mm, com especificação F-2146.0.40.063.160 fabricada pela Walter do Brasil. É constituída de vinte e dois alojamentos para insertos com geometria octo. Dos vinte e dois alojamentos têm-se dezoito para insertos com geometria de desbaste, e quatro, com geometria alisadora, conforme mostrado em detalhe na Figura 5.

Os alojamentos dos insertos alisadores possuem regulagem no sentido axial para garantir a planeza entre eles e os insertos de desbaste e o bom acabamento superficial.

Os insertos utilizados são de geometria ISO – OPHN0504ZZN e os alisadores do tipo OPHX0504ZZR. As ferramentas de cerâmica a base de Si_3N_4 e de PCBN, foram fabricadas pela Walter do Brasil, sendo estas ultimas constituídas por uma placa de PCBN brasada em uma base de metal duro. A Figura 6 mostra os insertos utilizados nos ensaios.

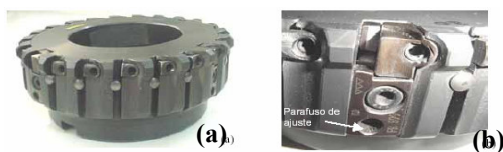


Figura 5: (a) Fresa utilizada nos ensaios. (b) Detalhe do Parafuso de ajuste dos insertos alisadores, Da Silva (2004).

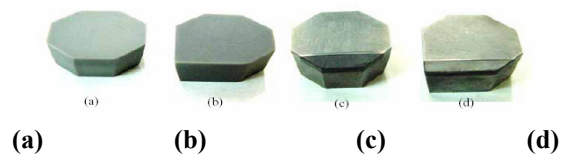


Figura 6: Ferramentas utilizadas nos ensaios. Insertos de cerâmica (a) desbaste, (b) alisador. Insertos de PCBN (c) desbaste, (d) alisador, Da Silva (2004).

Nos ensaios variou-se a velocidade de corte (V_c), o avanço por dente (f_z) e a profundidade de corte (a_p). Os ensaios foram divididos em duas partes, uma utilizando insertos novos de cerâmica e outra de PCBN, de acordo com o diagrama da Figura 7 e Tabela 1. A quantidade de ensaios realizados foi definida através de um planejamento experimental (fatorial completo) resultando assim em 8 [2^3] ensaios para PCBN e 8 ensaios para cerâmica. Para determinar a influência do desgaste todos os ensaios foram repetidos com ferramentas com desgaste de flanco máximo, $VB_{Bmáx}=0,6\text{mm}$.

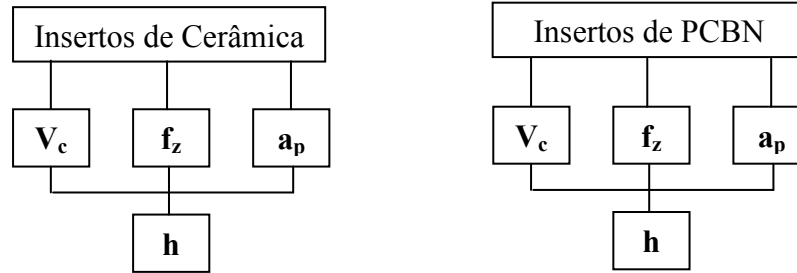


Figura 7: Diagrama de bloco representativo dos ensaios de usinagem para cada ferramenta.

Tabela 1: Níveis dos parâmetros utilizados nos ensaios com ferramentas de Cerâmica e PCBN.

Velocidade de corte -m/min-	Avanço por dente -mm/z-	Profundidade de corte -mm-
1000	0,04	0,2
1500	0,08	0,5

A realização das medições da altura da rebarba (h) foi desenvolvida através de análises de imagens obtidas de moldes das bordas dos blocos, levados ao microscópio ótico, com auxílio de um software analisador de imagens (Image Pro-Express). Foram escolhidas três regiões de maior relevância na borda de saída dos blocos de motores, identificados no trabalho de Da Silva (2004). Para a medição das rebarbas no presente trabalho foi utilizada uma massa própria para moldagem utilizada em odontologia (Massa Kerr, Média Viscosidade à base de Polissulfeto), a qual foi fundida nas regiões A_S , E_S e I_S identificados nas Figuras 4, 8 e 9, variando-se assim o ângulo de entrada e saída da ferramenta ao longo da borda de saída da ferramenta da peça. Esta técnica permitiu reproduzir os detalhes morfológicos das rebarbas, que foram utilizadas para comparar o comportamento das mesmas quando se variou as condições de corte.

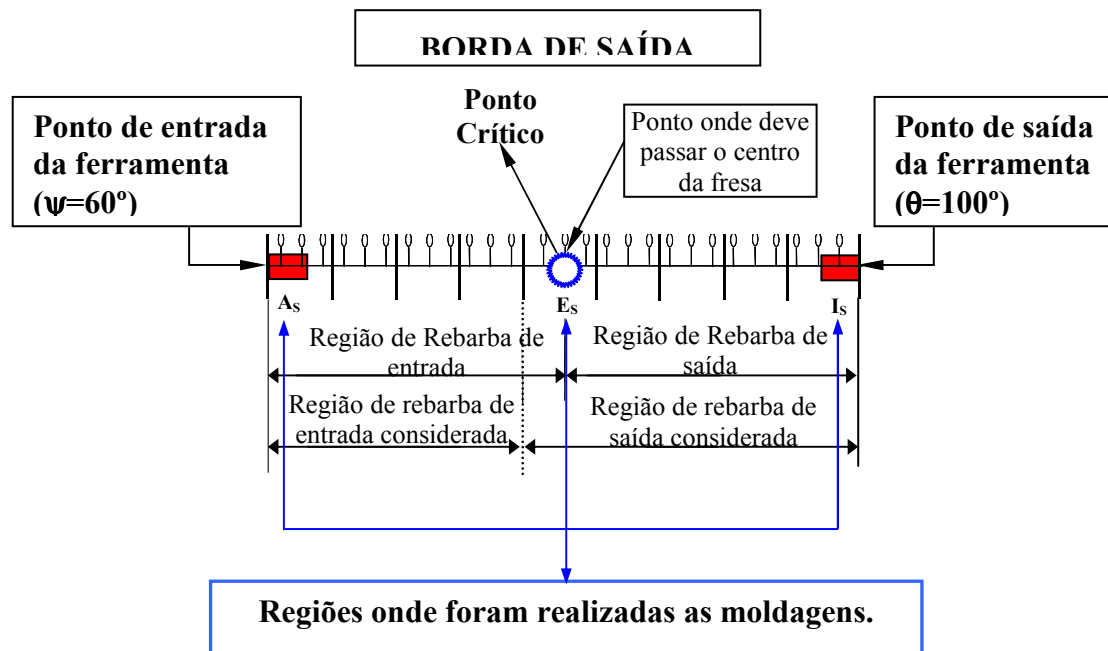


Figura 8: Identificação das 3 regiões onde foram determinadas as dimensões das rebarbas na borda de saída do bloco de motor.

O valor de h considerado se refere à média de dez medidas realizadas em dez pontos distintos naquelas regiões (A_S , E_S e I_S). Estes dez pontos se distinguem pelo corte do molde (aproximadamente 2mm de distância entre si).

Os ângulos formados pela direção de corte e a borda de saída do bloco são definidos por: ângulo de entrada da ferramenta (Ψ) e ângulo de saída da ferramenta (θ).

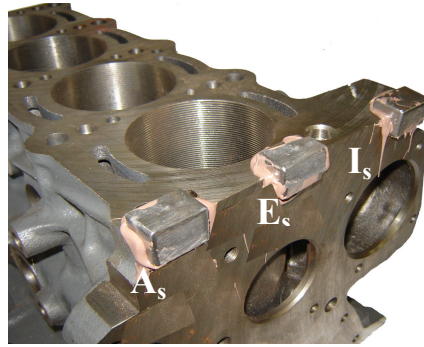


Figura 9: Regiões As, Es, e Is onde se posicionou os moldes na borda do bloco.

A Tabela 2 mostra a sequência de ensaios realizados nos testes de fresamento, combinando-se todos os parâmetros.

Tabela 2: Sequência dos ensaios realizados.

ENSAIOS				
Nº ENSAIO	V_c -m/min-	f_z -mm/z-	a_p -mm-	Ferramenta
1	1500	0,04	0,5	CERÂMICA
2	1500	0,08	0,5	CERÂMICA
3	1500	0,04	0,5	PCBN
4	1500	0,08	0,5	PCBN
5	1500	0,08	0,2	CERÂMICA
6	1000	0,08	0,2	CERÂMICA
7	1500	0,08	0,2	PCBN
8	1000	0,08	0,2	PCBN
9	1000	0,04	0,2	CERÂMICA
10	1500	0,04	0,2	CERÂMICA
11	1000	0,04	0,2	PCBN
12	1500	0,04	0,2	PCBN
13	1000	0,08	0,5	CERÂMICA
14	1000	0,04	0,5	CERÂMICA
15	1000	0,08	0,5	PCBN
16	1000	0,04	0,5	PCBN

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 10 é apresenta-se um exemplo de medição da rebarba utilizando a técnica de modelagem com massa a base de polissulfeto.

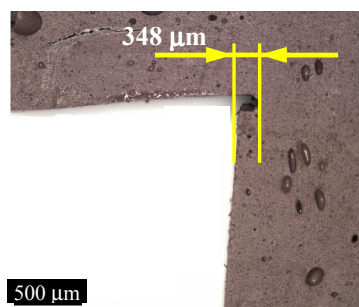


Figura 10: Exemplo de modelagem da rebarba formada no ensaio nº 5, segmento Es, $VB_{máx}=0,6mm$.

A Figura 11 apresenta fotos da borda de saída do bloco de motor após um dos testes, com aumento de 100x, tiradas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), que representa o formato geral das rebarbas encontradas. Observa-se que a forma é característica da rebarba de estiramento (*tear*), de acordo com a classificação oferecida por Gillespie e Blotter (1976).

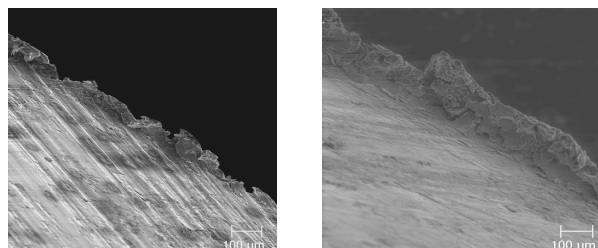


Figura 11: Micrografias realizadas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) - segmento E_s do ensaio nº 5, $VB_{Bmáx}=0,0mm$.

As alturas das rebarbas obtidas nas regiões A_s , E_s e I_s , para cada ensaio, utilizando ferramentas novas (com desgaste de flanco máximo $VB_{Bmáx}=0,0mm$) e no fim de vida ($VB_{Bmáx}=0,6mm$) são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Altura média das rebarbas para os ensaios de 1 a 16 e desgastes ($VB_{Bmáx}=0,0mm$) e ($VB_{Bmáx}=0,6mm$).

Altura da rebarba “h” [µm]							
Nº Ensaio	A _S (ψ=60°)		E _S (θ=180°)		I _S (θ=100°)		Ferramenta
	VB _{Bmáx} 0,0mm	VB _{Bmáx} 0,6mm	VB _{Bmáx} 0,0mm	VB _{Bmáx} 0,6mm	VB _{Bmáx} 0,0mm	VB _{Bmáx} 0,6mm	
1	63,1	163,2	113,9	384,6	51,7	149,5	CERÂMICA
2	39,1	255,8	102,8	398,7	-12,2	194,6	CERÂMICA
3	51,9	65,0	23,2	82,8	27,1	26,5	PCBN
4	23,8	82,8	29,4	41,6	8,10	40,0	PCBN
5	51,8	160,1	130,7	551,2	44,6	215,3	CERÂMICA
6	13,6	83,3	37,5	109,4	31,3	58,7	CERÂMICA
7	72,5	111,9	122,7	43,7	22,4	172,3	PCBN
8	116,5	69,6	59,0	104,1	20,9	29,2	PCBN
9	12,9	200,7	55,0	284,9	-65,0	169,1	CERÂMICA
10	55,3	109,7	109,0	225,2	-65,7	277,9	CERÂMICA
11	21,8	44,5	30,8	68,2	17,9	47,3	PCBN
12	31,1	57,0	44,2	55,4	24,1	73,7	PCBN
13	39,6	131,9	52,8	383,6	-94,9	175,5	CERÂMICA
14	34,1	207,9	77,9	318,5	-37,4	166,6	CERÂMICA
15	32,9	56,9	41,5	18,2	22,8	103,1	PCBN
16	46,8	42,6	45,9	76,7	59,0	20,7	PCBN

Análises destes resultados confirmam que geralmente, o segmento E_s com ângulo de saída igual a 180° , apresenta valores de rebarbas maiores que os outros segmentos (A_s e I_s) o que confirma os resultados encontrados por (Da Silva, 2004 e Souza Jr., 2001) que definiram o a região E_s como o ponto crítico da borda de saída do bloco de motor.

Pode-se observar também que a ferramenta mais crítica foi a ferramenta de cerâmica com desgaste de flanco $VB_{Bmáx}=0,6mm$, a qual apresentou no geral os maiores valores de rebarba. Em alguns casos (2, 9, 10, 13 e 14) observou-se inclusive desbarrocamento (rebarba negativa) da borda de saída do bloco, na região de saída da ferramenta ($\theta=100^\circ$). O fenômeno da formação da rebarba negativa é explicado pela facilidade de cisalhamento na direção de saída de ferramenta, que deforma o material no plano de cisalhamento primário, que se apresenta com ângulo negativo.

No geral, os resultados com ferramentas em fim de vida ($VB_{Bmáx}=0,6\text{mm}$) apresentaram alturas de rebarbas maiores, tanto para ferramentas cerâmicas quanto para PCBN. Ferramentas desgastadas promovem maiores comprimentos de contatos cavaco/peça-ferramentas o que causam aumentos nos esforços de usinagem, na potência consumida e na temperatura de corte, o que conseqüentemente facilita a deformação do material sem que o mesmo destaque-se da borda do bloco, formando rebarbas com dimensões maiores que as encontradas no fresamento com ferramentas novas ($VB_{Bmáx}=0,0\text{mm}$).

Análise de variância (ANOVA) aplicada aos resultados permitiu indicar os parâmetros influentes na altura média das rebarbas, na qual utilizou-se um índice de confiança igual a 90%. Para tanto, o SOFTWARE STATISTICA 6.0 foi utilizado. A Tabela 4 apresenta os “p” values menores que 0,10 indicando, portanto, os fatores significativos na altura da rebarba.

Tabela 4: Resultados de “p” values para as variáveis influentes ($p<0,10$) com 90% de Confiança.

Local da Saída	Ferramenta	Situação	Parâmetros de Significância Valores de p values						X – “p” values maiores que 0,10 (Resultados não significativos)
			V_c	f_z	a_p	$V_c f_z$	$V_c a_p$	$f_z a_p$	
A_s ($\psi=60^\circ$)	PCBN	$VB_{Bmáx}=0,0\text{mm}$	X	0,081	0,097	X	X	0,016	
		$VB_{Bmáx}=0,6\text{mm}$	0,025	0,019	X	X	X	X	
	Cerâmica	$VB_{Bmáx}=0,0\text{mm}$	0,018	X	X	X	X	X	
		$VB_{Bmáx}=0,6\text{mm}$	0,007	0,010	0,002	0,001	0,005	0,006	
E_s ($\theta=180^\circ$)	PCBN	$VB_{Bmáx}=0,0\text{mm}$	X	X	0,095	X	X	X	
		$VB_{Bmáx}=0,6\text{mm}$	X	X	X	X	X	0,076	
	Cerâmica	$VB_{Bmáx}=0,0\text{mm}$	0,001	X	X	X	X	X	
		$VB_{Bmáx}=0,6\text{mm}$	X	X	X	X	X	X	
I_s ($\theta=100^\circ$)	PCBN	$VB_{Bmáx}=0,0\text{mm}$	X	0,094	X	X	0,093	0,086	
		$VB_{Bmáx}=0,6\text{mm}$	0,081	0,060	X	X	X	X	
	Cerâmica	$VB_{Bmáx}=0,0\text{mm}$	0,005	0,043	X	X	0,008	0,001	
		$VB_{Bmáx}=0,6\text{mm}$	0,009	0,044	X	0,083	0,009	0,012	

Através dos resultados da Tabela 4, pode-se observar que a influência dos parâmetros de corte depende dos ângulos de entrada e/ou saída da ferramenta da peça, da ferramenta utilizada e do desgaste da mesma. Vale destacar que se um parâmetro ou interações de dois parâmetros são influentes tem-se que saber se esta influência contribui para o aumento ou para a diminuição da rebarba. Análises de gráficos de superfície de resposta indicam que as rebarbas aumentam com o aumento da profundidade de corte e com as diminuições do avanço e da velocidade de corte (na maioria dos casos).

Para a região A_s utilizando ferramenta de cerâmica no fim de vida, todos os parâmetros e as suas interações foram influentes na formação das rebarbas. Já para a região E_s , utilizando as mesmas ferramentas de cerâmica em fim de vida nenhum dos parâmetros ou interações foram influentes.

Com a utilização de ferramentas com desgaste de flanco máximo acentuado, as dimensões das rebarbas nessa região foram as maiores, confirmando ser a região crítica, como já haviam previsto (Da Silva, 2004 e Souza Jr., 2001). Além disto, nestas condições de desgaste, as rebarbas se apresentam com dimensões geralmente constantes, mesmo variando-se as condições de corte, o que justifica os resultados e sugere que o desgaste, por ser tão influente, está mascarando a influência dos demais parâmetros de corte.

Em alguns casos como a região I_S utilizando ferramentas de PCBN com desgaste de flanco máximo, dois parâmetros (V_c e f_z) foram influentes, mas as suas interações não resultaram em influência alguma sobre a formação da rebarba. Para a mesma região utilizando-se ferramentas novas, os parâmetros de corte (V_c e a_p), não apresentaram nenhuma influência, mas suas interações demonstram influência nas dimensões das rebarbas.

Como forma de ilustração a Figura 12 é apresentada, demonstrando os gráficos de superfície de resposta da região A_S , utilizando ferramentas de cerâmica desgastadas, situação em que todos os parâmetros e suas interações influenciaram na formação das rebarbas.

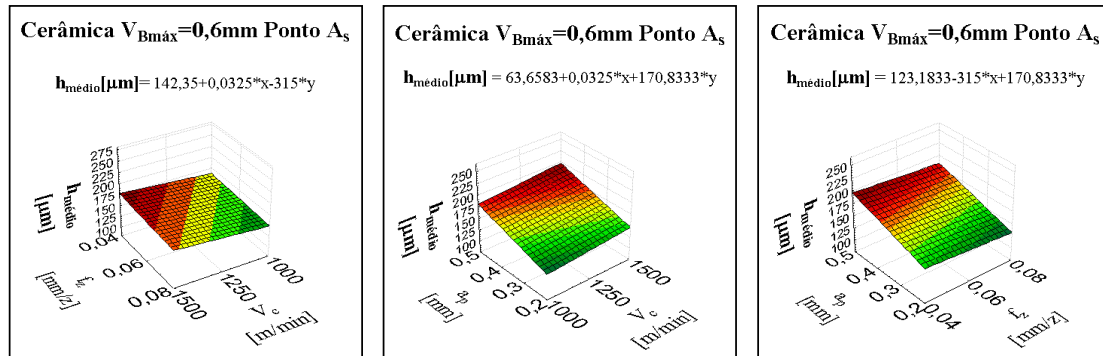


Figura 12: Gráficos de superfície de resposta da região A_S utilizando ferramentas de cerâmica com desgaste de flanco $VB_B=0,6\text{mm}$.

Nota-se que o aumento do avanço promove redução nas dimensões das rebarbas. Isto foi observado também por Da Silva (2004). Na medida em que a fresa aproxima-se do final do corte, ou seja, da borda de saída, para pequenos avanços, o efeito *ploughing* irá promover deformações maiores, ao invés do corte, Olvera e Barrow (1996). No segmento E_S , devido a sua localização central, os efeitos dessa deformação será maior, formando rebarbas com dimensões maiores. Quando o avanço for maior, irá prevalecer o corte, reduzindo o efeito *ploughing*, que irá gerar deformações menores e proporcionar a redução das rebarbas.

Apesar de os gráficos acima demonstrarem um aumento das rebarbas quando se aumentou a velocidade de corte, no geral aconteceu o contrário, concordando com a literatura a qual diz que o aumento da velocidade de corte proporciona a redução do comprimento de contato cavaco-ferramenta. Um correspondente aumento no ângulo de cisalhamento, devido à redução do contato, acontecerá e, portanto um menor grau de recalque, Machado e Da Silva (2003). Tudo isso são fatores que indicam uma menor deformação na zona de cisalhamento primária e como consequência a formação de rebarbas com dimensões reduzidas.

Geralmente os ensaios mostraram claramente um crescimento de “h” com o aumento de a_p . Este comportamento, para pequenos valores de a_p , como os utilizados nesta pesquisa, é coerente com a literatura, Kishimoto et al (1981).

4. CONCLUSÕES

Podemos concluir nesse trabalho que:

- No geral, nas condições de corte investigadas, o aumento da velocidade de corte (V_c), o aumento do avanço e a redução na profundidade de corte proporcionam a diminuição da altura “h” da rebarba.
- As ferramentas cerâmicas apresentaram rebarbas maiores que as ferramentas de PCBN.
- O desgaste das ferramentas tanto de PCBN quanto de cerâmica proporcionam rebarbas maiores que aquelas apresentadas por ferramentas novas, isto é, sem desgaste de flanco.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fiat Powertrain Technology por fornecer os blocos de motores e os insertos de corte, ao CNPq, a CAPES, a FAPEMIG e ao IFM pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- ASTME, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, 1959, “Tool Wear in the Cutting of Thin-Gauge Steel Sheets”, ASTME Research Report n 0, pgs 22.
- Da Silva, L.C., 2004, “Estudo da Rebarba no Fresamento de Faceamento em Blocos de Motores de Ferro Fundidos Cinzento Utilizando Insertos de Cerâmica e PCBN” Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, FEMEC, UFU, Uberlândia, MG, abril, 179 pgs.
- Gillespie, L.K. and Blotter, P.T., 1976, “The Formation and Properties of Machining Burrs”, Transactions of the ASME, pp. 66-74.
- Kaminise, A. K., Da Silva, M. B., Ariza, R. G., 2001. “Study on Burr Formation in Turning AISI 1045. COBEM-0147. Uberlândia, Brasil.
- Kishimoto, W., Miyake, T., Yamamoto, A., Yamanaka, K., and Tacano, K., 1981 “Study of Burr Formation in Face Milling”. Bull. Japan Soc. of Prec. Eng. Vol. 15 No 1, pp. 51-52.
- Ko, S. L. and Dornfeld. D.A., 1991, “A Study on Burr Formation Mechanism”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 113, 75-87pp.
- Nakayama, K. and Arai, M., 1987, “Burr Formation in Metal Cutting”, Ann. CIRP, 36, pp. 33-36.
- Olvera, O. and Barrow, G., 1996, “An Experimental Study of Burr Formation in Square Shoulder Face Milling”, Int. J. Mach. Tools and Manufact., pp. 1005-1020.
- Olvera, O. and Barrow, G., 1998, “Influence of Exit Angle and tool Nose Geometry on Burr Formation in Face Milling Operations”, Proc. Instn. Mech. Engrs., vol. 212, part B, pp. 59-72.
- Pekelharing, A. J., 1978, “The Exit Failure Uninterrupted Cutting”, Annals of the CIRP, 27(1), pp.5-10.
- Souza Jr, A.M., 2001, “Estudo da Utilização de PCBN e Cerâmica Mista no Fresamento de Blocos de Motores de Ferro Fundido Cinzento”, Dissertação de Mestrado, PUCMG, Março, 143 pgs.

USING MOULDING TECHNIQUE TO MEASURE BURRS FORMED IN MILLING OF ENGINE BLOCKS

Jefferson Duarte Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica, Uberlândia/MG, CEP: 38402-902.)

jeffminas@yahoo.com.br

Danilo Alves Vicente

danilovicente@gmail.com.br

Álison Rocha Machado

alissonm@mecanica.ufu.br

Márcio Bacci da Silva

mbacci@mecanica.ufu.br

Abstract: *This work investigates the process of burr formation when face milling engine block of cast iron. Ceramic and PCBN inserts were used, mounted into a cutter with 160 mm of diameter, with the capacity of 22 inserts, four of them being wiper inserts. Cutting speed, feed rate and depth of cut were varied using a full factorial design 2^3 . The tests were all carried out under high speed machining – HSM (1000 – 1500 m/min). In order to determine the burr dimensions a new technique using a polysulphide mass to mould the edge of the workpiece and hence the burr was used. The mass was applied in three different regions of the exit border of the workpiece allowing the exit angle to be varied. Analysis of variance and surface response of the results indicated that the burr generally increased with increase of the depth of cut and with decrease of the cutting speed and feed rate.*

Keywords: *Burr, Milling Process, PCBN and Ceramic Tools, Factorial Design.*