

Fresamento de Janelas de Gaiola de Esferas para Juntas Homocinéticas de Aço ABNT 8620 com Ferramentas de CBN.

Nivaldo L. Coppini¹, coppini@uninove.br
Fabio Henrique Pereira¹, fabiohp@uninove.br
Elesandro Antonio Batista¹, elesandro@uninove.br
Emerson Carlos dos Santos¹, emerson.carlos@uninove.br

¹Universidade Nove de Julho, Av. Francisco Matarazzo, 600 – São Paulo - SP

Resumo A usinagem de materiais endurecidos em substituição a retificação é fator determinante na sobrevivência das corporações quanto à competitividade e manutenção dos principais itens procurados pelo mercado: Preço, Prazo e Qualidade. O nitreto cúbico de boro (CBN) tem sido um dos materiais mais utilizados na usinagem de aços endurecidos para acabamento de peças conferindo tolerâncias dimensionais baixas, bom acabamento e forma geométrica satisfatória. Infelizmente em nossa literatura técnica não existem material em grande escala quando se trata de fresamento interrompido e, principalmente, acabamento em superfícies irregulares como as formadas durante o processo de estampagem. Este trabalho tem o objetivo de estudar 3 das mais utilizadas preparações de arestas de corte pelos fabricantes de insertos de CBN e determinar a mais adequada ao fresamento de janelas de gaiolas de juntas homocinéticas fabricadas em aço ABNT 8620 cementado. A pesquisa “in loco” foi realizada por meio de testes com variações de condições de usinagem literariamente estabelecidas juntamente com a posterior análise de dados com apoio estatístico. Os resultados indicaram a afiação de aresta que mais se adaptou às condições de corte com fresamento interrompido e variação da superfície usinada a despeito de quaisquer variações mínimas nas condições de corte da operação.

Palavras-chave: Fresamento, Nitreto Cúbico de Boro, aço endurecido

1. INTRODUÇÃO

A usinagem de materiais endurecidos em substituição a retificação tem sido fator determinante na sobrevivência das corporações quanto à competitividade e manutenção dos principais itens procurados pelo mercado: Preço, Prazo e Qualidade. O nitreto cúbico de boro (CBN) tem sido um dos materiais mais utilizados na usinagem de aços endurecidos (55 a 65Rc) para acabamento de peças conferindo tolerâncias dimensionais baixas, bom acabamento e forma geométrica satisfatória (Abrão, Aspinwall – 1996). Este tema justifica-se, além de seu valor intrínseco, por ser pouco explorado e divulgado pela literatura técnica nacional, principalmente quando se trata de acabamento em superfícies irregulares como as remanescentes do processo de estampagem.

A procura pelo desenvolvimento e aplicação da usinagem de materiais endurecidos surgiu inicialmente nas indústrias automotiva, aeroespacial e metalúrgica. Nestes três ramos industriais, ferramentas de CBN são comumente utilizadas, pois reduzem o custo na produção e melhoram a qualidade de acabamento do produto. Por isso, em muitos casos, o fresamento com este tipo de ferramenta pode substituir o processo de retificação na operação de acabamento, principalmente em componentes de juntas homocinéticas automotivas onde a produção é alta e qualquer ganho no tempo de produção e de custos de ferramentas, máquinas e dispositivo é fator determinante para a manutenção de toda a cadeia produtiva. De acordo com Lima e Correa (2002), em alguns casos, o custo por peça produzida pelo processo de torneamento de materiais endurecidos pode ser reduzido em até 60% se comparado com o processo de retificação.

Segundo Wanta (2006) no processo de fresamento, ao analisar a maior complexidade requerida para a fixação e alta produção de peças retificadas não cilíndricas, pode-se chegar a uma economia de mais de 70% quando este tipo de usinagem consegue substituir a retificação convencional de acabamento.

Na usinagem de materiais endurecidos, as forças de corte não são necessariamente altas, uma vez que a deformação plástica do cavaco é relativamente pequena e, também, devido à pequena área de contato do cavaco com a ferramenta devido à presença do chanfro, o que resulta em geometria da ferramenta mais adequada aliada a cada caso específico (Abrão, Aspinwall – 1996).

Tönshoff, Wobker e Brandt (1995) afirmam que o desgaste da ferramenta e a integridade superficial das peças usinadas são fortemente influenciados pela utilização de fluidos refrigerantes, uma vez que os mesmos agem no sentido de reduzir a carga térmica na aresta de corte, aumentando assim a vida da ferramenta quando comparada com o corte a

seco. Os fluídos de corte, apesar das vantagens mencionadas, constituem-se em problemas relacionados com impactos ambientais.

A crescente demanda automotiva no mercado mundial, independente de crises e conseqüências, aliado as leis e ações de preservação do meio ambiente, tem aumentado a concorrência entre fabricantes de peças e sistemas automotivos no sentido desenvolver processos cada vez mais enxutos em tempos, custos de ferramentas e dispositivos, redução e/ou eliminação de itens poluentes.

Este fato desencadeou uma corrida a materiais de alto valor tecnológico agregado que antes eram conhecidos apenas através de literaturas em experimentos laboratoriais ou aplicações extremamente restritas devido aos custos envolvidos tanto em equipamentos quanto no valor final do item.

O CBN é um desses materiais que, com o passar dos anos, tem sido cada vez mais utilizado na indústria em substituição ao processo de retificação. As principais vantagens na substituição de processo são: flexibilidade na afiação para peças de geometrias diferentes, custo do equipamento de usinagem, dispositivos menos complexos quanto a sistemas de vedação de fluídos, inexistência de borras residuais de processos facilitando qualquer homologação ambiental, praticidade na substituição da ferramenta, limpeza, entre outros.

Um processo que ainda utiliza sistemas de usinagem por abrasão (rebolos) é o acabamento de janelas de gaiolas de esferas utilizadas em juntas homocinéticas automotivas. O mesmo requer, além de uma máquina com alto custo, um equipamento totalmente customizado permitindo variações muito pequenas entre o tamanho das peças a serem processadas entre um lote e outro e tornando-se indisponível para qualquer outra operação que se julgar necessário no ambiente fabril.

As janelas de gaiolas, fabricadas em aço liga de baixo carbono (ABNT 8620) possuem sua geometria um tanto irregular, visto que são resultantes de puncionamento realizado em operação anterior à usinagem. Este fato, leva a uma drástica ruptura, com conseqüente, encruamento da camada superficial puncionada, gerando pontos de carbonetos isolados. Após de tratamento térmico, estes pontos de carbonetos atingem durezas maiores do que aquelas que incidem na superfície a ser usinada das gaiolas (Chiaverini – 1981).

Essa característica peculiar de processo tem levado ao desenvolvimento de classes, formatos e ângulos de pastilhas de CBN cada vez mais variados visando a obtenção das características físicas e dimensionais requeridas, a obtenção do melhor rendimento possível e o suprimento de todas as adversidades sofridas pela peça nas operações que antecedem o acabamento.

Este trabalho tem o objetivo central de analisar a qualidade, a produtividade e os custos de fabricação de gaiolas de esferas de Aço 8620 endurecido, utilizado para fabricação de juntas homocinéticas (vide desenho esquemático na Figura 1) automotivas, em planta fabril. Para tanto, serão utilizadas ferramentas de CBN. Os resultados esperados são: a seleção de um inserto o mais adequado ao processo; identificação das condições e parâmetros de corte ideais em termos de produtividade e custos. Como um segundo objetivo, uma análise dos resultados conseguidos em planta fabril será utilizada para determinar uma possível identificação do avanço de mínimo de custo e do avanço de máxima produção.

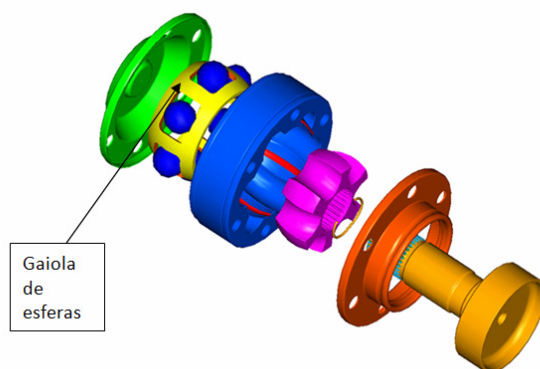


Figura 1. Localização da gaiola dentro de uma junta homocinética de alta velocidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa se caracteriza como explicativa no tocante aos seus objetivos, aplicada do ponto de vista de sua finalidade e quantitativa no tocante à abordagem do problema (Coughlan e Coughlan – 2002 e Voss e Frohlich - 2002).

O método consistiu em realizar o acompanhamento do processo de usinagem durante a fabricação das peças em ambiente fabril

Material da peça, ferramentas, máquinas, laboratório metalúrgico e todos os dados necessários para obtenção dos resultados foram fornecidos pela empresa produtora das janelas de gaiolas, que optou por não identificar-se. Esses dados estão estratificados abaixo:

- Peça confeccionada em aço ABNT 8620 cementado com dureza entre 58 e 62 HRC;

- As ferramentas são de metal duro com ponta de CBN (Cubic Boron Nitride) classe BN300, fabricante Sumitomo constituído de 60% de concentração de CBN e 40% TiN (Nitreto de Titânio), selecionadas entre as diversas possibilidades conforme indica a tabela 1. As ferramentas foram construídas para fixação de insertos intercambiáveis, classificação ISO - TPGW160408, formando uma fresa com apenas um dente. A seleção da ferramenta foi feita em conjunto com fornecedor (Sumitomo) utilizando as características geométricas e de dureza do material, além do fato do corte ser interrompido. A composição com este teor de CBN aliada ao TiN, caracteriza um material de ferramenta que boa resistência ao desgaste aliado a boa tenacidade exigida no processo (Diniz et al, 2008);
- A máquina é um centro de torneamento vertical de duplo fuso e ferramenta acionada marca Romi-Emag modelo Twin VSC-250;
- No laboratório de metalurgia foi utilizado o durômetro da marca Microtest modelo 5001 para controlar a dureza em cada lote avaliado.

Tabela 1. Classes de PBCN disponíveis (Souza Júnior, 2001)

PCBN Fabricados	Classe	Grão de PCBN (μm)	Fase Secundária
De Beers	Amborite	10	2% AlB_2/AlN
	DBC50	1-2	40% TIC, 6% WC
	DBC80	3	4% AlB_2/AlN 20% TIC/WC
G.E.	BZN-6000	3	5-10% Ni/Co
	BZN-8100	1 – 2	40-50% TIC
Sumitomo Electric	BN100	3	15% TiC
	BN200	3	40% TiN
	BN250	2	30% TiN
	BN300	0.5	40% TiN
	BNX4	4	30% TIC
SPK Cerasiv	WBN4		60% WBN
	WBN5	10 (PCBN)	50% WBN
	WBN8	0,02(WBN)	20% WBN

Por restrições de processo (sensores de alimentação e sincronismo) não foi possível a alteração da velocidade de corte para não haver risco de colisões por erro de sincronização entre as janelas da gaiola e o giro da ferramenta. A Figura 2 mostra um esquema prático de como é feito este fresamento.

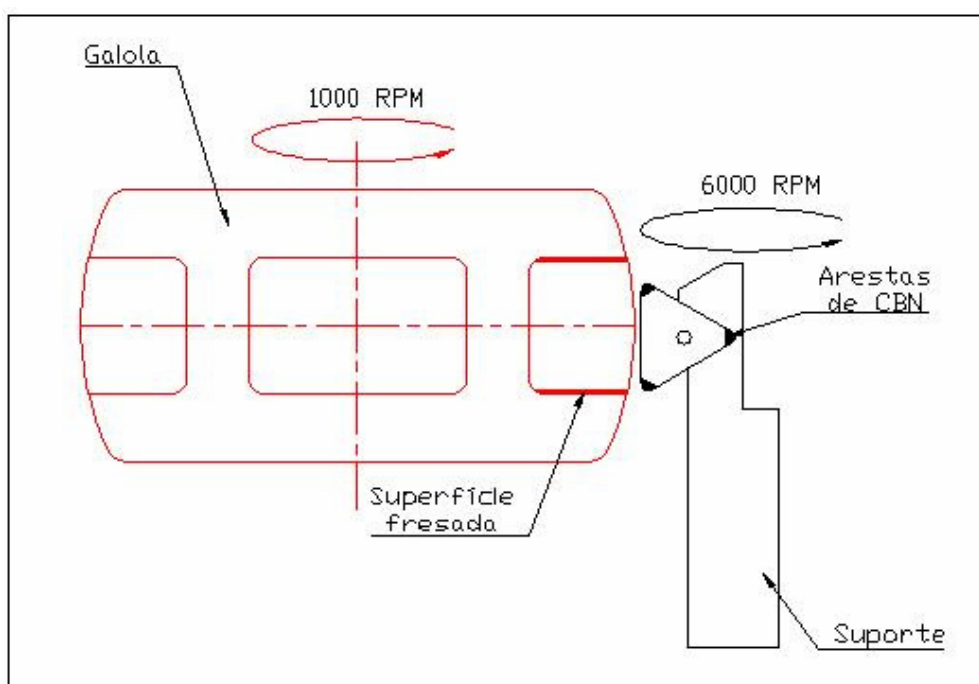


Figura 2. Representação gráfica do fresamento, ferramenta e peça.

Os parâmetros pesquisados foram:

- ferramentas de CBN provenientes de quatro fabricantes identificados por 1,2,3 e 4, respectivamente: Taegu-Tec, Sumitomo, Mapal e Kennametal;
- três valores de avanço, a saber, 0,09 mm/volta; 0,10 mm/volta e 0,11 mm/volta, conforme sugerido por cada fabricante, lembrando que cada ferramenta tem apenas 1 dente;
- velocidade de corte fixa em 91,2 m/min.;
- três afiações de arestas (tomando por base o explanado por Diniz, Marcondes & Coppini – 2008), a saber, chanfro simples em ângulo (chanfro T), aresta arredondada (aresta S), aresta chanfrada com ângulo e arredondamento em cada vértice (chanfro T+S);
 - o fabricante 1 utilizou a preparação de aresta tipo T+S;
 - o fabricante 2 utilizou a afiação tipo S;
 - os fabricantes 3 e 4 utilizaram a afiação tipo T.

O local do inserto onde é feito a afiação da aresta está destacado na Figura 3:

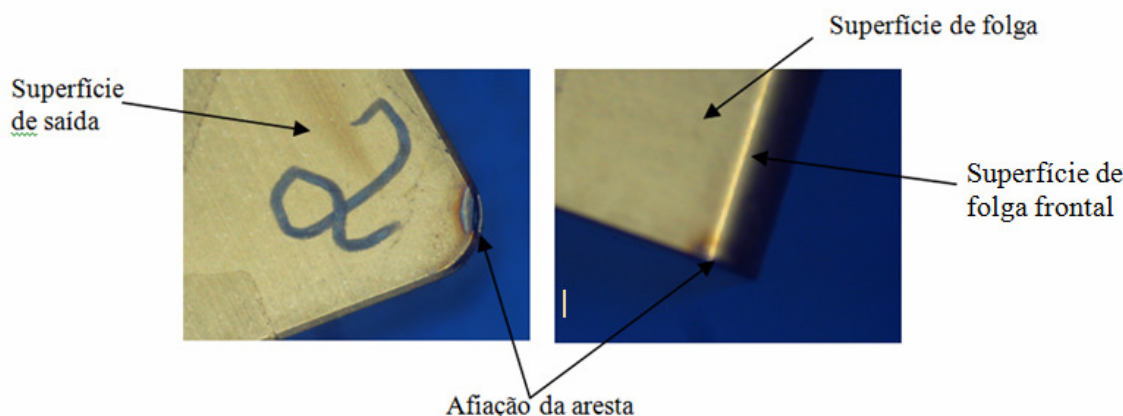


Figura 3. Localização do chanfro de preparação da aresta.

Cada ensaio foi repetido no mínimo três vezes com o objetivo de se evitar ao máximo condições alheias ao processo como queda de energia, fim do lote de peças, quebra de algum componente de máquina ou ferramenta, etc.

Foram realizadas medidas sobre o resultado final da usinagem, referente aos seguintes parâmetros:

- vida de ferramenta (em número de peças) determinada pelos fatores:
 - quebra ou lascamento do inserto,
- tempo de troca de ferramenta (30 segundos);
- custo da ferramenta e seus suportes. (R\$150,00 e R\$2.000,00 respectivamente)

Foram realizados ensaios preliminares visando verificar o comportamento do inserto deixando-se usar até a ocorrência de quebra ou lascamento do inserto, que foram considerados como critério de fim de vida previamente estabelecido.

Foram realizados 30 ensaios finais com sucesso, para que fosse possível contar com uma amostragem estatisticamente mais significativa, para os quais foi adotado como critério de fim de vida um número fixo de 800 peças.

Para aquele que obteve maior rendimento médio foram realizados 30 ensaios ou mais visando um conjunto de dados suficientes para o estudo estatístico de acordo com uma curva normal (Montgomery, 2001 e Shapiro e Wilk, 1965). Estes testes finais geraram dados que foram avaliados através da ferramenta estatística denominada “ANOVA fator duplo com repetição”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Constam da Tabela 2 os resultados preliminares. Nota-se apenas a presença dos fabricantes 1 e 2. Os outros dois fabricantes apresentaram insertos que não conseguiram gerar qualidade dimensional na peça. Estes insertos tinham suas arestas lascadas prematuramente. Por este motivo, foram simplesmente descartados.

Em todos os testes preliminares os insertos foram doados pelos fabricantes das ferramentas. O número de insertos doados foi insuficiente para realizar um número de testes que permitisse explorar, de forma estatisticamente

confiável, os resultados preliminares obtidos para o fornecedor A, que apresentou melhor desempenho entre os quatro fabricantes de insertos. Assim, a empresa fabricante das gaiolas, adquiriu um número complementar de insertos do fabricante 1, suficientes para concluir os testes de acordo com o planejado. Este número de insertos, especialmente disponibilizados, embora em número limitado, permitiu a execução dos 36 testes adicionais, além dos 12 preliminares que já haviam sido realizados.

Tabela 2. Resultados preliminares nos primeiros testes de vida dos insertos

Dados coletados para insertos TPGW									
Nº	Descricao	Classe	Fab.	Vc (m/min)	Avanço (mm/rot)	Peça	Tipo de Chanfro	Motivo da troca	Vida (peças)
1	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	Pré-lascamento	812
2	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	Pré-lascamento	825
3	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	Pré-lascamento	786
4	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	Pré-lascamento	803
5	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	Pré-lascamento	831
6	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	Pré-lascamento	817
7	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	Pré-lascamento	822
8	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	Pré-lascamento	813
9	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	Lascamento	753
10	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	Quebra do CBN	731
11	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	Quebra do CBN	686
12	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	Pré-lascamento	775
13	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,10	U222	S	Pré-lascamento	615
14	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,10	U222	S	Pré-lascamento	596
15	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,10	U222	S	Quebra do CBN	568
16	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,10	U222	S	Quebra do CBN	598
17	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,09	U222	S	Quebra do CBN	625
18	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,09	U222	S	Quebra do CBN	633
19	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,09	U222	S	Quebra do CBN	654
20	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,09	U222	S	Quebra do CBN	612
21	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,11	U222	S	Lascamento	544
22	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,11	U222	S	Quebra do CBN	582
23	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,11	U222	S	Quebra do CBN	556
24	TPGW 160408	2NU-SHMA6942 S7182BN300	2	91,2	0,11	U222	S	Quebra do CBN	541

Os dados da Tabela 2 levam a formação da Figura 4 quando é considerada a produção média de cada fabricante em função dos avanços ajustados. Tratando os dados através da ferramenta “ANOVA fator duplo com repetição”, foi possível analisar estatisticamente o nível de influência da afiação das arestas e do avanço na vida dos insertos 1 e 2.

Visando validar a utilização de análise estatística paramétrica, foi realizado primeiramente o teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO e WILK, 1965) nos resultados referentes aos diferentes valores de avanço testados e as diferentes fabricantes utilizados. Esse teste calcula uma estatística “W” que avalia se uma amostra aleatória de tamanho n provém de uma distribuição normal. Valores pequenos de W são evidências de desvios da normalidade. Alternativamente, se o “p-valor” for maior que o nível de significância alfa então a hipótese nula de normalidade dos dados é aceita, indicando que as amostras provem de uma distribuição normal. Assim, para os resultados abaixo, pode-se concluir com 0,01 de significância que os dados são normalmente distribuídos. A Tabela 3 mostra a estratificação destes dados.

De acordo com Hafiz *et al* (2007), a análise de variância (ANOVA) com dupla classificação é utilizada para testar estatisticamente hipóteses chamadas de nulas entre dois fatores. No caso estudado as hipóteses são:

- A variação da afiação de aresta, praticada por cada fabricante, NÃO influencia na vida da ferramenta (hipótese nula 1);
- A variação de avanço NÃO influencia na vida da ferramenta (hipótese nula 2).

Tabela 3. Plotagem do teste de normalidade de Shapiro-Wilk

Teste de Normalidade para colunas (avanços)

```
> f1<-c(831, 817,822,813,625,633,654,612)
```

```
> f2<-c(812,825,786,803,615,596,568,598)
```

```
> f3<-c(753,731,686,775,544,582,556,541)
```

```
> shapiro.test(f1)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: f1

W = 0.7618, p-value = 0.01103

```
> shapiro.test(f2)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: f2

W = 0.7884, p-value = 0.02147

```
> shapiro.test(f3)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: f3

W = 0.8455, p-value = 0.08566

Teste de Normalidade para as Linhas (fabricantes)

```
> fabA<-c(831,812,753,817,825,731,822,786,686,813,803,775)
```

```
> fabB<-c(625,615,544,633,596,582,654,568,556,612,598,541)
```

```
> shapiro.test(fabA)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: fabA

W = 0.856, p-value = 0.04357

```
> shapiro.test(fabB)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: fabB

W = 0.9634, p-value = 0.8312

Os dados analisados e calculados através da planilha estão dispostos abaixo:

Figura 4. Análise de variância com dupla classificação (alfa de 0,05 ou 95% de confiabilidade) em função dos testes preliminares.

	f=0,09	f=0,10	f=0,11
FABRICANTE 1	831	812	753
	817	825	731
	822	786	686
	813	803	775
FABRICANTE 2	625	615	544
	633	596	582
	654	568	556
	612	598	541

Anova: fator duplo com repetição				
RESUMO	f=0,09	f=0,10	f=0,11	Total
FABRICANTE 1				
Contagem	4	4	4	12
Soma	3283	3226	2945	9454
Média	820,75	806,5	736,25	787,833333
Variância	60,25	268,333333	1444,916667	1971,9697
FABRICANTE 2				
Contagem	4	4	4	12
Soma	2524	2377	2223	7124
Média	631	594,25	555,75	593,666667
Variância	310	378,916667	348,25	1312,60606
Total				
Contagem	8	8	8	8
Soma	5807	5603	5168	
Média	725,875	700,375	646	
Variância	10445,83929	13148,8393	10077,14286	

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	226204,1667	1	226204,1667	482,883657	1,88E-14	4,413873
Colunas	26631,75	2	13315,875	28,4257294	2,69E-06	3,554557
Interações	1066,583333	2	533,2916667	1,13843098	0,342331	3,554557
Dentro	8432	18	468,4444444			
Total	262334,5	23				

Seguindo os critérios da ANOVA, a interpretação dos dados dispostos na Tabela (1) se dará testando as hipóteses nulas em função da distribuição dos valores dispostos em “ F ” e “ $F_{crítico}$ ” tanto para as amostras (tipo de afiação de aresta de cada fabricante) quanto para as colunas (avanços) que foram os fatores possíveis de serem pesquisados durante os testes.

Se

$$F > F_{Crítico},$$

a hipótese nula passa a ser rejeitada e, estatisticamente, pode-se afirmar que o fator em estudo tem influência no resultado final.

Para os dados em análise neste trabalho, observa-se que, para a rejeição da hipótese 1 (influência da afiação de aresta) disposta em “amostras”, tem-se:

$$F_{crítico} = 4,81 ; F = 482,88$$

Portanto: $F \gg F_{crítico}$. Logo, SIM, se rejeita a hipótese nula e pode-se afirmar que a variação de afiação de aresta (fabricante) tem influência direta no rendimento do inserto.

Para a rejeição da hipótese nula 2 (influência do avanço de corte) disposta em “colunas”, temos:

$$F_{crítico} = 3,55 ; F = 28,42.$$

Portanto: $F > F_{crítico}$. Logo, SIM, também se rejeita a hipótese nula e pode-se afirmar que a variação de avanço de corte também tem influência direta no rendimento do inserto.

Segundo Ferraresi (1997), um aumento do avanço provoca aumento da quantidade de calor gerado e, mesmo que observado um aumento da área de contato cavaco/ferramenta que recebe tal calor, constata-se que ocorre aumento do desgaste. Paralelamente, Diniz *et al* (2008) corroboram esta conclusão.

Avaliando os resultados obtidos na Figura 2, percebe-se a diminuição da vida dos insertos A e B na medida em que o avanço aumenta. Observa-se, portanto, a consistência dos resultados com base na literatura, o que explica o melhor desempenho do inserto A e confirmados através da ANOVA. Além disso, na interação, $F_{crítico} > F$ fazendo com que possa afirmar que, mantidas as condições dos testes, em qualquer momento o inserto do Fabricante A (contendo chanfro T+S) sempre terá melhor rendimento que o fabricante B, com chanfro S arredondado simples.

De acordo com Dolinsek e Kopac (2006), o tipo de afiação de aresta de corte tem influência direta na vida da ferramenta. No estudo apresentado, esta variação de aresta ocorreu quando houve a variação de fabricantes.

Diniz *et al* (2008) também afirma que as arestas de corte de insertos feitos em CBN devem ser chanfradas (ou preparadas) de modo a direcionar os esforços de corte para o centro da pastilha a fim de se evitar quebras devido à alta dureza do material.

Ou seja, o tipo de afiação de aresta influencia diretamente na vida do inserto pois a mesma é que vai direcionar os esforços de corte para centro do inserto ou não. Portanto, uma boa combinação dimensional na afiação destas arestas minimiza o efeito destes esforços de corte aumentando assim a vida da ferramenta.

Observa-se na Tabela 2 (Figura 1) que existe uma diferença da ordem de aproximadamente 20 vezes entre F e $F_{crítico}$ para a hipótese de a afiação da aresta influenciar na vida do inserto.

Avaliando estes dois parâmetros (avanço e afiação da aresta do inserto) pode-se afirmar que, estatisticamente, o avanço tem influência menor na vida da ferramenta quando comparado com o tipo de afiação de aresta de corte.

Em função destes fatos, foi selecionado o fabricante 1 para a realização de mais 30 testes, com o intuito de analisar a estabilidade dos dados em função de uma curva normal. A Tabela 4 mostra estes resultados tendo o número de 800 peças produzidas (de acordos com as médias dos testes preliminares) como parâmetros para troca de ferramenta. Os testes estão em número de 36 repetições devido ao descarte de alguns testes por condições externas como queda de energia e troca de produto.

Tabela 4. Resultados finais para avaliação de repetibilidade de vida

Dados coletados para insertos TPGW (fabricante A) com afiação de aresta de corte com chanfro mais roneamento									
Nº	Descricao	Classe	Fab.	Vc (m/min)	Avanço (mm/rot)	Peça	Tipo de Chanfro	Motivo da troca	Vida (peças)
1	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	OK	800
2	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	OK	800
3	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	OK	800
4	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	OK	800
5	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	Queda de energia	736
6	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
7	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
8	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
9	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	Pré-lascamento	753
10	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	Troca de Produto	450
11	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	Ajuste de medidas	680
12	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	OK	800
13	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	Pré-lascamento	769
14	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	OK	800
15	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	OK	800
16	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,10	U222	T + S	OK	800
17	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	Queda de energia	320
18	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
19	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
20	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	Troca de Produto	280
21	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	Ajuste de medidas	625
22	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	OK	800
23	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	OK	800
24	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	Pré-lascamento	789
25	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	OK	800
26	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
27	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
28	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	Falta de material	488
29	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
30	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
31	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,11	U222	T + S	Pré-lascamento	764
32	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
33	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
34	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	Pré-lascamento	680
35	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800
36	TPGW 160408	TX-LS TB650	1	91,2	0,09	U222	T + S	OK	800

Fazendo um novo teste ANOVA, desta vez com fator simples por ser apenas um fabricante, tem-se o resultado na Figura 5:

Figura 5. Análise de variância com fator simples (alfa de 0,05 ou 95% de confiabilidade) para os insertos do fabricante A.

	f=0,09	f=0,10	f=0,11
FABRICANTE 1	736	800	753
	800	800	800
	800	800	680
	800	800	800
	800	769	625
	800	800	800
	800	800	800
	280	800	789

Anova: fator único

RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
f=0,09	8	5816	727	33123,42857
f=0,10	8	6369	796,125	120,125
f=0,11	8	6047	755,875	4539,839286

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	19285,58333	2	9642,791667	0,765637303	0,477587	3,4668
Dentro dos grupos	264483,75	21	12594,46429			
Total	283769,3333	23				

Considere-se, neste caso, a única hipótese nula formada: o avanço NÃO influencia na vida útil dos insertos.

Ao serem analisados os valores de F e Fcrítico, tem-se os valores 0,76 e 3,46 respectivamente, portanto $F < F_{crítico}$. Logo pode-se afirmar que a hipótese nula NÃO é rejeitada, ou seja: o avanço não exerce influencia significativa na vida do insertos.

Esse último teste além de verificar a estabilidade do inserto do fabricante A, também comprova a total influencia da afiação da aresta na vida dos insertos, dentro das condições existentes.

4. CONCLUSÕES

Analisando os dados obtidos tanto nos testes preliminares como nos finais, para o fresamento de janelas de gaiolas para juntas homocinéticas automotivas confeccionadas em aço SAE 8620 endurecido, conclui-se que:

- A afiação da aresta exerce influência maior que o avanço na vida da ferramenta. Fato confirmado estatisticamente;
- A afiação de aresta feita apenas por chanfro simples (T) não é o ideal para as condições de fresamento interrompido devido à existência de “cantos vivos” no início e no final do chanfro. Este aspecto provoca fragilização da aresta de corte e gera quebra prematura do inserto;
- A afiação da aresta de corte com arredondamento (chanfro S ou “ronning”) permite uma vida mais estável, mas não direciona perfeitamente os esforços para o centro do inserto. Esta situação ocorre por causa do arredondamento não possuir um único ponto de contato, o que distribui melhor o desgaste e, ao mesmo tempo, direciona os esforços de corte para mais de um ponto além do centro da pastilha ocasionando micro fissuras que levam posteriormente a um lascamento prematuro.
- Aresta com combinação de “chanfro” e “ronning” (T+S) possui maior estabilidade no corte e, devido à combinação dessas afiações, as forças de corte são direcionadas de forma mais segura para o centro da ferramenta.
- Os insertos A, que foram afiados segundo a combinação (T+S), foram os que apresentaram os melhores resultados.

5. REFERÊNCIAS

- Abrão, A.M., Aspinwall, D.K, 1996, “Pastilhas de PCBN e cerâmica facilitam e melhoram a usinagem de materiais duros”, Máquinas e Metais, São Paulo, No.357, p. 22-28.
- Alves, M.B.M; Arruda, S.M., “Como Fazer Referências Bibliográficas”, Biblioteca Universitária – UFSC, Florianópolis.
- Alves, M.C.S., Bianchi, E.C., Aguiar, P. R., 2008, “Influencia da Velocidade de Avanço do Rebolo nos Danos de Aços Endurecidos Retificados”, Revista Matéria, Rio de Janeiro, Vol.13, No.4, pp. 636-642.
- Aneiro, F.M., Coelho, R.T., Brandão, L.C., 2008, “Turning Hardened Steel Using Coated Carbide at High Cutting Speeds”, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng., Havana, Vol.30, No.2, p.104-109.
- Bobrovnichii, M.F.G., 2006, “A Influência de Tratamento Térmico Complementar sobre a Resistência ao Desgaste de Pastilha de Nitreto Cúbico de Boro”, Revista Matéria, Rio de Janeiro, v11, No.3, pp. 238-242.
- Chiaverini, VOL., 1981, “Aços e Ferros Fundidos”, Associação Brasileira de Metais, São Paulo.
- Coughlan, P., Coghlan, D., 2002, “Action Research for Operations Management”, International Journal of Operations & Production Management, Dublin, Vol.22, No.2, pp. 220-240.
- De Melo, A.C.A., Franco, S.D., Machado, A. R., 2000, “Estudos da Formação de Trincas de Origem Térmica no Fresamentos”, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, Natal.
- Diniz, A.E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2008, “Tecnologia da usinagem dos metais”, Artliber Editora, São Paulo, 6ª Edição.
- Dolinsek, S., Kopac, J., 2006, “Mechanism and types of tool wear; particularities in advanced cutting materials”, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Ljubljana, Vol.19, No.1, pp. 11-18.
- Ferraresi, D., 1997, “Fundamentos da usinagem dos metais”, Editora Edgard Blucher, São Paulo.
- Gravalos, M.T. et al., 2007, “Efeito da Usinagem na Estrutura e Propriedades Mecânicas do Aço Superaustenítico ASTM A351 CN3MN”, Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 60(1), pp. 83-88.
- Hafiz, A.M.K, et al., 2007, “Development of Tool Life Prediction Model for PCBN Inserts During High Speed End Milling of AISI H13 Hardened Tool Steel”, Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering(ICME2007), Dhaka, Bangladesh.
- Kratochvil, R, 2004, “Fresamento de Acabamento em Altas Velocidades de Corte para Eletrodos de Grafita Industrial”, Dissertação de Mestrado – UFSC, Florianópolis.
- Lima, F., Corrêa C., 2002, “Usinagem de materiais endurecidos”, Rev. Tecnol., Fortaleza, Vol.23, No.1, p. 38-44.
- Longbottom, J.M., Lanham, J.D., 2005, “Cutting Temperature Measurement while Machining – a Review”, Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, Vol. 77, No. 2, Bristol, UK, pp. 122-130.
- Marques, D.C. et al, 2007, “Efeitos da adição de níquel em ligas de ferro-cromo. Parte: tempo de vida da ferramentas em processos de torneamento”, Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 60(1), pp. 71-74.
- Matsumoto, H., Minatogawa, J., Gallego, J., 2005, “Influência da Microestrutara na Usinabilidade dos Aços Inoxidáveis AISI 630 Com e Sem Adição de Cálcio”, Revista Matéria, vol. 10, No. 2, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 213-221.
- Momper, F. J., 2000, “Usinagem a seco de materiais endurecidos”, Máquinas e Metais, São Paulo, No.411, p. 30-37.
- Montgomery, D.C., 2001, “Design and Analysis of Experiments”, fifth edition, John Wiley & Sons, New York.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965, "An analysis of variance test for normality (complete samples)", Biometrika, 52, 3 and 4, pp. 591–611.
- Souza Júnior, A.M., 2001, “Estudo da Utilização de PCBN e Cerâmica Mista no Fresamento de Blocos de Motores de Ferro Fundido Cinzento”, Dissertação de Mestrado – PUC Minas, Belo Horizonte.
- Tönshoff, H.K., Wobker, H.G., Brandt, D., 1995, “Tribological aspects of hard turning with ceramic tools”, Journal of Society of Tribologists and Lubrification Engineers. Illinois, Vol.1, p.163-168.
- Valpassos, J.M. et al., 2007, “Sinterização de Pastilhas de Nitreto Cúbico de Boro Utilizando Como Ligantes Compostos de Titânio”, Revista Matéria, Rio de Janeiro, Vol.21, No.3, pp. 438-445.
- Voss, N.T.C., Frohlich, M., 2002, “Case Research in Operations Management”, International Journal of Operations & Production Management, London, Vol.22, No.2, pp. 195-219.
- Wanta, T., Grzesik, W., Rech, J., 2006, “Surface Integrity of Hardened Steel parts in hybrid machining operations”, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Opole, Vol.18, No.1-2, pp. 367-370.