

INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DA FERRAMENTA DE CORTE NA USINABILIDADE DO AÇO ABNT 1045

Gustavo Nascimento

Alexandre Mendes Abrão

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, 31.270-901, Belo Horizonte MG, Brasil. E-mail: abrao@vesper.demec.ufmg.br

Resumo

Este trabalho tem por objetivo principal investigar o comportamento de três pastilhas para torneamento de mesma geometria (ângulos de ponta, posição, saída e folga, além do raio de ponta), porém com formatos diferentes. São três ferramentas de metal duro revestido classe P20-P30 M15-M30, com as seguintes geometrias: ISO CNMG 120408-GN, QNMG 090408-GN e WNMG 080408-GN, com mesmo tipo de quebra-cavaco, para o mesmo tipo de operação. Foram escolhidas cinco condições de corte onde a profundidade de corte foi fixada e velocidade de corte e avanço foram variados. Avaliou-se então, a vida das três ferramentas e o acabamento superficial da peça para cada uma das cinco condições de corte. Os resultados mostraram diferenças consideráveis de comportamento entre as três pastilhas sob a mesma condição de corte. Isto sugere que a diferença de comportamento entre as pastilhas esteja ligada à diferença de formato das mesmas. Possíveis razões para os diferentes comportamentos observados são a distribuição de calor e os esforços impostos às ferramentas.

Palavras-chave: Geometria de ferramenta, Torneamento, Usinabilidade

1. INTRODUÇÃO

A geometria de corte das ferramentas utilizadas em usinagem tem influência decisiva no desempenho da ferramenta de corte. Muitos estudos já foram realizados principalmente em torneamento, fresamento e furação acerca da geometria das ferramentas e pastilhas utilizadas nestes processos, com o objetivo de se conseguir um melhor desempenho das mesmas. Estas pesquisas foram realizadas, na sua maioria, de duas formas: a forma experimental, onde basicamente, foi verificado o desempenho das ferramentas sob determinadas condições de corte, tipo de material de ferramenta e de material usinado para diferentes geometrias de pastilha e comparando os resultados obtidos. A outra forma é a analítica, onde foram propostas fórmulas que determinam modelos de geometria de ferramenta mais eficientes de acordo com as condições de trabalho a que seriam submetidas.

Em ambos os casos, experimental e analítico, é praticamente impossível prever qual a geometria é ideal para determinado caso. As variáveis envolvidas são muitas: além da geometria em si, que envolve diversos ângulos, raios, formato, presença ou não de quebra-cavaco, existem ainda as outras características que influem decisivamente no processo tais como o tipo de material de ferramenta e material usinado, a presença de revestimento nas pastilhas, além, é claro, dos parâmetros de corte. Todos estes fatores juntos afetam principalmente as forças de corte e a temperatura gerada durante o processo, sendo que estes irão determinar a vida da ferramenta.

Esta infinidade de situações resulta em uma grande variedade de estudos e pesquisas, os quais têm servido para alimentar uma forma mais recente de prever a melhor geometria de ferramenta. Esta forma é através de redes neurais. As redes neurais são alimentadas com informações originadas de pesquisas experimentais e analíticas e, através do cruzamento destas informações, ela fornece resultados para a situação proposta pelo usuário.

São vários os exemplos que podem ser citados a respeito deste tipo de pesquisa nos últimos anos. Kattan & Currie (1996) desenvolveram um estudo sobre pastilhas para torneamento onde, realizando testes experimentais segundo condições de corte idênticas, variaram o ângulo de posição de uma pastilha de metal duro revestido. As forças de corte envolvidas foram medidas e vários ângulos foram determinados para se montar o círculo de Merchant. A partir do círculo e da fórmula empírica desenvolvida por Jiang *et al.* (1984), foram criadas novas equações empíricas com base em parâmetros geométricos. Kattan *et al.* (1998) desenvolveram modelos matemáticos associados a formulações empíricas onde os dados de entrada dizem respeito a parâmetros de geometria de ferramenta, material da ferramenta, material da peça a ser usinada, condições de corte e especificações de máquina. aperfeiçoando o estudo anterior a fim de melhorar a qualidade da superfície usinada e aumentar a produtividade da ferramenta.

Modelos empíricos envolvendo geometria de corte da ferramenta também podem associar outros fatores além dos mostrados anteriormente. Lo *et al.* (1998) desenvolveram um modelo para furação onde, através do conhecimento de propriedades mecânicas e térmicas do material da broca e do material a ser usinado, a variação da geometria da broca resultou em um aumento de até 400% na vida da ferramenta.

As propriedades mecânicas do material da ferramenta e do material a ser usinado influem sensivelmente no desenvolvimento da operação de corte. As forças envolvidas no processo são relativamente altas e exigem muito principalmente da ferramenta de corte. Quanto mais altas forem as forças envolvidas na operação, maior será a carga sobre a ferramenta e menor será sua vida. A forma de saída do cavaco determina um dos componentes da força de corte, principalmente devido à área de contato cavaco-ferramenta. A modificação da geometria da ferramenta, no que se refere à saída de cavaco, faz variar o contato cavaco-ferramenta, variando assim a força de corte. Seethaler & Yellowley (1997) propuseram um modelo para torneamento oblíquo capaz de prever as forças de corte e a direção de saída do cavaco e, com base nestes dados, determinar a geometria de ferramenta que mais vai se adequar, minimizando os efeitos dessas forças.

Kuang-Hua & Chung-Shin (1995) também fizeram um trabalho de comparação entre valores experimentais e teóricos no torneamento. Desenvolveram um modelo específico para ferramenta com aresta principal de corte chanfrada onde, variando-se a geometria da ferramenta, estimava-se as forças de corte. Os valores encontrados mostraram-se consistentes quando comparados com os experimentais. Foi também observada a variação no consumo de corrente elétrica e no acabamento superficial com a geometria da ferramenta.

Um dos elementos que mais influenciam na geometria de uma ferramenta de corte é a presença e forma do quebra-cavaco. O quebra-cavaco tem grande importância na distribuição de temperatura na ferramenta e na peça e, desenvolvendo sua função de quebrar o cavaco, altera as forças de corte do processo. Mesquita & Barata Marques (1992) fizeram um estudo comparativo entre várias geometrias de quebra-cavaco, determinando aquela que propiciava as menores forças de corte ao processo. Os resultados experimentais foram comparados a um modelo onde as forças de corte eram estimadas de acordo com o tipo de geometria de quebra-cavaco, segundo várias condições de corte.

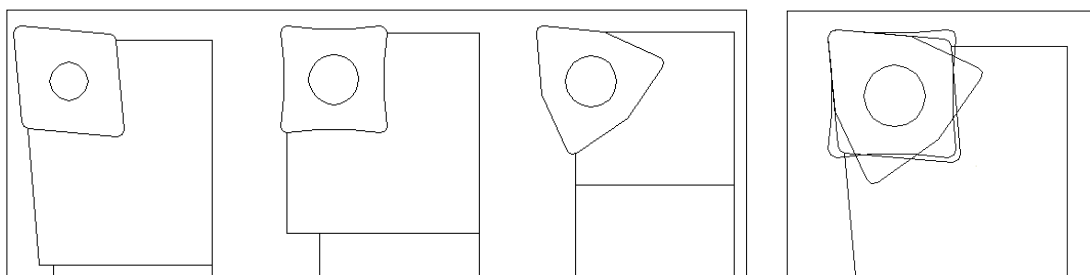
Como pode ser visto, há vários parâmetros que alteram a geometria da ferramenta e, por conseqüência, as variáveis do processo, principalmente as forças de corte. Neste trabalho, será verificada a influência do formato da pastilha no processo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental foi realizado em um torno CNC com potência de 5,5kW e rotação máxima de 3500rpm. Foi feito o torneamento contínuo a seco de barras de aço ABNT 1045 (160 HV) com ferramentas de metal duro revestido classe ISO P20-P30 M15-M30 (Iscar IC 9025). A tabela 1 apresenta a geometria das pastilhas e dos respectivos suportes porta-ferramentas. Com exceção do formato das pastilhas, os conjuntos apresentam os mesmos ângulos, a saber: ângulo de ponta $\epsilon_r=80^\circ$, ângulo de posição principal $\chi_r=95^\circ$, ângulo de saída negativo $\gamma_o=-6^\circ$, ângulo de folga $\alpha_o=6^\circ$, além do raio de ponta $r_\epsilon=0,8$ mm. A figura 1 mostra os diferentes formatos das pastilhas. Para efeito de comodidade, a pastilha WNMG 080408 – GN será chamada de W, a pastilha CNMG 120408 – GN será chamada de C e a pastilha QNMG 120408 – GN será chamada de Q.

Tabela 1. Descrição da geometria das pastilhas e do suporte porta-ferramentas

Denominação	Pastilha	Suporte
W	WNMG 080408 – GN	PWLNLR 2020K – 08
C	CNMG 120408 – GN	PCLNR 2020K – 12
Q	QNMG 120408 – GN	PQLNR 2020K – 12



a) Pastilhas C (esquerda), Q (centro) e W (direita).

b) Pastilhas sobrepostas

Figura 1. Geometria das ferramentas de corte

Em função dos diferentes formatos, as três pastilhas possuem número de arestas de corte distintos. A pastilha C possui 4 arestas de corte, a pastilha W possui 6 arestas de corte e a pastilha Q possui 8 arestas de corte. Levando-se em conta que o custo das 3 pastilhas é praticamente o mesmo, caso não houvesse influência do formato da pastilha, obviamente a pastilha Q seria a mais vantajosa economicamente e a C, a menos vantajosa. As condições de corte utilizadas neste trabalho são apresentados na tabela 2:

Tabela 2. Condições de corte utilizadas no trabalho.

Condição	Velocidade de Corte (v_c) [m/min]	Avanço (f) [mm/rev]	Profundidade de Corte (a_p) [mm]
A	340	0,16	1,0
B	380	0,16	
C	420	0,16	
D	340	0,3	
E	340	0,4	

Durante os testes, foram medidos o desgaste de flanco médio VB_B e o acabamento superficial (rugosidade média aritmética, R_a). Foi estabelecido um critério de fim de vida $VB_B=0,3\text{mm}$. Para medição do desgaste foi empregado um microscópio óptico equipado com micrômetro de resolução milesimal e para rugosidade foi utilizado um rugosímetro portátil Mitutoyo modelo Surftest 301.

3. RESULTADOS

Terminados os testes, foram levantadas as curvas de vida das ferramentas e rugosidade superficial em função do tempo de corte. A figura 2 mostra as curvas de vida, para os três formatos testados, em função da velocidade de corte ao passo que a figura 3 mostra a curva de vida em função do avanço.

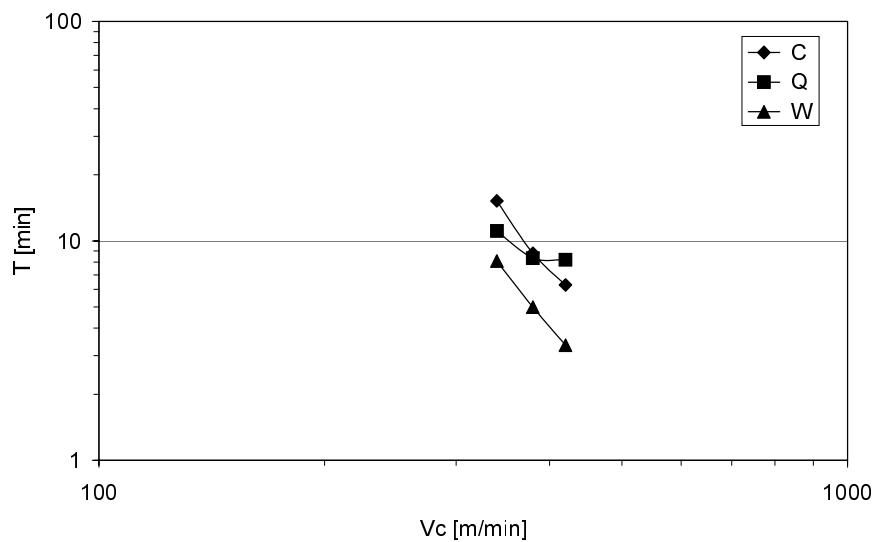


Figura 2. Curvas v-T para $f = 0,16\text{mm/rev}$ e $a_p=1\text{mm}$.

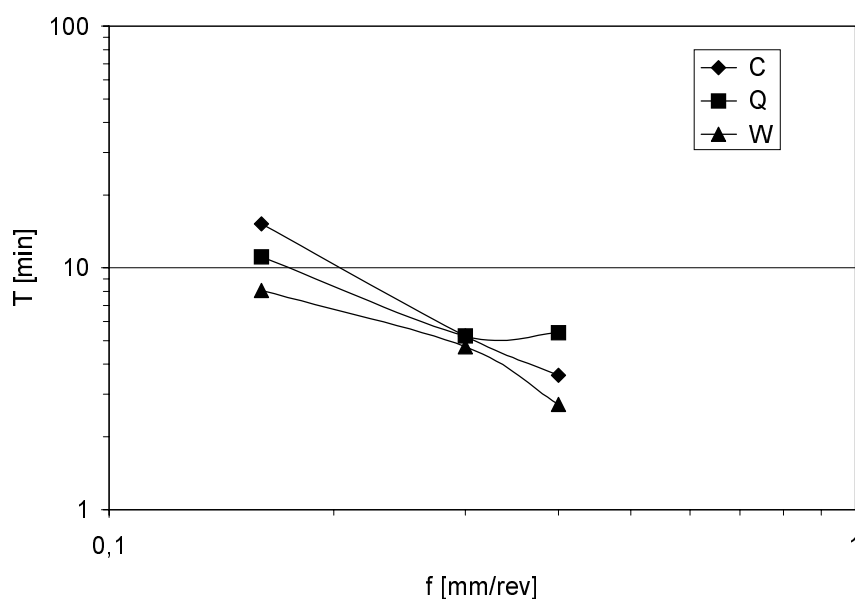


Figura 3. Curvas f-T para $v_c=340\text{ m/min}$ e $a_p=1\text{ mm}$.

Em ambos os casos mostrados nas figuras 2 e 3, nota-se que o resultado foi semelhante. Em todas as condições, a pastilha W foi a que teve pior desempenho, apresentando a menor vida. As pastilhas C e Q tiveram resultados mais próximos, sendo que a pastilha C teve vida mais longa na velocidade de corte e avanço mais baixos e a pastilha Q teve melhor desempenho nas condições de velocidade de corte e avanço mais altos.

As figuras 4 a 8 mostram os resultados obtidos para rugosidade superficial média (R_a) em função do tempo de corte, para as cinco condições de corte utilizadas no trabalho.

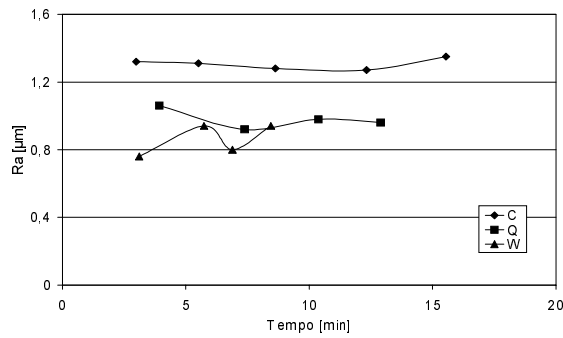


Figura 4. Rugosidade superficial média em função do tempo para $v_c=340\text{m/min}$, $f=0,16\text{mm/rev}$ e $a_p=1,0\text{mm}$.

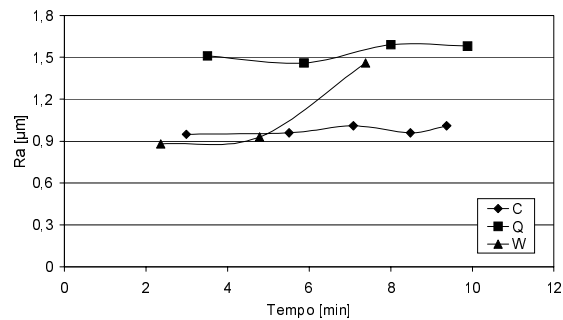


Figura 5: Rugosidade superficial média em função do tempo para $v_c=380\text{m/min}$, $f=0,16\text{mm/rev}$ e $a_p=1,0\text{mm}$.

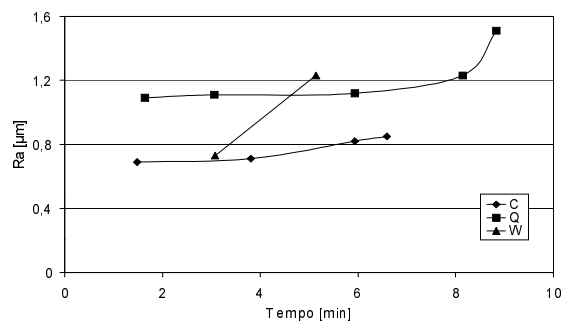


Figura 6: Rugosidade superficial média em função do tempo para $v_c=420\text{ m/min}$, $f=0,16\text{mm/rev}$ e $a_p=1,0\text{mm}$.

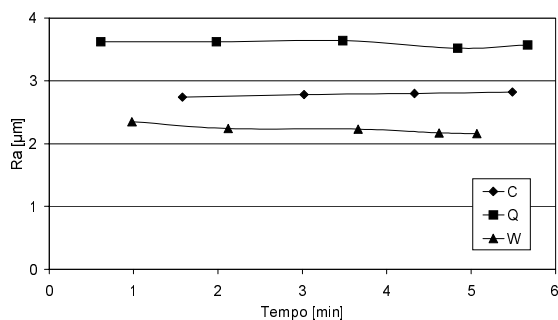


Figura 7: Rugosidade superficial média em função do tempo para $v_c=340\text{m/min}$, $f=0,30\text{mm/rev}$ e $a_p=1,0\text{mm}$.

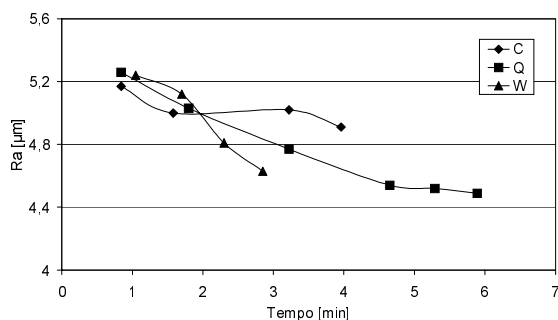


Figura 8: Rugosidade superficial média em função do tempo para $v_c=340\text{m/min}$, $f=0,40\text{ mm/rev}$ e $a_p=1,0\text{mm}$.

A situação visualizada nos gráficos das figuras acima demonstra, de forma geral, um comportamento distinto do que foi visualizado nos gráficos de vida. Comparando as figuras 4, 5 e 6 observa-se que a utilização da pastilha W promove um R_a inicialmente baixo, mas com uma piora acentuada ao longo do tempo de corte. Já a pastilha C apresentou um comportamento mais estável (assim com a pastilha Q), com uma ligeira queda nos valores de R_a à medida em que a velocidade de corte foi elevada. A figura 7 indica valores constantes para as três geometrias, com a pastilha W produzindo um acabamento de melhor qualidade. Já a figura 8 apresenta uma queda acentuada em R_a para as três ferramentas com o decorrer da operação de corte.

4. DISCUSSÃO

Para todas as condições testadas, a pastilha W foi a que mais rapidamente chegou ao fim de vida. Por outro lado, as pastilhas C e Q tiveram comportamentos diferentes dependendo da condição às quais estavam submetidas. Para velocidades de corte ou avanços mais altos, a pastilha Q obteve uma vida mais longa, ao passo que nas condições mais brandas (velocidades mais baixas associadas avanços mais baixos) a pastilha C comportou-se melhor. Em condições mais severas, onde as temperaturas são mais altas e a transferência de calor é mais intensa, a aproximação maior que existe entre a peça e a ferramenta no caso da pastilha Q, pode ter contribuído para abreviar sua vida. Influência esta que pode não ter sido tão significativa no caso de condições mais brandas.

Os resultados referentes ao acabamento superficial não acompanharam a tendência observada nos resultados de desgaste de flanco. De uma forma geral, a pastilha W produziu a menor rugosidade superficial na peça usinada. Este resultado não surpreende pois sabe-se que a aresta de corte de uma ferramenta passa por um período de acomodação, fazendo com que,

num primeiro instante, a superfície produzida tenha uma rugosidade relativamente alta, num segundo momento esta rugosidade diminua (acomodação), e num terceiro momento, onde a aresta já possui um desgaste considerável, a rugosidade cresça acentuadamente. O valor de desgaste de flanco determinado para o fim de vida nestes testes ($VB_B=0,3$ mm) não é necessariamente o momento em que a pastilha entra no terceiro instante acima classificado. Pode-se verificar este comportamento numa breve análise nos gráficos acima. Em todas as condições experimentadas neste trabalho, todas as vezes em que o fim de vida foi determinado por valores pouco acima de $VB_B=0,3$ mm, os valores de rugosidade correspondentes foram iguais ou melhores que os valores iniciais, ao passo que, quando houve um crescimento abrupto do desgaste de flanco, acompanhou-se de um crescimento associado da rugosidade. Isto sugere que a pastilha W entrou no segundo instante mais rapidamente do que as outras duas pastilhas e nele permaneceu até o fim de sua vida na maior parte dos casos. Da mesma forma que a pastilha W foi a que obteve os melhores resultados com relação a acabamento, as pastilhas Q e C também obtiveram resultados opostos aos de desgaste de flanco. A pastilha C provocou um acabamento melhor que o da pastilha Q nas condições de extremo, que por sua vez produziu rugosidade superficial menor nas condições intermediárias (exceção feita à condição mencionada na figura 8 onde o comportamento das três pastilhas variou com o tempo). De um modo geral, as curvas de desgaste contra rugosidade (não apresentadas no presente trabalho) indicam uma tendência de melhoria no acabamento para baixas taxas de desgaste de flanco.

Embora não conclusivos e indicando a necessidade de testes adicionais, os resultados obtidos neste trabalho mostram que apesar de as três pastilhas terem a mesma geometria na aresta de corte, o resultado final é diferente. Várias explicações podem existir para tal fato. A geometria diferente das três pastilhas faz com que, por exemplo, a forma com que a vibração da ferramenta atue durante o processo ocorra diferentemente em cada um dos casos, afinal, a frequência natural do conjunto muda em função da geometria. Outra possibilidade seria a distribuição de esforços e tensões na ferramenta. Apesar da mesma geometria na região de corte levar a crer que as forças de usinagem sejam semelhantes, e que portanto a distribuição de tensões não seja alterada significativamente, essa distribuição pode ocorrer de formas distintas devido aos diferentes formatos.

Uma terceira justificativa seria a distribuição de calor e temperatura ao longo da pastilha, que provavelmente ocorre de maneira diferente nas três ferramentas. Observando-se a figura 1b), pode-se notar claramente que a pastilha que mais se sobressai com relação à forma é a pastilha W, ao passo que as pastilhas Q e C possuem formas semelhantes. Isto poderia explicar os resultados semelhantes entre as pastilhas C e Q, pois esta semelhança faz supor que a distribuição de temperatura ao longo de ambas as pastilhas também seja similar, fazendo com que o desempenho de ambas seja parecido, ao passo que, como a distribuição de temperatura na pastilha W ocorre de forma distinta, a operação de corte também vai gerar resultados diferenciados.

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas a partir deste trabalho são as seguintes:

- durante o torneamento a seco do aço ABNT 1045 com ferramentas de metal duro revestido, observou-se que assim como vários outros elementos da geometria da ferramenta de corte, o formato da pastilha também afeta o seu desempenho;
- numa comparação entre as pastilhas de geometria C, Q e W, as duas primeiras apresentaram resultados semelhantes, enquanto a terceira promoveu resultados distintos (menor vida de ferramenta e rugosidade superficial ligeiramente menor).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ISCAR do Brasil, na pessoa do Eng. Leonel Croce Júnior, pelas ferramentas de corte; à ACESITA - Aços Especiais Itabira, na pessoa da Sra. Yolanda Orozco, pelo aço ABNT 1045 e ao Instituto Euvaldo Lodi (IEL/FIEMG), pela concessão da bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Jiang, C. Y., Zhang, Y. Z. and Chi, Z. J., 1984, “Experimental Research of the Chip Flow Direction and Its application to the Chip Control”, *Annals of CIRP*, Vol. 33, pp. 81-84.
- Kattan, I.A. and Currie, K.R., 1996, ”Developing New Trends of Cutting Tool Geometry”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 61, pp. 231-237.
- Kattan, I. A. Venkatesh, V. C. and K. R. Currie, 1998, “A Comparative Study Of the Effect of Cutting Tool Geometry on Machining Parameters”, *International Journal of Production Research*, Vol. 36(4), pp. 909-938.
- Kuang-Hua Fuh and Chung-Shin Chang, 1995, “Prediction of the Cutting Forces for Chamfered Main Cutting Edge Tools”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 35(11), pp. 1559-1586.
- Lo, H.W., Kaldor, S. and Venuvinod, P.K., 1997, “A *Broad-Brush* Approach to the Selection of General Purpose Cutting Tool Geometry for Maximum Tool Life”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 38(1-2), pp. 1-14.
- Mesquita, R.M.D. and Barata Marques, M.J.M., 1992, “Effect of Chip-breaker Geometries on Cutting Forces”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 31, pp.317-325.
- Seethaler, R. J. and Yellowley, I., 1997, “An Upper-Bound Cutting Model for Oblique Cutting Tools with a Nose Radius”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 37(2), pp. 119-134.