



ESTUDO DO MÉTODO DE APLICAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO

Rodrigo Daun Monici¹, Eduardo Carlos Bianchi², Jefferson Roberto de Freitas³

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Mecânica

(1) daun@bauru.unesp.br, (2) bianchi@bauru.unesp.br, (3) jfferson@hotmail.com - Bauru, SP, Brasil

Paulo Roberto de Aguiar

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Elétrica

aguiarpr@bauru.unesp.br - Bauru, SP, Brasil

***Resumo.** Com a globalização do mercado mundial, grandes exigências, no que tange a qualidade e precisão de peças produzidas, são pré-requisitos necessários para o reconhecimento e desenvolvimento no setor industrial. Além de tais exigências, estão surgindo novos conceitos, como a usinagem com mínima quantidade de fluido de corte, pois tais fluidos representam grande parcela do custo final da peça, devido gastos com a manutenção e descarte. Um dos principais fatores que influenciam no estado final da peça usinada, além das condições de usinagem, é a forma e a quantidade de aplicação dos fluidos de corte no processo. Assim nesse trabalho pretende-se apresentar uma revisão literária das diversas formas de aplicação e seus principais efeitos quanto à algumas variáveis envolvidas nesse processo, além de apresentar os principais tipos de fluido de corte utilizados nas indústrias e suas respectivas aplicações no mercado.*

***Palavras-Chave:** Retificação, Fluidos de Corte, Rebolo.*

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico pelo qual vem passando diversos países, indica um considerável crescimento na economia mundial, necessitando-se que as empresas e seus respectivos produtos sejam elaborados a um baixo custo e com excelente qualidade superficial. Com o crescimento da utilização do processo de retificação, as indústrias estão utilizando, maiores volumes de fluido de corte, porém o tratamento e disposição (descarte) são processos caros e ilegais quando não de acordo com a Legislação Ambiental Brasileira. Dessa forma esse trabalho pretende explorar o conceito da utilização e aplicação dos fluidos de corte no processo de retificação. Para tanto, torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas e metodologia própria, de forma a se obter resultados positivos quando comparados com os métodos convencionais.

De acordo com Novaski e Dörr (1999), a usinagem com a utilização da mínima quantidade de refrigeração (MQR), vem sendo um assunto abordado freqüentemente por vários ramos da indústria. Os custos com refrigeração apresentam, em média, 17% dos custos

de manufatura, representando um valor expressivo comparado aos gastos destinados à ferramenta que apresenta, em média, de 2% a 4%, além dos gastos adicionais de manutenção do sistema e separação do cavaco do fluido de corte para uma posterior refundição. Um outro aspecto que deve ser levado em consideração é o da ausência do fluido de corte, que possui sua função positiva nos processos, pois é responsável pela refrigeração do sistema, lubrificação e auxilia na expulsão do cavaco da região de corte.

Alguns pré-requisitos básicos são necessários aos fluidos de corte, sendo que a lubrificação é a responsável pela diminuição do atrito da ferramenta com a peça, proporcionando como consequência uma menor geração de calor e redução da força de corte. Um outro pré-requisito é o poder de refrigeração apresentado pelo fluido de corte, impedindo que a peça atinja temperaturas elevadas a ponto de causar-lhe algum dano térmico. Além disso, o fluido de corte facilita a remoção de cavacos gerados na zona de contato ferramenta/peça, prevenindo um possível contato entre os grãos abrasivos e os cavacos gerados.

Na figura 1 são apresentadas as principais funções que os fluidos de corte devem apresentar no processo de retificação. Nessa figura pode-se identificar quais as características que um determinado fluido de corte deve apresentar para sua utilização no processo de retificação. Os fluidos a base de água tem como característica fundamental a retirada de calor da peça, já os óleos integrais tem ação predominantemente lubrificante.

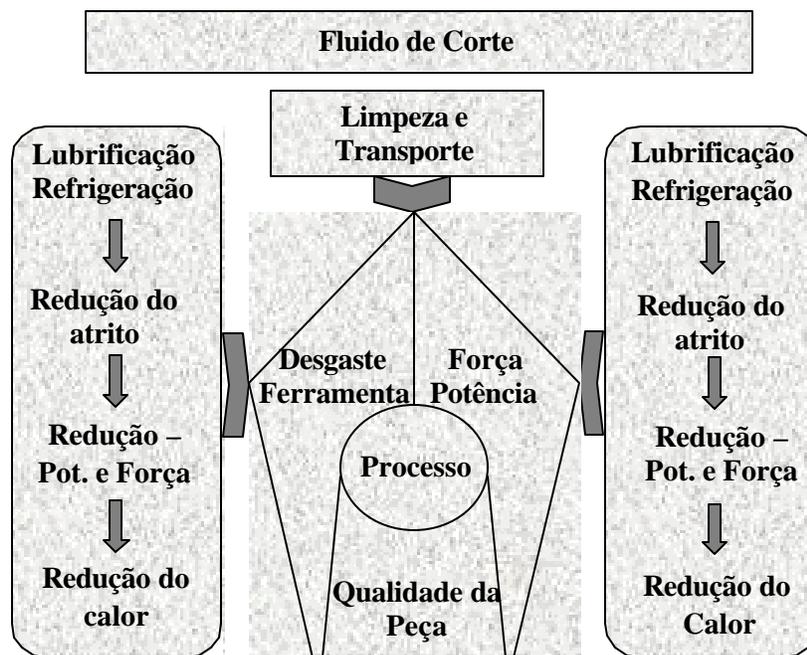


Figura 1 - Funções do fluido de corte no processo de retificação (Minke, 1999).

Nesse trabalho, serão destacados alguns pesquisadores relacionados à aplicação dos fluidos de corte no processo de retificação, obtendo resultados de muita importância no meio industrial gerando assim subsídios para a otimização do processo. Nesse trabalho serão apresentados conceitos e resultados obtidos, com o objetivo de reunir um grande número de informações.

2. CONCEITO E ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE

Segundo Ebbrell et al. (1999), os benefícios obtidos com a utilização do fluido de corte são a capacidade de refrigeração, lubrificação e remoção do cavaco gerado, porém a sua utilização é feita de forma inadequada. Um exemplo dessa má utilização é a dispersão de fluido no momento da usinagem, resultando em grandes perdas. A lubrificação e a refrigeração dependem da efetiva entrada de fluido na região de corte, não havendo a necessidade de volumes elevados de fluido, mesmo que parte deste não esteja penetrando na região de corte efetivamente. Porém, o tipo e o posicionamento do bocal exercem grande influência no processo de corte.

A figura 2, ilustra o efeito do posicionamento do bocal com relação à peça e à ferramenta na rugosidade média (R_a) da peça.

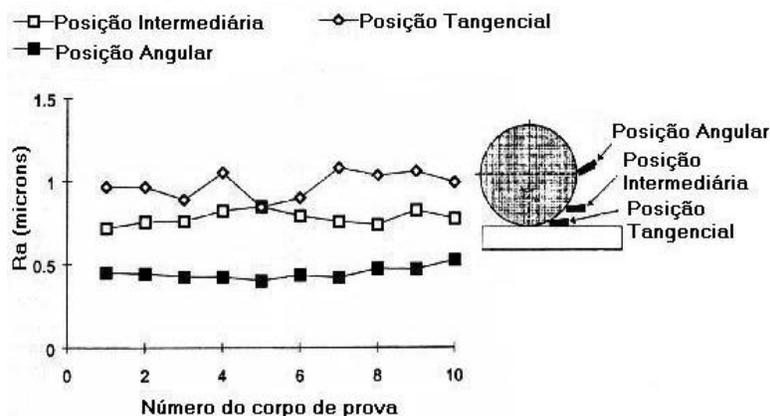


Figura 2 - Efeito do posicionamento do bocal com relação à rugosidade (Ebbrell et al, 1999).

Através da figura 2 pode-se notar o efeito do posicionamento do bocal com relação à rugosidade média da peça, sendo que a posição angular promoveu uma rugosidade menor, devido a não lubrificação/refrigeração efetiva dos grãos abrasivos da ferramenta, os quais se renovaram constantemente por grãos abrasivos afiados permitindo assim um melhor acabamento superficial, o que ocasiona um maior desgaste diametral da ferramenta. O fenômeno contrário pode ser observado quando do posicionamento do bocal de forma tangencial, onde houve uma melhor lubrificação/refrigeração permitindo que os grãos abrasivos permaneçam por mais tempo preso ao ligante ocasionando menor desgaste da ferramenta, solicitação térmica e valores de tensão residual.

Segundo Webster et al. (1995), um jato de fluido incidindo de forma direta sobre a região de corte é capaz de reduzir de forma significativa a temperatura na região de corte, porém altas velocidades do jato de fluido são necessárias para a penetração do fluido de maneira efetiva, na região de corte. Através da utilização de um bocal de formato circular, foi constatada a redução acentuada da temperatura na região de corte, quando comparado com o jato convencional, o qual é realizado de forma dispersa e com baixa velocidade, proporcionado pelas características construtivas do bocal e sistema da máquina. Foi comprovado também que o ângulo de incidência do jato, conforme figura 2, na região de corte não altera de maneira significativa a refrigeração da peça, porém a velocidade periférica da ferramenta com relação ao jato é muito significativo no processo de refrigeração da peça.

Ainda segundo Webster, et al. (1999), grandes volumes de fluido de corte estão se tornando necessários, devido ao crescimento da produtividade das indústrias e ao crescimento da utilização do processo. Certo cuidado deve ser tomado com a utilização dos fluidos de corte a base de água, quando comparados com os fluidos a base de óleo, pois os primeiros possuem uma pequena densidade, ocorrendo assim, no momento de sua utilização, grande

dispersão quando se utiliza os bocais convencionais. Dessa forma, com a necessidade de grandes quantidades de fluido de corte, para compensar a perda por dispersão, faz-se necessário a adoção de máquinas de grande porte, com enormes reservatórios de fluido de corte, unidades de refrigeração e bombas de alta potência. Um outro problema que deve ser analisado é a barreira de ar existente entre o bocal e a peça que deve ser vencida pelo fluido de corte, ocasionando a dispersão do mesmo durante sua penetração na região de corte, fazendo-se novamente necessário, a utilização de um bocal eficiente para evitar tal ocorrência. Deve ser levado em consideração o formato dos bocais durante a entrada e saída do fluido, bem como as superfícies internas, sendo que as superfícies geométricas côncavas apresentam um melhor efeito, pois estas tendem a aproximar as lâminas de fluido que se formam no interior do bocal. Isso diminui o efeito de turbulência do fluido de corte, ao contrário dos bocais com superfície convexa, cuja tendência é de separar as lâminas de fluido formadas no interior do mesmo, aumentando o efeito de turbulência. Um outro aspecto muito importante no desenvolvimento do bocal são os cantos próximos a abertura de saída, como apresentado na figura 3. Essa figura ilustra o bocal circular utilizado por Webster e um bocal tradicional muito utilizado.

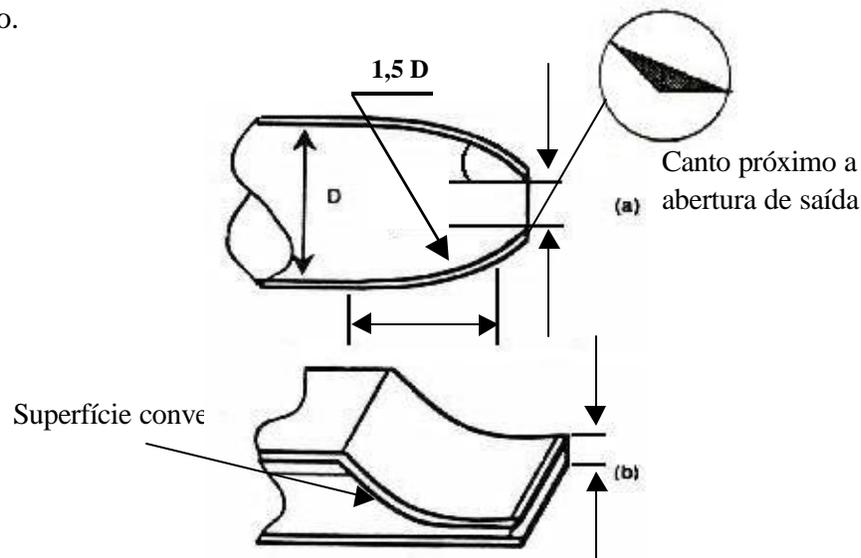


Figura 3 – Formas de bocais de refrigeração (Webster, 1995).

Segundo pesquisa realizada por Webster (1995), a velocidade com que o fluido penetra na região de corte deve minimizar os possíveis impactos fluido/ferramenta durante a penetração do mesmo na região de corte. Isto foi verificado quando a velocidade do fluido é igual à velocidade periférica do rebolo (relação unitária de velocidades). Neste caso, o fluido tende a penetrar na região de corte, com a mesma velocidade do grão abrasivo, não havendo assim interferências significativas por parte do grão abrasivo durante a remoção de material.

Segundo Rouse et al. apud Webster (1995), um bocal de forma circular (figura 3-a) tende a minimizar a ocorrência de turbulência dentro do mesmo, que é gerada por dois motivos básicos: a ocorrência da turbulência propriamente dita dentro do bocal devido à velocidade de penetração do mesmo e a ocorrência da turbulência no momento da saída devido ao canto vivo da abertura de saída do fluido de corte do bocal.

O bocais tradicionais, geralmente de forma retangular, apresentam uma ou duas superfícies convexas, como ilustrado na figura 3-b, que ocasionam uma queda na pressão e aumento da turbulência. Ao contrário o bocal de forma circular, figura 3-a, possui superfície côncava que minimiza a ocorrência da queda de pressão e a turbulência ocasionada durante a passagem e saída do fluido de corte do bocal.

Segundo Minke (1999), a taxa de geração de calor ocorrida durante o processo de retificação é reduzida pela ação direta dos fluidos de corte, de maneira decisiva para a não ocorrência de danos térmicos superficiais à peça. Além da refrigeração os fluidos de corte contribuem também para a lubrificação da peça, agindo de maneira decisiva à integridade superficial.

Segundo Minke (1999), os elevados atritos gerados durante o processo de retificação é um fator de extrema importância para contribuir com o estado final da peça usinada; assim o desenvolvimento de fluidos com maior capacidade de redução de atrito, pela efetiva lubrificação da zona de retificação, é fundamental para a viabilidade econômica e ecológica.

Segundo Blenkowski (1993), os fluidos de corte apresentam-se divididos em quatro grupos básicos: óleo integral, óleos solúveis e formadores de emulsões, fluidos semi-sintéticos e fluidos sintéticos. Cada classe é definida em função da quantidade de óleo presente. O óleo pode ser mineral ou sintético. Óleos minerais são constituídos de hidrocarbonetos de bases parafínicas ou naftênicas, refinadas a partir de óleo mineral cru. A sua maior função é servir de base para as misturas e aditivação, devendo ser severamente hidrogenados a fim de destruir a maioria dos aromáticos policíclicos, os quais são cancerígenos. Por outro lado os sintéticos são constituídos em sua maioria de poliglicóis ou ésteres.

Na tabela 1 são apresentados os principais tipos de fluido em função de sua composição.

Tabela 1 - Propriedades de lubrificação e refrigeração dos mais comuns tipos de fluido de corte em retificação (Bennett, sd).

	Refrigeração	Lubrificação
Óleo	Fraca	Excelente
Água - Óleo Solúvel (Emulsão)	De Muito Boa a Boa	De Muito Boa a Boa
Semi – Sintético	Muito Boa	Boa
Sintético (Solução)	Excelente	Fraca

Segundo Bennett (sd-sem registro de data), fluidos a base de óleo contém menor capacidade de dissipação de calor, ou seja, os produtos a base de óleo não são capazes de refrigerar a peça efetivamente, causando elevada geração de calor no processo e criando condições desfavoráveis ao estado final da peça. A utilização de fluidos à base de óleo com ferramentas superabrasivas (CBN), mostraram-se satisfatórios pois os rebolos de CBN possuem a característica de resistirem à elevadas temperaturas além de dissiparem o calor com maior facilidade.

Ainda segundo Bennett (sd), experiências com a utilização de rebolos de CBN mostraram que os fluidos de corte a base de óleo, são mais indicados para altas taxas de remoção de materiais, porém para médias e baixas taxas de remoção obteve-se a indicação de óleos sintéticos ou óleos solúveis. Dessa forma, fica clara a necessidade do desenvolvimento tecnológico de novas tendências quanto a criação de novas formulações e métodos de aplicação à respeito de tais fluidos.

Segundo Torrance (sd) e Hitchiner (1990) o fluido de corte pode facilitar a remoção de material, atuando em dois fatores:

- Na manutenção da afiação do rebolo: através da diminuição do desgaste do topo do grão e pela manutenção da limpeza na região de corte.

- No coeficiente de atrito: A diminuição do coeficiente de atrito entre o grão e a peça diminui o calor gerado pelo deslizamento destes grãos na peça. Isto traz dois benefícios: maior facilidade de dissipação de energia, a qual é gerada em menor quantidade, pelo

favorecimento do corte e a melhoria da qualidade superficial com valores menores de rugosidade.

Os diversos tipos de fluidos de corte agem no material de modo a permitir a lubrificação e refrigeração da peça durante o processo, no entanto alguns fluidos possuem uma das características citadas anteriormente de forma mais acentuada. Assim é interessante a utilização de ferramentas que apresentem elevada condutibilidade térmica, para facilitar a dissipação de calor e consequentemente a diminuição da temperatura ao longo do processo. O rebolo de CBN apresenta condutibilidade térmica cerca de 40 vezes superior à condutibilidade térmica do rebolo de óxido de alumínio. Portanto o rebolo de CBN, apresenta uma maior dissipação de calor e consequentemente menor geração de calor e temperatura ocasionando menores solicitações térmicas no material.

Além da rugosidade, como citado anteriormente, outra variável que sofre grande influência com a utilização dos fluidos de corte é a tensão residual introduzida na peça após sua retificação. As tensões residuais podem ser basicamente de compressão ou de tração; as tensões residuais de tração são ocasionadas quando se atingiu no material elevadas temperaturas, podendo-se alcançar às vezes as temperaturas de austenitização do material.

Na figura 4 é apresentado um gráfico que ilustra o comportamento da tensão residual em operação de retificação na superfície da peça. Através dessa figura pode-se visualizar que foram utilizadas três condições de usinagem, sendo uma severa, sem a utilização de fluido de corte, uma convencional com a utilização de uma emulsão (proporção 1:20) e uma condição suave de usinagem usando óleo sulfuroso, com baixa velocidade de corte. Assim pode-se verificar que para a condição severa de usinagem elevadas tensões de tração foram geradas na superfície do material, devido às altas temperaturas envolvidas no processo. Para a condição convencional de refrigeração com óleo emulsionável (1:20), as tensões geradas na superfície do material apresentaram-se menores, pois com o efeito do fluido refrigerante as temperaturas envolvidas no processo foram inferiores. Para a condição suave de usinagem, pôde-se verificar que devido a baixa velocidade da ferramenta e o emprego do fluido de corte (óleo sulfuroso) as tensões envolvidas foram de compressão próximas a superfícies do material, devido a não ocorrência de elevadas temperaturas que levassem ao aparecimento de tensões residuais de tração na peça.

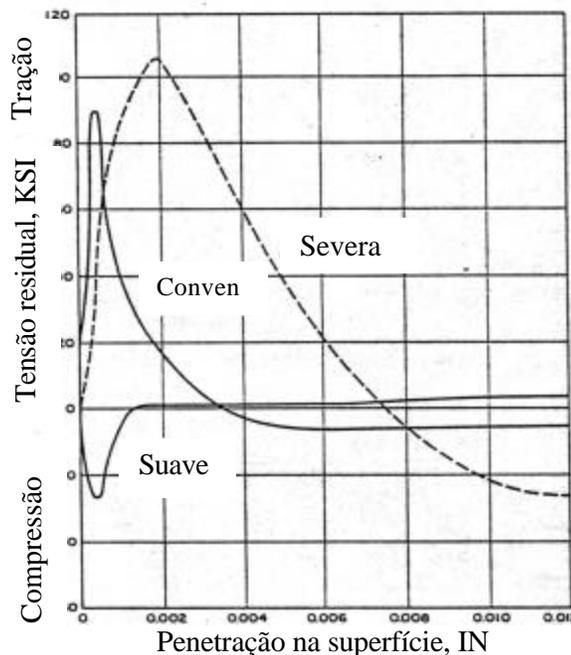


Figura 4 - Distribuição de Tensões residuais ocorridas após retificação através de condições suaves e severas em aços endurecidos. (SAE J784a).

Segundo Johnson (sd), os rebolos de CBN, além de apresentarem maior condutibilidade térmica de seus grãos abrasivos, quando comparados aos grãos de óxido de alumínio, sofrem menor desgaste dimensional após a estabilização da ferramenta, gerando com isso, menor força tangencial de corte, menor geração de calor, menor partição da energia gerada para a peça ($\epsilon = 20\%$) (Kohli, Guo e Malkin, 1995), o que facilita o controle dimensional da peça, permitindo assegurar a integridade superficial do componente usinado. Testes realizados, segundo Johnson (sd), mostraram que as tensões residuais obtidas, quando da utilização de rebolos de CBN e diamantados, foram predominantemente de compressão, enquanto que rebolos convencionais, tendem a propiciar tensões residuais de tração.

Os óleos integrais proporcionam menores forças de retificação, devido ao seu maior poder lubrificante, permitindo a diminuição do coeficiente de atrito e a manutenção da afiação da ferramenta e gerando menores temperaturas na região de corte (Torrance, sd).

Além das propriedades lubrificantes, a capacidade de remoção de calor de um fluido de corte também é importante. No caso da retificação de aços temperados, estes são melhor retificados quando da utilização de óleos integrais Torrance (sd). Estes aços são sensíveis ao incremento das tensões envolvidas, devido às tensões oriundas do processo de têmpera, sendo que as temperaturas atingidas na retificação e a taxa de resfriamento empregada pelo fluido de corte, pode levar ao incremento destas tensões, ocasionando a ruptura frágil do material. A utilização dos óleos integrais diminuem a energia gerada no processo e as taxas de resfriamento, favorecendo a sua utilização nos casos de materiais temperados.

3. CONCLUSÕES

As considerações desenvolvidas e discutidas nesse trabalho, teve como objetivo a realização de exposição de informações que possuem grande significado no meio industrial, procurando evidenciar novos métodos de aplicação dos fluidos de corte utilizados, além de sua utilização com as ferramentas que permitam um melhor desempenho desses fluidos no processo. Em geral observou-se que os fluidos de corte à base de água (emulsão) possui um elevado efeito de refrigeração, porém tal fluido não gera valores razoáveis com relação ao acabamento superficial da peça. Os óleos integrais apresentam-se excelentes na usinagem de peças, com elevada qualidade superficial, porém não são capazes de retirar calor da peça de maneira efetiva como no caso da emulsão.

As ferramentas a serem empregadas no processo devem possuir características que combinadas com os fluidos de corte gerem um excelente par fluido/ferramenta com relação a geração de calor e temperatura, assim de acordo com a indicação sugerida, o par CBN/óleo integral e óxido de alumínio/emulsão para o processo, com relação a esses parâmetros, são os mais indicados pelas característica dissipativas de calor do fluido e da ferramenta, citados anteriormente.

O método de aplicação do fluido de corte também possui grande influência, pois fluidos de corte aplicados à uma mesma velocidade que a ferramenta apresentaram melhores acabamentos superficiais quando comparados com bocais convencionais que aplicam o fluido de corte de maneira disforme, não penetrando efetivamente na região de corte, não gerando portanto a refrigeração/lubrificação na região de corte entre ferramenta/peça.

Os estudos com fluido de corte, estão se tornando cada vez mais expressivos no mundo todo, pelo seu elevado custo no processo e seu descarte, assim através das metodologias propostas nesse trabalho estima-se que o meio industrial possa usá-las com o intuito de melhorar seu processo de fabricação e propor novas pesquisas na área.

REFERÊNCIAS

- Bennett, B. "Cutting Fluids and Superabrasives Applications", Cincinnati Milacron, AES Magazine, p-12.
- Blenkowski, K., "Coolants and lubricants; Parte 1 – The truth", Manufacturing Engineering, SME, p. 90-96, março de 1993.
- Ebbrell, S., Woolley, N.H., Tridimas, Y.D., Allanson, D.R., Rowe, W.B. "The effects of cutting fluid application methods on the grinding process" International Journal of Machine Tools & Manufacture, School of Engineering, Liverpool John Moores University, Liverpool L3 3AF, UK., 8 June 1999.
- Hitchiner, M. P. "Precision Grinding Systems for Production Grinding with Vitrified CBN" *SME Technical Paper MR90-507*, 1990, p 1-11.
- Johnson, G. A. "Beneficial Compressive Residual Stress Resulting from CBN Grinding" *SME Second International Grinding Conference*, Philadelphia, Pennsylvania.
- Kohli S.P., Guo, C.; Malkin, S. "Energy Partition for Grinding with Aluminum Oxide and CBN Abrasive Wheels". *ASME Journal of Engineering for industry*, Vol. 117, 1995, p. 160-168.
- Minke, E. "Contribution to the Role of Coolants on Grinding Process and Work Results" 3rd International Machining & Grinding Conference, October 4-7 of 1999, Westin Hotel * Cincinnati, Ohio.
- Motta, M. F., Machado A. R. "Fluidos de corte: tipos, funções ,seleção, métodos de aplicação e manutenção". *Revista Máquinas e Metais*, p. 44-56, setembro de 1995.
- Runge, P. R. F., Duarte, G. N. "Lubrificantes nas indústrias – Produção, manutenção e controle" *Triboconcept – Edições Técnicas*, p. 71-99, 1990.
- SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. "Residual stress measurement by X-Ray diffraction - SAEJ784a". Two Pennsylvania Plaza, N.Y., N.Y. 10001, 1971, p. 3-11.
- Torrance, A. A. "Cooling and Metalurgic Effects" University of Bristol, Inglaterra, p. 1-5.
- Webster, J., Cui, C., Mindek JR., R.B. "Grinding Fluid Application System Design" *Annals of the CIRP*, Vol. 44/1/1995.
- Webster, J. "Optimizing coolant application systems for high productivity grinding" *ABRASIVES Magazine*, October/November de 1999.
- Webster, J., 1995, "Selection of coolant type and application technique in grinding". *Supergrind*, p. 205-218.
- Webster, J., Cui, C. "Flow Rate and Jet Velocity Determination for Design of a Grinding Cooling System" *presented at 1st International Machining & Grinding conference*, September 12-14, 1995, Dearborn, MI.

THE ANALYSE OF THE APPLICATION METHOD OF CUTTING FLUIDS ON GRINDING PROCESS

Abstract. *The grinding is a production process in development in the industrial sector, mainly on grinding sectors that need larger dimensional precision, superficial quality and spending. It also happens a larger demand on the quality of produced workpieces because the rational use of resources decreases the costs of the process in general. This paper presents a study of the application forms of cutting fluid on the surface grinding and its consequences. This article shows the use of MQL (Minimal Quantity Lubrication) and nozzle design how cooling in the grinding process.*

Keywords: *Grinding, Cutting Fluid, Cooling*