

MONITORAMENTO DO PROCESSO DE LAPIDAÇÃO PLANA EMPREGANDO SENSOR DE EMISSÃO ACÚSTICA ROTACIONAL

Walter Lindolfo Weingaertner, Prof. Dr.-Ing. ¹

Joel Martins Crichigno Filho, Dr.-Ing. ¹

Peter Wiesner, Prof. Dr.-Ing. habil ²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica Laboratório de Mecânica de Precisão - LMP, Campus Universitário - Trindade C. P.: 476 - CEP: 88.010-970 - Florianópolis – SC, Brasil. E-mail: Imp@Imp.ufsc.br

² Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet Fertigungstechnik PF 10 05 65 D - 98684 Ilmenau, Alemanha. E-mail: peter.wiesner@maschinenbau.tu-ilmenau.de

Resumo

Na lapidação, a reprodutibilidade dos resultados de trabalho depende fortemente da experiência do operador. Para se atingir a precisão requerida, o processo deve ser interrompido várias vezes para a medição dos resultados de trabalho. Se ocorrer algum desvio dos resultados previamente calculados, alguns parâmetros do processo devem ser ajustados. Sendo que a este procedimento está associado um longo tempo secundário. Aplicando-se o monitorando do processo, o operador terá a informação do momento em que ocorrerá um desvio. Para isso é proposta neste artigo uma estratégia de monitoramento utilizando-se a emissão acústica gerada durante a lapidação, captada por um sensor de emissão acústica rotacional posicionado no centro do disco de lapidação. Foi observado que mudanças na curva de emissão acústica podem ser relacionadas com o desvio dos resultados de trabalho desejados.

Palavras chaves: Lapidação, Monitoramento de Processos, Emissão Acústica

1. INTRODUÇÃO

A lapidação é um processo de fabricação de precisão, na qual são obtidas peças com alta qualidade superficial em conjunto com precisão de forma e tolerâncias dimensionais apertadas (König, 1996). Do ponto de vista das características da máquina-ferramenta e da operação, a lapidação é um processo de fácil executabilidade. Entretanto, o domínio e a otimização dos parâmetros influentes é uma tarefa dispendiosa, devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo (Zeiss, 1975). A reprodutibilidade dos resultados de trabalho depende da experiência do operador e é influenciada por fatores que levam à variação das condições de trabalho na fenda de lapidação, mesmo mantendo constante os parâmetros de entrada do processo. Os principais fatores que levam ao desvio dos resultados de trabalho estão relacionados à mudanças das condições do ambiente de trabalho (temperatura, grau de limpeza), à variação das características das peças (sobremetal, rugosidade inicial), ao operador (erro no ajuste dos parâmetros) e às condições do processo (erro de planicidade do disco, variação da quantidade de meio de lapidação) durante a produção, figura 1 (Crichigno, 1999).

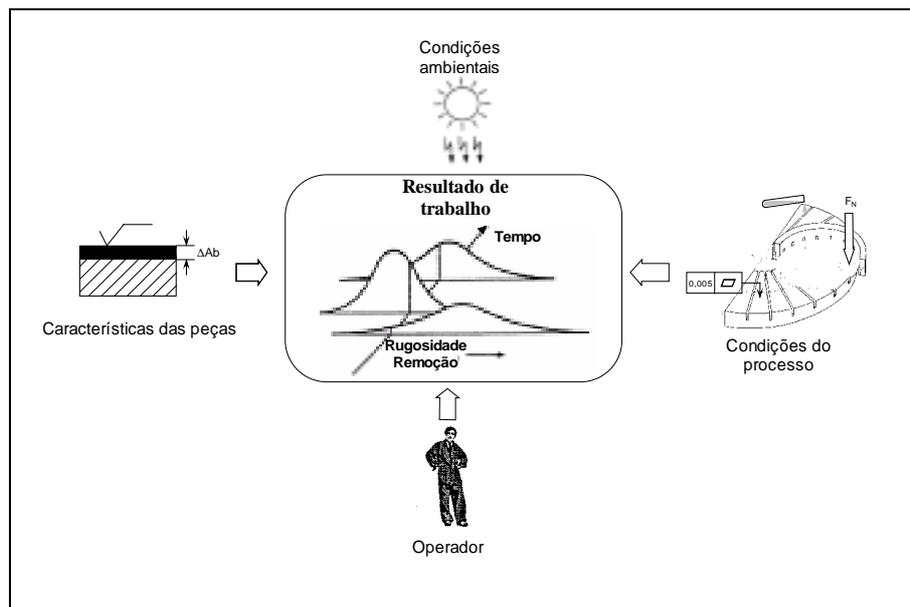


Figura 1. Fatores influentes na reprodutibilidade dos resultados de trabalho

Na prática, os resultados do processo são dependentes da experiência do operador, onde o tempo de lapidação é utilizado como um dos principais parâmetros de controle para se alcançar a remoção e a rugosidade desejada. Durante sua execução, o processo é interrompido várias vezes, para a medição da remoção e da rugosidade. Se houver o desvio dos resultados previstos, um novo tempo de lapidação é calculado. Neste caso, a lapidação se tornará um processo demorado, devido ao tempo que será gasto em cada parada para a limpeza e medição de uma amostra de peças.

Nos últimos anos tem-se empregado o monitoramento da usinagem com o intuito de se detectar desvios e problemas ocorridos durante o processo. Sinais gerados durante a usinagem como por exemplo; forças de corte, temperatura, corrente do motor de acionamento e emissão acústica, podem ser diretamente relacionados com a situação do processo. Por isso os resultados de trabalho podem ser indiretamente determinados, como a remoção de material, rugosidade e mecanismo de remoção, em função do nível ou das características do sinal monitorado. Modelando-se os resultados de trabalho, o controle ou a correção dos desvios dos resultados de trabalho ocorrem controlando-se os sinais monitorados (Westkämper, 1993).

Na lapidação, o monitoramento pode ser realizado através da medição da emissão acústica, visto que existe uma boa correlação entre o nível de emissão acústica, a situação do processo e os resultados de trabalho. A variação da emissão acústica em relação a um sinal padrão está relacionada à variação das condições de trabalho na fenda de lapidação. Monitorando-se o sinal acústico, pode-se detectar a real ocorrência do desvio das condições do processo, contribuindo-se assim para a minimização do número de paradas, aumentando a produtividade do processo.

2. GERAÇÃO DA EMISSÃO ACÚSTICA NA LAPIDAÇÃO

2.1 Modelos de remoção na lapidação

Entre a ferramenta e a peça se encontra o meio de lapidação (mistura de grãos soltos suspensos em um fluido ou em uma pasta). Devido ao movimento relativo entre a ferramenta e a peça, os grãos de lapidação atuam promovendo a remoção em ambas as superfícies. Basicamente, existem dois modelos de remoção de material, figura 2. O primeiro se tem devido ao rolamento do grão na fenda de lapidação (grão 1). Neste caso a superfície do material é deformada elástica e plasticamente sem nenhuma formação de cavaco. A superfície é alisada e encruada, devido à fadiga, o material se enfraquece até pequenas partículas se soltarem. Já no outro modelo, o grão está encrustado na superfície da peça ou do disco de lapidação, removendo material através da formação de cavaco (grão 2).

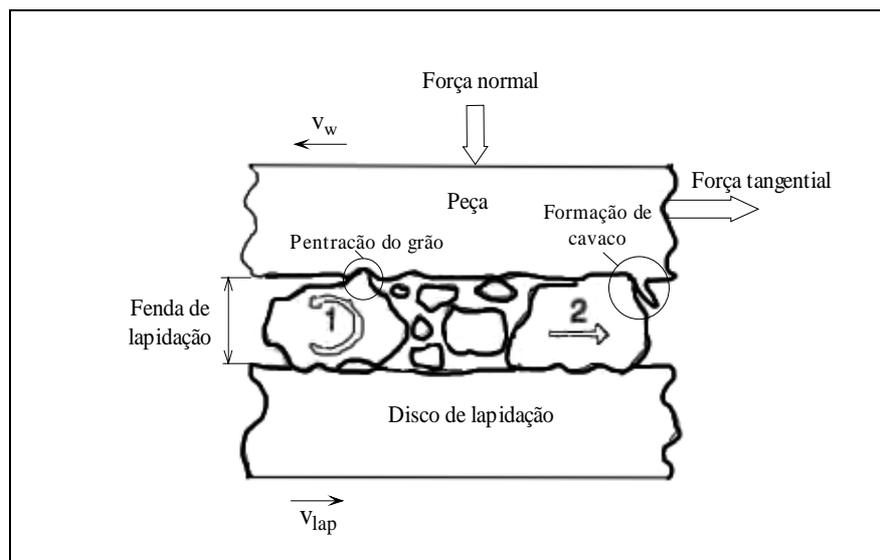


Figura 2. Modelos de atuação do grão na fenda de lapidação

Os fatores que determinam o tipo do mecanismo de remoção é o carregamento sobre os grãos, a viscosidade do fluido de lapidação, a forma dos grãos, a dureza do disco de lapidação e das peças. Quando ocorre o rolamento dos grãos, a superfície apresenta-se fosca. Já quando o grão incrusta acontece o riscamento da superfície oposta, tornando-se brilhosa.

2.2 Geração da emissão acústica

A emissão acústica é formada por sinais gerados pela liberação de uma energia elástica, devido à deformações microscópicas do material quando sofre tensão, que se propagam para o meio (ferramenta de corte, na estrutura da máquina e na peça). Os mecanismos de formação da emissão acústica em processos de usinagem acontecem devido à deformação plástica, à mudança de fase do material (por exemplo na formação da martensita), ao riscamento e ao atrito. Os sinais gerados, dependendo do tipo e do tamanho da fonte, se apresentam na faixa de frequência aproximadamente de 16 kHz até cerca de 30 MHz. Entretanto, devido à tecnologia atual dos sensores e dos aparelhos para análise dos sinais, o campo de aplicação utilizada no monitoramento de processos se situa entre 50 kHz e 2 MHz (König, 1997).

Na lapidação a geração da emissão acústica ocorre devido a riscamento do grão nas superfícies da peça e do disco no momento em que o grão incrusta, à deformação plástica quando o grão rola na fenda de lapidação e na quebra dos grãos.

A emissão acústica tem uma importante função no monitoramento dos processos de usinagem. Nos processos de usinagem com gumes de geometria não definida, é na retificação que se tem concentrada as pesquisas da utilização da emissão acústica no monitoramento do processo. Sendo que na lapidação foram realizados, até o presente momento, poucos trabalhos. Chang et al. (1996) fez o estudo da determinação do regime de remoção dútil-frágil, utilizando um sensor de emissão acústica montado sobre um corpo de prova. Marinescu et al. (1996) estudou a emissão acústica no riscamento de uma peça cerâmica com uma ponta diamantada, simulando sua geração na lapidação. Estes estudos são, entretanto, de difícil empregabilidade devido às limitações provocadas pela fixação do sensor de emissão acústica sobre um corpo de prova. Uma solução encontrada foi a fixação de um sensor de emissão acústica rotacional no centro do disco de lapidação, fazendo com que o sensor não interferisse na operação de lapidação das peças.

3. METODOLOGIA DE ENSAIO

Para a realização dos ensaios foi utilizada uma lapidadora plana de um disco com potência de acionamento de 2 kW. O disco de lapidação era de ferro fundido cinzento com diâmetro de 700 mm. Por motivos ecológicos, o fluido de lapidação consistido normalmente de óleo foi substituído por uma mistura de 47 % água, 50 % glicerina, 3 % anti-corrosivo. O meio de lapidação foi obtido através da mistura de 3,4 g de pó de grãos de corindum (Al_2O_3) (tamanho médio de grão de 14 μm) para cada 20 ml de fluido de lapidação. O grau de recobrimento do disco de lapidação foi de 2 anéis de dressamento (de ferro fundido com 300 mm de diâmetro externo e espessura de parede de 10 mm), contendo cada um 3 corpos de prova de aço C 15 de 30 mm de diâmetro posicionados em gaiolas.

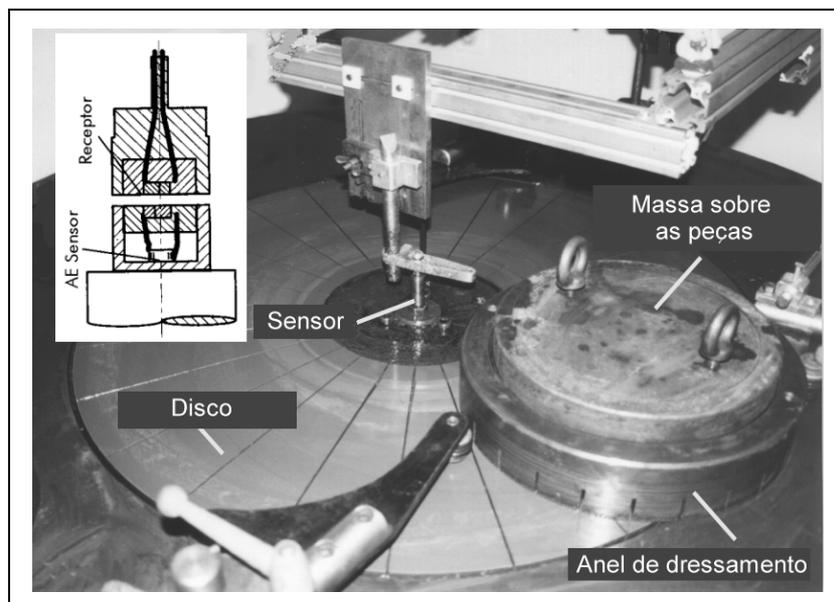


Figura 3. Princípio de funcionamento e posicionamento do sensor de emissão acústica

A figura 3 mostra o sensor de emissão acústica posicionado no centro do disco de lapidação, assim como um anel de dressamento contendo os corpos de prova. Uma massa de 9,5 Kg é posicionada sobre os corpos de prova exercendo uma pressão de lapidação de 4,4 N/cm².

É importante observar que o sensor de emissão acústica rotacional e o seu sistema de fixação não interfere no processo, ao contrário de um sensor fixo sobre um corpo de prova. O sensor utilizado nos ensaios foi um sensor de emissão acústica rotacional tipo RSA da firma Nordmann, com frequência de trabalho situada entre 100 kHz e 200 kHz. O sinal captado pelo sensor foi amplificado e tratado por um “pré-processador”, obtendo-se o valor efetivo (RMS) do sinal. Um sistema “Tool Monitor” serviu como fonte de alimentação para o sensor e visualização da curva de emissão acústica durante os ensaios. Utilizando-se uma placa A/D um conjunto de 600 pontos a cada segundo foi transferido e gravado em um PC 386. Os pontos foram tratados e analisados “off-line” em um segundo PC AMD 100 MHz utilizando-se o programa MatLab®.

4. RESULTADO EXPERIMENTAIS

Na realização dos ensaios foi adicionado meio de lapidação somente no início do processo. Com o decorrer do tempo foi necessária a adição de fluido de lapidação, como elemento de lubrificação, para evitar o rompimento do filme.

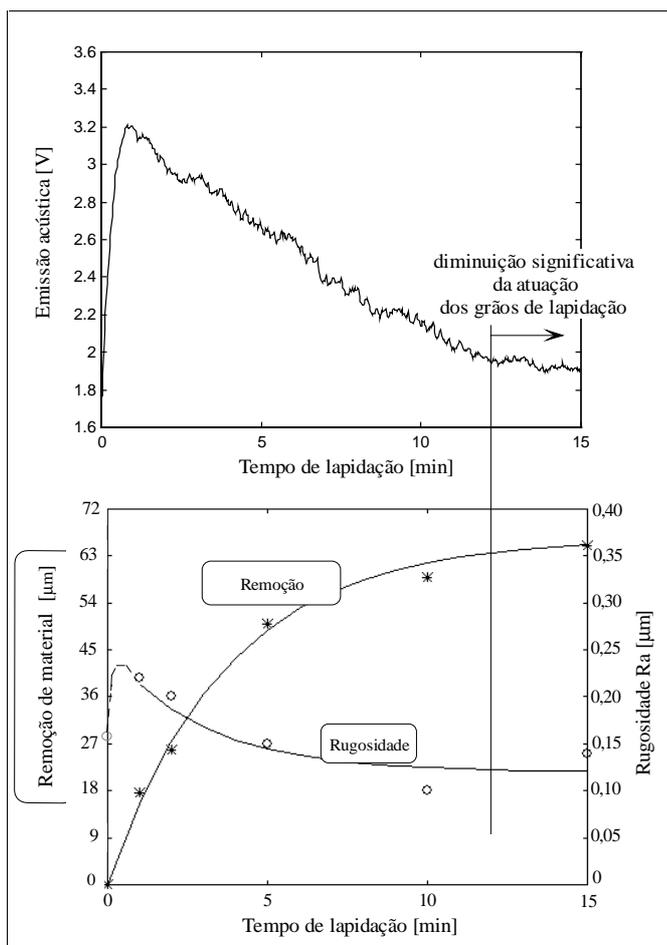


Figura 4. Gráficos da emissão acústica, remoção e rugosidade em função do tempo de lapidação

Segundo Enger (1969), quando o meio de lapidação é adicionado somente no início do processo, a remoção de material se dá predominantemente pelo riscamento dos grãos na superfície da peça, sendo este a principal fonte de emissão emissão.

A figura 4 mostra o resultado de ensaio emissão acústica, remoção e rugosidade em função do tempo. No início do processo, quando o meio de lapidação é adicionado, o nível de emissão acústica sobe até um máximo. O efeito da capacidade de carregamento estático do fluido de lapidação é predominante neste início do processo, até a formação de uma camada de grãos, onde cada grão está em contato com o disco e a peça ao mesmo tempo.

Com o aumento do tempo de lapidação os grãos vão se partindo, diminuindo seus diâmetros médio e aumentando o número de grãos atuantes no processo. A força normal sobre cada grão diminui e eles penetram cada vez menos na da peça. Com isso, a rugosidade tende a um mínimo e a remoção total a um máximo. Analisando-se o gráfico da emissão acústica em função do tempo de lapidação, é observado que, após o valor máximo, o sinal decresce tendendo a um mínimo onde não há mais uma atuação efetiva dos grãos. Assim se pode concluir que o nível de emissão acústica está diretamente relacionado à atuação dos grãos na fenda de lapidação.

5. ESTRATÉGIA DE MONITORAMENTO

Assim chamado na literatura alemã como método clássico do monitoramento de processos de fabricação. Esta estratégia baseia-se no fato de que o sinal captado não poder ultrapassar fronteiras pré-estabelecidas, que representam o estado normal do processo. Ela se divide em estratégias de monitoramento através de fronteiras fixas e fronteiras dinâmicas. O posicionamento dessas fronteiras é especificado pelo operador, a qual dependerá de sua experiência com o processo (Boge 1994, König 1997, Nordmann, Prometec).

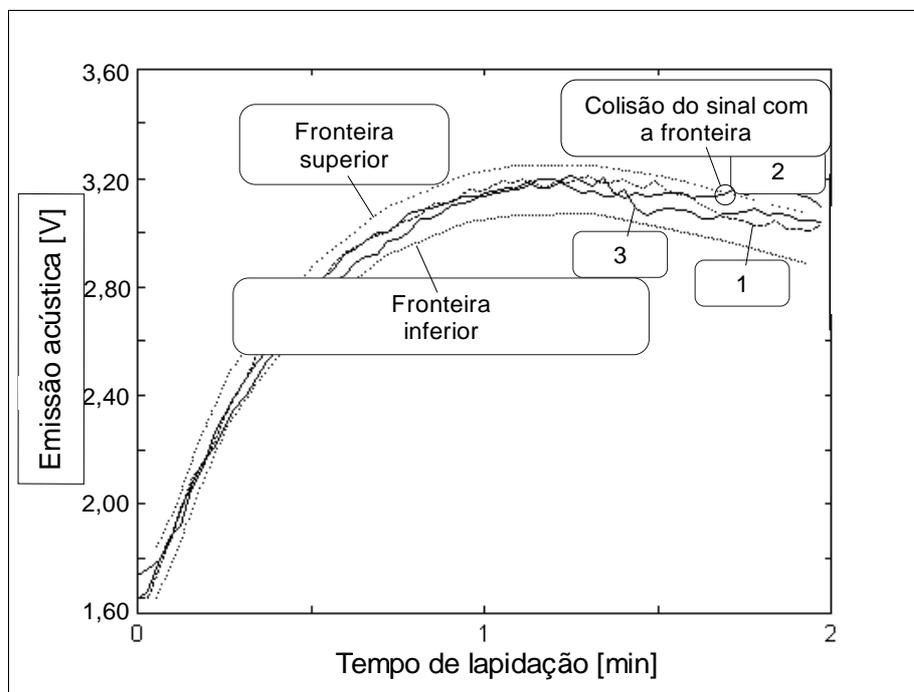


Figura 5. Estratégia de monitoramento na lapidação

Dentro da estratégia de fronteiras dinâmicas, a estratégia de bandas de tolerância por comparação com uma curva padrão se mostra mais adequado para a determinação de alterações no processo de lapidação. Por isso, na lapidação do primeiro lote de peças, o sinal acústico é gravado e a banda de tolerância é especificada pelo operador, sendo esta etapa denominada fase de aprendizagem. O sinal acústico gerado na lapidação dos lotes seguintes deverá, ao longo do tempo de processo, ficar dentro da banda de tolerância estabelecida. Se ocorrer o desvio, o processo deve ser interrompido e corrigido pelo método tradicional através do cálculo do novo tempo de lapidação para se alcançar os resultados desejados.

Para uma melhor análise do desvio do sinal e dos resultados do processo optou-se em realizar um experimento até 2 minutos de tempo de lapidação. A figura 5 mostra o resultado de 3 ensaios, assim como a banda de tolerância (fronteiras superior e inferior). É interessante observar que as 3 curvas tem o mesmo comportamento até cerca de 1,2 minutos. A partir deste momento, o disco se apresentava seco e por isso há a necessidade da adição de mais fluido de lapidação como meio de lubrificação. Entretanto não foi possível garantir a repetibilidade das condições de adição de fluido de lapidação o que acarretou uma distribuição irregular de quantidade de fluido de lapidação sobre o disco, fazendo com que as condições na fenda de trabalho não fossem as mesmas durante a realização dos 3 ensaios.

Da figura 5 observa-se que a curva 2 ultrapassou o limite superior no tempo de 1,7 minutos de lapidação. Analisando os resultados de trabalho constatou-se que no final do processo a remoção do experimento 2 apresentou um desvio de cerca de 11 % e a rugosidade R_a 6 % em relação aos experimentos 1 e 3. O processo 2 deveria então ser interrompido e um novo tempo de lapidação restante deveria ser calculado para se garantir a repetibilidade dos resultados.

6. CONCLUSÕES

Os custos da usinagem no processo de lapidação estão fortemente ligado ao tempo de parada de máquina (tempo secundário). O método empregado na indústria para a garantia da precisão na lapidação se baseia no interrompimento do processo para a medição da remoção de material e da rugosidade das peças. Este procedimento torna o processo de lapidação bastante demorado e muitas vezes não economicamente viável se comparado aos outros processos de fabricação de precisão. Nos últimos anos tem crescido o interesse do emprego do monitoramento de sinais gerados durante o processo para determinar desvios e perturbações. Um dos principais sinais gerados durante a lapidação é o sinal de emissão acústica. A utilização de um sensor de emissão acústica rotational e seu respectivo sistema de fixação se mostrou adequado para o monitoramento na lapidação plana de um disco em ambiente produtivo.

A emissão acústica mostrou ter uma correlação com a atuação dos grãos de lapidação. Numa primeira parte o sinal acústico aumenta até um valor máximo, onde é predominante a capacidade de carregamento estático do fluido de lapidação. Aumentando-se o tempo de lapidação o sinal diminui tendendo à um valor mínimo. Fato este que está diretamente relacionado principalmente com a diminuição do tamanho dos grãos de lapidação. Isto é comprovado devido à tendência de diminuição da rugosidade e da taxa de remoção, assim com do sinal acústico.

A estratégia de monitoramento da lapidação proposta neste trabalho visa a parada do processo para a medição dos resultados somente quando ocorrer um desvio do sinal acústico, dentro de uma faixa de tolerâncias, em relação ao primeiro lote de peças lapidadas. Com isso se pode garantir a precisão do processo, diminuindo-se o número de paradas (tempo secundário) e, portanto, o tempo total do processo.

7 REFERÊNCIAS

- Boge, C, 1994. “Methoden zum Entwurf und Implementierung von prozeßorientierten Überwachungsverfahren für die Fertigungstechnik”. Berichte aus der Produktionstechnik, Bd. 6/94. TH Aachen, Alemanha.
- Chang, Y. P.; Hashimura, M.; Dornfeld, D. A., 1996, “Investigation of the AE Signal in the Lapping Process”. Annals of the CIRP Vol. 45 1, pg. 331-334.
- Crichigno Filho, Joel Martins, “Überwachung des Prozeßzustandes beim Läppen durch Messung des Körperschalls und der Tangentialkraft”. Dissertation, Technische Universität Ilmenau, Alemanha.
- Enger, U., 1969, “Beitrag zu Frage der Feinbearbeitung mit ungebundenem Korn.” Tese de Doutorado, TH Ilmenau, Alemanha.
- König, W.; Klocke, F., 1997, “Fertigungsverfahren. Bd1. Drehen, Fräsen, Bohren.” Berlin [u.a.]: VDI-Verl., 5. Auf., Alemanha.
- König, W.; Klocke, F., 1996, “Fertigungsverfahren. Bd2. Schleifen, Honen, Läppen.” Berlin [u.a.]: VDI-Verl., 3. Auf., Alemanha.
- Marinescu, I.; Zeng, R., 1996, “Acoustic Emission Investigation of Ceramic Lapping Process.” Proceedings of International Manufacturing Engineering Conference. University. University of Connecticut, USA. August 7-9, pg. 65-69.
- Nordmann, Werkzeugüberwachung für den Schutz und unbeaufsichtigten Betrieb von Werkzeugmaschinen. Nordmann KG, Alemanha.
- Prometec, Tool Monitor System. Prometec GmbH, Alemanha.
- Westkämper, E., 1993, “Mit leistungsfähigen Technologien Werkstücke mit hoher Präzision fertigen – die Zukunft der Feinbearbeitung.” 7. Internationales Braunschweiger Feinbearbeitungs-kolloquium (FBK), Essen: Vulkan-Verlag, Alemanha.
- Zeiss, 1975, “Läppen metallischer Werkstoffe.”, VEB Carl Zeiss Jena, Alemanha.