

Otimização da Usinagem de Válvulas de Nimonic-80A

MACHINING OPTIMIZATION OF NIMONIC 80A VALVES

Ciro Takayuki Watanabe

Jefferson Luiz Nogueira

Marcos Valério Ribeiro

Departamento de Engenharia de Materiais

FAENQUIL - Faculdade de Engenharia Química de Lorena

RESUMO

A escolha da ferramenta adequada para uma determinada operação e a determinação correta das condições de usinagem, representam um papel importante no trabalho com os metais, sendo um fator determinante da evolução das máquinas-ferramenta e das ferramentas de corte. Tal fato se acentua na produção seriada, onde divergências na escolha da velocidade de corte e da ferramenta podem acarretar variações notáveis nos custos de fabricação. A usinagem de metais é um processo complexo, e a complexidade é, além disso, composta pela variedade de operações e materiais envolvidos. Hoje, a usinagem é freqüentemente realizada em máquinas-ferramenta de comando numérico, com ferramentas múltiplas constituídas de pastilhas, suportes e fixações. As decisões para a seleção de ferramentas, a determinação de parâmetros de usinagem e tempos de troca de ferramenta são feitas pelos planejadores de processo, programadores e operadores de máquina em diferentes estágios da fabricação. Esta partilha de responsabilidade e a escassez de interação com o processo têm dificultado em muito a tomada de decisões de uma forma otimizada em relação ao ferramental e ao processo em si. O trabalho proposto visa promover a otimização dos processos de usinagem em torneamento em uma célula de manufatura, utilizando para isso uma metodologia de otimização do processo baseado na condição de máxima produção, através da determinação dos coeficientes da equação de vida de Taylor da ferramenta em ambiente de chão de fábrica. O objetivo é proporcionar aumentos reais de produtividade e qualidade nas indústrias, sem a necessidade de investimentos em novos meios de produção, e valorizando a utilização da informação dentro do sistema produtivo. A metodologia adotada

se mostrou bastante prática, pois os resultados foram obtidos sem que se causasse o menor transtorno ao processo produtivo.

PALAVRAS-CHAVE

Usinagem, nimonic, válvulas, otimização.

INTRODUÇÃO

Atualmente, muitas máquinas-ferramenta têm potência e rotação suficientes para trabalhar em condições de usinagem ótimas, porém é frustrante constatar que os departamentos de engenharia ainda não confiam nestes dados otimizados, quando desenvolvem novos processos de manufatura (COLDING, 1992). Muitos confiam apenas nos dados de usinagem dos fabricantes de ferramentas, e/ou manuais e experiências anteriores. No sentido de alcançar objetivos econômicos do processo, condições ótimas de usinagem devem ser determinadas. Embora se possa determinar condições de corte desejáveis baseadas na experiência ou em dados de manuais, isto não assegura que os dados obtidos serão ótimos ou perto de ótimos para aquele ambiente e montagem de máquina em particular (CHUA et al, 1993).

Uma das maneiras de se otimizar a produção diária de peças é a diminuição dos tempos de usinagem. Uma análise do processo permite a redução destes tempos através da escolha correta da ferramenta, utilização de avanços e profundidades de usinagem coerentes com a capacidade da máquina-ferramenta, utilização adequada do fluido de corte, etc. O aumento da velocidade de corte também permite obter uma maior taxa de remoção de cavaco e, conseqüentemente, reduzir o tempo de usinagem. Entretanto, o aumento da velocidade de corte tem um efeito negativo sobre a vida da ferramenta, o que pode provocar

o aumento do tempo de fabricação devido à necessidade de trocas mais freqüentes de ferramentas.

Quando se deseja trabalhar com modelos de otimização das condições de usinagem, deve-se primeiro exprimir a vida em função da velocidade de corte. Tal procedimento implica na definição do que é vida e de que maneira pode-se quantificá-la. Denomina-se vida de uma ferramenta o tempo que a mesma trabalha efetivamente, até perder sua capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido. A perda da capacidade de corte é avaliada geralmente através de um determinado grau de desgaste.

O critério de fim de vida da ferramenta sempre pode ser usado, mas em algumas situações é necessário utilizar um critério indireto, relacionado com a vida da ferramenta, como quebra da ferramenta por desgaste exagerado (fratura súbita), qualidade da superfície (rugosidade), tolerância dimensional, nível de acréscimo da força ou momento torsor de corte ocasionado pela evolução do desgaste, etc. A velocidade de máxima produção (v_{mp}) se baseia no fato de que, com o aumento da velocidade de corte, diminuem o tempo de corte e os custos relativos à máquina e ao operador. Porém, diminui simultaneamente a vida da ferramenta, ocasionando um aumento do tempo relativo às suas trocas e um aumento relativo à parte de custo da ferramenta. Dessa forma, existem condições nas quais o tempo total de fabricação é mínimo, o que corresponde à máxima produção (FERRARESI, 1977).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia prática para otimização, pela máxima produção, da velocidade de corte. A aplicação foi feita numa fábrica de válvulas para motores de combustão interna, numa célula de manufatura composta por quatro tornos de comando numérico, em que a produção era feita por lotes. Nesta célula de manufatura trabalham dois operadores. Cada operador era responsável por duas máquinas, nas quais são usinados o diâmetro, o chanfro e a face em uma máquina, em outra máquina é usinada uma região de concordância, chamada de "enchimento".

MATERIAIS E MÉTODOS

O teste consistiu no acompanhamento da operação de torneamento de semi-acabamento em um torno de comando numérico (CNC) de uma válvula de admissão para um motor de combustão interna. A

válvula foi anteriormente forjada, e é composta de dois materiais diferentes: a haste é de aço e a base é de uma liga de níquel (Nimonic 80A) ambas as partes são soldadas. A usinagem em questão limitou-se somente à região da liga de níquel (Figura 1), sendo realizadas as seguintes operações: diâmetro da cabeça (em dois passes), chanfro, e faceamento (em dois passes). A ferramenta utilizada foi uma pastilha de metal duro sem cobertura SEGN 120308, classe BG31 CDC, da BRASSINTER (WATANABE, 2003).

Quanto ao critério de fim de vida da ferramenta, foi utilizada a rugosidade superficial, porém sua determinação dependia da avaliação subjetiva do operador, pois não havia um rugosímetro disponível para se realizar o controle da rugosidade das peças trabalhadas. A qualidade dimensional das peças também foi usada como critério de fim de vida e era verificada freqüentemente em relação à *espessura* da base da válvula (cota e da Figura 1) e o diâmetro da cabeça (cota D da Figura 1). Isto era realizado através de um dispositivo de controle com relógios comparadores, com resolução de 0,02 mm e permitia ainda que se fizesse as correções no processo, no sentido de compensar os desgastes sofridos pela ferramenta de corte.

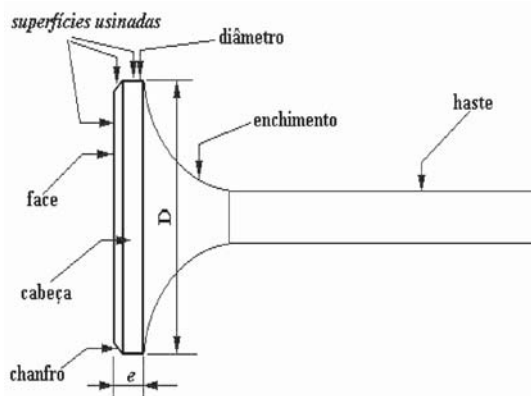


Figura 1 - Representação esquemática da válvula (WATANABE, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma bateria de testes foi feita, utilizando-se 4 velocidades iniciais de corte no faceamento (80, 95, 115 e 140 m/min), e três velocidades de corte para o diâmetro e o chanfro (120, 140 e 160 m/min), para um comprimento de corte de 15,14 m e rotação máxima de 1600 rpm, mantendo-se constantes o avanço (0,1 mm/volta) e a profundidade de usinagem (0,4 mm). O tempo de troca de ferramenta foi de 0,75 min. O turno de

trabalho é de 8 horas, mas como havia o tempo para as refeições e outras permissões, considerou-se que eram trabalhadas efetivamente 7 horas. Para o cálculo de custos considerou-se um lote de 4000 peças/mês. Com os testes verificou-se que a operação de corte do diâmetro e do chanfro não determinava o fim de vida da ferramenta. Portanto optou-se colher os dados utilizando as quatro velocidades de corte do faceamento e a velocidade de 160 m/min para o diâmetro e o chanfro.

Pela Figura 2 (curva de vida) nota-se que com o aumento das velocidades o número de peças produzidas por aresta vai diminuindo. À medida que a velocidade de corte cresce, aumenta a abrasão (ou atrito) mecânica e a temperatura da ferramenta. O aumento do atrito provoca maiores desgastes na ferramenta, pois o aumento da temperatura provoca uma diminuição na dureza da ferramenta.

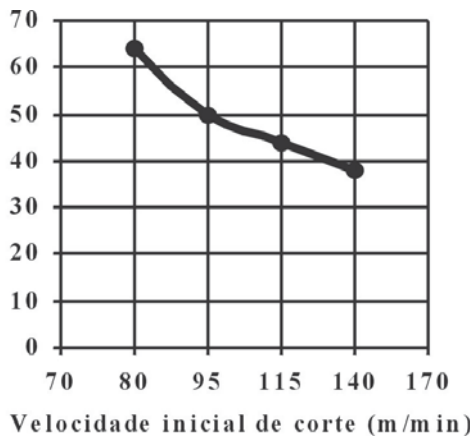
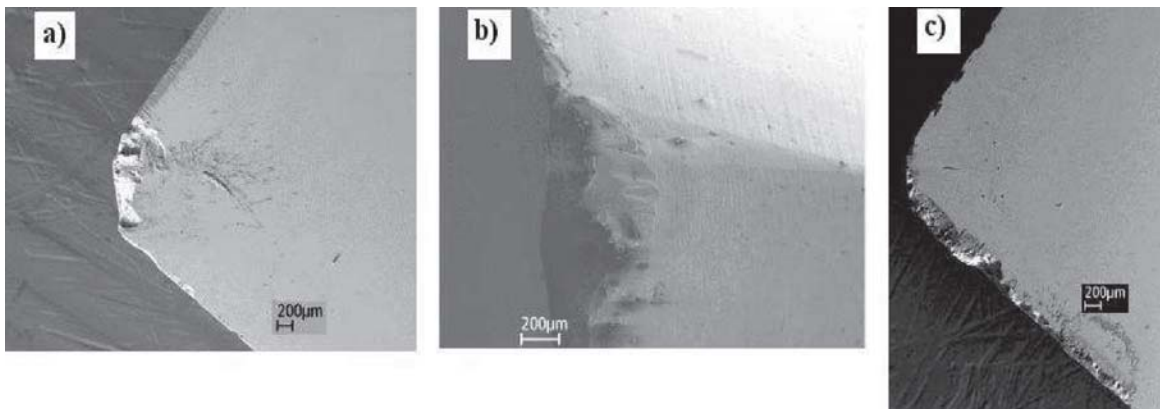


Figura 2 - Curva de vida da ferramenta usada na primeira etapa de testes.

Figura 4 - Micrografia da ferramenta a $v_c = 80$ m/min. a) Faceamento, b) Flanco e c) Diâmetro



Na figura 3 observa-se a área de atuação da velocidade de corte da face com a variação do diâmetro da cabeça da válvula, para uma rotação máxima de 1600 rpm.

Percebe-se que à medida que se aumenta a velocidade, o trecho que ela se mantém constante fica menor. Para a velocidade de 140 m/min, a mesma se mantém constante apenas no trecho de diâmetro de 32,5 até 27,8mm, isto é, apenas 4,7mm no diâmetro.

Portanto, aumentar a velocidade acima de 140m/min não se torna vantajoso, pois o trecho de atuação se torna muito pequeno.

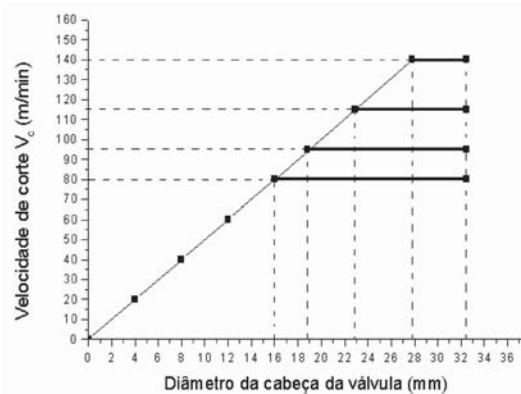


Figura 3- Área de atuação da velocidade de corte com a variação do diâmetro (WATANABE, 2003)

Nas Figuras 4, 5, 6 e 7 são apresentados os desgastes das ferramentas para as quatro velocidades de corte utilizadas nos testes. A parte (a) das figuras apresenta o desgaste da aresta de corte utilizada no faceamento, a parte (b) apresenta o desgaste de flanco e a Figura (c) apresenta o desgaste da aresta utilizada no diâmetro.

Figura 5 - Micrografia da ferramenta a $v_c = 95$ m/min.

a) Faceamento, b) Flanco e c) Diâmetro

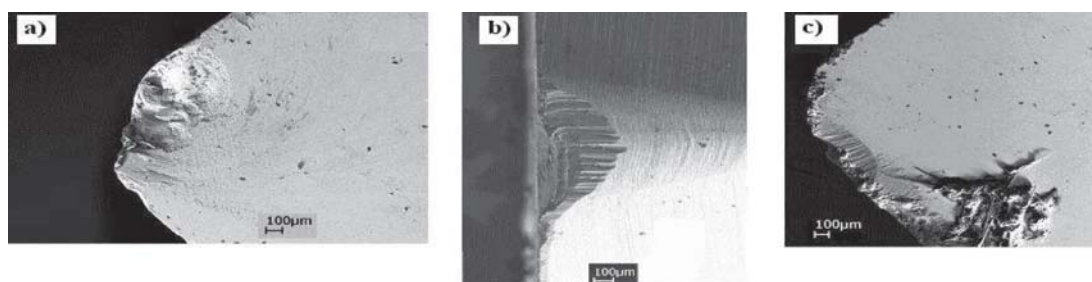


Figura 6 - Micrografia da ferramenta a $v_c = 115$ m/min.

a) Faceamento, b) Flanco e c) Diâmetro

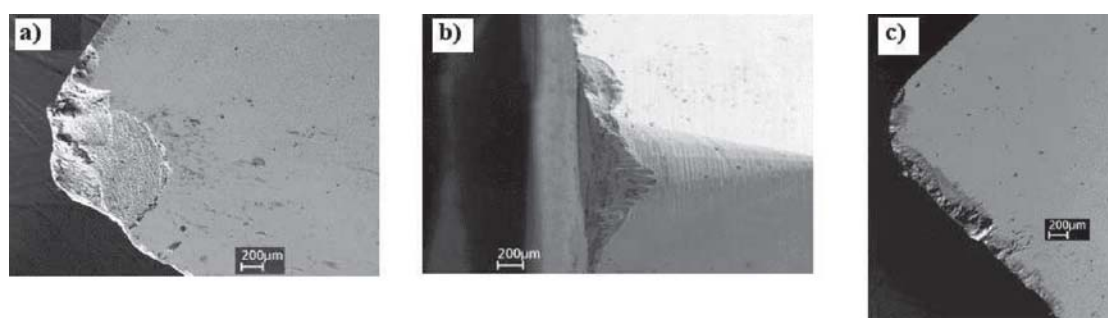
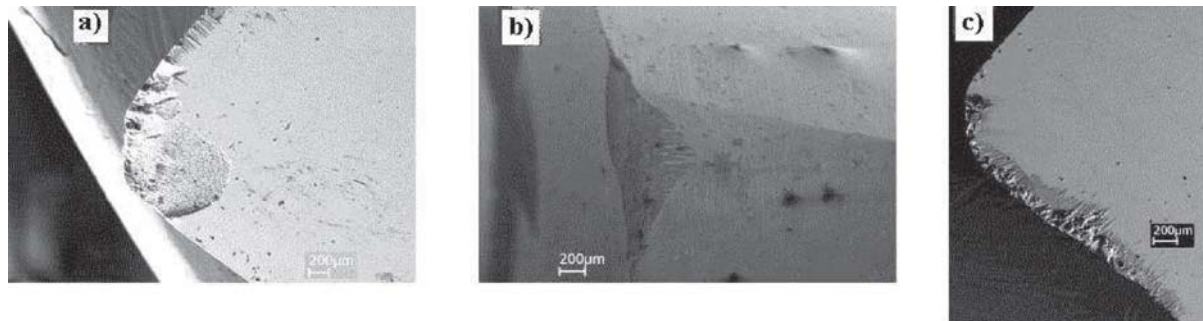


Figura 7 - Micrografia da ferramenta a $v_c = 140$ m/min.

a) Faceamento, b) Flanco e c) Diâmetro



Pode-se observar nas figuras, que os desgastes apresentados no faceamento são maiores do que os da operação de usinagem do diâmetro, confirmando o que foi observado durante os testes, ou seja, a operação de faceamento determina o fim de vida da ferramenta. Com o aumento das velocidades de corte, há um aumento da energia (calor) que é imputada ao processo, sem um aumento da área da ferramenta que recebe calor, provocando diminuição da dureza da ferramenta. O aumento da velocidade de corte também provoca um atrito maior entre ferramenta/peça ou ferramenta/cavaco e os desgastes se tornam mais intensos, determinando uma vida menor da ferramenta.

Na Figura 8 são mostrados, o tempo e o custo de fabricação em função da velocidade de corte para um lote de 4.000 peças. Observa-se que com o aumento da velocidade de corte há diminuição no tempo de fabricação do lote. A maior redução foi obtida com a velocidade de 140 m/min. O custo de fabricação aumentou com o aumento da velocidade de corte, porém mesmo assim se mostrou mais baixo do que para a condição de referência.

Para ilustrar melhor as vantagens do uso das novas condições de corte em relação à *condição de referência*, ou seja, a utilizada normalmente (velocidade para a face de 80 m/min, e velocidade para o diâmetro de 120 m/min), rotação máxima de 1600 rpm, foi

montada a Tabela 1, na qual constam os números obtidos com a substituição da condição de referência

pelas demais, levando-se em conta um lote de peças com 4.000 unidades/mês.

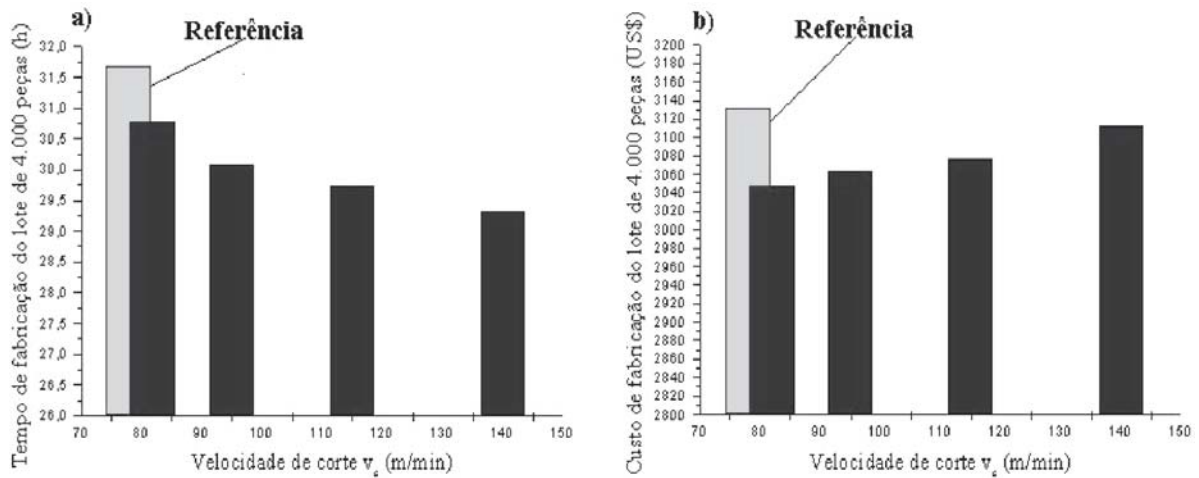


Figura 8 – (a) Tempo de fabricação em função da velocidade e (b) Custo de fabricação em função da velocidade (WATANABE, 2003).

Tabela 1 - Valores com a substituição da velocidade de corte (WATANABE, 2003)

Substituição	Bônus p/ 4.000 (US\$)	Bônus em pastilhas	Pastilhas p/ 4.000 pçs
80-80	84	12	32
80-95	80	12	40
80-115	76	11	46
80-140	52	7	53

CONCLUSÃO

A metodologia adotada se mostrou bastante prática, pois os resultados foram obtidos sem que se causasse o menor transtorno ao processo produtivo, ou seja, a atuação do sistema foi a menos intrusiva possível, chegando a ponto de ao contrário, aumentar a produção da máquina naquele turno, pois se variou a velocidade de corte. Os dados do teste foram colhidos dentro de um turno de trabalho (8 horas). Nos testes obteve-se uma diminuição nos custos e no tempo de produção do lote. Para um lote de 4000 peças obteve-se uma diminuição de quase 3 horas no tempo, e de US\$ 52,00 nos custos para a produção do lote. Pelas projeções feitas para a veloci-

dade selecionada, pode-se verificar que é possível obter uma certa economia, quando a condição selecionada é utilizada, pois mesmo consumindo uma quantidade maior de arestas, parando mais vezes para a troca de arestas, se diminui o tempo de utilização da máquina, que neste caso tem uma maior influência no custo total. Estes testes foram de certa forma prejudicados pela fixação da rotação máxima em 1.600 rpm, que se mostrou um limitante no tempo de atuação das velocidades testadas, prejudicando a diminuição dos tempos de usinagem de uma forma mais efetiva.

ABSTRACT

The optimization of production conditions was one of the basic objectives of the manufacture industry. The choice of the tool for one determined operation and the correct determination of the machining conditions, represent an important factor in the metals working, being this determinant for the evolution of tool-machine and cutting tools. Such fact accents in the serial manufacturing, where divergences in the choice of the cutting speed and the tool may cause notable variations in manufacture costs. The metals machining is a complex process, and the complexity involves a variety of operations and materials. The decisions for tools selection, machining parameters determination and tool exchange times are carry by process planners, programmers and machine operators in different periods of manufacture. This share of responsibility and the lack of interaction with the process have difficult very the taking of decisions of a form optimized in relation to the tool rack and the process in itself. The considered work aims at to promote the optimization of the machining processes in turning in a manufacture cell, of automobile parts factory, using for this optimization methodology of the process based on the maximum production condition, through the determination of the coefficients of the Taylor equation of tool life in shop floor environment. The objective is to provide to real increases of productivity and quality in industries, without the necessity of investments in new means of production, and valuing the use of the information inside it productive system. The adopted methodology showed itself very practical, because the results were obtained without cause the smallest upset to the productive process.

KEY - WORDS

Machining. Nimonic. Valves. Optimization.

REFERÊNCIAS

CHUA, M.S. et al. Determination of optimal cutting conditions using design of experiments and optimization techniques. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, v.33, n. 2, p. 297-305, February 1993.

COLDING, B. N. Intelligent selection of machining parameters for metal cutting operations: the least expensive way to increase productivity. *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, v. 9, n. 4/5, p. 407-412, august/october 1992.

FERRARESI, D. *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. 1. ed., São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1977, 751 p.

WATANABE, C.T. Estudo da otimização do torneamento em ambiente de manufatura celular. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia de Materiais, FAENQUIL, Lorena, 2003, 82p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem o apoio recebido por parte da FAPESP, do CNPq e da empresa Eaton Ltda., o qual possibilitou a realização deste trabalho.

DIREITO AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho