

MONITORAMENTO E CONTROLE TEMPORIZADO DO PROCESSO DE FURAÇÃO COM FORÇA CONSTANTE

Victor Hugo Serafim Rubin

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia – MG, victorsrubin@hotmail.com

Guilherme Resende Ferreira

Universidade de Uberaba, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG, guilherme.ebio@hotmail.com

Kenji Fabiano Ávila Okada

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG, Kenji_okada09@hotmail.com

Rodrigo Cordon Isaac

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG, cordon.rodrigo@gmail.com

Resumo - O teste de furação com força constante é um método utilizado para determinar a usinabilidade de materiais. Consiste em controlar o comprimento de um furo através de um tempo predeterminado ou vice-versa. Este trabalho apresenta um sistema composto por uma furadeira instrumentada com o intuito de fazer experimentos no processo de furação com força constante. Os sensores utilizados consistem de um LVDT (Linear Variable Differential Transformer), de um temporizador e de uma célula de carga para medição do deslocamento da ferramenta de corte, do tempo de usinagem e da força de avanço, respectivamente, durante o processo de furação com força constante. Para a aquisição de sinais, foi desenvolvido um software na plataforma Labview® com o intuito de condicionar o sinal, gerar gráficos, e salvar os dados dos testes feitos em arquivos de texto. Com o intuito de fazer a parada automática da furadeira ao final do teste, foi colocado um temporizador programável em série com um contator trifásico. Experimentos foram realizados em amostras cilíndricas de ferro fundido nodular, com o intuito de provar a eficiência e confiabilidade do sistema. Ao final verifica-se que a usinabilidade aumenta deslocando-se do núcleo para a periferia.

Palavras-Chave – Ferro fundido nodular, furação constante, LabView, usinabilidade, usinagem.

MONITORING AND CONTROL OF A TIMED DRILLING PROCESS WITH CONSTANT FORCE

Abstract - The drilling test with constant thrust force is used to determine the machinability of materials. It consists of controlling the length of the hole being machined for a pre-fixed period of time or vice-versa. This work presents a system composed of an instrumented machine tool in order to experiment materials for machinability tests in drilling with constant

thrust force. The sensors used were a LVDT (Linear Variable Differential Transformer), a timer device and a load cell for measuring the tool displacement, the machine time and the thrust force, respectively, during the drilling process with constant thrust force. For data acquisition, a software was developed in Labview platform in order to conditioning the signal, generating graphs, and saving the data of tests made in text. In order to allow the automatic stop the drilling machine at the end of the test, a programmable timer was placed in series with a three-phase contactor. Experiments were performed in cylindrical samples ductile cast iron in order to show the efficiency and reliability of the system. Finally the results show that the machinability increases by moving from the core to the periphery.

Keywords - Constant drilling, LabView, machinability, machining, nodular cast iron

I. INTRODUÇÃO

O ensaio de furação com força de avanço constante foi desenvolvido por Bouguer na década de 1950 e é considerado um dos testes de usinabilidade mais conhecidos na área da fabricação. Esse teste consiste basicamente em furar uma amostra de material aplicando uma força de avanço constante, através de suporte com massas conhecidas e durante um tempo fixo pré-determinado, sendo a profundidade de penetração da broca (L_f) responsável por monitorar o critério de usinabilidade e, portanto, o material que apresentar o maior comprimento de penetração possuirá a maior usinabilidade. [1]

Trata-se de um teste no qual uma massa colocada em um prato exerce uma força constante durante o processo de furação, por meio de uma roldana fixada no eixo de avanço da máquina. Assim, vários furos são feitos ao longo de uma peça de um determinado material, fixando-se o tempo de corte ou o deslocamento da broca. A partir dos dados gerados por esse processo é possível determinar a usinabilidade do material.

Assim, se faz necessário o monitoramento das variáveis, força, tempo e deslocamento, para se chegar a conclusões



XIV CEEL - ISSN 2178-8308
03 a 07 de Outubro de 2016
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

efetivas e, para tanto, precisa-se instrumentar a furadeira com sensores correspondentes e adquirir os dados para que os pesquisadores possam testar e analisar os resultados, determinando como as variáveis se correlacionam durante o processo de furação.

A coleta das informações sobre o deslocamento da ferramenta e o controle de tempo durante o processo de furação com força constante auxiliará as pesquisas de forma mais precisa e eficaz, permitindo a análise posterior dos resultados do processo.

Outro ponto importante é que o operador não necessitará mais do uso do paquímetro para medidas de comprimentos dos furos executados, uma vez que o monitoramento do deslocamento da ferramenta garantirá esta medida, acelerando o processo e aumentando a precisão com o uso do LVDT (sensor de posição). Além disso, com o uso do timer automático, erros de medição de tempo com instrumentos acionados manualmente são evitados e o sensor de carga garantirá a precisão necessária no valor da força no sentido de deslocamento de avanço da broca durante os testes.

A. Usinagem

Usinagem é a operação que ao conferir a peça forma, dimensões e acabamento, produz cavaco. E por cavaco entende-se: porção de material da peça retirada pela ferramenta e caracterizada por apresentar forma geométrica irregular. [2]

No desenvolvimento histórico das Máquinas Ferramentas de usinagem, sempre se procurou soluções que permitissem aumentar a produtividade com qualidade superior, associada a minimização dos desgastes físicos de componentes durante operação das máquinas. Estudos mais aprofundados sobre a usinagem iniciaram-se somente no final do século XIX e início do século seguinte, quando o americano F. W. Taylor desenvolveu o aço rápido para ferramentas de corte, determinando um passo marcante no desenvolvimento tecnológico da usinagem. [2]

Já a algum tempo, a usinagem é reconhecidamente o processo de fabricação mais popular do mundo, onde a maior parte de todos os produtos industrializados, em alguma de suas etapas, passa por algum processo de usinagem. 100% dos processos de melhoria de qualidade superficial são feitos por usinagem, que transforma cerca de 10% de toda a produção de metais em cavacos e emprega dezenas de milhões de pessoas. [3]

Os objetivos deste trabalho são: Instrumentar a furadeira com sensores capaz de adquirir a força empregada na peça e o deslocamento ocorrido durante o processo; Desenvolver um sistema de coleta de dados para o processo de furação constante; Controlar o tempo máximo de furação; Determinar a usinabilidade do material perfurado; E auxiliar as pesquisas do laboratório na coleta de informações de forma mais precisa e eficaz.

A furação é um dos processos de usinagem mais utilizados na indústria manufatureira, englobando cerca de 30 a 40% dos processos de usinagem. A grande maioria das peças de qualquer tipo de indústria têm pelo menos um furo e somente uma parte muito pequena dessas peças já vem com o furo pronto do processo de obtenção da peça bruta, seja

ele fundição, forjamento etc. Em geral, as peças têm que ser furadas em cheio ou terem seus furos aumentados através do processo de furação. Isto torna o estudo visando a otimização do processo de furação muito importante. [2]

Furação é o processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de um furo, geralmente cilíndrico, numa peça, com auxílio de uma ferramenta geralmente multicortante. Para tanto, a ferramenta ou a peça giram e simultaneamente a ferramenta ou a peça se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina. A ferramenta destinada a esse processo denomina-se broca. [4]

A broca helicoidal é a ferramenta mais utilizada para a realização de furos. Estima-se que o consumo de brocas seja da ordem de 250 milhões de unidades por ano [5]. No Brasil, apesar do avanço ocorrido no desenvolvimento dos materiais das ferramentas de furação, tais como: brocas de aço rápido com revestimentos, brocas inteiriças de metal duro e brocas com pastilhas intercambiáveis de metal duro, mais da metade das operações de furação ainda são realizadas com brocas helicoidais de aço rápido. [2]

B. Usinabilidade do Material

A definição mais formal, técnica e científica da usinabilidade é oferecida por [4]: “grandeza tecnológica que expressa, por meio de um valor numérico comparativo (índice de usinabilidade), um conjunto de propriedades de usinagem de um material em relação a outro tomado como padrão”. Ou seja, ela expressa o grau de dificuldade para usar um material.

Usinabilidade é uma expressão usada para se referir à resposta de um material em termos da vida da ferramenta, da força de corte, da qualidade da superfície usinada, da taxa de material removido ou da forma do cavaco. Melhorar a usinabilidade do material é de grande interesse, em razão do seu significativo impacto sobre a competitividade industrial. [2]

As propriedades principais do material que podem afetar a usinabilidade de um material são: Dureza, Taxa de encruamento, Resistência a tração, Ductilidade, Condutividade térmica, entre outras. [1]

A usinabilidade não depende somente das condições intrínsecas do material, mas também das condições de corte, características da ferramenta, condições de refrigeração, rigidez do sistema máquina-dispositivo de fixação-peça-ferramenta, tipos de trabalhos executados pela ferramenta (operação empregada, se corte contínuo ou intermitente, condições de entrada e saída da ferramenta). [4]

Valores baixos de dureza e resistência mecânica normalmente favorecem a usinabilidade. Quando, porém, se tem materiais muito dúcteis à baixa dureza pode causar problemas, pois facilita a formação de aresta postiça de corte, os esforços são elevados, além de promoverem rebarbas com maior facilidade. Nestes casos, é bom que a dureza seja aumentada através de trabalho a frio.

Baixos valores de ductilidade são geralmente benéficos a usinabilidade. A formação de cavacos curtos é facilitada e se tem menor perda de energia com o atrito cavaco-superfície de saída da ferramenta. Porém, em geral, consegue-se baixa

ductilidade com alta dureza e vice-versa.

A usinabilidade, além de ser uma grandeza tecnológica, implica também em considerações econômicas, principalmente o custo de fabricação por peça, interessando a todos aqueles que se envolvem na produção de peças por formação de cavaco. Tem uma grande influência na produtividade da empresa, razão pela qual existe um enorme interesse em se estabelecer métodos de ensaio, que permitem determinar a usinabilidade de um material.

C. Método de Força constante

Este método pode ser aplicado em outros processos, mas o mais comum é na furação. O ensaio de furação com força de avanço constante foi desenvolvido por Bouguer na década de 1950 e é considerado um dos testes de usinabilidade mais conhecidos na área da fabricação [1]. Esse teste, esquematizado na Figura 1, consiste basicamente, em furar uma amostra de material, aplicando uma força de avanço constante, através de suporte com massas conhecidas, durante um tempo fixo pré-determinado, sendo o parâmetro de usinabilidade monitorado, a profundidade de penetração da broca (Lf), e, portanto, o material que obtiver o maior comprimento de penetração apresentará maior usinabilidade. [6]

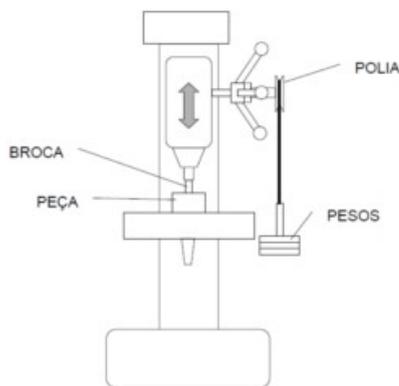


Fig. 1 - Esquema do ensaio de usinabilidade baseada no método da força de avanço constante na furação. [7]

A preparação do equipamento, no caso uma furadeira de coluna, consiste na retirada da mola de retorno da furadeira e adaptação de uma polia, cabo, e pesos que têm por objetivo aplicar a pressão constante na furação.

A necessidade de automatizar a aquisição de dados de medição ocorre em muitas aplicações, tanto em atividades de pesquisa e desenvolvimento como no monitoramento contínuo e controle de processos.

Sistema de aquisição de dados é qualquer arranjo que permita transformar os sinais analógicos em digitais, para permitir a interpretação e manipulação por sistemas digitais. [8]

Na Figura 2 apresentam-se os elementos funcionais de um sistema de aquisição. Nela estão indicados os sensores e transdutores, os cabos de ligação, o condicionamento de sinal, o equipamento de aquisição, o computador e o

software de aquisição. Cada elemento funcional vai afetar a exatidão do sistema total de medição e a correta escolha dos dados do processo físico que se pretende monitorar.



Fig. 2 - Diagrama funcional de um sistema de aquisição.

II. METODOLOGIA

Um sistema eletromecânico é constituído pela junção de subsistemas que são compostos por componentes tanto elétricos como mecânicos, de forma que cada um possa desempenhar sua função e comunicar entre si. Permitem por meio de uma entrada, a obtenção de uma resposta na saída do sistema de forma correspondente e desejável.

Uma furadeira de coluna foi utilizada onde retirou-se a mola de retorno e adaptou-se uma polia onde foram acoplados os pesos conforme o teste

Para cortar a energia da máquina foi colocado um temporizador controlando a bobina de um contator trifásico que liga a máquina à rede. O temporizador possui um relé, ou seja, uma chave elétrica em seu interior. Quando acionamos o temporizador, o contato normal aberto do relé se fecha, permitindo a passagem de corrente para a bobina do contator, que finalmente aciona o motor. No instante em que o tempo desejado acaba, o contato de relé é aberto, retirando a energia da bobina do contator, que abre e interrompe a energia da máquina, interrompendo o teste.

O LVDT (do inglês Linear Variable Differential Transformer ou em português Transformador Diferencial Variável Linear) é um sensor para medição de deslocamento linear. O funcionamento desse sensor é baseado em três bobinas e um núcleo cilíndrico de material ferromagnético de alta permeabilidade. Ele oferece como saída um sinal linear, proporcional ao deslocamento do núcleo, que está fixado ou em contato com o que se deseja medir. O LVDT utilizado foi o 1-WA/50MM-T.

O uso de células de carga como transdutores de medição de força abrange hoje uma vasta área de aplicações: desde nas balanças comerciais até na automatização e controle de processos industriais. A popularização do seu uso decorre do fato que a variável peso é interveniente em grande parte das transações comerciais e de medição das mais frequentes, dentre as grandezas físicas de processo.

Para condicionar e amplificar o sinal gerado pelos sensores foi utilizado dois amplificadores de medição industrial. Os modelos escolhidos foram o HBM Clip 501 e HBM Clip 301.

A placa de aquisição escolhida foi a da National Instruments® NI9223, o qual faz medições em 4 canais de tensão a 1 MS/s com resolução de 16 bits em cada canal e envia esses dados a um PC host por USB, Ethernet ou Wi-Fi 802.11 e sua faixa de aquisição é de $\pm 10V$.

O software utilizado no projeto foi o LabView® (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) da National Instruments.

A fim de testar o sistema desenvolvido, foram feitos experimentos no processo de furação com força de avanço constante para determinar a usinabilidade de um material, utilizando como parâmetro indicador a profundidade do furo executado em um período de tempo fixo.

A Figura 3 apresenta a montagem dos sensores no equipamento. Na mesma figura, encontra-se o sensor de posição (LVDT), que está fixado no eixo da máquina, de modo que ele desça, ao mesmo tempo em que a broca avança, tocando a peça ao mesmo tempo que a broca, para que a distância do furo seja a mesma diferença da deformação do LVDT.

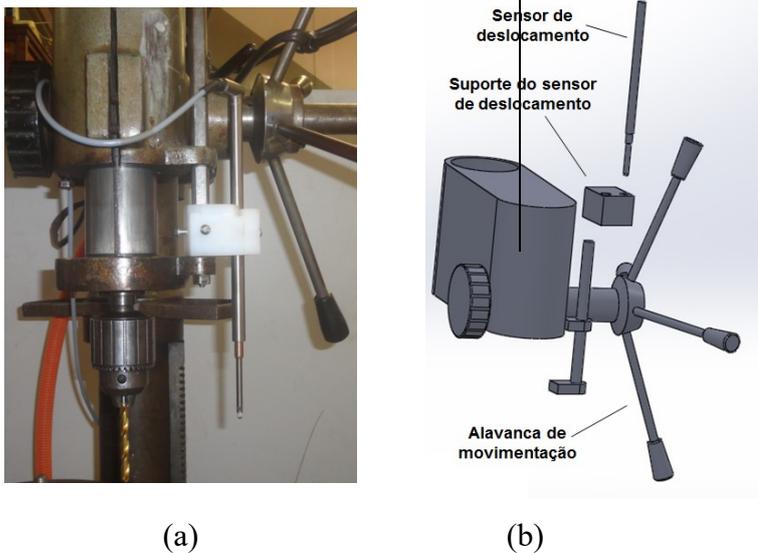


Fig. 3 – Posicionamento do LVDT no equipamento.

A Figura 4 mostra a montagem da célula de carga na máquina. Observa-se que a célula se encontra exatamente no centro do eixo da broca da furadeira, afim de captar 100% da força aplicada na peça. Importante ressaltar que esta célula serve apenas para indicar qual carga a broca está exercendo na peça durante a furação, que é função da massa aplicada no sistema da roldana adaptado. Isto evita o cálculo da força de avanço em função dessa massa e garante maior precisão.

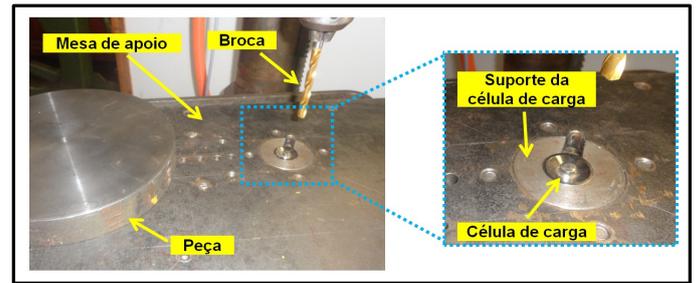


Fig. 4 – Fixação da célula de carga na mesa da furadeira

O suporte, demonstrado pela figura 5, foi fabricado e montado junto à mesa de apoio para fixar a célula. O mesmo reduz a vibração durante o processo, garantindo melhor aquisição dos sinais. Pode-se notar também que a mesa possui uma linha de furo, possibilitando a furação ao longo de diferentes raios.

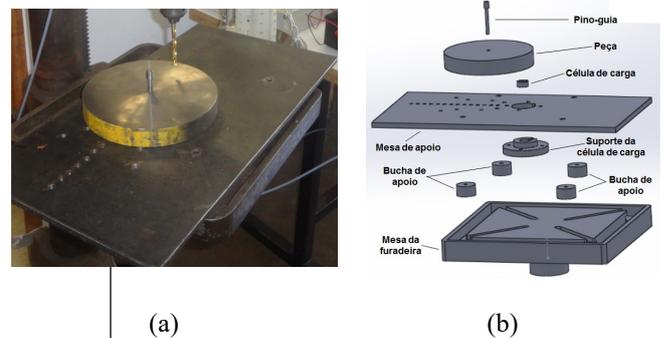


Fig. 5 - Conjunto sensor de carga/furadeira (a) Montagem; (b) Vista explodida

O material utilizado para os testes foi o ferro fundido nodular FE 45012, produzido por fundição contínua, com diferentes bitolas e geometrias. Foram utilizadas barras circulares com diâmetros de 53 mm, 156 mm, 203 mm e 421 mm, onde foi possível investigar a variação da usinabilidade ao longo da seção transversal e, também, investigar a variação da usinabilidade entre barras de bitolas diferentes

As barras foram divididas em 3 zonas, sendo elas núcleo, periferia e intermediária, como mostra a figura 6. Esta divisão foi feita, mantendo-se a mesma área para as três regiões.

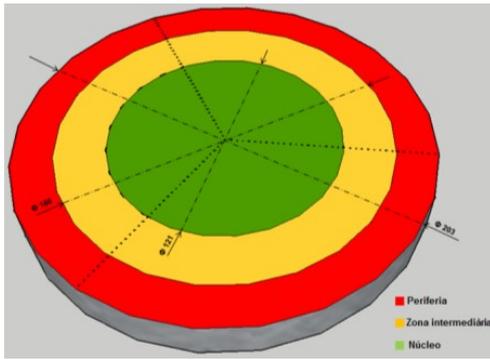


Fig. 6 – Divisão das barras por zona

As ferramentas de corte foram brocas helicoidais de aço rápido (EX-BDR 7,5) revestidas de TiN, de 7,5 mm de diâmetro, com duas arestas cortantes a direita.

Os ensaios experimentais foram realizados em todas as barras, com o intuito de constatar possíveis variações na usinabilidade das mesmas, ao longo de suas seções transversais. Em todos os experimentos foram realizados um teste e duas repetições, garantindo assim a confiabilidade dos testes.

Como mostra a Figura 7, foram feitos furos em forma radial distanciados de 120 graus, igualando as áreas das seções. Para cada furo realizado, foram feitos testes com cargas de 10 kgf e 15 kgf e velocidades de 944 rpm e 1416 rpm.

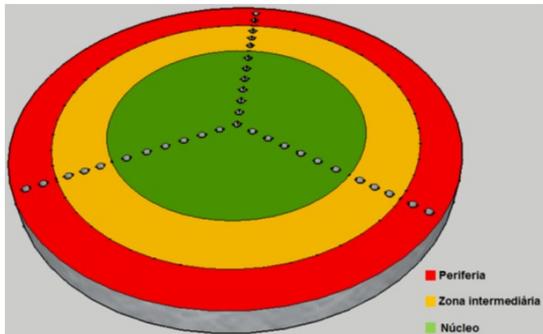
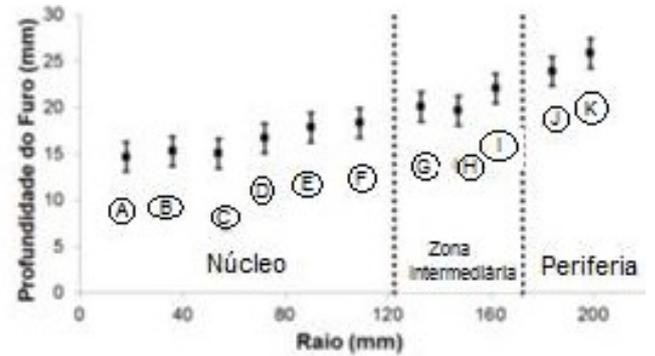


Fig. 7 - Distribuição dos furos nas regiões da barra

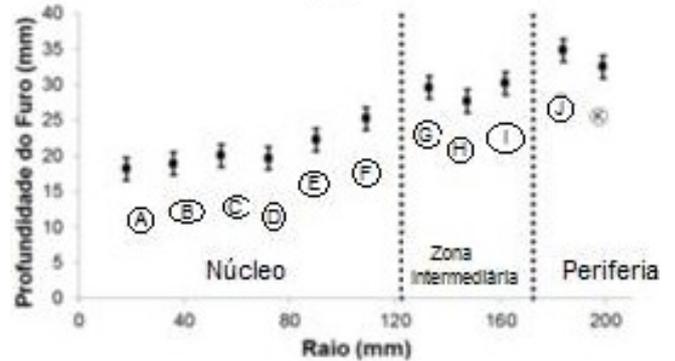
III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios realizados em laboratório apresentaram resultados mostrados na Figura 8, que mostra o comportamento da profundidade do furo a partir do centro até as extremidades da amostra com bitola de 421mm. Foram considerados testes, réplica e tréplica para cada ponto.

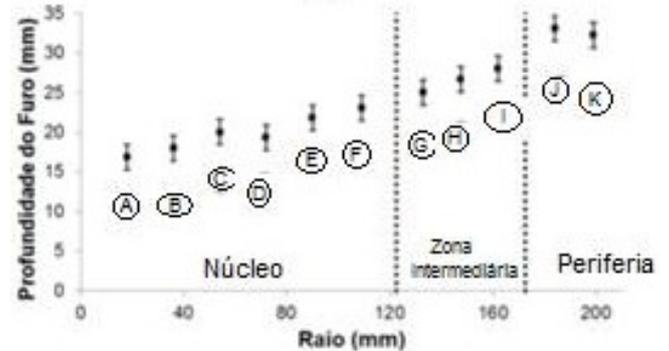
Quando se deslocou do centro para as extremidades observou-se de um modo geral o comportamento crescente da profundidade dos furos, indicando aumento da usinabilidade do centro para periferia.



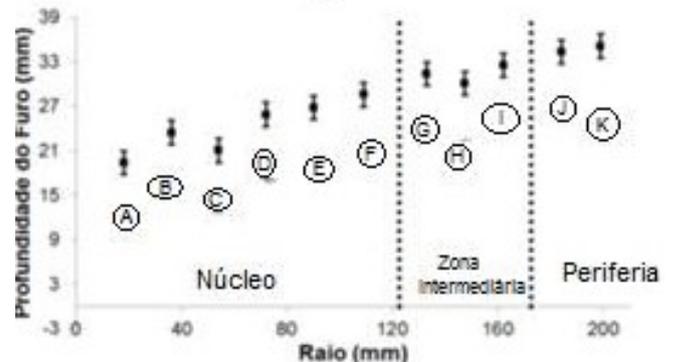
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 1 - Comportamento da profundidade do furo para as amostras com bitola de 421 mm de diâmetro; a) Carga = 10 kgf; Rotação = 944 rpm; b) Carga = 15 kgf; Rotação = 944rpm; c) Carga = 10 kgf; Rotação = 1416 rpm; d) Carga = 15 kgf; Rotação = 1416 rpm

A figura 9 apresenta o resultado médio da profundidade do furo entre as regiões da peça para diferentes parâmetros de rotação e carga.

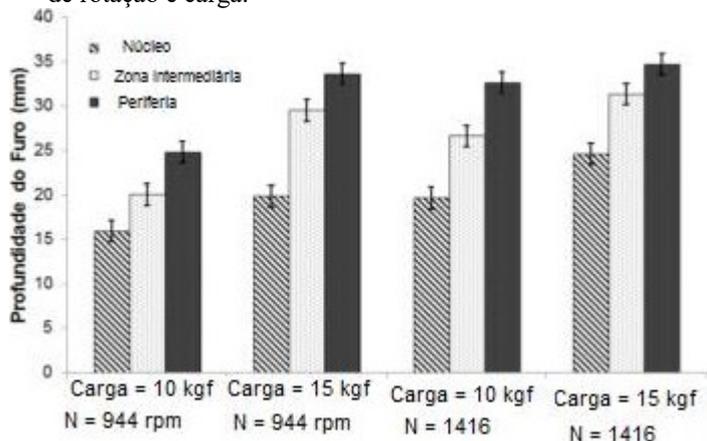


Fig. 2 – Comportamento médio da profundidade do furo entre as regiões da amostra

Nota-se um aumento da profundidade média do furo quando se move do centro a periferia para os diferentes parâmetros de carga e rotação.

Ressalta-se a importância de se ter o processo de medição da usinabilidade de materiais pelo método de furação com força de avanço constante automatizado. Antes do desenvolvimento do sistema automatizado, o método era aplicado usando um cronômetro de acionamento manual, para se medir o tempo; um paquímetro analógico para se medir o comprimento do furo usinado e uma balança, para se medir a massa dos pesos, para se calcular a força de avanço, considerando o raio da polia. Além de um tempo de execução consideravelmente maior, várias fontes de erros causavam imprecisão nas medidas de usinabilidade dos materiais. O novo sistema desenvolvido conseguiu automatizar e controlar várias etapas do teste, facilitando o ensaio e aumentando sua eficiência e confiabilidade.

IV. CONCLUSÕES

A. Quanto ao sistema de medição

A aplicação da computação para automatização de diversos processos industriais tem crescido de forma significativa, trazendo muitos benefícios, incrementando a produtividade e reduzindo às possibilidades de falhas durante o processo.

As vantagens de desenvolver este tipo de sistemas de aquisição, processamento e armazenamento de dados, apesar de em algumas aplicações existirem soluções comerciais com o mesmo intuito, são evidentes. Assim, para além de se estudar o fenômeno físico em causa, permitindo adquirir um conhecimento profundo do objeto da medição e do processo

de medição, fica-se com uma noção clara de como ele funciona, o que permite resolver rapidamente qualquer problema que possa surgir, facilitando também a análise de anomalias que ocorram durante o processo de medição.

O LabVIEW® oferece uma cobertura completa dos recursos de aquisição, análise, geração de relatórios e visualização do que é preciso para criar aplicações modernas e flexíveis, que podem ser alteradas para atender novos requisitos do sistema.

B. Quanto aos ensaios de usinabilidade pelo processo de furação com força de avanço constante

Foi possível concluir que a usinabilidade aumenta deslocando-se do núcleo para a periferia, visto que apresenta menor profundidade do furo no núcleo em relação à zona intermediária e a periferia. Isso se deve ao fato da sua microestrutura ferrítica/perlítica com maior percentual de perlita, o que contribuiu para que apresentasse menos profundidade dos furos no núcleo, mesmo apresentando menos ductilidade.

Referências Bibliográficas

- [1] MILLS, B., REDFORD, A. H., , “Machining of Engineering Materials”, Applied Science Publications, London and New York, 1983;
- [2] MACHADO, A. R., ABRÃO, A. M., COELHO, R. T., DA SILVA, M. B, “Teoria da usinagem dos materiais”, Editora Edgar Blucher, São Paulo – SP, 371 p, 2015;
- [3] TRENT, Edward; WRIGTH, Paul. Metal Cutting. 4. ed. Birmingham: Butterworth–heinemann, 2000. 464 p
- [4] FERRARESI, D. Fundamentos da Usinagem dos Metais, São Paulo, SP, Editora Edgard Blücher Ltda, 12ª Reimpressão, 2006.
- [5] AMORIM, Heraldo. Furação. In: AMORIM, Heraldo. Processos de fabricação por usinagem. Porto Alegre: Blucher, 2003.
- [6] SANTOS, S. C., SALES, W. F. 2007, “Aspectos tribológicos na usinagem dos materiais”, Artliber Editora Ltda, 2007;
- [7] SOUSA, J. A. G., INFLUÊNCIA DA MICROESTRUTURA NA USINABILIDADE DO FERRO FUNDIDO NODULAR FE45012 EM DIFERENTES BITOLAS, OBTIDOS POR FUNDIÇÃO CONTÍNUA. 2014. 203 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- [8] BRUSAMARELLO, Valner Joao; BALBINOT, Alexandre. Instrumentação e Fundamentos de Medidas. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2010.