

Efeitos da eletroerosão sobre a superfície de peças usinadas

Francisco Lima

francisolima@unifor.br

Maurício Corrêa

mauriciocorrea@unip.br

Resumo

Neste trabalho mostra-se a influência do processo de usinagem por descargas elétricas (eletroerosão) sobre a integridade superficial de peças usinadas, enfatizando as irregularidades, camadas de material fundido e solidificado e microtrincas que surgem na superfície destas peças, dependendo da intensidade de energia empregado no processo. Utilizou-se, como material da peça, o aço rápido SAE-AISI, da série M. Os resultados mostram que há uma tendência à existência de microtrincas geradas naquelas superfícies usinadas e que as mesmas apresentam camadas de material fundido com espessura variável.

Palavras-chave: Usinagem. Eletroerosão. Integridade superficial. Microtrincas.

Abstract

This work presents a study of the influence of the electrical discharge machining on the surface integrity of the work part. The surface integrity study is restricted to the following aspects: melt layer thickness and the presence of microcracks existing on the surface of these parts, depending on the intensity of energy used in the process. It was used as material of the parts high speed steel AISI of series M. The results show that it has a trend to the existence of microcracks generated in those machining surfaces and that such surfaces present layers of casting material with changeable thickness.

Keywords: Electrical discharge machining. Surface integrity. Microcracks.

1 Introdução

Conforme Kobayashi (1995), o processo de usinagem por descargas elétricas ou simplesmente processo de usinagem por eletroerosão, como mais freqüentemente é conhecido no ambiente da indústria metal mecânica é, dentre todos os processos não convencionais de usinagem, aquele que primeiro se popularizou. Este processo tem sido aplicado em várias operações, em especial para a usinagem de materiais considerados de difícil usinagem para os processos tradicionais como torneamento, furação, fresagem e retificação.

Se, por um lado, o processo tem sido fortemente utilizado com perspectivas futuras ainda mais promissoras, sabe-se, no entanto, que por ser de natureza térmica, pode comprometer a qualidade da superfície usinada.

Segundo Cruz (1993), Crookall talvez tenha sido o primeiro pesquisador a sugerir a intensificação da pesquisa em textura e integridade superficial, bem como o primeiro trabalho a se preocupar com a metalurgia das superfícies obtidas por eletroerosão.

Depois disso, na década de 90, muitos trabalhos foram publicados enfocando um ou mais aspectos da qualidade de superfícies obtidas por descargas elétricas. Sem a pretensão de fazer um “estado da arte” sobre o assunto, e sim de apenas citar o que Cruz mencionou, o ponto de partida poderia ser o trabalho de Dauw e Schumacker, com destaque para alguns trabalhos com os respectivos enfoques: Field, em 1989, trata sobre a camada de material fundido e microtrincas produzidas nas superfícies de aços endurecidos ($HRC \geq 50$) e a liga Inconel 718 usinados pelo processo de descargas elétricas em regimes de desbaste e acabamento; Kruth, em 1995, por sua vez, busca conhecer melhor o efeito que causa o tipo de fluido dielétrico, o material da peça e o eletrodo sobre a camada de martensita não revenida, também denominada “camada branca”, em uma superfície usinada por descargas elétricas; Masui, em 1995, estuda as modificações causadas com a adição de elementos de liga à superfície do aço AISI M2 usinado pelo processo de descargas elétricas.

1.2 Considerações gerais sobre o processo de usinagem por descargas elétricas

Segundo Fuller (1989), a usinagem por descargas elétricas ou electrical discharge machining - EDM ou, ainda, usinagem por eletroerosão, é um processo cujo arranque de cavaco se dá por descargas elétricas de alta frequência que provocam fusão e vaporização de materiais eletricamente condutores. Portanto, o processo é capaz de produzir furos, ranhuras e outras formas complexas que, pelos processos convencionais, seriam impossíveis de serem realizados. A descarga elétrica acontece entre um anodo e um catodo, e é produzida por corrente contínua de pulsação controlada. A ferramenta a ser utilizada nesse processo é o eletrodo que, geralmente, fica conectado ao pólo negativo, ou seja, o catodo. A peça a ser usinada, por sua vez, costuma ser conectada ao pólo positivo, sendo esse portanto, o anodo. Contudo, vale citar que esta condição pode, perfeitamente, ser invertida. Durante a usinagem, ambos, peça e eletrodo, devem ser imersos ou banhados por um fluido dielétrico. Não há contato direto entre a ferramenta e a peça a ser usinada, e, de acordo com McGeough (1988), a distância compreendida entre esses elementos é da ordem de 10 a 500 μm e é internacionalmente conhecido como *gap*. Fuller (1989) afirma que a passagem da descarga elétrica entre a ferramenta e a peça é possível devido ao fato de o dielétrico, na altura do *gap* ser ionizado graças à aplicação pulsada de uma alta tensão. A descarga elétrica produz calor a ponto de a temperatura no local da descarga variar de 8.000 a 12.000 $^{\circ}\text{C}$, provocando, assim, a fusão e a vaporização de uma parte micrométrica da peça. Como resultado desse fenômeno, a superfície da peça é caracterizada por pequenas cavidades. A peça usinada apresenta-se como uma “*imagem negativa*” da forma dada ao eletrodo-ferramenta. A Fig. 1 ilustra o aduzido neste parágrafo.

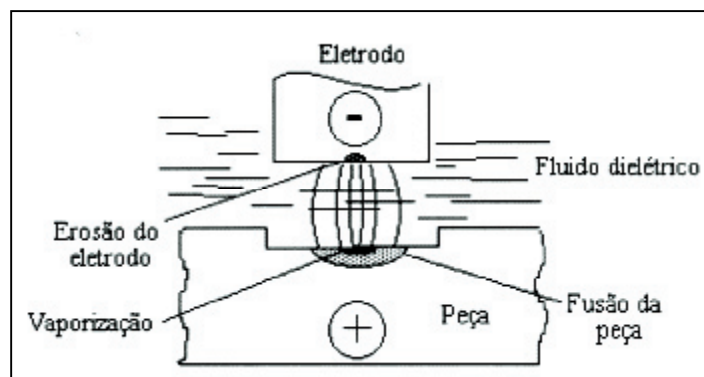


Figura 1. Esquema da usinagem por descargas elétricas.

Fuller (1989) lista como principais vantagens da usinagem por descargas elétricas as seguintes:

- Possibilidade de se usinar cavidades com finas paredes, uma vez que não há contato entre a ferramenta e peça;
- Capacidade de usinar as mais diversas geometrias, como: furos quadrados, retangulares, triangulares ou outra forma não convencional;
- Capacidade de usinar materiais de difícil usinabilidade, tais como: carbetos de tungstênio e aço ferramenta - uma vez que a dureza do material usinado não afeta o processo por descargas elétricas, muito embora a taxa de remoção de material esteja relacionada com o ponto de fusão desse material;

Esse processo é livre de rebarbas, diferenciando-se, nesse ponto, da maioria dos outros processos.

Ainda de acordo com o referido autor, o processo por descargas elétricas é aplicado, tipicamente, na usinagem de moldes e matrizes, como, por exemplo: moldes de injeção plástica, matrizes para extrusão, matrizes para forjamento e matrizes para fundição. É também muito utilizado para a usinagem de materiais extremamente duros e para a produção de peças cuja geometria é muito complexa, e que, por isso, não podem ser obtidas por meio da usinagem convencional.

1.3 Princípio de funcionamento

O princípio fundamental, como foi visto, consiste na remoção de material pelo efeito térmico das descargas elétricas, que ocorre entre o eletrodo-ferramenta e o eletrodo-peça. A peça, como geralmente está conectada ao pólo positivo, recebe o impacto dos elétrons, ao passo que a ferramenta, por sua vez, recebe o impacto causado pelos íons positivos mais pesados que os elétrons e, por isso, menos velozes, transferindo, assim, menor energia à ferramenta. Desta forma, calor de menor intensidade é gerado na ferramenta com conseqüente redução do material removido da mesma.

Para controlar a intensidade da descarga elétrica, é usual interpor na interface ferramenta-peça, ou seja, no *gap*, um líquido com características dielétricas, como, por exemplo, só permitir a abertura do arco após determinado potencial, para proporcionar as descargas de intensidades necessárias ao processo. Esse fluido dielétrico exerce outras duas importantes funções no processo: a lavagem da interface ferramenta-peça, arrastando para fora dessa região as partículas erodidas, e auxiliar no arrefecimento do sistema próximo aos locais onde ocorrem as descargas. Esse fluido dielétrico pode ser: o querosene comercial, modernos hidrocarbonetos derivados de petróleo e, ainda, água desionizada.

1.4 Grandezas de corte

Assim como outros processos de usinagem, a eletroerosão exige que seus parâmetros sejam rigorosamente conhecidos e quais deles podem ser manipulados para que, desta forma, se consiga chegar às condições ótimas de usinagem.

Conforme Cruz (1989), os principais parâmetros do processo de usinagem por descargas elétricas de uma dada Máquina-Ferramenta são:

- Material do eletrodo-ferramenta (EF);
- Material da peça (MP);
- Fluido dielétrico (FD).

Da Máquina-Ferramenta surgem as seguintes principais variáveis de corte:

- Frequência de descarga elétrica (F);
- Tensão do arco (V);
- Intensidade de corrente (I).

Tais grandezas de corte influem decisivamente nos quatro principais parâmetros de desempenho do processo, que são:

- A Taxa de remoção de material (TRM);
- A Relação de desgaste entre eletrodo e peça (RD);
- O Sobrecorte lateral (SL);
- A Rugosidade superficial (RS).

Embora tais parâmetros sejam bastante conhecidos, faz-se, a seguir, uma breve conceituação dos mesmos.

A taxa de remoção de material (TRM) é o volume de material removido da peça na unidade de tempo e depende diretamente da energia empregada para um determinado regime de usinagem, bem como da frequência. McGeough (1988) cita que esse parâmetro é também dependente de uma faixa muito grande de propriedades do material da peça a ser usinada como, por exemplo, seu ponto de fusão, além de ser influenciado pelas propriedades do eletrodo-ferramenta e por fatores geométricos, tais como forma e dimensões da ferramenta e da peça. A Relação de Desgaste (RD) é a razão entre o volume de material removido da peça e o volume de material gasto do eletrodo-ferramenta. Weller (1984) a define como sendo um método conveniente para definir as características de desgaste de vários materiais usados na confecção de eletrodo-ferramenta, em diferentes condições de usinagem. Segundo Pandey (1985), esse parâmetro é dependente das propriedades físicas e químicas desses materiais. O ponto de fusão, por exemplo, é citado por esse autor como sendo uma das propriedades que mais afeta a taxa de desgaste do eletrodo, sendo, portando, uma das variáveis de maior influência. Porém, segundo este mesmo autor, outros fatores que exercem influência sobre a relação de desgaste, tais como: taxa de remoção de material, área da seção transversal dos eletrodos, conformação do eletrodo-ferramenta e a complexidade da forma geométrica que se deseja usinar. O sobrecorte lateral (SL) é tido como sendo a diferença entre os raios do furo usinado na peça e do eletrodo-ferramenta. Esse parâmetro é função da energia empregada em cada regime, da frequência de descarga, do sistema de lavagem, do material da peça e ainda de outros fatores menos importantes. A rugosidade superficial (RS) é o parâmetro de desempenho do processo que determina o acabamento final da peça. Esse parâmetro é função das variáveis de corte. Segundo Cruz (1989), as grandezas gerais do processo de usinagem por descargas elétricas, bem como suas interdependências, podem ser vistas na Fig. 2.

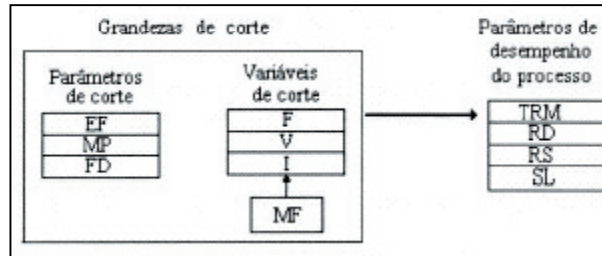


Figura 2: Grandezas de corte e parâmetros de desempenho do processo de usinagem por descargas elétricas.

Sabe-se que nos regimes de acabamento a taxa de remoção de material é menor pois, para estes regimes, a energia de descarga, ou seja, o produto tensão(V) corrente(I) é mínimo. No regime de desbaste, por sua vez, ocorre o contrário, isto é, a energia de descarga é maior e, conseqüentemente, há um aumento no volume de material removido. Pela Fig. 2 é possível observar a tendência do valor da taxa de remoção de material para os diversos regimes.

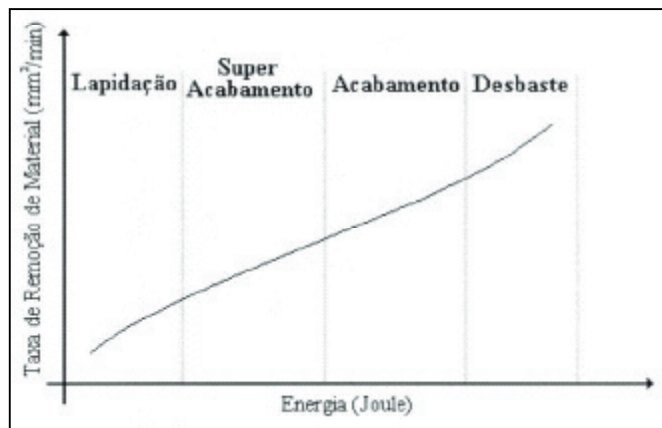


Figura 3. Variação da Taxa de Remoção de Material em função da energia empregada para cada regime.

Na Fig. 4, Hatschek (1983) mostra como varia a taxa de remoção de material, em função da corrente empregada na usinagem de aço-ferramenta pelo processo de descargas elétricas, usando o grafite como eletrodo-ferramenta. Percebe-se também a influência da corrente sobre o acabamento superficial.

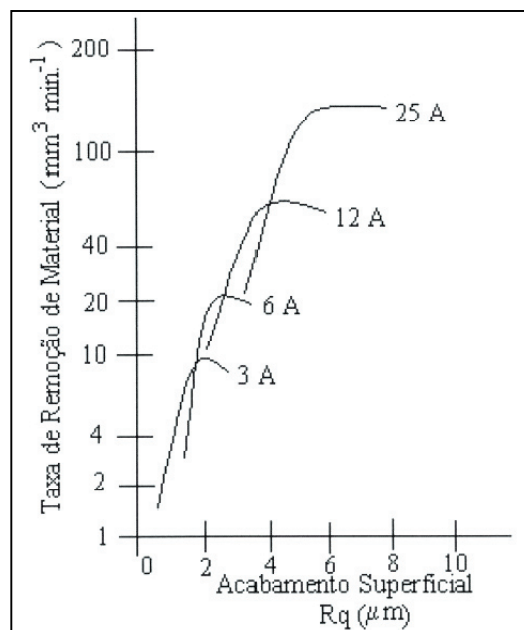


Figura 4. Variação da TRM na usinagem de aço-ferramenta por EDM, utilizando grafite como ferramenta.

Corforme Pandey (1985), a relação de desgaste para um regime de usinagem extremamente suave é algo em torno de 100:1. Em contrapartida, em usinagem na qual ocorra um elevado desgaste do eletrodo, como em regime de desbaste, por exemplo, essa relação fica em torno de 0,05: 1. Segundo Koboyashi (1995), a relação entre corrente, frequência e sobrecorte lateral pode ser mostrada, esquematicamente, na Fig. 5.

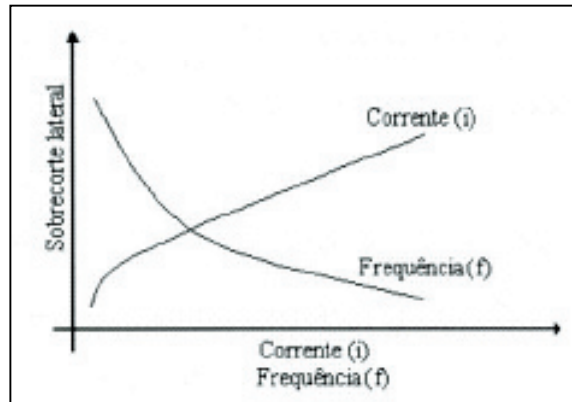


Figura 5. Influência da corrente e da frequência no sobrecorte lateral.

Ao se usar qualquer componente, deve-se ter em mente que existem dois importantes aspectos que devem ser definidos e controlados. O primeiro está relacionado com as irregularidades geométricas da superfície e é denominado “*textura superficial*”, e o segundo, com as alterações metalúrgicas da superfície e da camada subsuperficial, denominado “*integridade superficial*”. No processamento de alguns produtos, esses dois aspectos, textura e integridade superficial, devem ser definidos, medidos e mantidos dentro de limites especificados. A Fig. 6 mostra esses dois aspectos.

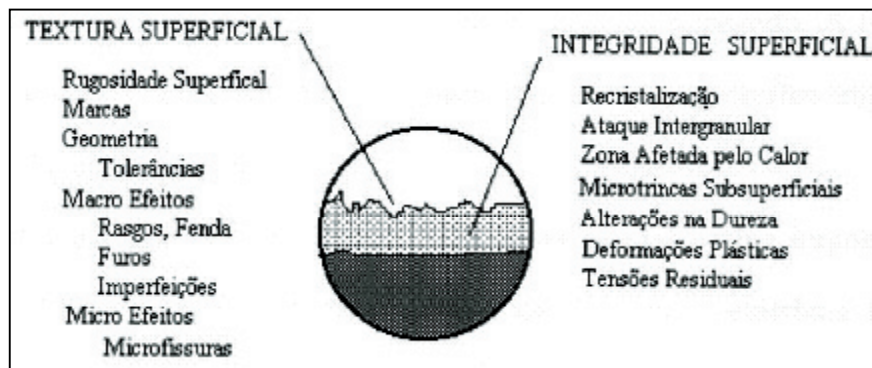


Figura 6. Efeitos da tecnologia de superfície.

As principais causas de alterações superficiais produzidas pelos processos de usinagem são: altas temperaturas geradas no processo; deformação plástica; reações químicas; excessiva corrente elétrica e densidade de energia durante a usinagem.

2 Procedimento experimental

Para a realização deste trabalho utilizou-se uma máquina eletroerosiva de penetração, da Hiteka, modelo Erosimat D-01/A, de procedência Húngara. Com esta máquina é possível efetuar usinagem de desbaste, acabamento e superacabamento. Sua fonte é de 10 kVA e proporciona uma corrente máxima de 20 A e tensão máxima de 500 V. Seu sistema de filtragem conta com um conjunto de telas estrategicamente posicionadas no reservatório e, com isto, a filtragem propriamente dita é feita através da passagem do fluido dielétrico por três filtros, sendo que cada um desses filtros é composto por dois cartuchos tubulares.

O eletrodo ferramenta era de forma geométrica cilíndrica - comprimento 80 mm e diâmetro 22 mm - e de grafite.

Como material para a peça a ser usinada, foram escolhidos bits de aço rápido do tipo Villares-VWM-2 temperado, que é, de acordo com a classificação SAE-AISI, da série M (aço-rápido ao molibdênio).

Como fluido dielétrico, utilizou-se o querosene comum em função do menor custo, quando comparado às demais opções para fluido dielétrico existente, hoje, no mercado.

A escolha das operações de usinagem $\frac{3}{4}$ desbaste, acabamento e superacabamento $\frac{3}{4}$ se deu pela variação da corrente, frequência e tensão.

3 Resultados

Na análise das micrografias seguintes (Figs. 7, 8 e 9), mostram-se as conseqüências do processo de eletroerosão sobre as superfícies de peças usinadas, destacando-se, no estudo da integridade superficial, as microtrincas geradas nas superfícies das peças produzidas, dependendo do grau de energia empregada durante a usinagem. Na oportunidade, faz-se menção às irregularidades geradas nestas peças, face à existência de partículas que se depositam na região do *gap*, ou seja, entre o eletrodo ferramenta e a peça.

Na Fig. 7, observa-se, de forma clara (assinalado), que a superfície de uma peça usinada pelo processo de eletroerosão poderá conter inúmeras irregularidades representadas por pequenas cavidades geradas pela existência de partículas que se depositam no fluido dielétrico. Tais partículas, denominadas impurezas, e não retidas pelo sistema de filtragem da máquina-ferramenta, são provenientes, muitas vezes, do próprio material do eletrodo ferramenta, principalmente quando se utiliza eletrodo de cobre.

Ainda na análise desta micrografia, pode-se constatar que a superfície da peça, oriunda do processo de usinagem por descargas elétricas, caracteriza-se pela inexistência de marcas que denotam a direção de avanço da ferramenta, como se observa nos processos convencionais de usinagem, em particular, o processo de torneamento.

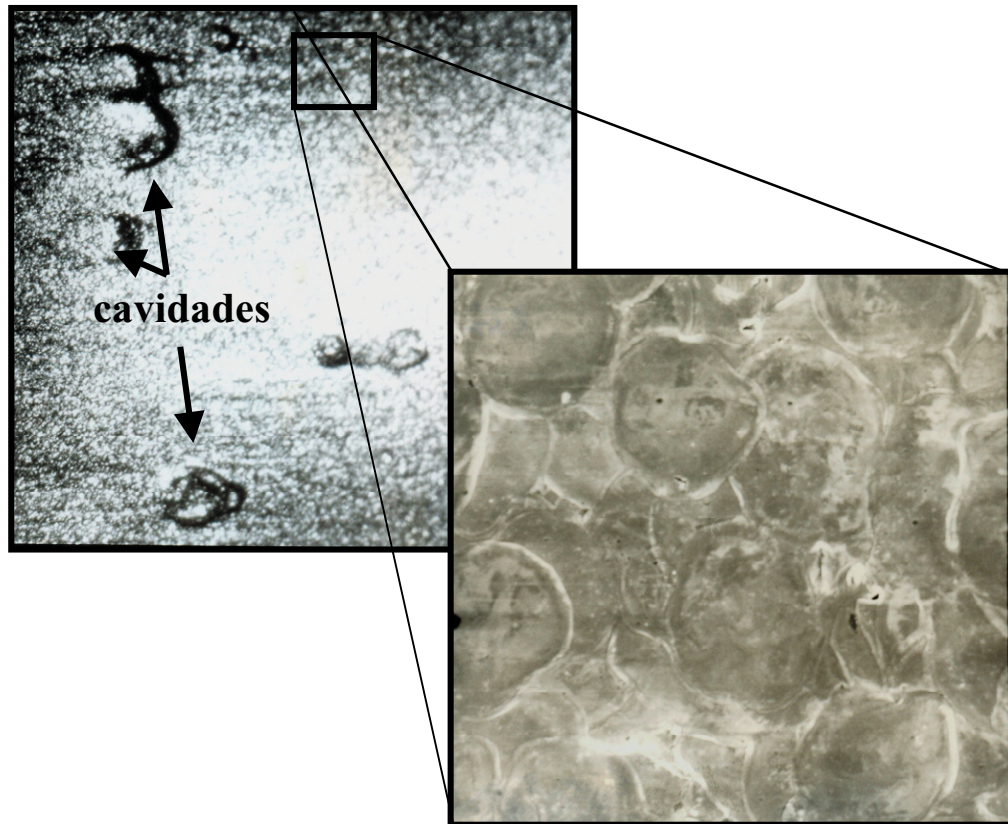


Figura 7. Irregularidades geradas na superfície de peça usinada pelo processo de eletroerosão.

A peça usinada pelo processo de eletroerosão apresenta sua superfície encoberta por camadas de material da própria peça que, ao sofrer a descarga elétrica, funde-se e, em seguida, se solidifica. As Figs. 7 (no detalhe ampliado) e 8 (parte superior) mostram o exposto.

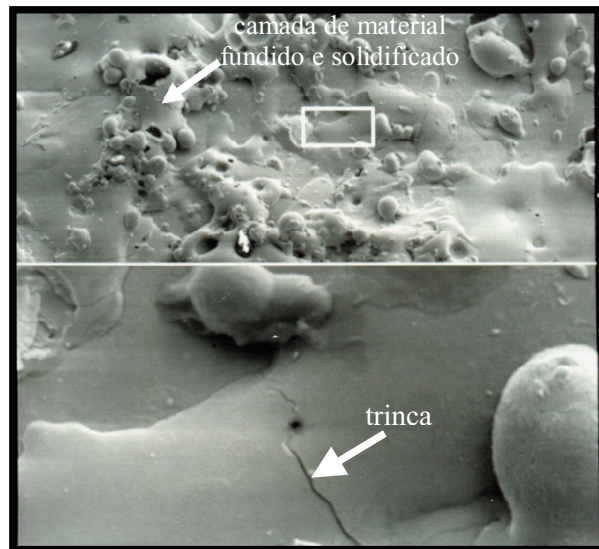


Figura 8. Camadas de material depositadas sobre a superfície de peça usinada pelo processo de eletroerosão.

A espessura destas camadas varia em função da energia empregada no processo. Assim, quando se usina com a intenção de obter uma maior taxa de remoção de material, o que implica maior intensidade da corrente elétrica, tem-se superfície com maior rugosidade e encoberta por espessa camada de material. Ao se usinar com baixa intensidade de corrente, observa-se que tal camada apresenta espessura bastante reduzida quando da comparação com a situação anterior.

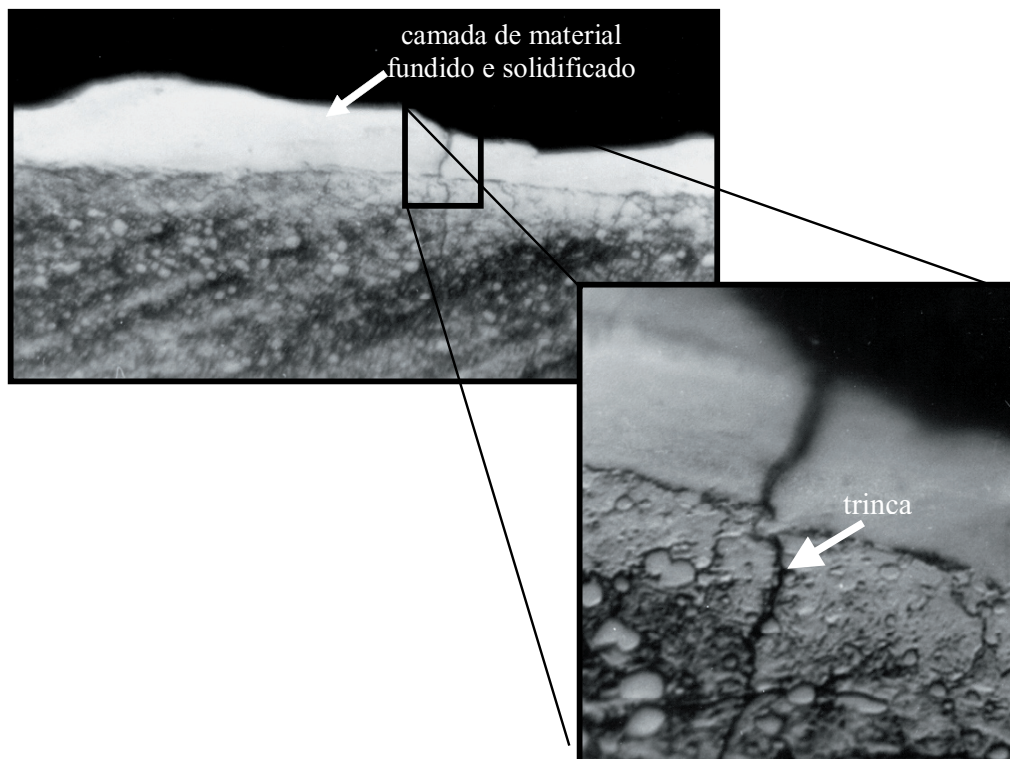


Figura 9. Microtrincas geradas em peça usinada pelo processo de eletroerosão.

A Figura 9 evidencia a presença de microtrincas que as superfícies de peças usinadas por eletroerosão podem, dependendo das condições de trabalho - desbaste, semi-acabamento - , apresentar.

Estas trincas costumam surgir nas camadas de material que se depositam sobre a superfície usinada - Fig. 8 (detalhe) e Fig. 9 (ampliação) - e se estendem pelo interior da peça, fazendo com que a mesma tenha reduzida, assim, sua resistência à esforços cíclicos. Portanto, pelo exposto, deve-se ter cuidado ao utilizar o processo de eletroerosão, principalmente, dependendo da aplicação da peça a ser usinada.

4 Conclusões

Com base no exposto ao longo deste trabalho, busca-se, neste item, delinear algumas conclusões acerca do processo de eletroerosão, tendo em vista o efeito de tal processo na superfície de peças usinadas. Assim, tem-se que:

A superfície de peça usinada pelo processo de eletroerosão poderá apresentar camadas de material fundido e solidificado, oriundas da própria peça;

O regime de usinagem exerce influência sobre a espessura da camada de material fundida e depositada sobre a superfície da peça usinada;

O uso de eletrodo de grafite no processo de eletroerosão poderá dar causa ao surgimento de irregularidades, causadas por partículas que se desprendem do eletrodo na superfície das peças usinadas por esse processo;

O grau de impureza do fluido dielétrico pode contribuir para que partículas nele submersas posicionem-se entre o eletrodo e a peça, dando, assim, origem às pequenas irregularidades em forma de cavidades na superfície usinada;

A peça usinada por eletroerosão, dependente do nível de energia empregado no processo, pode apresentar microtrincas que se estendem pelo seu interior, a partir da camada de material fundida e depositada sobre a mesma.

Referências

CRUZ, C. Há inúmeras maneiras não-tradicionais de usinar materiais: conheça algumas. *Máquinas e Metais*, São Paulo, ano 29, v. 27, n. 324, p. 80-85, 1993.

FULLER, J. E. *Electrical discharge machining*. 9th ed. Terre Haute: Joseph R. Davis, 1989. (Metals Handbook - Machining, v. 16).

KOBAYASHI, K. The present and future developments of EDM and ECM, ISEM. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOR ELECTROMACHINING, 11., 1995, Lausanne. *Proceedings...* Lausanne: ISEM, 1995. p. 29-47.

McGEOUGH, J. A. *Advanced methods of machining*. London: Chapman and Hall, 1988.

PANDEY, P. C.; Shan. H. S. *Modern machining processes*. New Delhi: McGraw Hill, 1985.

WELLER, E. J. *Nontraditional machining processes*. 2nd ed. Dearborn: Society Manufacturing Engineers, 1984.

SOBRE OS AUTORES

Francisco Lima

Engenheiro Mecânico (Universidade de Fortaleza-UNIFOR), Mestre em Processos de Fabricação (Universidade Federal de Uberlândia-UFU) e Doutor em Processos de Fabricação (Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP). Professor titular do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade de Fortaleza. Membro convidado do Núcleo de Manufatura e Qualidade-NMQ da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

Maurício Corrêa

Engenheiro Mecânico (Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP), Mestre e Doutor em Processos de Fabricação (Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP). Professor e Coordenador do curso de Engenharia de Produção da Universidade Paulista. Coordenador do Núcleo de Manufatura e Qualidade da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.