

INTEGRIDADE SUPERFICIAL DO AÇO AISI H13 USINADOS POR EDM NA FABRICAÇÃO DE MATRIZES DE CONFORMAÇÃO A QUENTE*

Thiago Marques Ivaniski¹
Rodrigo Panosso Zeilmann²
Luciano Aparecido Kempski³
Alexandre da Silva Rocha⁴

Resumo

A fabricação de componentes para conformação mecânica possui uma gama de exigências devido aos esforços cíclicos, como por exemplo, fadiga térmica. Devido à capacidade de formar geometrias complexas e usinar metais de alta dureza, a eletroerosão (EDM- *Electrical Discharge Machining*) possui eficiência na produção destas matrizes. O estudo da integridade superficial do material erodido torna-se importante para avaliarmos qual são as condições ideais para tratamentos termoquímicos que visam a otimização da superfície da matriz usinada. Neste trabalho, foi investigada a integridade superficial do AISI H13, utilizadas para a fabricação de matrizes de forjamento a quente. Foram avaliadas a rugosidade e camada afetada pela técnica de Perfilometria Mecânica, Microscopia Ótica (MO) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Verificaram-se diferentes superfícies, em diferentes parâmetros de usinagem e profundidades estabelecidas, observando-se a subsuperfície do material.

Palavras-chave: Integridade superficial; Engenharia de superfícies; Rugosidade; Camada afetada.

SURFACE INTEGRITY OF AISI H13 STEEL WITH EDM MACHINING FOR MANUFACTURING HOT FORMING DIES

Abstract

The manufacturing of dies for hot forming processes has a range of requirements due to cyclic loading, as e.g. thermal fatigue. Due its capacity to form complex geometric shapes and to machine high strength materials, the Electrical Discharge Machining is an efficient method to manufacture these dies. The surface integrity of eroded material becomes important to evaluate the ideal conditions for thermochemical treatments aimed at optimizing die surfaces. In this research, it was investigate the surface integrity of an AISI H13 steel, used for producing hot forming dies. Surface roughness and the heat affected layer were evaluated by perfinlometry, Optical Microscopy (OM) and Scanning Electron Microscopy (SEM). Differences in the surfaces were found according with the different employed machined parameters and at different depths. Special attention was given to the subsurface.

Keywords: Surface integrity; Surface engineering; Roughness; Affected layer.

¹ Engenheiro de Materiais, Bacharel, Mestrando, Laboratório de Transformação Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

² Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil

³ Tecnólogo em Processos Industriais, Mestre/Doutorando, Laboratório de Transformação Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

⁴ Engenheiro Mecânico, Doutor, Coordenador/Professor, Laboratório de Transformação Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A fabricação de moldes e matrizes, em diversas aplicações de transformação mecânica deve possuir alta dureza, resistência ao desgaste e estabilidade térmica superficial [1]. Devido as suas propriedades mecânicas, estes materiais possuem limitações quando a usinagem convencional, desta forma, a aplicação de eletroerosão EDM para a produção destas matrizes torna-se uma alternativa viável na produção destas ferramentas [1,2].

A eletroerosão EDM é um processo não convencional de usinagem onde ocorre a ejeção de material condutor através de descargas elétricas cíclicas até a forma final desejada [3]. Porém os parâmetros elétricos utilizados irão influenciar na integridade superficial do material usinado como formação de micro-trincas após rápida taxa de resfriamento e solidificação na pausa de energia. A alteração microestrutural abaixo na camada composta irá definir a melhora ou piora na adesão dos tratamentos termoquímicos que visam à melhoria nas propriedades mecânicas e químicas das superfícies de matrizes de conformação [4,5,6,7]. Tais tratamentos aplicados pela Engenharia de Superfícies conferem características otimizadas às ferramentas de conformação, como por exemplo, a Nitretação a Plasma [7].

Alguns parâmetros são importantes para determinarmos a integridade superficial no material usinado, rugosidade e camada afetada são formas de avaliar. A influência nas condições de trabalho durante a usinagem, irão determinar os resultados destes parâmetros de integridade superficial, como corrente (i_e), tensão (u_e) e tempo de descarga elétrica (t_{eON}) e tempo de pausa (t_{eOFF}) [6,7].

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a qualidade superficial e subsuperficial do eletrodo de cobre e a superfície do aço AISI H13 com diferentes parâmetros de acabamento em eletroerosão (EDM), a fim de, relacionar o tempo de descarga elétrica (t_{eON}) e profundidade das cavidades a serem erodidas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foi um bloco de aço especial para matrizes AISI H13 com dimensões 113 mm x 51 mm x 22 mm, sua superfície foi faceada e sua composição química é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química percentual do aço AISI H13

Análise [%]	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V
	0,40	0,94	0,36	0,016	0,005	5,04	1,22	0,01	0,88

Para ferramenta foi utilizado um eletrodo de cobre eletrolítico C11000 com 99,98% de pureza (Cu 99,98%), suas dimensões são 15 mm x 15 mm.

Fluido dielétrico sintético Micro-Corte 102-A Microquímica para o isolamento do sistema e confinamento da descarga.

Para a usinagem de eletroerosão por imersão da peça foi utilizado o equipamento Engemaq Modelo EDM 440NC, possui um sistema de cabeçote porta-eletrodo-ferramenta com movimento no eixo Z por guias lineares. Sua programação de operação é feita em um painel por meio de microprocessador.

O rugosímetro da marca MITUTOYO SJ-301 foi utilizado para a avaliação da rugosidade (R_a) de acordo com a norma ISO 4287:1997 da peça e do eletrodo. Para caracterização da superfície e subsuperfície foi utilizado o Microscópio Ótico NIKON EPIPHOT 200 e Microscópio Eletrônico de Varredura MIRA3 TESCAN.

2.2 Métodos

O corpo de prova foi completamente submerso no fluido dielétrico junto ao bico de lavagem lateral com dimensões de 25 mm x 1 mm. Foram realizadas 6 cavidades pela EDM, sendo alternado apenas o pulso de descarga (t_{eON}) que na literatura é representada por (t_e) entre elas e 6 réplicas. A tensão de trabalho (u_e) é de 150 V, o tempo de pausa (DT %) está relacionado com a pausa entre as descargas (t_{eOFF}) onde 92% vem da relação matemática do pulso de descarga e interrupção da mesma. A Tabela 2 representa os parâmetros.

Tabela 2 – Parâmetros de Usinagem por EDM

Cavidades	Profundidade (mm)	Densidade de Corrente (A)	Pulso de descarga (t_{eON} μ s)	Pausa de Descarga (DT %)	Retorno pós-ciclos	Pressão de Lavagem (MPa)	Tempo de erosão (s)	Ciclos antes do retorno
1 a 4	3	8	200 / 300	92	2	0.5	1	10
5 a 8	6	8	200 / 300	92	2	0.5	1	10
9 a 12	9	8	200 / 300	92	2	0.5	1	10

A rugosidade do material foi medida em três regiões da cavidade erodida e sua réplica. Para a morfologia e camada afetada do material, os corpos de prova foram cortados em seções transversais e medidas nas regiões representativas para os diferentes parâmetros de usinagem.

Foi utilizado para as medições da espessura da camada afetada o software gráfico (*ImageView*) desenvolvido pelo laboratório de metrologia da Universidade de Caxias do Sul. Foram traçados duas linhas horizontais, uma na superfície da camada branca e outra na região de transição térmica (zona afetada pelo calor), divisão de cinco principais regiões significativas. Após esse procedimento pode-se medir a espessura dessas regiões e avaliar sua camada afetada.

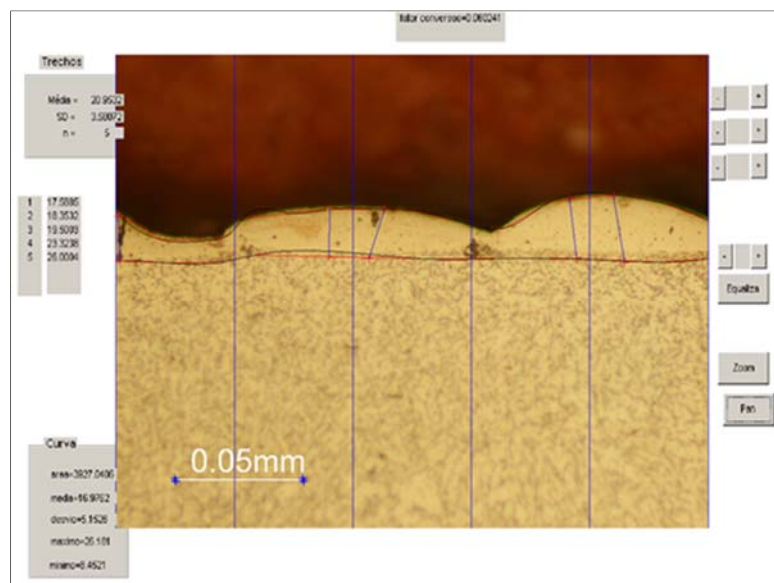


Figura 1 – Método de Avaliação de espessura da camada afetada dividida em cinco regiões.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise da Camada Afetada

Para uma melhor compreensão desses resultados foram definidas para camada afetada que: (Ala) significa a média dos menores valores aferidos, (Aly) é o maior valor medido das camadas e (Alz) é a média dos maiores valores medidos. Foram considerados para (Ala, Aly e Alz) os fatores e níveis estabelecidos para analisar a significância dos resultados experimentais, são chamados de fontes de variação, onde podemos considerar (A), como a profundidade da cavidade erodida e (B) o pulso de descarga elétrica (t_{eON}). Na média dos menores valores (Ala), a variação do pulso de descarga (fator B), teve maior influência, enquanto o maior valor medido das camadas (Aly), teve como principal influência a profundidade erodida (fator A) e a média dos maiores valores (Alz) teve como influência o pulso de descarga (fator B). Supõe-se que, pelo fato de acumular dendritos e a dificuldade da passagem do fluxo de lavagem do dielétrico em maiores profundidades, o (Aly) apresentou como maior influência a profundidade (fonte de variação A), diferentes das médias.

Tabela 3 – Análise de Variância para fatores A e B na camada afetada pela EDM.

Ala							
Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F ₀	F _c	P	Conclusão
A	41.20	1	41.19	2.37	4.75	1.4984E-01	F ₀ < F tabela
B	139.31	1	139.31	8.01	4.75	1.5192E-02	F ₀ > F tabela
AB	32.59	1	32.59	1.87	4.75	1.9623E-01	F ₀ < F tabela
Erro	208.82	12	17.40				
Total	421.93	15					
Significância $\alpha = 0.05$							
Aly							
Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F ₀	F _c	P	Conclusão
A	194.80	1	194.80	5.00	4.75	4.5039E-02	F ₀ > F tabela
B	145.02	1	145.02	3.73	4.75	7.7558E-02	F ₀ < F tabela
AB	127.23	1	127.21	3.27	4.75	9.5758E-02	F ₀ < F tabela
Erro	467.13	12	38.92				
Total	934.17	15					
Significância $\alpha = 0.05$							
Alz							
Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F ₀	F _c	P	Conclusão
A	76.34	1	76.34	4.68	4.75	5.1474E-02	F ₀ < F tabela
B	174.49	1	174.49	10.69	4.75	6.7104E-03	F ₀ > F tabela

AB	51.39	1	51.39	3.15	4.75	1.0137E-01	F0 < F tabela
Erro	195.89	12	16.32	Significância $\alpha = 0.05$			
Total	498.13	15					

3.2 Rugosidade

A rugosidade superficial da peça usinada tem uma importante relevância nos resultados pois verifica-se os desvios microgeométricos da superfície característicos do processo. Foram feitas análises estatísticas com fontes de variação, como mostradas na camada afetada. A Tabela 4 exibe o planejamento fatorial das medidas de rugosidade do eletrodo para a combinação dos fatores de profundidade e pulso de descarga elétrica.

Os perfis de rugosidade da peça usinada, através de análise fatorial, mostra que não houve influência na combinação de fatores A e B e também individualmente, supõe-se que a polaridade influencia no perfil gerado na superfície após usinagem [6]. Lee (2003), concluiu que com o aumento do pulso de descarga, aumenta a rugosidade superficial da peça, porém quando há um aumento excessivo deste pulso, a rugosidade superficial começa a reduzir [4].

Tabela 4 – Análise de Variância para fatores A e B do AISI H13 usinado por EDM.

Ra							
Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	F ₀	F _c	P	Conclusão
A	1.4945	1	1.4	3.96	4.75	6.9970E-02	F0 < F tabela
B	0.0005	1	0.0005	0.00	4.75	9.7140E-01	F0 < F tabela
AB	0.0023	1	0.0023	0.01	4.75	9.3967E-01	F0 < F tabela
Erro	4.5	12	0.37	Significância $\alpha = 0.05$			
Total	6.03	15					

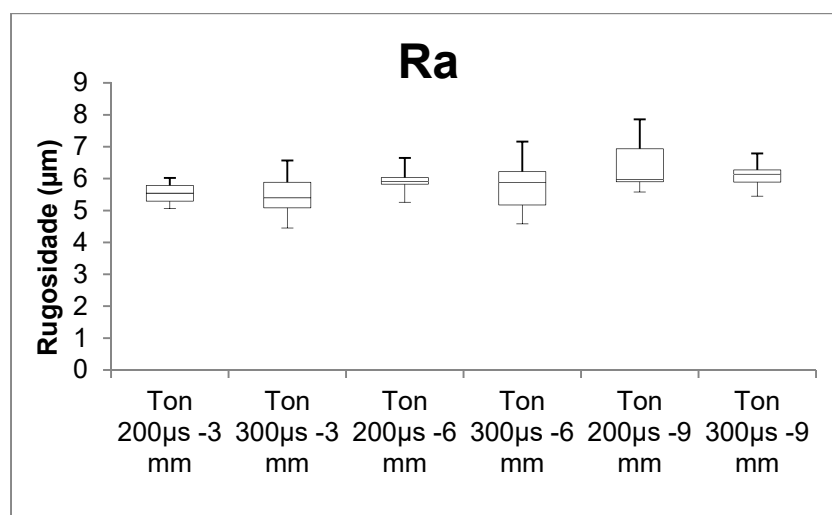


Figura 2 – Rugosidade da peça obtida após o processo de usinagem por EDM

3.3 Morfologia da Camada a afetada

Observa-se que o perfil da camada branca tende a homogeneizar durante o aumento do pulso de descarga, mesmo com a diferença na profundidade da cavidade erodida.

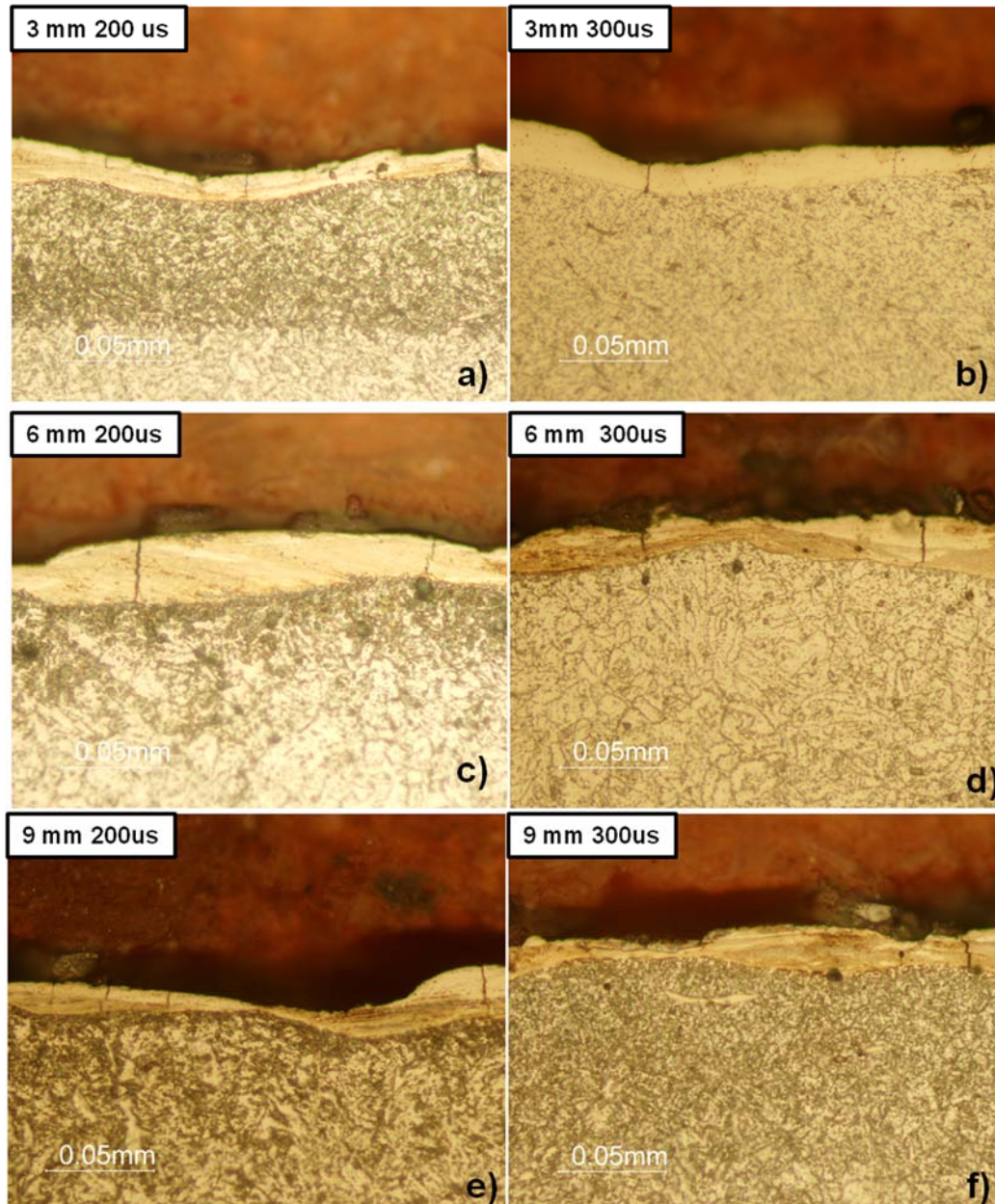


Figura 3 – Representação da camada branca gerada após solidificação e formação de microtrincas para t_{eON} 200 μ s e 300 μ s.

Kumar et al (2009) e Lee (2003) salientam que conforme o aumento o regime de trabalho como pulso de descarga (t_{eON}) e a variação da profundidade erodida, aumenta a espessura da camada branca. Observa-se uma heterogeneidade na camada branca conforme a mudança dos parâmetros de acabamento, também há um aumento nas trincas geradas, supõe-se que a profundidade junto à dificuldade na dejeção das partículas resolidificadas faz com que essa camada branca se torne menos homogênea. A energia gerada durante o processo e o gradiente térmico

durante a solidificação, faz com que o material sofra trincas mais severas. Aliando a condição de lavagem, junto aos parâmetros elétricos é evidente uma mudança na microestrutura superficial do AISI H13. A severidade desses parâmetros e o alto gradiente de temperatura são responsáveis pelo aumento da concentração de trincas e também a formação de trincas na zona afetada pelo calor (ZAC), tal circunstância pode ser representada na Figura 4 por MEV, sua condição foi de pulso de descarga (t_{eON}) de 300 μ s e 9 mm de profundidade.

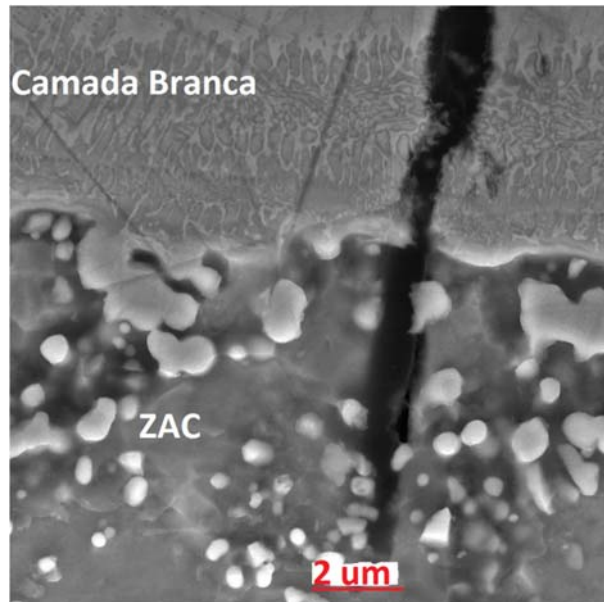


Figura 4 – Formação de trinca severa na zona afetada pelo calor (t_{eON}) 300 μ s e 9 mm.

4 CONCLUSÕES

A rugosidade dos materiais foi investigada após o processo de acabamento por eletroerosão. Para o material eletrodo de Cobre, a variação do pulso de descarga t_{eON} influenciou na rugosidade R_a , tal fato se deve ao tempo em que há troca de material do eletrodo ferramenta para o eletrodo peça. Porém, para o material AISI H13 não houve uma variação significativa da rugosidade R_a . Conclui-se que com o aumento excessivo do pulso de descarga t_{eON} obteve-se a maior influência sobre a rugosidade do material, aumentando a espessura de camada branca formada. Além disso, a profundidade de remoção teve um efeito significativo, porém secundário.

O aumento do pulso de descarga e profundidade erodida de material teve relação direta com a formação de trincas superficiais, também foram encontradas trincas subsuperficiais em parâmetros mais severos de EDM. Tais resultados mostrarão danos permanentes na superfície do AISI H13 para quando forem aplicados processos de preparação superficial para aplicações de revestimentos e nitretação.

REFERÊNCIAS

- 1 P. J. Gruber, G. Jesner, R. Ebner und O. Kolednik. High-strength Steel under Monotonic and Cyclic Loading – A Study on the Damage Evolution near the Edge of a Stamping Tool. Springer- Verlag. 2009: 205 – 210.
- 2 KONIG, W.; KLOCKE, F. *Fertigungsverfahren-3, Abtragen and Generieren*. Springer Berlin, v. 3, p. 200-207, 1997.
- 3 KUMAR, S. et al. Surface Modification by Electrical Discharge Machining: A review. *Journal of Materials Processing Technology*. 209: 3675-3687 p. 2009.

- 4 LEE, H. T.; TAI, T. Y. Relationship Between EDM Parameters and Surface Crack Formation. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 142, n. 3, p. 676-683, 2003. ISSN 0924-0136.
- 5 NICOLA, G. L.; MISSELL, F. P.; ZEILMANN, R. P. Surface Quality in Milling of Hardened H13 Steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 49, n. 1-4, p. 53-62, 2010. ISSN 0268-3768
- 6 AMORIM, Fred Lacerda et al. Tecnologia de eletroerosão por penetração da liga de alumínio AMP 8000 e da liga de cobre CuBe para ferramentas de moldagem de materiais plásticos. 2002. Tese de Doutorado. Tese para obtenção do título de doutor em Engenharia, PPGEMEC, UFSC.
- 7 ROCHA, A. da S. Influência do estado superficial prévio na nitretação a plasma do aço AISI M2. 2000. Tese de Doutorado. Tese para a obtenção do título de Doutor em Engenharia, PPGEM, UFRGS.