

# ANÁLISE ESTRUTURAL DAS CAMADAS SUPERFICIAIS DO AÇO AISI L6 MAQUINADO POR EDM

M. Melo, P. Vassalo, M. Santos, Ruy Mesquita

INETI / IMP- Instituto de Materiais e Tecnologias de Produção, Ed.C, Estrada do Paço do Lumiar, 1649-038 Lisboa

## RESUMO

*A maquinação do aço AISI L6 por electroerosão por penetração utilizando um fluido hidrocarbonetado como dieléctrico produz uma camada superficial de elevada dureza, frágil, com baixa rugosidade, microfissuração superficial não propagada, mas apresentando uma elevada coesão com a zona termicamente afectada e sem indiciação de crescimento de microfissuração, descarbonação, vazios ou cavidades, podendo-se através da modificação da composição da camada branca obter-se uma melhoria das suas características de resistência. A avaliação estrutural das camadas superficiais realizou-se por observação das superfícies de fractura de provetes ensaiados em testes de flexão e choque.*

## INTRODUÇÃO

A maquinação de peças em aço por electroerosão por penetração (EDM) processa-se por erosão da superfície, produzida pela fusão superficial do material gerada pelas descargas eléctricas entre o electrodo e a peça. O corte decorre com o electrodo e a peça imersos no fluido dieléctrico, no caso um óleo à base de hidrocarbonetos.

O processo tecnológico caracteriza-se pelo estabelecimento de um diferencial eléctrico entre os polos, gerando à superfície temperaturas elevadas, suficientes à criação de manchas de material fundido. Instantaneamente, realiza-se a lavagem por meio de um jacto de fluido dieléctrico, reforçado pela agitação do banho do dieléctrico provocado pelos movimentos

orbital, e de subida e de descida do electrodo. A massa fundida não arrastada é arrefecida rapidamente, formando uma camada superficial com características diferentes das do material de base.

As condições de maquinação, intensidade de corrente e tempo de descarga, são os responsáveis pela extensão, maior ou menor, das alterações estruturais do material nas camadas superficiais. Elevados valores da intensidade de corrente e do tempo de descarga são responsáveis pela criação de espessa e irregular camada branca à superfície e da profunda modificação da microestrutura na zona termicamente afectada.

As características metalúrgicas das camadas superficiais dependem da composição química do material a maquinar

e do dieléctrico e, do grau de severidade provocado pelo arrefecimento das camadas afectadas. A superfície é formada por uma camada que apresenta uma microestrutura de solidificação rápida e em profundidade alterações metalúrgicas.

## TRABALHO EXPERIMENTAL

Este trabalho procurou avaliar as consequências da maquinagem de um aço ferramenta Cr-Ni-Mo e as alterações estruturais provocadas à superfície e em profundidade.

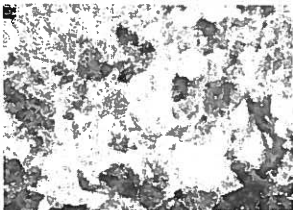
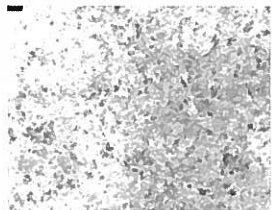
*Tabela 1: Composição do aço AISI L6<sup>1</sup>.*

%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo
0.55	0.30	0.50	1.00	3.00	0.30

A maquinagem por electroerosão de penetração, tendo como fluido dieléctrico um hidrocarboneto, realizou-se sobre o aço AISI L6 (Tab. 1), no estado de recozido e de temperado e revenido (Tab.2).

A maquinagem por EDM foi realizada numa máquina ROBOFORM 2000 da CHARMILLES TECHNOLOGIES, com selecção dos parâmetros de erosão a partir do programa de erosão de aço, com eléctrodo em cobre electrolítico.

*Tab. 2: Características metalúrgicas do aço AISI L6.*

	
<i>Recozido</i>	<i>Temperado e revenido</i>
<i>Pearlite e ferrite lamelar</i>	<i>Martensite revenida</i>
<i>Dureza de 234HV</i>	<i>Dureza de 56.9HRC</i>
<i>500X; nital 2% e picral</i>	<i>500X; nital 2% e picral</i>

O regime de maquinagem final foi seleccionado tendo como objectivo a realização de ensaios de corte com acabamento microfino, de modo a se

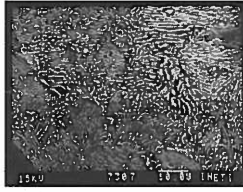
obterem rugosidades (Ra) inferiores a 0.25µm(Tab.2). O processo baseou-se na execução de uma série contínua de regimes, desde o desbaste (execução da forma da superfície) até ao acabamento (rugosidade mínima para polimento), sendo o último regime com energia de descarga de 80 µJ.

*Tabela 3: Rugosidade da superfície maquinada.*

Tratamento Térmico	Recozido	Têmpera e revenido
Rugosidade (µm)	0.211	0.231

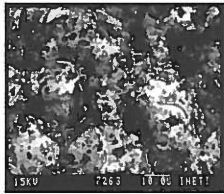
A utilização de fluidos dieléctricos na maquinagem por EDM à base de hidrocarbonetos tem como principais vantagens a protecção da superfície à corrosão e a não necessidade de desionização<sup>2</sup>, apesar de apresentar um custo elevado<sup>3</sup>. Apresenta ainda características que permitem uma boa uniformidade na distribuição das descargas eléctricas e pode ser considerado um meio arrefecedor estável, em termos de composição e estado e, pouco crítico como meio de têmpera. A principal desvantagem provem, do facto de, durante a sua ionização se formar carbono livre, que difunde para a massa fundida à superfície<sup>3</sup>, aumentando a percentagem de carbono retida na camada branca. O excesso de carbono é responsável pelos aumentos de carboneto de ferro (Fe<sub>3</sub>C-cementite), da austenite residual e das tensões residuais. Contudo, o excesso de carbono compensa a perda natural de carbono do material maquinado durante a erosão, evitando que se dê a descarbonação da superfície, com a consequente formação de cavidades, vazios e fissuras.

A camada superficial do aço AISI L6 gerada após a maquinagem por electroerosão por penetração, identificada como camada branca, apresenta uma fina espessura, entre 2-3µm, uniforme e contínua, sendo indiferente o estado térmico de maquinagem (Fig. 1).



**Fig. 1:** Microestrutura do aço recozido sem alteração e com camada branca uniforme e regular e (1000X;Nital 2%).

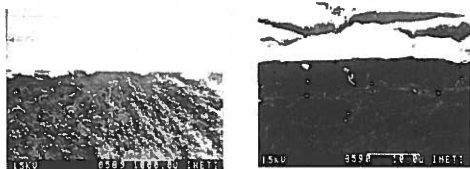
A maquinação por electroerosão por penetração cria à superfície crateras, formadas pelo material em fusão e pela explosão criada pelos vapores no interior da massa fundida. O aspecto da superfície é caracterizado pela irregularidade gerada pelas crateras. Estas apresentam uma forma circular, com distribuição uniforme na superfície, diâmetros médios entre 10-15 $\mu$ m e microfissuras, tanto no interior como na base (Fig. 2).



**Fig. 2:** Aspecto superficial: crateras e microfissuras.

A microfissuração está associada à fragilidade, composição e dureza da camada branca e às tensões residuais de origem metalúrgica e térmica.

Ensaio de flexão e de choque, correspondentes a velocidade de propagação lenta da fractura e rápida, respectivamente, permitiram observar superfícies de fractura com iniciação na camada branca (Fig. 3).

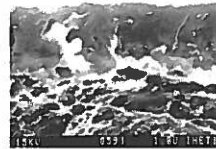


**Fig. 3:** Superfície de fractura: aspectos de iniciação

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

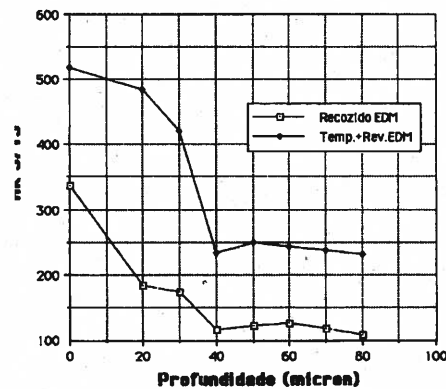
A fractura do aço AISI L6 maquinação por electroerosão iniciou-se normalmente na face de tensões máximas à tracção, provocadas pela flexão ou pelo choque (Fig. 3).

Na zona de iniciação observou-se que a camada branca fessura fragilmente, devido à associação das suas características frágeis, elevada dureza e níveis de tensões residuais. É notória a forma de crescimento colunar da camada branca e uma fractura de clivagem contra a distinta estrutura da camada adjacente, apresentando uma fractura com elevada ductilidade da (Fig. 4).



**Fig. 4:** Aspecto de coesão entre camadas superficiais

Sem que seja identificada qualquer descoesão da camada branca com a zona termicamente afectada, a modificação da microestrutura nesta zona, mesmo não tendo sido observada metalograficamente (Fig. 1), ela é indiciada na superfície de fractura (Fig. 4) e confirmada pela variação de dureza em profundidade.



**Fig. 5:** Perfil de microdureza.

A variação de dureza foi determinada em profundidade (<40 $\mu$ m) verificando-se um

crescimento da dureza desde o material base até à camada branca (Fig. 5), correspondendo a um aumento de aproximadamente duas vezes.

## CONCLUSÕES

A maquinação EDM, com um dieléctrico hidrocarbonetado, do aço AISI L6 origina a formação de uma camada superficial de solidificação rápida, com características estruturais diferentes, frágil e elevada dureza.

A interface camada branca com camada adjacente termicamente afectada não apresenta descoesão, descarbonação, fissuração e cavidades, mesmo considerando a microfissuração não propagada durante a maquinação.

A modificação da composição e microestrutura da camada superficial poderá fornecer uma camada resistente ao desgaste e à fadiga.

## REFERÊNCIAS

- [1] Documento Técnico "RAMADA, Dados Técnicos, Aços GRANE", Ovar.
- [2] W.König, F.Klocke, M.Sparrer, "EDM-Sinking Waterbased Dielectrics and Electropolishing- A New Manufacturing Sequence in Toolmaking", ISEM97, 225-234, 1997.
- [3] J.P.Kruth, J.Van Humbeeck, L.Stevens, "Microstructural Investigation and Metallographic Analysis of White Layer of a Surface Machined by Electro Discharge Machining", ISEM, 849-857.

## Agradecimento

À Fundação para a Ciência e para a Tecnologia pelo apoio no âmbito do Programa PRAXIS XXI.