

# MAQUINAGEM DO AÇO AISI L6 POR ELECTROEROSÃO COM FIO

## Caracterização das Camadas Superficiais em Ensaios de Microdureza

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

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

### RESUMO

*A maquinagem do aço AISI L6 por electroerosão com fio gera elevadas temperaturas na superfície, modificando as suas características metalúrgicas e mecânicas. Produzida a descarga eléctrica, o material da superfície funde e é arrefecido instantaneamente através do dieléctrico (água desionizada), que actua como um fraco condutor de corrente, promovendo o aparecimento de descargas eléctricas e a remoção das partículas erodidas. Produz-se uma camada superficial designada por camada branca, frágil, de composição distinta do material base e com uma pequena espessura, dependente dos parâmetros de maquinagem. Segue-se-lhe uma zona termicamente afectada, de difícil observação e identificação por preparação metalográfica e observação micrográfica. A determinação da profundidade e da zona termicamente afectada e sua caracterização mecânica foi realizada através de ensaios de microdureza KNOOP.*

### INTRODUÇÃO

Através do processo da maquinagem por electroerosão com fio é possível recortar blocos de material, abrir furos, fabricar matrizes, fieiras e outros componentes em materiais de elevada dureza (>40HRC), como por exemplo metais duros e aços ligados tratados termicamente.

Obtêm-se por este processo de corte, formas complexas, superfícies contínuas e acabamentos, que poderão, de acordo com as condições e parâmetros de maquinagem seleccionados, produzir superfícies com elevado grau de acabamento e pequena

rugosidade, sendo dispensável em muitos casos qualquer processo de acabamento ou polimento manual.

O corte por electroerosão com fio tem apenas como limitação o facto de exigir passagem para o fio, executando somente peças furadas, isto é, furos não cegos, porque o processo de corte com fio requer uma entrada e uma saída na peça

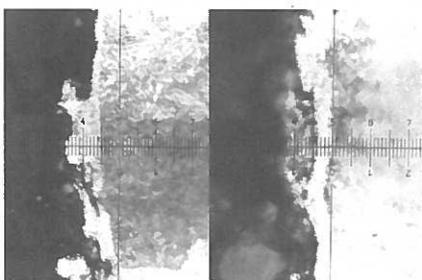
A electroerosão é um processo baseado na erosão de uma superfície provocada por sucessivas descargas eléctricas, entre o eléctrodo e a peça. O meio dieléctrico

normalmente utilizado na maquinagem por electroerosão com fio é a água desionizada.

O processo de corte decorre da aproximação do fio à superfície a cortar, gerando-se descargas eléctricas provocadas pelas diferenças de tensão, entre os polos, desenvolvendo-se na superfície da peça uma elevada temperatura, que poderá atingir 50000°C<sup>1</sup>. A elevada temperatura funde o material, criando-se uma superfície fundida, que solidifica rapidamente por acção da água do dieléctrico.

O aquecimento da superfície, sendo elevado, também sofre instantaneamente um arrefecimento brusco, formando a massa fundida uma matéria de solidificação rápida. O aquecimento e arrefecimento rápido da superfície do aço provoca uma afectação térmica numa pequena profundidade, induzindo transformações metalúrgicas e mecânicas das camadas adjacentes.

A camada superficial fundida na maquinagem por electroerosão de fio do aço AISI L6, é identificada como camada branca, devido à sua não reacção aos ataques químicos. Forma-se por um processo de crescimento colunar, cuja reduzida espessura, variando entre 0-10µm, não permite o conhecimento exacto da sua constituição (Fig 1).



**Fig. 1:** Camada branca (1000X;Nital 2%):  
a) Aço recozido; b) Aço temperado.

A integridade das camadas, superficial e adjacentes, torna-se de difícil avaliação, devido à forma das crateras e à pequena espessura das camadas. A determinação da variação da dureza em profundidade permite identificar os pontos de transição

da camada superficial para o material de base e perceber o fenómeno metalúrgico provocado pelo efeito termoelectrico do processo<sup>2</sup>.

## TRABALHO EXPERIMENTAL

O corte por electroerosão com fio foi realizado sobre o aço AISI L6, contendo elevada percentagem de carbono (0.55%) e de níquel (3%) (Tab. 1), sendo este responsável pela melhoria da tenacidade, da resistência à deformação<sup>3</sup> e da estabilidade dimensional<sup>4</sup>.

**Tabela 1-** Composição química.

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

O aço foi maquinado nos estados de tratamento térmico, “recozido” e “temperado e revenido”. As durezas e microestruturas características destes estados são apresentados respectivamente na Tabela 2 e na Figura 2.

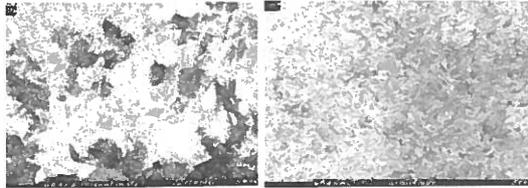
**Tabela 2-** Dureza.

Trat.Térmico.	Recozido	Têmp e Rev.
Dureza	234 HV	56.9 HRC

O trabalho experimental decorreu do desenvolvimento do processo de avaliação do comportamento metalúrgico e mecânico do aço AISI L6 (Tab. 1), aço aplicado no fabrico de moldes, após maquinagem por electroerosão com fio de latão, em regime de desbaste (intensidade de corrente de 7A) numa máquina de electroerosão com fio ROBOFIL 310 da CHARMILLES TECHNOLOGIES.

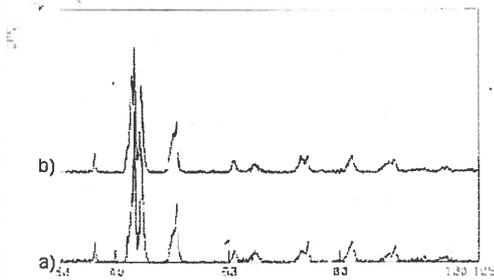
A rugosidade e o aspecto da superfície são os indicadores de qualidade do acabamento. A rugosidade da superfície maquinada foi determinada utilizando um rugosímetro PERTHÉN S4P, unidade de avanço PGK e apalpador RFHTB-250. Obtiveram-se valores médios de Ra = 3.69µm, em 20 leituras.

A análise química da camada branca foi realizada por meio de espectroscopia EDS (Energy Dispersive Spectroscopy), tendo revelado, tanto no material recozido como temperado e revenido, uma mesma composição química. As fases detectadas por Difracção de Raios-X (Fig. 3) foram a ferrite e a austenite. J. P. Krug<sup>5</sup> observou somente ferrite.



**Fig. 2:** Microestrutura (500X; Nital 2% e Picral):  
a) Recozido- perlite e ferrite lamelar.  
b) Temperado- martensite revenida.

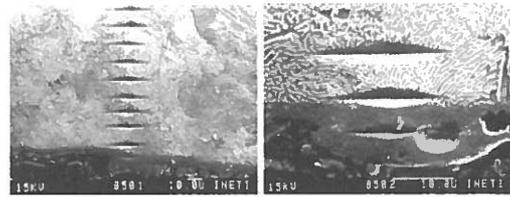
A análise química da camada branca foi realizada por meio de espectroscopia EDS (Energy Dispersive Spectroscopy), tendo revelado, tanto no material recozido como temperado e revenido, uma mesma composição química. As fases detectadas por Difracção de Raios-X (Fig. 3) foram a ferrite e a austenite. J. P. Krug<sup>5</sup> observou somente ferrite.



**Fig 3:** Espectros de DRX do aço AISI L6:  
a) Recozido; b) Temperado e revenido.

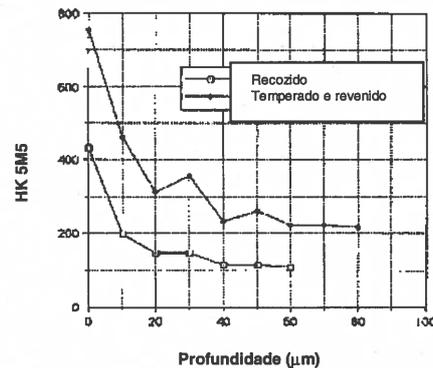
O perfil de microdureza em secções foi realizado sobre secções transversais, preparadas metalograficamente, num equipamento SHIMADZU com um penetrador KNOOP, aplicando uma carga de 5g durante 15s. As marcas de indentação obtidas foram significativamente menores do que as observadas na zona termicamente afectada (Fig. 4), identificando uma

diferença significativa da dureza entre a camada branca e o material base.



**Fig. 4:** Microdureza KNOOP.

Os perfis de microdureza (Fig. 5) mostram uma variação decrescente e continua, entre a camada branca (white layer) até ao material base, numa profundidade que se poderá estimar em 40  $\mu\text{m}$ . A camada branca apresenta uma dureza elevada (750 HK) devido ao efeito de solidificação rápida. J.P.Kruger<sup>5</sup> observou menores valores para outros tipos de aço.



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

Resultados experimentais demonstram que a maquinagem WEDM do aço ferramenta AISI L6 produz uma camada branca cristalina, dura e frágil, com uma composição química independente do tratamento térmico do aço.

A determinação do perfil de microdureza ao longo da zona termicamente afectada permitiu identificar os limites desta zona, demonstrando a existência da ZTA, visto que metalograficamente foi impossível de serem observadas diferenças microestruturais.

## REFERÊNCIAS

- [1] "EDM of Tool Steel", Uddeholm, 1997.
- [2] L.C.Lim, L.C. Lee, Y.S.Young, H.H.Lu, "Solidification Microstructure of Electrodischarge Machining Surfaces of Tool Steels", Mat. Sci. Tecnology, Vol. 7, 239-248, March, 1991.
- [3] P. Soares, "Aços- Características, Tratamentos", 2ªEd. Ambar, Porto, 1975.
- [4] Technical Specification "RAMADA, Dados Técnicos, Aços GRANE", Ovar.
- [5] J.P.Krug, J.V.Humbeeck, L.Tevens, "Microstructural Investigation and Metallographic Analysis of White Layer of Surface Machined by EDM", ISEM, 849-857.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio prestado pela Fundação Para a Ciência e a Tecnologia (FCT) no âmbito do Programa PRAXIS XXI.