

INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE NA FORMAÇÃO DE CAVACO E NO ACABAMENTO SUPERFICIAL DURANTE O TORNEAMENTO - LIGA DE ALUMÍNIO 6351 T6

Victor Arrais Siqueira¹

victor.arrais@hotmail.com

Paulo Sérgio Martins²

paulo.martins@prof.una.br

Ana Luiza Ramos Ferreira¹

analuiza_ramosferreira@hotmail.com

Thayná Orcines da Silva Couto¹

thaynaosc@gmail.com

Cíntia Dayhane de Abreu Martins¹

cinthiadayanne1@hotmail.com

José Rubens Gonçalves Carneiro²

joserub@pucminas.br

Pedro Américo Magalhães Júnior²

paamj@oi.com.br

Carlos Alberto de Sousa Neves²

casnevesengmecanico@gmail.com

Diego Barbosa Pratis Santos²

diegopratis@gmail.com

Ernane Rodrigues da Silva³

ernanerodrigues@gmail.com

¹Centro Universitário UNA, Engenharia Mecânica, Rua dos Aimorés, 1451, Lourdes, CEP. 30140-071, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

²Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Engenharia Mecânica, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, CEP 30535-901, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

³Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Engenharia de Materiais, Av. Amazonas 5253, Nova Suíça, CEP: 30421-169, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

Resumo. O fluido de corte é um recurso bastante utilizado nos processos de fabricação com remoção de material, que pode oferecer benefícios como melhoria do acabamento superficial da peça usinada, auxilia na remoção e na quebra do cavaco na zona de corte, além de aumentar a vida útil da ferramenta de corte. Este trabalho apresenta a influência do fluido de corte na formação do cavaco e no acabamento superficial para o torneamento cilíndrico externo da liga de alumínio 6351 T6. Os ensaios foram realizados em três métodos diferentes: (1) a seco, (2) com fluido sintético e (3) com fluido emulsionável. Em cada operação de torneamento avaliaram-se o parâmetro R_a da superfície usinada e as amostras de cavaco, as quais foram classificadas quanto a forma e utilizadas para o cálculo do grau de recalque. Os resultados obtidos nos testes foram interessantes, já que os fluidos de corte apresentaram influência na formação do cavaco e também no acabamento superficial.

Palavras chave: Liga de alumínio 6351 T6, Fluido de corte, Cavaco, Rugosidade.

1. INTRODUÇÃO

A formação do cavaco inicia-se pelo recalque de uma porção de material devido à penetração da ferramenta de corte, seguida da deformação plástica progressiva até que seja atingida uma tensão de cisalhamento suficiente para o deslizamento dessa porção de material em relação à peça. Com o avanço da ferramenta a tensão limite de resistência do material é atingida, iniciando-se a propagação de uma trinca, no qual se define o plano de cisalhamento e o ângulo de cisalhamento teórico contido na zona de cisalhamento primária. A quantidade de deformação sofrida pelo material antes da formação do cavaco pode ser medida através da relação entre a espessura de corte (h) e a espessura do cavaco (h'), denominada como grau de recalque (Eq. 1). A espessura de corte é o produto do avanço (f) e do seno do ângulo de posição principal da ferramenta (X_r) (Eq. 2) (Ferraresi, 1970; Rodrigues, 2005; Gonçalves, 2012; Jr, 2012).

$$R_c = h'/h \quad (1)$$

$$h = f \times \sin \chi_r \quad (2)$$

A formação do cavaco gera uma grande quantidade de energia devido ao atrito ferramenta-peça e cavaco-ferramenta. Para redução desse calor são utilizados os chamados fluidos de corte. Trent e Wrigth (2000) ressaltam que os fluidos de corte são usados quando se deseja refrigerar a região de corte, principalmente em altas velocidades de corte; lubrificar a região de corte, principalmente em baixas velocidades e altas tensões de corte; reduzir a força de corte; aumentar a vida da ferramenta, o acabamento superficial e a precisão dimensional da peça. Além disso, eles ainda auxiliam na quebra e transporte do cavaco, protegem a superfície usinada e a máquina-ferramenta contra oxidação.

O alumínio é amplamente utilizado pela indústria de diversas maneiras. As ligas de alumínio da série 6XXX contêm silício e magnésio aproximadamente nas proporções requeridas para a formação do silicato de magnésio (Mg_2Si), assim tornando-as tratáveis termicamente (Cunha, 2012; Metals Handbook, 1992 apud Gonçalves, 2012).

Em se tratando de alumínio, a forma do cavaco torna-se um parâmetro importante para a produtividade do processo, uma vez que, em geral, a usinagem do alumínio está associada à formação de cavacos longos, de difícil controle e maior volume ocupado. Normalmente é preferida a forma helicoidal devido à conveniência desta forma se soltar para fora do sistema peça-ferramenta evitando assim danos maiores. O cavaco em lascas normalmente é preferido quando há pouco espaço disponível, ou quando o cavaco deve ser removido devido à ação do fluido de corte. Já a forma emaranhada deve ser evitada por apresentar riscos à segurança do operador, prejudicar a projeção do fluido de corte e poder causar danos à superfície da peça e a ferramenta (Schuitek, 1997; Gama, 2014).

Um dos fatores mais utilizados para caracterizar o acabamento de uma superfície é a rugosidade. A rugosidade de uma superfície é composta de irregularidades finas ou de erros microgeométricos resultantes da ação inerente ao processo de corte. Em muitos casos, a rugosidade é utilizada como parâmetro de saída para controlar um processo de usinagem (Machado et al., 2009).

Este trabalho teve como objetivo a análise do acabamento superficial e da formação do cavaco no processo de torneamento da liga de alumínio 6351 T6 em três métodos de usinagem distintos: (1) a seco, (2) com fluido sintético e (3) com fluido emulsionável. Definiu-se como constantes os parâmetros de rotação (rpm), avanço (f), profundidade de corte (a_p) e comprimento de usinagem (l_m). Avaliou-se a forma do cavaco segundo a norma ISO 3685 e o teste de Stahl-Eisen, o grau de recalque e o acabamento superficial.

2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Estabeleceram-se como as variáveis de entrada os três métodos de usinagem: (1) a seco, (2) com fluido sintético e (3) com fluido emulsionável. As variáveis de resposta foram: rugosidade, forma do cavaco e grau de recalque. Para cada método, 10 corpos de prova foram preparados. Realizaram-se 6 passes de usinagem/corpo de prova, mensuração da rugosidade e coleta de amostras do cavaco a cada passe, obtendo ao todo 60 amostras de cavaco e dados de rugosidade.

Os corpos de prova foram barras cilíndricas da liga de alumínio 6351 T6, com 25,4 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento. Para maior aproveitamento de usinagem optou-se em dividir os corpos em dois lados (A e B), sendo 3 passes de usinagem para cada um, resultando em 180 mm de comprimento útil. Os fluidos de corte foram preparados com 10% de óleo concentrado e aplicados na usinagem pelo método de jorro à baixa pressão. Para mensurar a rugosidade superficial utilizou-se o rugosímetro portátil Mitutoyo SJ-210. O parâmetro de avaliação foi a R_a , sendo considerado o valor médio obtido de três repetições defasadas a 120° em relação ao diâmetro do corpo de prova.

Um paquímetro digital Pantec modelo 1109A40833 foi utilizado para mensurar a espessura das amostras de cavaco. Considerou-se o maior valor encontrado entre os três mensurados em cada amostra. Foi construído também um modelo no software Geogebra (Fig. 1) para demonstrar que, mesmo que a espessura de usinagem utilizada no experimento seja menor que o raio de ponta, ainda é possível calcular a espessura do cavaco utilizando-se a Equação (2). O grau de recalque foi calculado conforme a Eq. (1).

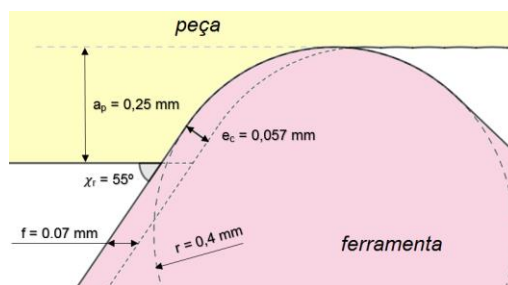


Figura 1. Modelo de espessura do cavaco em função do ângulo de posição e do avanço.

Utilizou-se para cada método de usinagem uma aresta de corte do inserto VCGT110304 PM2WXXN10 do fabricante WALTER. A máquina-ferramenta utilizada foi o torno mecânico profissional de bancada Mr-334 Manrod. Os parâmetros de corte utilizados estão apresentados na Tab. 1.

Tabela 1. Parâmetros de corte estabelecidos no estudo

Passe	Diâmetro inicial (mm)	l_m (mm)	f (mm/rot.)	a_p (mm)	Velocidade de corte indicada (m/min)	rpm calculada	rpm disponível
1	24,50	90/Passe 540/Corpo de prova 5400/Método de usinagem	0,07	0,50	600	7639	2000
2	24,00					7795	
3	23,50					7958	

As amostras de cavaco foram registradas, mensuradas quanto à espessura e classificadas tendo como base a norma ISO 3685 e o teste Stahl-Eisen. Estabeleceu-se 5 categorias de forma do cavaco conforme a Fig. 2, enumeradas em ordem crescente da melhor condição até a pior condição. Os resultados foram plotados em gráficos por meio da predominância percentual das formas do cavaco obtidas.

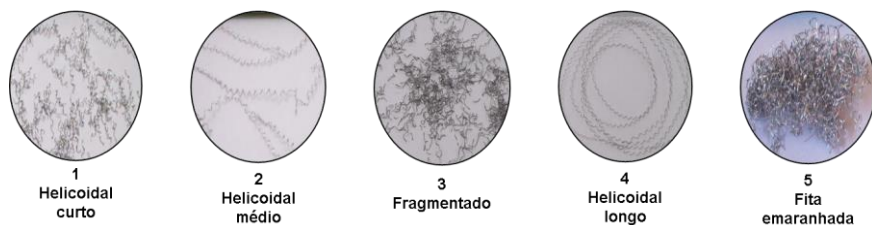


Figura 2. Classificação das formas dos cavacos.

O estudo se dispôs de ferramentas de estatística descritiva, teste de normalidade Shapiro-Wilk, Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Kruskal-Wallis para verificar diferenças significativas entre as médias obtidas (R_a e grau de recalque). O software utilizado foi o StatSoft, Inc. (2011) STATISTICA versão 10.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação da rugosidade

Os ensaios de torneamento realizados permitiram a visualização do comportamento do parâmetro R_a nos diferentes métodos de usinagem propostos. A Tabela 2 mostra os dados de rugosidade obtidos com as respectivas médias, desvios padrões e coeficientes de variações. Conforme apresentado na Fig. 3, a ANOVA mostrou que houve diferença entre os métodos de usinagem, sendo significativa apenas comparando o método a seco e os demais.

Tabela 2. Dados das medições de rugosidade

Método	Número de amostras	Média (μm)	Desvio padrão (μm)	Coefficiente de variação (%)	p-valor Teste de normalidade	p-valor ANOVA
A seco	60	1,153	0,181	15,679	0,08857	0,04268
Fluido sintético		1,077	0,171	15,882	0,23804	
Fluido emulsionável		1,086	0,186	17,118	0,10141	

A usinagem com os fluidos de corte (sintético e emulsionável) apresentaram melhores resultados em relação a usinagem a seco. A diferença percentual entre os valores de rugosidade dos fluidos foi de 1%, não sendo significativa. Entre a usinagem a seco e a usinagem com o fluido emulsionável a diferença percentual foi de 6% e o com o fluido sintético essa diferença aumentou para 7%. Na usinagem a seco, os maiores valores de rugosidade podem ser justificados pela maior severidade no processo em que o atrito entre a ferramenta e peça é maior, podendo comprometer o acabamento superficial.

Machado e Silva (2004) afirmam que o fluido de corte diminui o desgaste da ferramenta e o atrito entre a ferramenta e a peça ou cavaco. Tudo isto, melhora o acabamento superficial. O fluido atuando como refrigerante, entretanto, pode aumentar a força de usinagem e aumentar a rugosidade da peça.

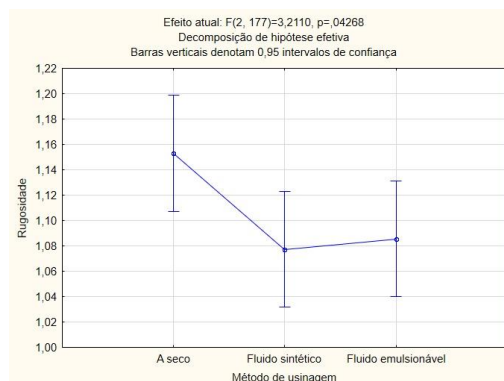


Figura 3. Gráfico da ANOVA - Médias de rugosidade R_a

3.2. Forma do cavaco

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos quanto à predominância total dos cavacos formados nos três métodos de usinagem.

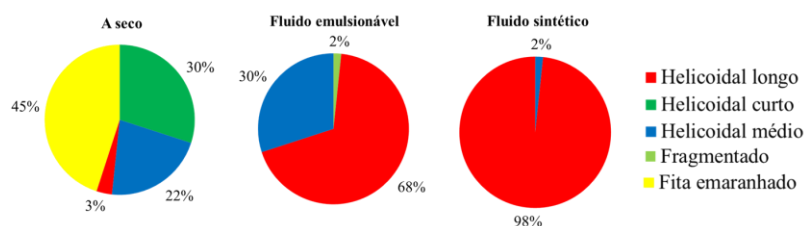


Figura 4. Predominância percentual de cavacos.

No processo a seco houve uma maior variação entre os cavacos formados, sendo a forma fita emaranhada mais predominante (45%). Sua formação pode ser justificada pela ductilidade do material e a ausência de fluido de corte, o qual facilita a saída do cavaco da zona de corte. A presença desse cavaco não é ideal. Recentemente, Diogenes (2011) afirma que esse cavaco, de forma geral, pode ser considerado o mais problemático, pois além de apresentar uma aresta de corte bastante afiada o que pode vir a causar danos à integridade física do operador, este apresenta certa tendência em causar paradas no processo produtivo, enrolando-se na peça, na ferramenta ou na placa do torno, sendo que, em alguns casos, a formação deste tipo de cavaco pode causar, inclusive, a quebra da ferramenta de corte.

A segunda forma de cavaco mais predominante na usinagem a seco foi o helicoidal curto (30%). Em estudo recente, Ribeiro (2007) argumenta que para os cavacos usinados sem fluido de corte, a taxa de deformação sofrida é sempre maior que na condição com fluido. Isto é resultado da maior severidade do processo na condição a seco, causando um maior encruamento do cavaco, levando à sua quebra prematura.

Nos métodos de usinagem com fluidos de corte, percebeu-se melhor quebra de cavaco com o fluido emulsionável, o qual apresentou 30% a menos de cavacos helicoidais longos e 28% a mais de helicoidais médios em relação ao fluido sintético. Com base nesses resultados pode-se afirmar que o fluido sintético apresentou melhor característica de lubrificação, o que facilitou o escorregamento dos cavacos e que, justifica os resultados de rugosidade, uma vez que apresentando boa lubrificação, obteve-se também o melhor acabamento superficial. Segundo Machado e Silva (1999) apud Santos e Sales (2007), a geração de cavacos longos cria alguns problemas no processo de usinagem, sendo um deles a ocupação de espaço em relação aos sólidos com a mesma massa, causando problemas de armazenamento, manuseio e descarte.

3.3. Grau de recalque

Na tentativa de justificar os resultados das formas dos cavacos, utilizou-se a Eq. 1 para calcular o grau de recalque de cada método de usinagem (Tab. 3). Observou-se que a aplicação do fluido de corte influenciou esse parâmetro.

Assim como na avaliação da rugosidade pela análise de variância, o p-valor do grau de recalque pelo teste de Kruskal-Wallis foi menor que 0,05, portanto houve diferença significativa entre as médias (Fig. 5).

Tabela 3. Dados dos cálculos de grau de recalque

Método	Número de amostras	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)	p-valor Teste de normalidade	p-valor Kruskal-Wallis
A seco	60	4,305	0,432	10,044	0,84018	0,0000
Fluido sintético		3,662	0,275	7,518	0,02637	
Fluido emulsionável		4,059	0,441	10,858	0,06567	

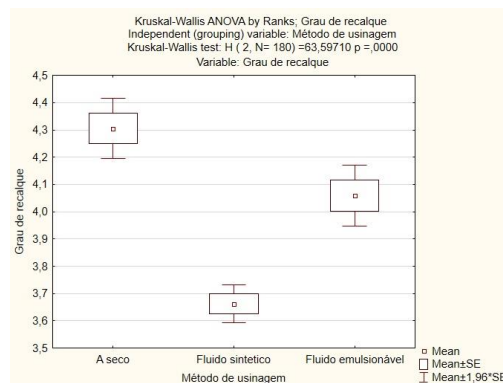


Figura 5. Comparação das médias do grau de recalque utilizando o teste de Kruskal-Wallis

O fluido sintético apresentou a média de grau de recalque 18% menor que o método a seco. Tal comparação é válida quando associada à análise da forma do cavaco, quando o fluido solúvel apresentou 98% de cavacos helicoidais longos. A diferença de 6% entre as médias dos graus de recalque dos métodos à seco e fluido comercial não foi significativa. Apesar disso, não se pode afirmar que seus resultados de forma do cavaco foram similares, pelo contrário, foram bem diferentes. Desse modo, pressupõe-se que essa diferença esteja relacionada ao comportamento da temperatura na interface cavaco/ferramenta. O fluido sintético obteve um grau de recalque 11% menor em relação ao emulsionável. Tal comparação também pode ser justificada pelos resultados da forma do cavaco, onde o fluido comercial, com maior grau de recalque, apresentou melhor quebra do cavaco.

Com o uso do fluido de corte, na zona de cisalhamento primária, tem-se a redução do coeficiente de atrito entre a ferramenta e o cavaco, provocando o aumento do ângulo de cisalhamento, redução do grau de deformação, e em consequência diminuição da energia de deformação por cisalhamento. Outro fator importante, decorrente do aumento do ângulo de cisalhamento, é o aumento da velocidade de saída do cavaco, diminuindo-se assim o tempo de transmissão de calor sobre a ferramenta, que diminui a transmissão de calor (Ferraresi, 1977; Diniz et al., 1999). O ângulo de cisalhamento tem grande influência no acabamento da superfície usinada, a tensão sobre a ferramenta, a força de usinagem, a temperatura de corte e a energia consumida no processo de corte. Quanto maior o grau de recalque, menor o ângulo de cisalhamento, maior é a deformação na zona primária, o que facilita a quebra do cavaco (Ferraresi, 1970; Rodrigues, 2005; Gonçalves, 2012; Jr, 2012).

3. CONCLUSÕES

Este estudo mostrou que é possível avaliar as condições de usinagem através da análise do cavaco. As condições para mensurar a espessura dos cavacos e o processo longo de coleta e caracterização das amostras (180 amostras de cavaco no total). Os resultados de rugosidade mostraram uma diferença de 7% entre os métodos a seco e os fluidos de corte, no qual pode-se dizer que o fluido de corte trouxe melhoria no acabamento superficial. Quanto à forma do cavaco, o fluido emulsionável apresentou o melhor resultado geral, 100% de cavacos considerados razoáveis, e 30% de cavacos helicoidais médios. Comparando os dois fluidos utilizados quanto à forma do cavaco, o solúvel se mostrou mais lubrificante do que o emulsionável. Porém, quanto ao acabamento superficial, a diferença em percentual de 1% na rugosidade mostrou-se insignificante. O cálculo do grau de recalque foi importante para justificar a formação dos cavacos nos processos de usinagem estudados. E o resultado foi compatível com o esperado, já que nos métodos onde houveram os maiores valores de grau de recalque, houveram também maior quebra do cavaco, no entanto, isso não significa considerar o método à seco como o melhor, uma vez que este apresentou 45% de cavacos em forma emaranhada.. A análise estatística foi importante para dar uma maior confiabilidade nos resultados e identificar possíveis erros durante o processo.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio oferecido pelo laboratório de usinagem do Centro Universitário UNA.

5. REFERÊNCIAS

- Cunha, D. F., 2012. *Influência do Teor de Silício na Usinabilidade da Liga de Alumínio 6351 Avaliada Através da Força de Corte e Acabamento Superficial*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Diniz, A.E.; Marcondes, F.C.; Coppini, N.L., 1999. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. MM Editora: São Paulo.
- Diogenes, A. C., 2011. Estudo da Usinagem por Torneamento de Ligas de Alumínio. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá.
- Ferraresi, D., 1970. Usinagem dos Metais. Editora Edgar Blucher Ltda.
- Ferraresi, D., 1977. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo: Edgard Blücher.
- Gama, R. P., 2014. *ESTUDO DA FORMAÇÃO DO CAVACO NO TORNEAMENTO DE SUPERLIGAS DE NÍQUEL*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá.
- Gonçalves, R. A., 2012. *Investigação da Usinabilidade das Ligas de Alumínio da Série 6XXX*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Jr, M. C. S., 2012. *Emprego de Ferramentas estatísticas para avaliação da usinabilidade de ligas de alumínio*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.
- Machado, Á. R.; Silva, M. B., 2004. Teoria da Usinagem dos Metais. 8ª Versão. Uberlândia, Minas Gerais: Universidade Federal de Uberlândia.
- Machado, A. R.; Abrão, A. M.; Coelho, R. T.; Da Silva, M. B., 2009. Teoria da usinagem dos materiais – São Paulo: Editora Blucher. 371 p.
- Oliveira, G. R. G. de., 2012. *Tratamento térmico de uma liga Al-Si-Mg-Mn*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- Ribeiro, M. A., 2007. Usinagem da Liga de Alumínio ASTM AA 7050 por Torneamento. UNESP. Guaratinguetá, São Paulo.
- Rodrigues, A. R., 2005. *Estudo da Geometria de Arestas de Corte Aplicadas em Usinagem com altas Velocidades de corte*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- Santos, S. C. e Sales, W. F., 2007. Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais, Editora Artliber.
- Schuitek, A. J., 1997. *Usinabilidade de Ligas de Alumínio*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Santa Catarina. Florianópolis.
- Trent, E. M., and Wright, P. K., 2000. Metal Cutting. 4th Edition, Oxford: Butterworths- Heinemann, 446 p. ISBN 0-7506-7069-X.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

INFLUENCE OF CUTTING FLUID IN CHIP FORMATION AND SURFACE FINISHING DURING TURNING - 6351 T6 ALUMINUM ALLOY

Victor Arrais Siqueira¹

victor.arrais@hotmail.com

Paulo Sérgio Martins²

paulo.martins@prof.una.br

Ana Luiza Ramos Ferreira¹

analuiza_ramosferreira@hotmail.com

Thayná Orcines da Silva Couto¹

thaynaosc@gmail.com

Cíntia Dayhane de Abreu Martins¹

cinthiadayanne1@hotmail.com

José Rubens Gonçalves Carneiro²

joserub@pucminas.br

Pedro Américo Magalhães Júnior²

paamj@oi.com.br

Carlos Alberto de Sousa Neves²

casnevesengmecanico@gmail.com

Diego Barbosa Pratis Santos²

diegopratis@gmail.com

Ernane Rodrigues da Silva³

ernanerodrigues@gmail.com

¹Centro Universitário UNA, Engenharia Mecânica, Rua dos Aimorés, 1451, Lourdes, CEP. 30140-071, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

²Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Engenharia Mecânica, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, CEP 30535-901, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

³Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Engenharia de Materiais, Av. Amazonas 5253, Nova Suíça, CEP: 30421-169, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

Abstract. *Cutting fluid is a widely used feature in the material removal process, which can offer benefits such as improving the machined part surface finish, assisting in the chip removal and breaking in the cutting zone, as well as increasing the cutting tool useful life. This work presents the cutting fluid influence on chip formation and surface finishing in the 6351 T6 aluminum alloy external cylindrical turning. The tests were performed in three different methods: (1) dry, (2) with synthetic fluid and (3) with emulsionable fluid. In each turning operation the machined surface R_a parameter and chip samples were evaluated, which were classified in the form and used to calculate the chip thickness ratio. The results obtained in the tests were interesting, since the cutting fluids had influence in the chip formation and also in the machining process surface finish.*

Keywords: 6351 T6 Aluminum alloy, Cutting fluid, Chip, Roughness.

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.