

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 23/02/2020.

RENANN PEREIRA GAMA

**TORNEAMENTO DA SUPER LIGA INCONEL 718 COM O USO DE
DIFERENTES CONDIÇÕES DE LUBRIFRIGERAÇÃO**

Guaratinguetá

2018

RENANN PEREIRA GAMA

**TORNEAMENTO DA SUPER LIGA INCONEL 718 COM O USO DE
DIFERENTES CONDIÇÕES DE LUBRIFRIGERAÇÃO**

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia do Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista, para a
obtenção do título de Doutor em
Engenharia Mecânica na área de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

Guaratinguetá

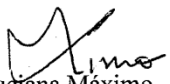
2018

Gama, Renann Pereira
G184t Torneamento da super liga Inconel 718 com o uso de diferentes condições de lubrificação / Renann Pereira Gama – Guaratinguetá, 2018
210 f. : il.
Bibliografia: f. 204

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018.
Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

1. Usinagem. 2. Ligas resistentes ao calor. 3. Lubrificação. I. Título.

CDU 621.9(043)


Luciana Máximo
Bibliotecária-CRB-8/3595

RENANN PEREIRA GAMA

**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

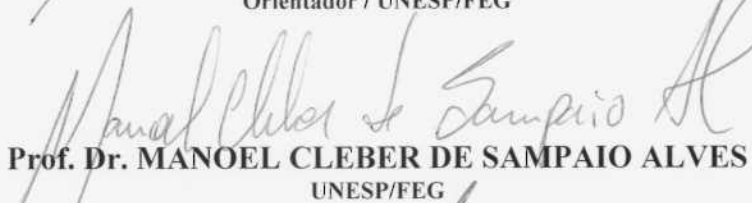
**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: MATERIAIS**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

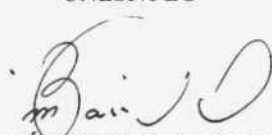

Prof.ª. Dr.ª. Ana Paula Rosifini Alves Claro
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO
Orientador / UNESP/FEG


Prof. Dr. MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES
UNESP/FEG


Prof. Dr. JOSÉ VITOR CANDIDO DE SOUZA
UNESP/FEG


Prof. Dr. MÁRCIO BACCI DA SILVA
UFU/Uberlândia


Prof. Dr. LINCOLN CARDOSO BRANDÃO
UF/São João Del Rei

Fevereiro/2018

DADOS CURRICULARES

RENANN PEREIRA GAMA

NASCIMENTO	16.12.1986 – GUARATINGUETÁ / SP
FILIAÇÃO	João Batista Gama Rosimeire Pereira da Silva
2007/2011	Curso de Graduação Engenharia de Materiais - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” <i>campus</i> de Guaratinguetá.
2012/2014	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” <i>campus</i> de Guaratinguetá.
2014/2018	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Doutorado - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” <i>campus</i> de Guaratinguetá.

Dedico este trabalho à minha esposa Camila, pelo apoio incondicional, e de modo especial, aos meus filhos Miguel e Isabella que foram os grandes motivadores para a conclusão deste Doutorado.

Dedico ainda aos meus Pais, João e Rosimeire, pelo incansável incentivo à educação de seus filhos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte de vida e graça. Agradeço pela minha vida, minha família e meus amigos, e a oportunidade recebida para o prosseguimento em meus estudos;

ao meu orientador, *Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro* pela orientação, dedicação, auxílio na condução dos trabalhos e pela oportunidade que me deu de poder tê-lo como parte da minha história de vida;

à minha esposa Camila e meus filhos Miguel e Isabella que, apesar das dificuldades enfrentadas, sempre foram motivo de incentivo ao prosseguimento de meus estudos;

aos funcionários e técnicos da FEG, em especial ao Técnico Manoel e ao Professor Rogério Hein pelo apoio nas atividades de usinagem realizadas no laboratório de usinagem do Campus de Guaratinguetá;

à UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá por me acolher e dispor de toda sua infraestrutura;

à Villares Metals pelo fornecimento da matéria-prima utilizada na realização dos ensaios;

à Capes pelo apoio financeiro.

“Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco; à medida que vamos adquirindo conhecimento, instala-se a dúvida.”

Goethe

GAMA, R.P. **Torneamento Da Super Liga Inconel 718 Com O Uso De Diferentes Condições De Lubrificação.** 2018. 210f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

RESUMO

O aumento das exigências mundiais por melhores produtos e a crescente competição entre empresas no mercado globalizado aumenta a busca por processos que garantam menores custos aliados a grande produtividade e produto de alta qualidade. Assim o grande desenvolvimento industrial e tecnológico tem aumentado a pesquisa em processos de usinagem que promovam, por exemplo, alto desempenho no que diz respeito à remoção de material, menor avaria e desgaste da ferramenta e menores impactos ao meio ambiente. Em relação às superligas a base de níquel, as mesmas têm um papel importante nas indústrias aeronáutica, automobilística, petróleo e gás dentre outras. A superliga a base de níquel estudada nesta tese foi a Inconel 718, material de difícil usinagem que possui alta resistência mecânica e à corrosão em temperaturas elevadas. O objetivo deste trabalho é o estudo da formação do cavaco em relação aos diversos parâmetros de usinagem buscando correlacionar deformação e acabamento superficial e ainda estudar a influência da aplicação do fluido de corte comparando o método de Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) com a Lubrificação Abundante, a fim de alcançar alto desempenho e melhorias no torneamento cilíndrico externo desta liga. A liga foi torneada utilizando-se diversos parâmetros de usinagem: velocidades de corte (90, 120 e 150 m/min), avanço (0,10; 0,15 e 0,20 mm/rot), profundidade (0,5 mm), MQL, Lubrificação Abundante e ferramenta de metal duro com recobrimento (TiAlN). Analisou-se a formação de cavacos, a rugosidade do material, o volume de material removido, o comprimento usinado e potência. Foram realizadas ainda análises macroestruturais e de tempo de vida das ferramentas utilizadas a fim de se detectar possíveis desgastes, bem como análises microestruturais dos cavacos, ferramentas e peça usinada por meio da microscopia óptica, da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Neste trabalho foi possível associar o comportamento da potência do equipamento com o desgaste apresentado na ferramenta, bem como o efeito da temperatura no desgaste e precipitação de fases da liga e seu impacto na formação do cavaco e deformação do mesmo. De modo geral o melhor conjunto de parâmetros para a usinagem foi a velocidade de corte de 90 m/min e avanço de 0,15 mm/rot com lubrificação abundante por apresentar melhor resultado e maior estabilidade durante os ensaios.

PALAVRAS-CHAVE: Usinagem. Superligas de níquel. Lubrificação. Desgaste de flanco. Caracterização de cavacos. Torneamento.

GAMA, R.P. **Turning Of The Super Alloy Inconel 718 With The Use Of Different Lubrification Conditions.** 2018. 210f. Thesis (Doctorate degree in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

ABSTRACT

The increase in global demands for better products and increasing competition between companies in the global market increases the search for processes that ensure lower costs combined with high productivity and high quality product. Thus the great industrial and technological development has increased the research in machining processes that promote, for example, high performance with regard to the removal of material, less failure and wear of the tools and less impact to the environment. In relation to nickel-based superalloys, they have an important role in the aeronautics, automobile, oil and gas industries, among others. The nickel-based superalloy studied in this thesis was Inconel 718, a difficult machining material with high mechanical strength and corrosion at high temperatures. The objective of this work is the study of the formation of the chip in relation to the various machining parameters in order to correlate deformation and surface finishing and also to study the influence of the application of the cutting fluid comparing the method of Minimum Quantity of Lubrication (MQL) with Abundant Lubrication in order to achieve high performance and improvement in the external cylindrical turning this alloy. The alloy was machined with different cutting parameters (90, 120 and 150 m/min), feed rate (0.10, 0.15 and 0.20 mm/rot), depth (0.5 mm), MQL, Abundant Lubrication and coated carbide tools (TiAlN). The formation of chips, the roughness of the material, the volume of material removed, the machined length and power were analyzed. In addition, macrostructural and life-time analyzes of the tools used were performed to detect possible wear, as well as microstructural analyzes of the chips, tools and workpiece using optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS). In this work it was possible to associate the behavior of the power of the equipment with the wear presented in the tool, as well as the effect of the temperature on the wear and precipitation of phases of the alloy and its impact on the formation of the chip and deformation of the same. In general, the best set of parameters for the machining was the cutting speed of 90 m/min and feed rate of 0.15 mm/rot with abundant lubrication per to present better results and greater stability during the tests.

KEYWORDS: Machining. Nickel superalloys. Lubrication. Flank wear. Chip characterization. Turning.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 COMPOSIÇÃO DAS SUPERLIGAS À BASE DE NÍQUEL.....	15
3.2 ELEMENTOS DE LIGA E MICROESTRUTURA DAS SUPERLIGAS À BASE DE NÍQUEL.....	17
3.3 CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAS À BASE DE NÍQUEL.....	19
3.4 LIGAS DE NÍQUEL RESISTENTES A ALTAS TEMPERATURAS.....	22
3.5 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÕES DE LIGAS À BASE DE NÍQUEL.....	23
3.6 USINABILIDADE DE LIGAS À BASE DE NÍQUEL.....	26
3.7 USINAGEM DE SUPERLIGAS À BASE DE NÍQUEL.....	29
3.8 ASPECTOS TRIBOLÓGICOS DA USINAGEM.....	33
3.8.1 Mecanismo de formação do cavaco.....	33
3.8.2 Interface cavaco-ferramenta.....	35
3.8.3 Classificação dos cavacos.....	37
3.8.3.1 Tipos de Cavaco.....	37
3.8.3.2 Formas de Cavaco.....	38
3.8.4 Temperatura de usinagem.....	39
3.8.5 Avarias e desgaste da ferramenta.....	40
3.9 FERRAMENTAS DE CORTE.....	50
3.9.1 Seleção da ferramenta.....	51
3.9.2 Tipos de revestimentos.....	52
3.9.2.1 Revestimentos para PVD.....	57
3.9.2.2 Materiais de ferramentas para usinagem de superligas à base de níquel.....	59
3.9.2.3 Usinabilidade das ligas à base de níquel com ferramentas de metal duro.....	61
3.9.2.4 Uso da lubrificação para melhoria da usinabilidade.....	64
3.9.2.5 Integridade superficial na usinagem de superligas à base de níquel.....	67
3.9.2.6 Vida da ferramenta.....	70
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	73
4.1 MATERIAL UTILIZADO.....	73
4.2 EQUIPAMENTOS E ENSAIOS DE USINAGEM.....	74
4.3 METODOLOGIA.....	83

4.3.1	Análise da superfície usinada.....	85
4.3.2	Análise do desgaste da ferramenta.....	85
4.3.3	Análise dos cavacos da matéria-prima.....	86
4.3.4	Análise do volume de material removido e tipos de cavacos gerados.....	87
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
5.1	LUBRIFICAÇÃO ABUNDANTE.....	88
5.1.1	Análise da Vida da Ferramenta.....	88
5.1.2	Volume de Material Removido.....	103
5.1.3	Desgaste das Ferramentas.....	106
5.1.4	Rugosidade.....	119
5.1.5	Cavacos.....	123
5.2	LUBRIFICAÇÃO MQL.....	138
5.2.1	Análise da Vida da Ferramenta.....	138
5.2.2	Volume de Material Removido.....	158
5.2.3	Desgaste das Ferramentas.....	161
5.2.4	Rugosidade.....	176
5.2.5	Cavacos.....	181
5.3	MICROSCOPIA DA PEÇA USINADA.....	193
6	CONCLUSÃO.....	201
	REFERÊNCIAS.....	203

1 INTRODUÇÃO

A crescente competição entre empresas no mercado mundial faz com que as mesmas busquem processos que lhes garantam menores custos aliados a maiores produtividades e produtos de alta qualidade. Além da busca por melhores processos as empresas devem avaliar os materiais de que são feitos os seus produtos a fim de determinar suas propriedades e características.

Assim o grande desenvolvimento industrial e tecnológico tem aumentado a busca por processos de usinagem que promovam, por exemplo, menor desgaste da ferramenta, grande capacidade de remoção de cavaco, menor avaria da ferramenta e materiais que possuam maior resistência ao desgaste e à oxidação e corrosão.

O desenvolvimento de materiais metálicos está intimamente associado aos avanços tecnológicos. A necessidade de materiais mais resistentes ao desgaste, mais tenazes, com maior resistência à corrosão e oxidação, tem sido o impulso para a pesquisa de muitos materiais. Originalmente, para estes tipos de aplicações, são utilizados os aços inoxidáveis e aços ligados, porém a exigência de temperaturas de operação cada vez maiores, maiores potências e motores mais eficientes, impulsionaram o desenvolvimento das ligas refratárias ou “superligas”.

Em relação às ligas à base de níquel, as mesmas têm um papel extremamente importante na indústria aeronáutica, automobilística, naval, na produção de turbinas a gás e agora também em veículos espaciais, na engenharia de foguetes, aviões experimentais, reatores nucleares, plantas movidas a vapor, indústrias petroquímicas e muitas outras aplicações. O grande emprego destas ligas nas indústrias mencionadas se dá principalmente devido ao seu excelente desempenho em temperaturas elevadas mantendo propriedades como alta resistência mecânica, à fadiga, à fluência e boa resistência à corrosão.

Dentre os materiais que atendem ao requisito resistência mecânica e à corrosão em temperaturas elevadas está a superliga à base de níquel *Inconel 718*. As superligas de níquel possuem uma grande quantidade de elementos de liga que proporcionam ao material propriedades bastante elevadas. Porém algumas destas propriedades acabam dificultando a usinagem e acarretando em diversos problemas.

O termo “superligas” descreve uma ampla variedade de ligas à base de níquel, cobalto e ferro, que são desenvolvidas especificamente para aplicações que exigem propriedades químicas e mecânicas excepcionais à elevadas temperaturas.

As ligas de níquel podem ser endurecidas, por exemplo pela precipitação de $Ni_3(Al - Ti)$ chamada de fase (gama) no sistema Ni-Al-Ti e pela solução de elementos refratários na matriz, e a resistência mais alta à temperatura é obtida pelo aumento da fração de volume desta fase.

As ferramentas usadas para usinagem destas ligas devem possuir, portanto, adequada dureza a quente devido às altas temperaturas geradas em condições de altas velocidades de corte. As falhas típicas observadas quando se usina estas ligas são: desgaste de flanco, desgaste de cratera, falha catastrófica, entre outras, o que causa um grande número de paradas para a troca da ferramenta e acerto da máquina, aumentando consideravelmente os chamados tempos improdutivos de operação. Desta forma, para se garantir as melhores condições de usinagem, se faz extremamente necessário o entendimento da microestrutura dos materiais envolvidos, do comportamento das ferramentas de corte e da eficiência dos processos de usinagem empregados.

6 CONCLUSÃO

De modo geral o processamento das superligas de níquel requer profundo estudo uma vez que o material possui propriedades muito importantes para o desenvolvimento tecnológico e industrial. No caso da usinagem, mais especificamente o torneamento, produzir peças confiáveis, bem-acabadas, a baixo custo e com menor impacto ambiental etc., sempre será um desafio.

As propriedades das superligas que as fazem ser um material diferenciado, no processo de manufatura pode torná-las um verdadeiro problema aos engenheiros.

Neste trabalho foi possível visualizar o comportamento da potência do equipamento durante a usinagem e assim entender as relações entre a curva de potência e o desgaste da ferramenta, onde possivelmente há uma forte relação entre aumentos bruscos de potência com acúmulo de material na ponta da ferramenta e quedas bruscas de potência com o desprendimento do material acumulado na ponta da ferramenta.

Notou-se uma associação dos danos causados na ferramenta quando do uso do método MQL com o aumento da potência e dos desgastes, uma vez que o método ocasionava uma geometria na ferramenta muito mais propícia a ancoragem mecânica de material da peça na ferramenta.

O método de aplicação do fluido gerou impactos significativos no comportamento da ferramenta. Para a aplicação utilizando fluido abundante houve um melhor comportamento ocasionando maiores comprimentos usinados, maior vida da ferramenta e melhor acabamento. Enquanto que para o método MQL houve grandes danos as ferramentas e rápido desgaste gerando menores comprimentos usinados, menor vida da ferramenta e acabamento inferior ao método abundante. Uma das razões para este efeito foi a maior presença de precipitados nos cavacos que foram gerados na usinagem com MQL que funcionam como partículas abrasivas na ponta da ferramenta.

O método MQL de modo geral não apresentou bons resultados de modo a justificar sua utilização nos parâmetros adotados, pois gerou condições muito favoráveis a avarias e desgaste acelerado da ferramenta devido à ineficiência na remoção de calor durante a usinagem, causando maior densidade de precipitados que danificam demasiadamente a ferramenta.

Deve-se, ao usinar superligas, atentar-se as temperaturas atingidas e a afinidade química dos elementos que fazem parte dos componentes em contato. No caso das superligas, que possuem vários elementos de liga, encontrar componentes que não possuam afinidade

química é um desafio. Na usinagem em MQL as altas temperaturas foram possivelmente capazes de produzir um grande gradiente térmico proporcionando grande difusão atômica e que se pode perceber devido à grande incidência do desgaste de craterização e posteriormente confirmado pelo EDS. Para parâmetros elevados de corte associado à baixa remoção de calor e grande afinidade entre elementos houve indícios suficientes para notar que há uma possível formação de uma espécie de cobertura que se forma na região de contato peça/ferramenta que pode dificultar o corte e assim acarretar em menor vida da ferramenta.

O método com aplicação de fluido abundante foi o que obteve melhores resultados de forma geral.

Nota-se que invariavelmente os cavacos gerados independentemente da aplicação do fluido são cavacos longos de forma helicoidal e fita do tipo de cisalhamento.

Para maiores deformações cisalhantes nos cavacos estão associadas rugosidades mais elevadas uma vez que maior deformação está diretamente associada a maior grau de recalque. Assim maiores deformações acarretam em maior dureza dos cavacos que ao tocar a superfície usinada da peça pode danificá-la ou criar condição para quebra ou desgaste da ferramenta.

Como melhor condição geral de usinagem apresentada nos experimentos foi a combinação de velocidade de corte 90 m/min com avanço de 0,15 mm/rot e fluido abundante, que gerou o maior comprimento usinado (1247 m), a maior vida de ferramenta (13,87 min), um VB de 0,485 mm. Apesar desta combinação de parâmetros não ter gerado a melhor rugosidade ainda assim ficou com rugosidade final de 1,2 μm .

Nas imagens de MEV e EDS da peça usinada pôde ser constada a grande incidência de precipitados (intermetálicos, carbeto e carbonitreto) a grande quantidade de precipitados faz com que a liga tenha comportamento cada vez mais resistente ao corte tornando-se fundamental o controle da temperatura no decorrer da usinagem de modo a usinar nas faixas de temperatura abaixo daquela em que os precipitados ocorrem.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, A. M.; ASPINWALL, D. K.; WISE, M. L.. A review of polycrystalline cubic boron nitride tool developments and application. **Proceeding of the Thirtieth International Matador Conference**, Manchester, UK, 1993, p.1-11, Apr.
- ACKROYD, B.; AKCAN, N. S.; CHHABRA, P.; KRISHNAMURTHY, K.; MADHAVAN, V.; CHANDRASEKAR, S.; COMPTON, W. D.; FARRIS, T. N.; 2001. Exploration of contact conditions in machining. *Proceedings of Institution of Mechanical: part B – Engineers Journal of Engineering Manufacture*, v. 215, n. 4, p. 493-507.
- ALI ÇELİK, MELIKESERTALAĞAÇ, SERVETTURAN, ALPAGUTKARA, FERHATKARA; Wear behavior of solid SiAlON milling tools during high speed milling of Inconel 718. **Wear**, 2017, p. 58-67.
- ALMOND, E. A., Towards improved tests based on fundamental properties. **Proceedings of the International Conference on Improved Performance of Tool Materials, The National laboratory and the Metals Society**, Teddington, Middlesex, 28-29 April, 1981, pp. 161-169.
- A.R.C. SHARMAN, J.I. HUGHES, K. RIDGWAY, The effect of tool nose radius on surface integrity and residual stresses when turning Inconel 718 - **Journal of Materials Processing Technology**, 2015, p. 123 a 132.
- ASM HANDBOOK - **Machining** - Volume 16, Revised by R.W. Breitzig, INCO Alloys International, 1990, p. 835 a 843.
- ASM HANDBOOK – **Properties and selection: Irons Steels and High Performance Alloys** - Volume 1 – 2005, pp. 1478-1527.
- ASTM E407, **Standard Practice for Microetching Metals and Alloys**, 2007.
- A. THAKUR, S. GANGOPADHYAY.; Dry machining of nickel-based super alloy as a sustainable alternative using TiN/TiAlN coated tool - **Journal of Cleaner Production**, 2016, p. 256-268.
- CAPELLO, E.; DAVOLI, P.; BASSANINI, G.; BISI, A., Residual stresses and surface roughness in turning. **Journal of Engineering Materials and Technology**, v.121, , July 1999, p.346-351.
- BAHIA, A. L. H. **Torneamento da liga de níquel Pyromet® 31V (N07032) com ferramentas de metal duro**. 2010. 158f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.
- BAKER, R. D., Ceramic cutting tools: Application guidelines. **Carbide Tool**, p. 28-35, 1981.
- BENNANI, H. H. and TAKADOUM, J., Finit element model of elastic stresses in thin coatings submitted to applied forces, **Surface and coatings Technology** 111, 1999, p. 80 –85.

BONETTI, R. S., WIPRACHTIGER, H. and MOHN, E., **Metal Pounder Report**, Vol 45, 1990, p. 837-840.

BRINKSMEIER, E.; CAMMETT, J. T.; KÖNIG, W.; LESKOVAR, P.; PETERS, J.; TÖNSHOFF, H. K.. Residual stresses - Measurement and causes in machining processes. **Annals of the CIRP**, v. 31, n.2, 1982, p. 491-510.

BRINKSMEIER, E.; WALTER, A.; JANSSEN, R.; DIERSEN, P. Aspects of cooling lubrication reduction in machining advanced materials, **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers**, vol. 213, Part B. 1999, PP. 769-778.

BROCKHOFF, T.; WALTER, A.. Fluid minimization in cutting and grinding. **Abrasives Magazine**, Oct./Nov. 1998, p.38-42.

CARTECH, **Pyromet® Alloy 31V, Alloy Data Catalog**, Edition 08 September 2003, <http://cartech.ides.com/datasheet.aspx?&E=39&CK486688&FMT=PRINT>, acesso em 20/07/2014.

CHANDRASEKARAN, H.; JOHANSSON, J. O., Chip flow and notch wear mechanisms during the machining of high austenitic stainless steels. **CIRP Annals**, v. 43, n. 1, p. 101-105, Jan. 1994.

CHOUDHURY, I.A.; EL-BARADIE, M.A. Machinability of nickel base superalloys: a general review, **Journal of Materials Processing Technology**, 77 (1-3), 1998, p. 278-284.

D.A. STEPHENSONA, S.J. SKERLOS B, A.S. KINGC, S.D. SUPEKAR B. Rough turning Inconel 750 with supercritical CO₂-based minimum quantity lubrication - **Journal of Materials Processing Technology**, 2014, pag. 673-680.

DEANTONIO, D. A.; THOMPSON, P. T., **A Designer's Manual on Specialty Alloys for Critical Automotive Components - Carpenter Technology Corp.**, August 2004, Fonte: <http://www.carttech.com/techarticles.aspx?id=1552>, acesso em 21/07/2014.

DEARNLEY, P.A.; TRENT, E.M., **Wear Mechanisms of Coated Carbide Tools. Metals Technology**, vol.9, 1982, p. 60-75.

DERFLINGER, V.; BRANDLE, H.; ZIMMERMANN, H. New hard/lubricant coating for dry machining, **Surf. Coat. Technol.** 113, 1999, p. 751-757.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L., **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: 7ª. Ed., Art Lîber Editora, 2014.

DINIZ, A. E.; NORITOMI, P. Y. Influência dos parâmetros de corte na rugosidade. **Máquinas e Metais**. São Paulo, v. 35 (391), 1998, p. 92-101.

DUDZINSKI, D; DEVILLEZ, A.; MOUFKI, A.; LARROUQUÈRE, D.; ZERROUKI, V.; VIGNEAU, J., A review of developments towards dry and higy speedy machining of Inconel 718 alloy. **International Journal of Machine Tools & Manufacture** 44, 2004, p. 439-456.

ELBESTAWI, M. A., ELWARDANY, I., TAN, M., Performance of whiskerreinforced ceramic tools in milling nickel-based superalloy. **Annals of the CIRP**, v.42, n.1, 1993, p.99-102.

ELWARDANY, T. I.; KISHAWY, H. A.; ELBESTAWI, M. A.. Surface integrity of die material in high speed hard machining, Part 2: microhardness variations and residual stresses. Transactions of the ASME, **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 122, Nov. 2000, p.632-641.

EZUGWU, E. O.; BONNEY, J.; OLAJIRE, K. A., The effect of coolant concentration on the machinability of nickel-base, nimonic C-263, alloy. **Tribology Letters**, Vol 16, N° 7, May 2004, p.311 – 316.

EZUGWU, E. O.; BONNEY, J.; YAMANE, Y. An overview of the machinability of aeroengine alloys. **Journal of Materials Processing Technology**, v.134,(2), 2003, p.233 – 253.

EZUGWU, E. O.; MACHADO, A. R.; PASHBY, I. R.; WALLBANK, J., The effect of high-pressure coolant supply. **Lub. Eng.**, v47, p. 751-757, 1990.

EZUGWU, E. O.; OKEKE, C. I., Effect of coating materials on the machinability of a nickel base, C-263, alloy, **Tribol. Trans.** V.43 (3), p. 549-553, 2000.

EZUGWU, E. O.; TANG, S. H., Surface abuse when machining cast iron (G-17) and nickel-base superalloy (Inconel 718) with ceramic tools. **Journal of Materials Processing Technology**, n.55, 1995, p.63-69.

EZUGWU, E. O.; WANG, Z. M., Performance of PVD and CVD coated carbide tools when machining nickel based Inconel 718 alloy, **Progress of Cutting and Grinding - ICPCG**, v.3, 1996, p.102-107.

EZUGWU, Z.M.; WANG, C.I. OKEKE, Tool life and surface integrity when machining Inconel 718 with PVD and CVD coated tools, **Tribol. Trans.** 42 (2), 1999, p. 353-360.

FARIA, J. C., **Estudo da Usinagem em torneamento da Superliga a base de níquel NIMONIC 80**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2007.

FERRARESI, DINO, **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: 1ª ed. Edgard Blucher Ltda, 10ª reimpressão 2000.

GAMA, R. P.; RIBEIRO, M. V. **Estudo da Formação do Cavaco no Torneamento de Superligas de Níquel**. Saarbrücken. Novas Edições Acadêmicas: 2017

GAMA, R. P.; RIBEIRO, M. V. BAHIA, A. L. H. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF), 9. 2017, Joinville. Study of the Machining by Turning of the Nickel Super Alloy Pyromet A31: Flood Fluid X MQL. Joinville: **ABCM**, 2017

GAMA, R. P.; RIBEIRO, M. V., Effects of cutting fluid application in the performance of the Nimonic 80A turning. **Key Engineering Materials**, Vols 656-657, p. 243-250, 2015.

GATTO, A., IULIANO, L., Chip formation analysis in high speed machining of a nickel base superalloy with silicon carbide whisker-reinforced alumina. **International Journal Machine Tools Manufacturing**, v.34, n.8, 1994, p.1147-1161.

GAMA, R.P. **Estudo Da Formação Do Cavaco No Torneamento De Superligas De Níquel**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, 128pp, Guaratinguetá-SP. 2014.

HEISEL, U.; LUTZ, D.; WASSMER, R.; WALTER, U., A técnica da quantidade mínima de fluidos e sua aplicação nos processos de corte. **Máquinas e Metais**, n.386, fev. 1998, p.22-38.

HONG, H.T., CHOU, T. L., Modelling of tool/chip interface temperature distribution in metal cutting, **International Journal Mechanical Science** 36, 1994, p.931 – 943.

H.Z. LI, H. ZENG, X.Q. CHEN, An experimental study of tool wear and cutting force variation in the end milling of Inconel 718 with coated carbide inserts, **Journal of Materials Processing Technology**, 2006, p. 296-304.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 3685 - **Tool life testing with single-point turning tools**, 1993.

JAWAID, A.; CHE-HARON, C. H.; ABDULLAH, A., Tool wear characteristics in turning of titanium alloy Ti-6246, **J. Mater. Process. Technol.**, p. 92-93, 329-334, 1999.

JEELANI, S.; RAMAKRISHNAN, K., Surface damage in machining titanium 6Al-2Sn-4Zr-2Mo alloy. **Journal of Materials Science**, v.20, p. 3245-3252, 1985.

J.L. CANTERO, J.DIAZ-ALVAREZ, M.H.MIGUELEZ, N.C.MARIN; Analysis of tool wear patterns in finishing turning of Inconel 718. **Wear**, 2013, p. 885-894.

KALPAKJAN, S. **Manufacturing Processes for Engineering Materials**, 2nd ed., Addison-Wesley, Reading, MA, 1991.

KEJIAZHUANG, DAHUZHU, XIAOMINGZHANG, HANDING; Notch wear prediction model in turning of Inconel 718 with ceramic tools considering the influence of work hardened layer. **Wear**, 2014, p. 63-74.

K. KULAWIK, P.A. BUFFAT, A. KRUK, A.M.WUSATOWSKA-SARNEK, A. CZYRSKA-FILEMONOWICZ; Imaging and characterization of γ' and γ'' nanoparticles in Inconel 718 by EDX elemental mapping and FIB–SEM tomography, **Materials Characterization**, 2015, p. 74-80.

KLOCKE, F.; GERSCHWILER, W., Advanced machining of titanium and nickelbase alloys, **Advanced Manufacturing Systems and Technology**, CISM Courses and Lecture No. 372, Springer, Wien, 1996, p. 7-21.

KNOTEK, O., LOFLER, F., KRAMER, G., Deposition, properties and performance behaviour of carbide and carbonitride PVD coatings, **Surface and coatings Technology** 61, 1993, p. 320-325.

KÖNIG, W.; SCHEMMEL, U., **Untersuchung Moderner Schneidstoffe - Beanspruchungsgerechte Anwendung Sowie Verschleibursachen**, Forschungsber, Nr. 2472 des. Lds. Nordrh. - Westf, Westdeutscher Verlag, Köln, Opladen, 1975.

KOPAC, J.; BAHOR, M., Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product. **Journal of Materials Processing Technology**. V. 92-93, p. 381-387, 1999.

KOPAC, J., SOKOVIC, M., DOLINSEK, S., Tribology of coated tools in conventional and HSM machining, **Journal of Material Processing Technology** 118, 1998, p.377 – 384.

KRAMER, B.M. On tool materials for high speed machining, **J. Eng. Ind.** 109, 1987, p. 87-91.

LANNA, M. A., **Desenvolvimento de novos materiais à base de nitreto de silício para aplicações estruturais** - São José dos Campos, SP: Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, 180 p., 2004, Tese de Doutorado.

LI, L.; HE, N.; WANG, M.; WANG, Z. G., High speed cutting of Inconel 718 with coated carbide and ceramic inserts. **Journal of Materials Processing Technology** 129, 2002, p. 127-130.

LIAO, Y.S.; SHIUE, R.H., Carbide tool wear mechanism in turning of Inconel 718 superalloy, **Wear** 193, 1996, p.16-24.

LIU, C. R.; BARASH, M. M., The mechanical state of the sublayer of a surfasse generated by chip-removal process, part 2: Cutting with a tool with flank wear. **Journal of Engineering for Industry**, v.98, Nov. 1976, p.1202-1208.

LOPEZ DE LACALLE, L.N., LLORENTE, J.I., SANCHEZ, J.A. Improving the cutting Parameters the machining of Nickel and Titanium alloys, **Annals of the CIRP**, v. 47, 1998.

MACHADO, A. R.; SILVA, M. B., **Usinagem dos metais**. 4. Ed. Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 1999.

MATSUMOTO, Y.; BARASH, M. M.; LIU, C. R., Effect of hardness on the surfasse integrity of AISI 4340 steel. **Journal of Engineering for Industry**, v.108, Aug. 1986, p.169-175.

MAY, P.W., CVD Diamond – a new Technology for the Future?, **Endeavour Magazine** 19(3), 1995, p. 101-106.

METALS HANDBOOK Desk Edition, 2nd edition, **ASM International Handbook Committee**, edited by Joseph R. Davis, 1998.

MIRANDA, G. W. A., **Uma contribuição para aplicação em controle adaptativo otimizado no torneamento**. Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, p.100, 1997, Dissertação de mestrado.

MOURA FILHO, O. C.; MARQUES, A.; MACHADO, A. R.; Estudo Da Temperatura No Torneamento Do Inconel 718 Com Aplicação De Lubrificantes Sólidos. **8º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, 2015.

M.S. KASIM, C.H.CHEHARON, J.A.GHANI, M.A.SULAIMAN, M.Z.A.YAZID; Wear mechanism and notch wear location prediction model in ball nose end milling of Inconel 718. **Wear**, 2013, p.1171-1179.

PAUL, S.; CHATTOPADHYAY, A.B., Effect of cryogenic cooling by liquid nitrogen Jet on forces, temperature and surface residual stresses in grinding, **Steels Cryogenics**, 35 (8), 1995, p. 515-523.

RIBEIRO, M. V.; MOREIRA, M. R. V.; FERREIRA, J. R.; Optimization of titanium alloy (6Al-4V) machining. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 143/144C, p. 453-458, 2003.

RIBEIRO, M. V.; BAHIA, A. L. H. Study of the turning nickel alloy Pyromet® 31V (SAE HEV8). **European Symposium on Superalloys and their Applications**. Kreuth - Germany, May. 25-28, 2010, Proceedings in Cd-rom.

RIBEIRO, M. V.; GAMA, R. P.; BAHIA, A. L. H.; SIMBA, B. G. Aspects on Superalloy Machining. Wythers, Maryann C. (Org.). **Advances in Materials Science Research**. New York: Nova Science Publishers, 2017. p. 31-98.

RICHARDS, N., ASPINWALL, D. Use of ceramic tools for machining nickel based alloys. **International Journal Machine Tools Manufacturing**, v.29, n.4, 1989, p.575- 588.

SAE J775, **Engine Poppet Valve Information Report**. Surface Vehicle Information Report., 26 p., Rev. November 2004.

SCHULZ, H., MORIWAKI, T., High-speed machining. **Annals CIRP** 1992;41(2): p.637-43.

SALES, W. F., **Determinação das características refrigerantes e lubrificantes de fluidos de corte**. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG. Tese de doutorado, 1999, 176 p.

SANDVIK COROMANT, **Manual Técnico de Usinagem**, AB Sandvik Coromant, 2005.

SARIN, V. K.; LINDSTROM, J. N., **J Electrochem Soc.**, Vol 126, 1979, p 1281-1287.

SCHINTLMEISTER, W.; PACHER, O.; PFAFFINGER, K.; RAINE, T., **J. Electrochem. Soc.**, Vol. 123, 1976, p. 927-929.

SECO TECHNICAL GUIDE, Turning Difficult-To-Machine Alloys, S. Miller, Advanced materials means advanced engines, **Interdisciplinary Science Review**, vol.21 (2), 1996, pp.117-129.

SILVA, L. R. et. al., Estudo da geometria de corte para torneamento de inconel. **Máquinas e Metais**, p. 37, (427), -55, 2001.

SILVA, L. R., **Estudo da geometria da aresta de corte de ferramentas aplicadas ao torneamento de superligas à base de níquel com alta velocidade de corte**. São Carlos. - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 211 p., Tese de Doutorado, 2002.

SIMMS, C. T.; HAGEL, W.C., **The Superalloys**, Wiley, New York, 1972.

SOUZA, A. C. de; NOVASKI, O.; PAMPLONA, E e BATOCCHIO, A. Condições econômicas no processo de usinagem: uma abordagem para consideração dos custos. **VII Congresso Internacional de Custos**. Léon, Espanha. Julho de 2001

STAPPEN V. M., STALS, L. M., KERKHOF, M. and QUAEYHAEGENS, C., State of the art for the industrial use of ceramic PVD coatings, **Surface and coatings Technology**, 1995, p. 74 –75, 629 – 633.

SUGAHARA, T; REIS, D. A.P.; CASTAGNET, M.; COUTO, A. A., Estudo Das Propriedades Mecânicas Da Superliga Inconel 718 Após Ensaio De Tração A Quente* **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 99-104, abr./jun. 2014

SUMITOMO ELECTRIC HARTMETALL GMBH. **Catalogue 2014-2015**. Itami-shi, Hyogo, Japão. 2015.

TRENT, E. M., **Metal cutting**. 3. ed. Oxford, Butterworth – Heinemann, 1991.

US GEOLOGICAL SURVEY, **Catalogue**. 2014

VIGNEAU, J., Obtendo alta produtividade na usinagem de ligas de titânio e superligas. **Máquinas e Metais**, v.32, (380), p. 16-32, 1997.

WEINGAERTNER, W. L., Qualidade superficial e formação de cavacos na usinagem de Al e Cu. **Máquinas e Metais**, p.82-89, Maio 1994.

WITTING, H.; Torneamento de superligas. **Máquinas e Metais**, v.38, (440), p. 156-165, 2002.

WRIGHT, P. K, HORNE, J. G. and TABOR, D., Boundary Conditions at the Chip- Tool interface in Machining: Comparisons Between Seizure and Sliding Friction, **Wear**, Vol 54, 1979, p. 371-390.

Y. KAMATA, T. OBIKAWA, High speed MQL finish-turning of Inconel 718 with different coated tools, **Journal of Materials Processing Technology**, 2007, p. 281-286.

ZITNANSKY, M.; ZRNIK, J.; MARTINKOVIC, M., Developing processes of property improvement of nickel base superalloys, **J. Mater. Process Technol.** 78, 1998, p. 204-209.