

ANÁLISE DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS NO PROCESSO DE USINAGEM DE ROSCA DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX¹

Heitor de Borba Amaral²

Claudinei Haag³

Nichelly Katiúcia Dias⁴

José Mario Fernandes de Paiva Junior⁵

Resumo

Para pesquisar o processo de usinagem da rosca e analisar através de experimento as diferentes estratégias de usinagem da rosca. As quatro estratégias para usinagem da rosca externo foram: radial, flanco, flanco modificado e flanco invertido. O material utilizado neste estudo foi o Aço Inoxidável Duplex ASTM/UNS S31803, e a rosca torneada M48 passo 1,5mm. Os seguintes aspectos foram analisados: Usinagem dos corpos de prova no aço Inoxidável Duplex ASTM/UNS S31803; Análise do desgaste da ferramenta durante a usinagem de cada estratégia de torneamento de rosca; Análise Dimensional da Rosca; Análise do perfil da rosca; Análise da rugosidade aparente do perfil da rosca e Análise do cavaco. Após a usinagem dos corpos de prova foram analisadas as ferramentas e todas apresentaram desgaste de flanco e a quebra em algum ponto da aresta de corte, a que menos apresentou desgaste foi a estratégia de usinagem da rosca radial. Na análise do perfil da rosca a estratégia de usinagem da rosca que apresentou melhor perfil foi flanco invertido. Foi possível avaliar a rugosidade aparente da rosca, a que menos apresentou defeitos foi a usinagem da rosca radial.

Palavras-chave: Torneamento; Estratégias de roscamento; Aço inoxidável duplex.

ANALYSIS OF DIFFERENT STRATEGIES IN THE PROCESS OF THREADING OF DUPLEX STAINLESS STEEL

Abstract

To find the process of threading through experiment and analyze the different threading strategies. The four strategies for external threading were radial, flank, flank modified and flank reversed. The material used in this study was the Duplex Stainless Steel ASTM / UNS S31803, turned and threaded M48 step 1.5 mm. The following aspects were analyzed: Machining of the specimens in Duplex Stainless Steel ASTM / UNS S31803; Analysis of tool wear during machining of each strategy of turning thread; Thread Dimensional Analysis, Analysis of the thread profile, roughness analysis apparent thread profile analysis and chip. After machining the specimens were analyzed and all the tools presented flank wear and break at some point of the cutting edge, which showed less wear was the strategy of radial threading. In the analysis of the thread profile threading strategy that provided better was inverted flank. It was possible to evaluate the apparent roughness of the thread, the defect was introduced less than the radial threading.

Key words: Turning; Threading strategies; Duplex stainless steel.

¹ *Contribuição técnica ao 11º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 14 e 15 de agosto de 2013, São Paulo, SP.*

² *Tecnólogo em Fabricação Mecânica. Técnico Laboratorista. Senai, Joinville, SC, Brasil.*

³ *Especialização em Formação Docente para o Ensino Superior. Docente. Senai, Joinville, SC, Brasil.*

⁴ *Tecnólogo em Fabricação Mecânica, Técnico Laboratorista. Senai, Joinville, SC, Brasil.*

⁵ *Eng. Mecânica. Mestre. Coordenador de Metrologia. Senai, Joinville, SC, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A usinagem é um dos mais importantes processos envolvidos na fabricação de componentes. Desta forma torna-se necessário conhecer o melhoramento contínuo deste processo e fornecer as informações específicas para os operadores, a fim de se obter um melhor desempenho nas operações que ocorrem no dia-a-dia. Além disto, torna-se importante também conhecer os efeitos do processo de usinagem nas características e propriedades do material na superfície usinada, para que nesta seja garantido o máximo da resistência à corrosão e mecânica.⁽¹⁾

A usinagem tem importância fundamental diante dos demais processos de fabricação, sendo a mais empregada nas indústrias, e representando desta forma mais de 15% do valor total dos produtos industrializados.⁽²⁾

Dentre as classes de aços inoxidáveis, uma delas vem se destacando por ser altamente resistente à corrosão e possuir resistências mecânicas muito superiores às demais. Este material é conhecido por aços inoxidáveis duplex.⁽³⁾ A principal aplicação deste material é na indústria petrolífera, que cresce a cada dia com descobertas de novas áreas de extração.

A busca para obter o aumento da produtividade, visando à redução de custo vem se tornando um diferencial no custo final do produto principalmente quando se trata de usinagem de rosca. O usinagem de rosca é geralmente um dos últimos processos a ser executado em uma peça, isso aumenta o risco de perda da produção caso haja algum defeito na rosca.

Para entender o processo de roscamento e suas características, deve-se ter bem definido o conceito de rosca, e conhecer suas nomenclaturas e seus símbolos, usados em roscas estes são definidos pela ABTN (Associação Brasileira de Normas Técnicas), através da NBR 5876.⁽⁴⁾ Segundo a norma P-TB-41 - Terminologia e Simbologia de Roscas a rosca é definida como sendo “uma superfície composta, originada por uma ou mais hélices (rosca cilíndrica) ou espirais cônicas (rosca cônica) coaxiais e de mesmo passo”.

No processo de torneamento de rosca, também é necessário uma nova avaliação. A importância de pesquisas na área de usinagem de rosca em materiais utilizados na indústria petrolífera é devido ao uso de conexões nesta indústria. Serão analisados quatro tipos de estratégias de usinagem de rosca externo no aço inoxidável duplex S31803, que são estes: radial, flanco, flanco modificado e flanco invertido.

Foi possível analisar através do experimento as diferentes estratégias de usinagem de rosca no aço inoxidável duplex S31803 no que se refere à qualidade da rosca e ao desgaste de ferramenta.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste estudo consiste em, inicialmente através da usinagem dos corpos de prova com as estratégias de penetração radial, de flanco, flanco modificado e flanco invertido, determinar qual apresenta melhores benefícios no usinagem de rosca deste material, serão analisadas o dimensional da rosca, perfil da rosca, rugosidade aparente da rosca, desgaste da ferramenta e o cavaco gerado nas estratégias. Para podemos analisar a repetibilidade dos resultados foram usinados três corpos de prova de cada estratégia. Através dessas análises será possível avaliar qual a melhor estratégia de roscamento para o Aço Inoxidável Duplex ASTM/UNS S31803.

Os equipamentos utilizados foram: Torno CNC Romi modelo GL 240 para usinagem dos corpos de prova; Fluido Semi sintético miscível B-Cool 255 marca Bodmann aplicado por emulsão; Ferramenta utilizada para usinagem das estratégias de roscamento da marca Seco Tools código do inserto 16ERAG60-A2; Micrômetro de rosca 25-50 mm para análise dimensional da rosca; Eletroerosão a fio, modelo DK7732F para seccionar os corpos de prova; Microscópio Estéreo SZX7 Zoom da marca Olympus para analisar o perfil da rosca.

O material utilizado neste estudo foi o Aço Inoxidável Duplex ASTM/UNS S31803 fornecido pela empresa Villares Metals.

3 RESULTADOS

3.1 Usinagem das Estratégias

Os corpos de prova foram confeccionados com medidas $\varnothing 48 \times 70$ mm, com uma rosca M48 passo 1,5mm, onde o comprimento roscado é de uma vez o diâmetro da peça como podemos observar na Figura 1.



Figura 1 - Corpo de prova usinado.

Os parâmetros de usinagem utilizados neste estudo estão nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Dados da usinagem

Número de Passes	6
Raio da ferramenta (mm)	0,08
Altura do filete (mm)	0,93
RPM	845
Velocidade de corte (m/min)	125
Diâmetro da peça (mm)	48
Passo (mm)	1,5
Tempo de usinagem (s)	24
Comprimento da usinagem da rosca (mm)	48

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de corte utilizados para realização dos testes, bem como as especificações da ferramenta e da rosca M48 passo 1,5 mm.

A Tabela 2 apresenta a profundidade de corte utilizada em cada passe essa profundidade é indicada pelo fabricante da ferramenta Seco.

Tabela 2 - Profundidade em cada passe

Passe	Profundidade em (mm)
1º	0,22
2º	0,20
3º	0,17
4º	0,14
5º	0,12
6º	0,08

As Figuras 2 a 5 demonstram a posição de cada incremento na usinagem das diferentes estratégias.

Na estratégia de penetração radial (Figura 2) a ferramenta penetra no material seguindo uma linha perpendicular no centro do filete, nesta estratégia a ferramenta fica sujeita a grandes esforços de corte devido ao material ser cortado nos dois lados da ferramenta ao mesmo tempo.

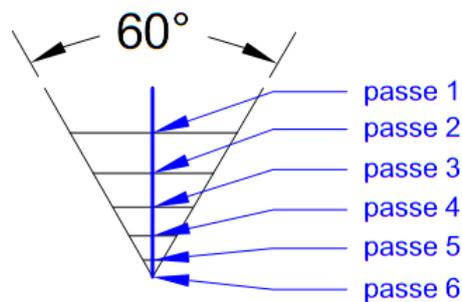


Figura 2: Representação de penetração radial.

Na estratégia de penetração pelo flanco (Figura 3) a ferramenta penetra o material paralelamente a um dos flancos da rosca, este tipo de penetração gera vibrações e acabamento insatisfatório na rosca.

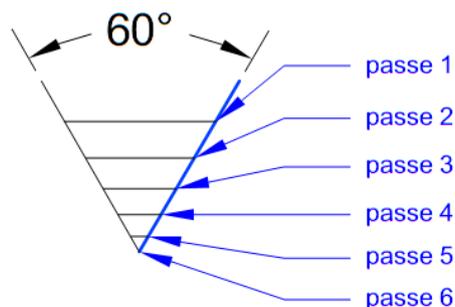


Figura 3: Representação de penetração pelo flanco.

Semelhante a penetração de flanco na estratégia de flanco modificado (Figura 4) a ferramenta penetra o material com um ângulo menor que a metade do ângulo da rosca, reduzindo tendências de vibração durante o processo.

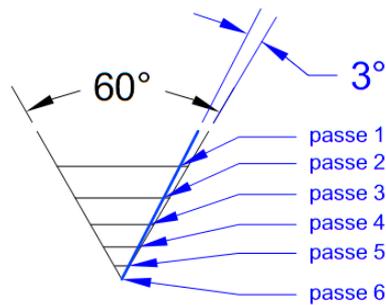


Figura 4- Representação de penetração de flanco modificado.

Na penetração por flanco invertido (Figura 5) a ferramenta penetra o material produzindo um “zig zag” cortando o material com ambos os lados da ferramenta, esta estratégia preserva a ferramenta de corte.

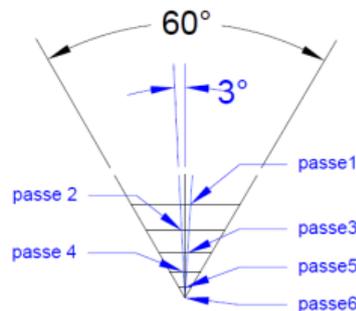


Figura 5 - Representação de penetração de flanco invertido.

3.2 Desgaste da Ferramenta

Para determinar o fim de vida da ferramenta foi utilizado VB (Desgaste de flanco) de 0,3 mm. A seguir serão demonstradas as Amostras 1 das ferramentas utilizadas em cada estratégia. Nas usinagens de usinagem de rosca radial o desgaste ocorrido nas ferramentas é aparentemente igual (Figura 6), no lado esquerdo da aresta se destaca a deformação plástica e no lado direito houve desgaste de flanco, quebra na ponta da aresta e adesão do material, na parte superior da ferramenta é possível ver uma pequena cratera.



Figura 6 - Desgaste da ferramenta Amostra 1 – Estratégia de usinagem de rosca radial.

Na estratégia de flanco houve uma homogeneidade nos desgastes em todas as amostras, ocorreu desgaste de flanco e conseqüentemente à quebra da ferramenta, lascamento, adesão do material principalmente no lado direito da aresta de corte. No lado esquerdo as amostras apresentaram deformação plástica na ponta à aresta (Figura 7).



Figura 7 - Desgaste da ferramenta Amostra 1 – Estratégia de usinagem de rosca de flanco.

Na estratégia de flanco modificado é possível analisar na Figura 8 que as avarias ocorridas nesta estratégia apresentam a mesma característica nos dois lados da ferramenta, desgaste de flanco gerou uma quebra e aresta postiça de corte.



Figura 8 - Desgaste da ferramenta Amostra 1 – Estratégia de usinagem de rosca de flanco modificado.

Na estratégia de usinagem de rosca de flanco invertido é possível ver desgaste de flanco nos dois lados da ferramenta (Figura 9) assim como aresta postiça e quebra no gume de corte.

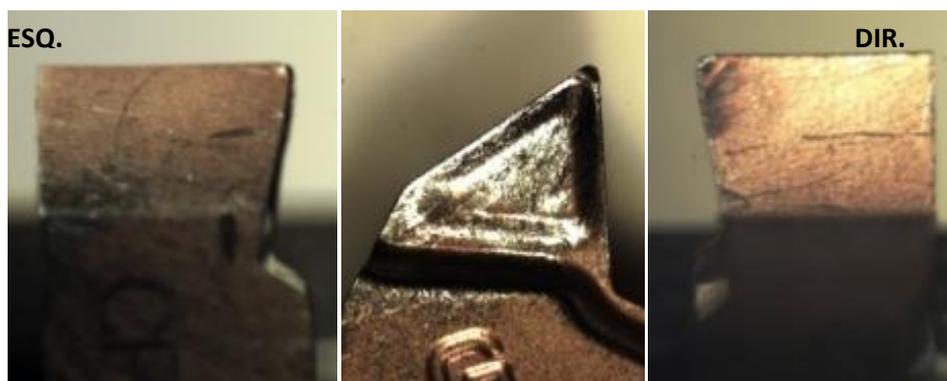


Figura 9 - Desgaste da ferramenta Amostra 1 – Estratégia de usinagem de rosca de flanco invertido.

A Tabela 3 mostra as medidas encontradas no desgaste de flanco das ferramentas, é possível observar que a estratégia de penetração radial obteve os menores desgastes. Na amostra 3 da estratégia de flanco invertido não foi possível fazer a medição devido a quebra da ferramenta.

Tabela 3: Desgaste das ferramentas em cada estratégia

Estratégia	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
Radial	0,31	0,39	0,31	0,336
Flanco	0,50	0,50	0,56	0,520
Flanco Modificado	0,34	0,35	0,38	0,356
Flanco Invertido	0,34	0,42	-	0,380

É possível analisar nas imagens que em todas as amostras houve um desgaste de flanco e a quebra em algum ponto da aresta de corte. Os desgastes da penetração radial foram praticamente os mesmos em ambos os lados da aresta de corte ocasionado pela penetração ser sempre no mesmo ponto, o corte inicia no meio do filete da rosca e os dois lados da ferramenta cortam o material.

Na estratégia de penetração pelo flanco nota-se que ocorreram quebras no lado direito da ferramenta, devido ao tipo de penetração característico desta estratégia citado por Seco,⁽⁵⁾ onde um lado da ferramenta corta o material e o outro fica atritando na superfície já usinada, causando vibrações e acabamento insatisfatório na rosca. Já na penetração de flanco modificado não ocorreu o mesmo problema da quebra da aresta de corte direita da ferramenta pelo motivo de que o incremento da ferramenta não acompanha o ângulo da rosca, este ângulo é modificado para evitar o atrito na superfície já usinada da peça. Conforme Seco⁽⁵⁾ a alteração do ângulo pode variar de 2° a 5°, neste estudo foi utilizado 3°. A estratégia de penetração por flanco invertido pelo fato de a cada passe alterar a posição da ferramenta hora cortando com o lado direito e hora cortando com o lado esquerdo, produziu desgastes equivalentes nas arestas da ferramenta.

3.3 Dimensional da Rosca

A Tabela 4 mostra apresenta a medida encontrada ao final de cada teste. Como já citado o diâmetro de flanco de uma rosca M48x1,5mm é de 47,026 mm e como podemos observar a variação de medida está na ordem de 0,05 centésimos para mais e para menos.

Tabela 4: Dimensional da rosca

Amostras	Medidas (mm)			
	Radial	Modificado	Invertido	Flanco
1	46.993	46.981	47.026	47.027
2	47.018	47.016	47.016	47.044
3	47.046	47.006	47.006	47.019
Média	47.02	47.001	47.016	47.03

3.4 Análise do Perfil da Rosca

Para avaliar o perfil da peça roscada foi selecionada uma amostra de cada estratégia, seccionada em três partes. Neste item utilizamos a parte 3 (Figura 10).

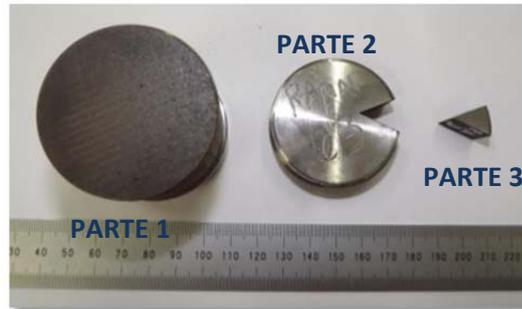


Figura 10 - Corpo de prova seccionado por meio de eletro-a-fio.

Na Figura 11 podemos observar o perfil roscado da terceira amostra fabricado pela estratégia de penetração radial, é possível identificar falhas na raiz do filete causado pela quebra da ferramenta. Os flancos da rosca não sofreram deformação, na crista do filete ocorreu uma pequena deformação.



Figura 11 - Perfil da rosca Amostra 3 – Estratégia de usinagem de rosca Radial (56x de aumento). Ângulo do filete de 59,19°.

A Figura 12 mostra o perfil roscado fabricado pela estratégia de flanco, nota-se que o lado direito do filete sofreu deformação causada pelo atrito da ferramenta com o material, deformando também a raiz e a crista da rosca.



Figura 12 - Perfil da rosca Amostra 3 – Estratégia de usinagem de rosca Flanco (56x de aumento). Ângulo do filete de 59,52°.

É possível observar na Figura 13 do perfil roscado fabricado pela estratégia de flanco modificado, que no lado direito do filete próximo a raiz da rosca ocorreu uma deformação, ocorreram deformações na crista dos filetes. Os flancos da peça apresentam bom acabamento superficial.



Figura 13: Perfil da rosca Amostra 3 – Estratégia de usinagem de rosca Flanco Modificado (56x de aumento). Ângulo do filete de 59,63°.

Como podemos ver na Figura 14 o perfil roscado fabricado pela penetração de flanco invertido apresenta bom acabamento em todos os aspectos analisados neste item, tanto a raiz, a crista e os flancos não sofreram deformações.

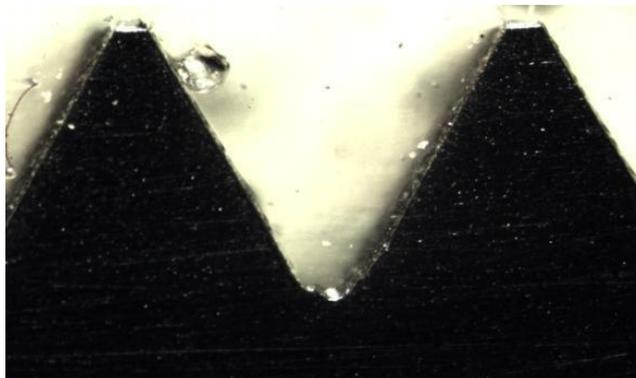


Figura 14: Perfil da rosca Amostra 2 – Estratégia de usinagem de rosca Flanco Invertido (56x de aumento). Ângulo do filete de 59,59°.

Com relação à crista do filete a penetração por flanco invertido apresenta melhor acabamento superficial que as outras estratégias. Na raiz da rosca todas as amostras sofreram deformações devido a quebra da ferramenta durante o processo de usinagem. Nas amostras de penetração radial e flanco invertido os dois lados do filete apresentam bom acabamento sem grandes deformações, já as amostras de flanco e flanco modificado possuem defeitos no lado direito do filete. O ângulo do filete ideal possui abertura de 60° nenhuma amostra apresentou mais ou menos 1° de diferença nas medições.

4.5.3 Análise da Rugosidade Aparente do Perfil da Rosca

Foi analisada a rugosidade do perfil da rosca visualmente através do Microscópio Estéreo SZX7 Zoom da marca Olympus, pois não teria a possibilidade de usar um rugosímetro devido à geometria do corpo de prova.

Os corpos de prova foram seccionados e divididos em três partes como observamos na Figura 10, para análise da rugosidade aparente do filete da rosca foram utilizadas as partes 1 (Figuras a) e 2 (Figuras b) dos corpos de prova.

Na Figura 15 podemos visualizar o flanco da rosca usinada com estratégia de penetração radial, é possível notar que não houve deformação no filete da rosca e não apresenta empastamento de material.

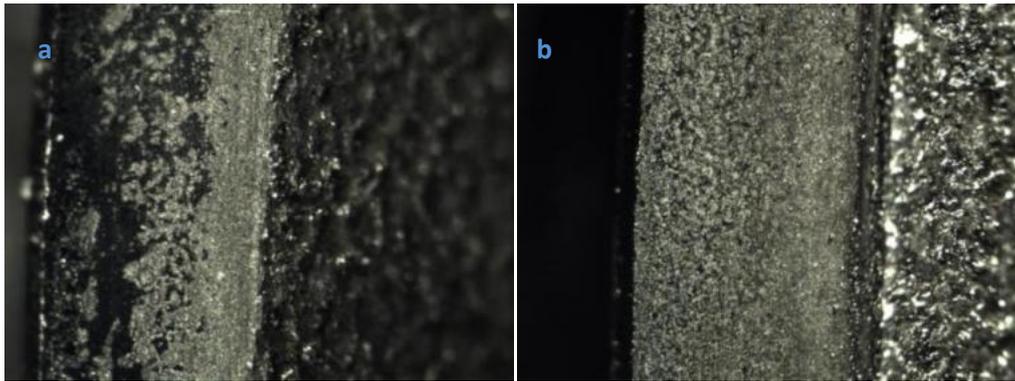


Figura 15: Rugosidade aparente da amostra de usinagem de rosca Radial parte 1 e parte 2 (56x de aumento).

Na Figura 16a podemos avaliar o flanco esquerdo do filete da rosca usinado com a estratégia de penetração pelo flanco, este flanco não apresenta deformações visto que a ferramenta penetrava o material pelo flanco oposto. Na Figura 16b observamos o flanco direito da rosca por onde a ferramenta penetrava o material, é possível notar que o filete da rosca esta danificado pela forma que a ferramenta corta o material.

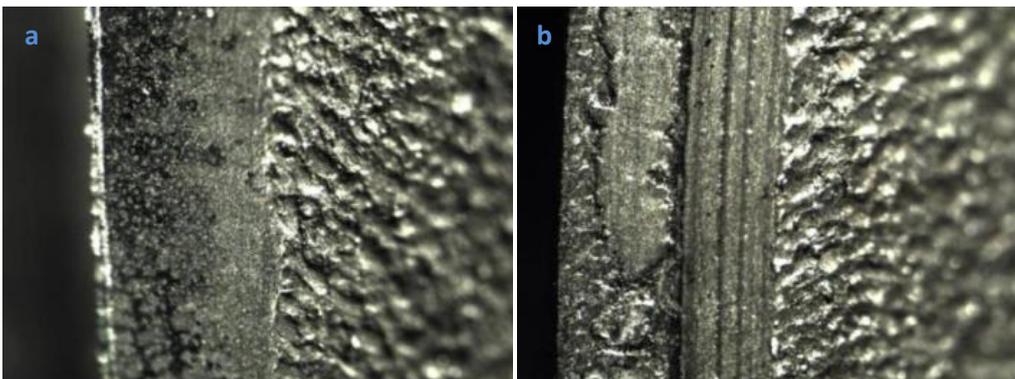


Figura 16: Rugosidade aparente da amostra de usinagem de rosca de Flanco parte 1 e parte 2 (56x de aumento).

A Figura 17a mostra o flanco do filete de uma rosca usinada com a estratégia de flanco modificado, próximo a raiz da rosca existe uma deformação no flanco. A Figura 17b não apresenta defeitos como na anterior.

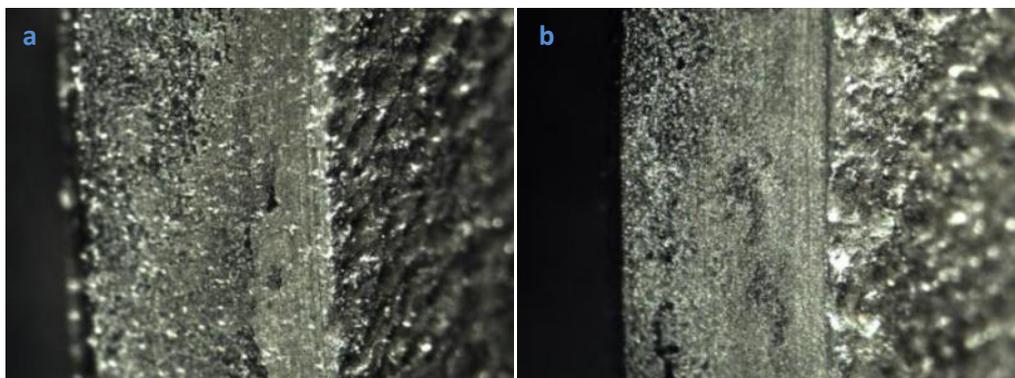


Figura 17: Rugosidade aparente da amostra de usinagem de rosca de Flanco Modificado parte 1 e parte 2(56x de aumento).

Na Figura 18 podemos observar que crateras foram formadas durante a usinagem da rosca. Acabamento superficial bom em relação ao filete de penetração pelo flanco.

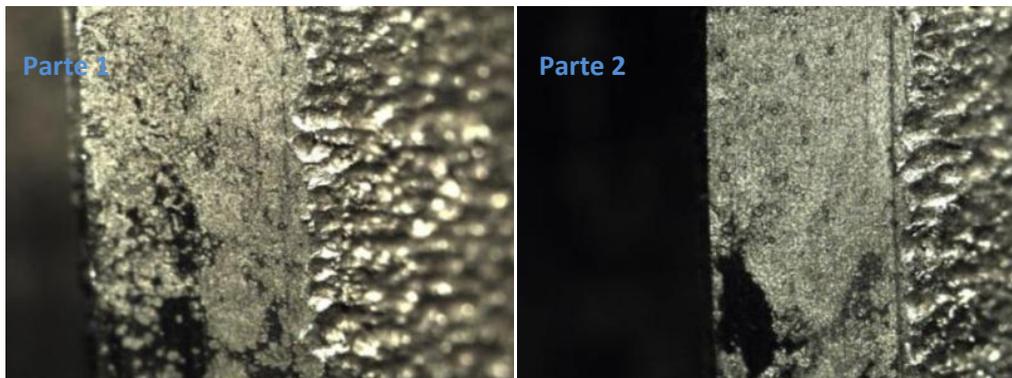


Figura 18: Rugosidade aparente da amostra de usinagem de rosca de Flanco Invertido parte 1 e parte 2 (56x de aumento).

Os acabamentos dos flancos da rosca variam de acordo com o tipo de penetração utilizado na usinagem, isso pode ser aplicado conforme a necessidade da peça a ser fabricada. Para se obter um bom acabamento no filete é preciso adequar a usinagem ao material da peça, alterando a estratégia e os parâmetros de corte.

5 CONCLUSÃO

O aço inoxidável duplex UNS 31803 apresentou dificuldades devido à alta dureza do material, alta taxa de encrumento e sua baixa usinabilidade, principalmente na usinagem de rosca devido a dificuldade em otimizar parâmetros de corte pela fragilidade da aresta da ferramenta, causando o desgaste elevado da ferramenta aumentando o custo de produção dos componentes.

Com relação a vida da ferramenta todas apresentaram desgaste elevados causados pela alta velocidade de corte de 125m/min utilizada acima do recomendado pelo fabricante Seco de 70m/min para provocar o desgaste prematuro da ferramenta devido ao número limitado de amostras. A ferramenta com menores desgaste foi a utilizada na penetração radial conforme visto na tabela 3, pelo fato ambos os lados da ferramenta cortarem o material durante todo o processo.

Já no quesito dimensional da rosca todas as amostras atenderam o dimensional especificado pela norma ABNT 724.⁽⁶⁾ Concluindo que a estratégia não influencia ou afeta o dimensional.

A estratégia de penetração de flanco invertido gerou o perfil da rosca, sem defeitos em todo o comprimento do filete, já o perfil da rosca usinada com penetração pelo flanco foi a amostra com maiores danos causados nos teste devido ao atrito da ferramenta com na parte já usinada da rosca.

Na superfície do filete da rosca produzida com a estratégia de penetração pelo flanco apresentou os mesmos defeitos causados no perfil da rosca gerado pelo atrito da ferramenta com o flanco da rosca. As amostras usinadas com a penetração radial não apresentaram defeitos pelo fato desta estratégia ser a mais indicada para materiais como aço inoxidável, apesar de gerar mais esforços durante o corte.

Com base nos resultados encontrados nos ensaios de roscamento pode-se afirmar que a melhor estratégia de penetração neste trabalho com estas condições foi a de penetração radial, pelo menor desgaste de ferramenta, acabamento

superficial dos flancos e perfil da rosca sem grandes deformações, dimensional dentro do estabelecido pela norma técnica.

Agradecimentos

A empresa Villares Metals pela doação do material, em especial ao Alexandre Sokolowski do Centro de P&D.

A empresa Eroton Usinagem por Eletroerosão Ltda pelo auxílio no corte dos corpos de prova.

Ao SENAI Joinville, por ter cedido equipamentos para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 GRAVALOS, M. T.; Marcelo Martins; Anselmo Eduardo DINIZ; Mei, Paulo Roberto. **Efeito Da Usinagem Na Estrutura E Propriedades Mecânicas Do Aço Superaustenítico ASTM A351 CN3MN**. Revista da escola de Minas v.60, p. 83-88, 2008.
- 2 BEZERRA, A. A.; COELHO, R.T.; DA SILVA, L.R. Monitoração dos Processos de Roscamento: Revisão da Literatura. **Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM**. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Associação Brasileira de Ciências Mecânicas – Abcm, 10p. 2000.
- 3 OUTOKUMPU BRASIL AÇOS INOXIDÁVEIS. Aços Inoxidáveis Duplex - Uma Opção que deve ser considerada. **Revista Núcleo Inox**. nº32, Maio/Agosto 2009. Disponível em: www.nucleoinox.org.br/upfiles/arquivos/.../41_inox32.pdf Acesso em: 10 Mai. 2012
- 4 ABNT NBR 5876:2011. Roscas – Terminologia.
- 5 SECO, Threading, 2012. Disponível em: http://www.secotools.com/CorpWeb/Downloads/seconews2_2012/MN/threading/BR_LR/Threading.pdf Acesso em: 27 mar. 2012.
- 6 ABNT NBR ISO 724:2004. Rosca métrica ISO de uso geral - Dimensões básicas