



## OS DESAFIOS DA USINAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS: UMA BREVE INTRODUÇÃO.

Francisco Magalhães dos Santos Júnior<sup>1</sup>; Leonardo Oliveira Passos da Silva<sup>1</sup>; Advan Coelho Nascimento<sup>1</sup>; Guilherme Oliveira de Souza<sup>1</sup>; Rodrigo Santiago Coelho<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 - Piatã, 41650-010; Salvador/Bahia; [magalhaesjun@gmail.com](mailto:magalhaesjun@gmail.com)

**Resumo:** A usinagem é uma operação bastante comum em processos industriais, mas que necessita de cuidado e controle dos seus parâmetros, sobretudo quando se trata dos aços inoxidáveis austeníticos. O objetivo deste trabalho é mapear a literatura disponível sobre a usinagem deste material mostrando um breve resumo sobre alguns dos resultados encontrados. A base de dados utilizada foi a de artigos publicados na plataforma ScienceDirect. Os resultados comprovaram o grande desafio na usinagem do material e revelam que apenas 8,3% dos artigos publicados sobre usinagem de aços inoxidável são da família dos austeníticos. O maior desafio é superar a baixa condutibilidade térmica, característica deste material, que causa a formação de aresta postiça de corte.

**Palavras-Chave:** Usinabilidade; Aço inoxidável austenítico; Condutibilidade térmica; Revisão bibliográfica.

## THE CHALLENGES OF MACHINING AUSTENITIC STAINLESS STEELS: A BRIEF INTRODUCTION.

**Abstract:** Machining is a very common operation in industrial processes, but it needs care and control of its parameters, especially when we use the austenitic stainless steels. The main objective of this paper is to map the available literature on the machining of this material showing a brief summary about some of results found. The database used was articles published on the ScienceDirect platform. The results proved the great challenge in machining the material and reveals that only 8.3% of published articles about stainless steel machining are from the austenitic family. The biggest challenge is to overcome the low thermal conductivity characteristic of this material, which causes the formation of a built-up edge.

**Keywords:** Machinability; Austenitic Stainless steel; Thermal conductivity; Literature review.



## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias relacionados à manufatura tem como objetivo obter melhor desempenho operacional com foco em produtividade e compõe, dentre outros, os processos de conformação, soldagem e usinagem [1]. Este último, muito utilizado na fabricação de peças e componentes industriais devido a sua simplicidade, boa relação custo-benefício e qualidade [2].

No processo de usinagem, uma ferramenta de corte penetra na superfície da peça de trabalho a fim de remover material na forma de cavacos [2]. A interação entre a ferramenta, cavaco e a peça de trabalho causa desgaste, como, por exemplo, deformações plásticas [3]. Durante a formação de cavacos, parte da energia mecânica aplicada pela ferramenta se converte em energia térmica [1]. A deformação plástica da peça e o atrito entre a ferramenta e os cavacos promovem intensa quantidade de calor durante o processo de usinagem [4]. Essa formação de calor não é desejável para esse processo, pois a alta temperatura reduz a vida útil da ferramenta e a qualidade da superfície [4].

A usinabilidade pode ser avaliada de acordo com a vida útil da ferramenta, taxa de material removido, forças de corte, acabamento da superfície e características do cavaco [1,5]. A usinagem de ligas com alto ponto de fusão se torna um item crítico, pois elevam os custos de produção devido ao calor gerado no corte [1,2]. Isso se torna um fator a ser controlado e impõe restrições na taxa de remoção de cavaco, velocidade de corte e desempenho da ferramenta, com consequente aumento do custo final [5]. Este é o caso dos aços inoxidáveis austeníticos.

Esses metais são os mais comuns dentre a família dos inoxidáveis, e se caracterizam por boa resistência à corrosão, elevada tenacidade e boa soldabilidade [6]. Essas características aliadas a maior tenacidade, deformabilidade e elevada resistência em altas temperaturas [7], permitem que sejam amplamente utilizados na indústria química, petroquímica e óleo e gás [6,8].

Este trabalho visa mapear artigos publicados na plataforma do ScienceDirect sobre a usinagem dos aços inoxidáveis austeníticos e apresentar um breve resumo dos principais desafios e soluções relacionados a baixa usinabilidade desse material.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada consistiu no levantamento de publicações sobre a usinagem dos aços inoxidáveis austeníticos. Para isso, foi definida uma estratégia que consiste nos seguintes passos:

- i. Seleção da plataforma eletrônica ScienceDirect como base de dados (data da busca: 31 de julho de 2019, às 09:10);
- ii. Definição de descritores e combinações e busca de palavras-chave, conforme Tabela 1;
- iii. Análise quantitativa dos dados coletados;
- iv. Levantamento das principais características estudadas.

Tabela 1: Relação das palavras-chave utilizadas na plataforma ScienceDirect.

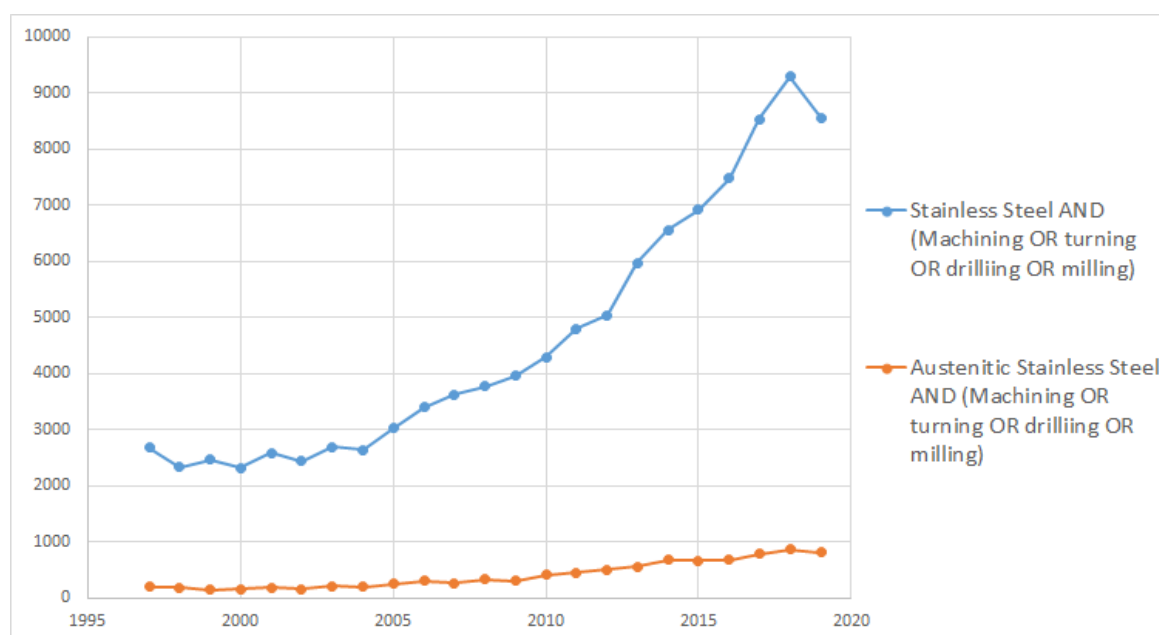
| Combinação | Palavras-chave  |
|------------|---|
| 1          | "Stainless Steel" AND<br>(Machining OR turning OR drilling OR milling)            |
| 2          | "Austenitic Stainless Steel" AND<br>(Machining OR turning OR drilling OR milling) |

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise quantitativa dos dados

A Figura 1 apresenta gráfico do número de publicações das combinações 1 e 2 envolvendo a usinabilidade dos aços inoxidáveis e, em específico, a família dos austeníticos nos últimos 25 anos. Os resultados destacam o crescimento do interesse, principalmente após 2010.

Figura 1: Gráfico das combinações 01 e 02 de artigos publicados nos últimos 25 anos no ScienceDirect.





A partir dos resultados obtidos, é possível inferir a relevância dos aços inoxidáveis e a sua relação com o processo de usinagem. A busca com a combinação 1 resultou em mais de 145 mil artigos científicos publicados nos últimos 25 anos, destes, mais de 50% publicados na última década.

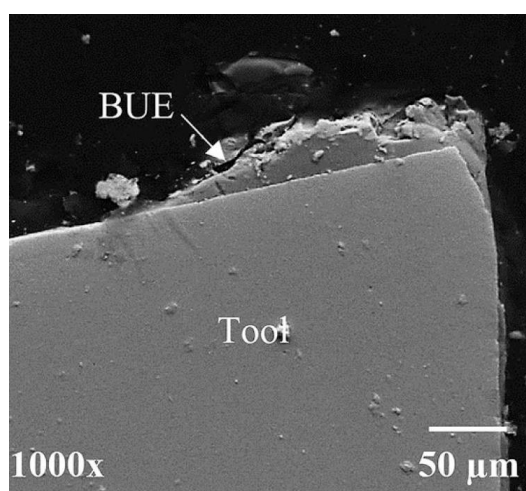
Com relação à combinação 2, apenas 8,3% (12.195) do universo dos artigos sobre aços inoxidáveis representam os dados da família dos austeníticos. Entretanto, observa-se uma tendência de forte crescimento do interesse de pesquisadores nos estudos de usinagem dessa família (52% na última década).

### 3.2 A usinabilidade dos aços austeníticos

A usinagem de materiais de baixa condutibilidade térmica, como a dos aços inoxidáveis austeníticos, leva a altas temperaturas localizadas e conduz a alta aderência do material da peça na ferramenta de corte, resultando na formação da aresta postiça de corte [8, 9]. Este material deformado adere firmemente na interface do cavaco/ferramenta e impede que o material da peça deslize sobre a ferramenta [9,10,11].

O efeito da velocidade de corte na geração da aresta postiça de corte é mais significativo do que o avanço e a profundidade de corte [12]. A formação dessa aresta é um processo instável e é capaz de causar danos na superfície da ferramenta, podendo levar a sua quebra [8,9]. No entanto, às vezes, essa aresta postiça impede o deslizamento na interface, protegendo a ferramenta contra desgaste [10]. Um exemplo da presença de uma aresta postiça de corte está representado na Figura 2 [10].

Figura 2: Formação da aresta postiça de corte (*BUE: built-up edge*) em uma ferramenta de corte [10].



Alguns autores apresentaram possíveis soluções para contornar a baixa usinabilidade dos aços inoxidáveis austeníticos, como a adição de elementos de liga



e o uso de lubrificantes em alta pressão. Com relação à primeira solução, a adição de elementos de liga formadores de inclusões frágeis, como S, Cu e Bi, podem ser utilizados para reduzir a ductilidade e facilitar a quebra do cavaco [2,13-15]. O enxofre foi alvo de estudo de Chisholm, Wilber e Pattinson, 1972, e destacaram que inclusões de MnS formam uma camada estável na aresta de corte, o que protege a ferramenta de corte da desintegração [13,14]. O uso do cobre como aditivo, verificado por Geng et al., 2008, pode reduzir o endurecimento por tensão e possui efeito lubrificante, além de ter uma maior condutividade térmica [15]. Zhuang e Di, 2010 confirmaram o auxílio que o Cu pode fornecer no aprimoramento da usinabilidade e, quanto a utilização do bismuto como aditivo, também teve resultado positivo no seu estudo devido a sua maciez e baixa capacidade de segregação na superfície [13,14]. Esses fatores auxiliam na melhoria da usinabilidade, reduzindo o desgaste da ferramenta de corte e aumentando a sua vida útil [13-15].

Já com relação à segunda solução, Natasha et al., 2016, e Ahmed et. al., 2018, estudaram os efeitos da utilização de refrigeração de alta pressão (HPC) na melhoria da usinabilidade [4,16]. Este método aplicado na interface entre o cavaco e a peça contribuiu na redução da temperatura de corte, na taxa de desgaste da ferramenta e, conseqüentemente, na melhor precisão dimensional da peça [16]. Foi verificado que o fluido refrigerante convencional evapora antes de atingir toda a área de corte [4]. Já o HPC auxilia na remoção do cavaco e facilita na taxa de transferência de calor por convecção ao promover escoamentos turbulentos nas superfícies de corte, além de proporcionar melhor lubrificação e um resfriamento mais eficiente, reduzindo a temperatura da interface ferramenta-cavaco em 38% [4,16].

Nos processos de usinagem, o desempenho da ferramenta de corte é medido pela sua vida útil e é determinada pela taxa de desgaste. Determinar esse mecanismo é uma tarefa fundamental para o desenvolvimento de ferramentais. Estes dependem de fatores como material da peça, operação de corte, propriedades do material da ferramenta, condições de corte e sistema de resfriamento e lubrificação [4]. Destaca-se que o controle adequado das variáveis do processo e a relação entre forças de corte, rugosidade superficial, desgaste de ferramentas e morfologia de cavacos é essencial para a obtenção de melhores resultados [12].

#### **4. CONCLUSÃO**

A literatura pesquisada ressaltou que, apesar de combinar boas propriedades mecânicas e corrosivas, os aços inoxidáveis austeníticos não possuem boa usinabilidade devido à baixa condutibilidade térmica, o que dificulta a extração do calor na região de corte. Destacou-se também que o uso de aditivos e refrigeração em alta pressão melhoram a usinabilidade desses aços e, conseqüentemente, a vida útil da ferramenta, a fim de obter melhor desempenho operacional e produtividade.

Os autores estudados evidenciam que há a necessidade de entender o comportamento deste material quando usinado para definir corretamente a relação entre velocidade de corte, desgaste da ferramenta, surgimento da aresta postiça de corte e rugosidade superficial.





## 5. REFERÊNCIAS

<sup>1</sup> TRENT, Edward M.; WRIGHT, Paul K.; Metal Cutting, 4ª edição, ed. **Butterworth-Heinemann**, p. 464, 2000.

<sup>2</sup> DINIZ, Anselmo E.; MARCONDES, Francisco C.; COPPINI, Nivaldo L. Tecnologia da usinagem dos materiais. 7ª edição, São Paulo: **ed. Artliber**, p. 268, 2010.

<sup>3</sup> DINIZ, Anselmo E. et al. Tool wear mechanisms in the machining of steels and stainless steels. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2016.

<sup>4</sup> AHMED, Yassmin S., VELDHUIS, Stephen C. Effects of high pressure coolant on machining temperature and machinability of aisi 304 stainless steel. **The Canadian Society for Mechanical Engineering International Congress**, 2018.

<sup>5</sup> NOMANI, J. et. al. Machinability study of first generation duplex (2205), second generation duplex (2507) and austenite stainless steel during drilling process. **Wear**, n. 304, p. 20–28, 2013.

<sup>6</sup> SILVA, A. L. V. C.; MEI, P. R., Aços e ligas especiais. 2ª edição, São Paulo: **Blucher**, 2006.

<sup>7</sup> UGIONI, F. M. et. al. Estudo do desgaste de insertos revestidos durante a usinabilidade do aço inoxidável AISI 304. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, p. 5664-5675, 2018.

<sup>8</sup> AHMED, Yassmin S. et al. Effect of built-up edge formation during stable state of wear in aisi 304 stainless steel on machining performance and surface integrity of the machined Part. **Materials**, v. 10, n. 1230, 2017.

<sup>9</sup> BILGIN, Mehmet B. Investigating the effects of cutting parameters on the built-up-layer and built-up-edge formation during the machining of aisi 310 austenitic stainless steels. **Materials and technology**, n. 49, p. 779–784, 2015.



<sup>10</sup> AHMED, Yassmin S. et al. New observations on built-up edge structures for improving machining performance during the cutting of superduplex stainless steel. **Tribology International**, n 137, p. 212–227, 2019.

<sup>11</sup> SAOUBI, R. M.; CHANDRASEKARAN, H. Role of phase and grain size on chip formation and material work hardening during machining of single and dual phase steels. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 31, n. 3, p. 258 – 264, 2014.

<sup>12</sup> JUNAIDH, A. P. et al. Influence of process parameters on the machining characteristics of austenite stainless steel (AISI 304). **Materials Today: Proceedings**, n. 5, p. 13321–13333, 2018.

<sup>13</sup> LI, Zhuang; WU, Di. Effect of free-cutting additives on machining characteristics of austenitic stainless steels. **Materials Science & Technology**, n. 26, p. 839–844, 2010.

<sup>14</sup> CHISHOLM, J. A. W.; WILBER, W. J.; PATTINSON, E. J. A proposed mechanism for the action of manganese sulphide inclusions on the machinability of resulfurized steels. **The International Academy for Production Engineering**, p. 7, 1972.

<sup>15</sup> GENG, H.M, et. al. Effect of copper addition on mechanical properties of 4Cr16Mo. **Acta Metallurgica Sinica (English Letters)**, v. 21, n. 1, p. 43-49, 2008.

<sup>16</sup> NATASHA, A. R, et. al. Temperature at the tool-chip interface in cryogenic and dry turning of AISI 4340 using carbide tool. **International Journal of Simulation Modelling**, v. 15, p. 201-212, 2016.