

INFLUÊNCIA DA RIGIDEZ DA FERRAMENTA NA RUGOSIDADE DA PEÇA USINADA

INFLUENCE OF TOOL STIFFNESS ON THE SURFACE ROUGHNESS OF MACHINED PARTS

Wallyson Thomas Alves da Silva^{1, i}

Marcus Vinicius Begossi^{2, ii}

Aldo Roberto Pereira^{3, iii}

RESUMO

Neste trabalho, investiga-se a influência da rigidez da ferramenta na rugosidade superficial de peças usinadas em operações de torneamento interno. A rigidez da ferramenta, determinada principalmente pela geometria e tipo da barra de corte, afeta diretamente a deflexão e vibração durante o processo, impactando a qualidade final do acabamento da peça. Foi realizada uma comparação entre barras maciças e ocas, variando o balanço da ferramenta para avaliar suas respectivas deflexões e os efeitos na rugosidade. Os resultados indicam que o balanço da barra é o fator dominante para a deflexão, sendo 110 mm o cenário mais crítico com deflexão em torno de 0,1 mm. Barras ocas apresentam desempenho comparável às maciças para pequenos balanços, mas sua rigidez reduz-se significativamente em balanços maiores, resultando em maior rugosidade na peça. O estudo contribui para a seleção adequada de ferramentas em processos de usinagem de precisão, otimizando qualidade e desempenho.

Palavras-chave: Rigidez da ferramenta, Deflexão da ferramenta, Barra oca.

ABSTRACT

This study investigates the influence of tool stiffness on the surface roughness of machined parts in internal turning operations. Tool stiffness, mainly determined by the geometry and type of cutting bar, directly affects deflection and vibration during machining, impacting the final surface finish quality. A comparison between solid and hollow bars was conducted, varying tool overhang to assess respective deflections and effects on surface roughness. Results show that tool overhang is the dominant factor for deflection, with 110 mm being the most critical scenario (~0.1 mm deflection). Hollow bars perform comparably to solid ones at small overhangs but lose stiffness significantly at larger overhangs, leading to increased surface roughness. This study aids in the proper selection of tools for precision machining, optimizing quality and performance.

Keywords: Tool stiffness, Tool deflection, Hollow bar.

¹ Professor Adjunto II - Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: wallyson.silva@sp.senai.br

² Coordenador de Atividades Técnicas. Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: mbegossi@sp.senai.br

³ Professor Especialista. Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: aldo.pereira@sp.senai.br

1 INTRODUÇÃO

A qualidade superficial das peças usinadas é um dos aspectos cruciais para garantir o desempenho e a durabilidade dos componentes mecânicos, especialmente em operações de usinagem de precisão. Entre os diversos fatores que influenciam a rugosidade superficial, a rigidez da ferramenta desempenha um papel fundamental, pois afeta diretamente a estabilidade do processo de corte. Ferramentas com menor rigidez tendem a sofrer maiores deflexões e vibrações, o que pode resultar em um acabamento superficial insatisfatório e até mesmo danos à peça ou à ferramenta. No torneamento interno, onde o espaço para a ferramenta é limitado, o balanço da barra de corte e seu tipo — seja barra maciça ou barra oca — impactam significativamente a rigidez. Compreender essa influência é essencial para otimizar a seleção das ferramentas, reduzir defeitos superficiais e melhorar a produtividade.

1.1 Problema de pesquisa

Como a variação da rigidez da ferramenta, influenciada pelo tipo e balanço da barra de corte, afeta a rugosidade superficial da peça usinada em processos de torneamento interno?

1.2 Objetivo(s)

Investigar a influência da rigidez da ferramenta na deflexão durante o torneamento interno e avaliar como essas variações impactam a rugosidade da superfície da peça. Comparar o desempenho de barras maciças e ocas para diferentes balanços, visando identificar as condições que otimizam a qualidade do acabamento.

1.3 Justificativa

A rigidez da ferramenta é um fator crítico para a estabilidade do processo de usinagem e a qualidade do produto final. Em processos como o torneamento interno, a limitação de espaço impõe desafios adicionais para a seleção da ferramenta, especialmente em relação ao balanço da barra de corte. Este estudo contribui para a compreensão dos efeitos da rigidez da ferramenta sobre a rugosidade, fornecendo dados que auxiliam na tomada de decisão para seleção de ferramentas e parâmetros de corte, reduzindo retrabalhos e aumentando a eficiência produtiva.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A rigidez da ferramenta é amplamente reconhecida como um parâmetro fundamental que influencia o desempenho do processo de usinagem e a qualidade superficial das peças. Segundo Soori et al. (2017), a deflexão da ferramenta durante o corte está diretamente relacionada com a geometria da ferramenta e o balanço da barra, impactando negativamente na precisão dimensional e na rugosidade.

Yadav et al. (2020) investigaram as diferenças entre barras ocas e maciças em torneamento, evidenciando que barras ocas apresentam menor rigidez, o que pode aumentar a deflexão e a vibração, principalmente em balanços maiores, afetando a qualidade do acabamento superficial.

Além disso, Li et al. (2025) ressaltam que o controle das vibrações e a minimização das deflexões são cruciais para alcançar alta qualidade superficial em usinagens

internas, e que a escolha adequada da ferramenta, levando em consideração sua rigidez, pode melhorar significativamente o processo.

3 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados em um torno convencional ROMI Tormax-30, utilizando duas barras de torneamento fabricadas em aço 4340: uma barra maciça com diâmetro externo de 16 mm e peso de 0,237 kg, e uma barra oca, com o mesmo diâmetro externo, furo interno de 5 mm e peso de 0,214 kg, ambas com 150 mm de comprimento. Para o processo de torneamento, foram utilizadas peças confeccionadas em alumínio 5051, com diâmetro externo de 60 mm e furo interno de 20 mm.

O torneamento foi conduzido sob duas configurações de balanço da ferramenta: 48 mm e 110 mm, para avaliar a influência dessa variável na deflexão da ferramenta e na rugosidade da superfície usinada. A rugosidade superficial foi medida com o rugosímetro Mahr modelo 300C, sendo os dados coletados em uma das condições de balanço utilizados para estimar e comparar a influência da deflexão sobre a qualidade superficial nas demais condições.

Os valores de deflexão da ferramenta foram calculados a partir das propriedades do material da barra de aço SAE 4340 de módulo de elasticidade $E = 200$ GPa, pressão específica de corte k_c entre 500 N/mm e 2500 N/mm², força de corte F_c de 50 N e velocidade de corte v_c de 56 mm/min.

O momento de inércia para cada tipo de barra (maciça, Figura 1(a) e oca Figura 1 (b)) foi determinado, fornecendo as bases para o cálculo da deflexão da ferramenta sob as diferentes condições de balanço.

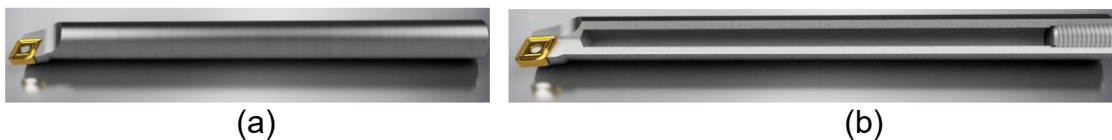


Figura 1. (a) Barra maciça e (b) barra oca

A Tabela 1 apresenta os dados geométricos e o momento de inércia para as barras maciça e oca utilizadas. Embora as barras tenham dimensões externas idênticas, o momento de inércia da barra oca (3,074 mm⁴) é ligeiramente menor que o da barra maciça (3,217 mm⁴), refletindo a redução de material devido ao furo interno de 5 mm.

Tabela 1. Dados geométricos da barra maciça e oca.

Tipo de Barra	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Comprimento (mm)	Momento de Inércia (mm ⁴)	Massa (kg)
Maciça	16	–	150	3,217	0,237
Oca	16	5	150	3,074	0,214

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2, os resultados das deflexões calculadas demonstram que o balanço da ferramenta é o fator predominante para a rigidez da barra, com deflexões significativamente maiores observadas para o balanço de 110 mm ($\approx 0,1$ mm) em comparação ao balanço de 48 mm ($\approx 0,008$ mm), independentemente

do tipo de barra.

Tabela 2. Dados de deflexão da ferramenta para diferentes balanços

Tipo de Barra	Balanço da Ferramenta (mm)	Deflexão Calculada (mm)	Observação
Maciça	48	0,0082	Baixa deflexão, alta rigidez
Maciça	110	0,0985	Alta deflexão, balanço crítico
Oca	48	0,0086	Similar à maciça para balanço curto
Oca	110	0,1030	Maior deflexão, perda de rigidez

As barras ocas e maciças apresentaram desempenhos semelhantes para balanços menores (48 mm), com deflexões próximas (0,0082 mm para maciça e 0,0086 mm para oca). Entretanto, para balanços maiores (110 mm), a barra oca apresentou uma deflexão ligeiramente maior (0,103 mm contra 0,0985 mm da maciça), indicando perda de rigidez com o aumento do balanço, especialmente para barras ocadas.

Esses resultados sugerem que, em aplicações que requerem menores balanços, a substituição de barras maciças por ocadas pode ser viável, proporcionando redução de peso sem perda significativa de rigidez. Contudo, para balanços elevados, a rigidez compromete-se, e o uso de barras maciças pode ser mais indicado para manter a estabilidade da ferramenta e a qualidade superficial da usinagem.

5 CONCLUSÃO

A análise virtual da deflexão das barras de aço 4340 utilizadas no torneamento revelou que o balanço da ferramenta é o principal fator que influencia a rigidez da ferramenta. Para balanços curtos, barras ocadas apresentam desempenho similar às maciças, possibilitando redução de peso sem perda significativa de rigidez. Já para balanços longos, a deflexão aumenta significativamente, especialmente nas barras ocadas, podendo comprometer a qualidade do processo de usinagem. Dessa forma, a escolha do tipo de barra deve considerar o balanço da ferramenta e os requisitos de rigidez para garantir a qualidade superficial da peça usinada.

REFERÊNCIAS

- Soori, Mohsen, Behrooz Arezoo, and Mohsen Habibi. "Accuracy analysis of tool deflection error modelling in prediction of milled surfaces by a virtual machining system." *International Journal of Computer Applications in Technology* 55, no. 4 (2017): 308-321.
- Yadav, Ajay, Devangkumar Talaviya, Ankit Bansal, and Mohit Law. "Design of chatter-resistant damped boring bars using a receptance coupling approach." *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 4, no. 2 (2020): 53.
- Li, Shipeng, Tianlin Yang, Xuda Qin, Hao Li, Jinqi Liu, and Qing Zhao. "Vibration control of boring bar in variable-parameter turning process with stiffness and damping adaptive TMD." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2025): 1-15.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

Sobre os autores:

i WALLYSON THOMAS ALVES DA SILVA (Autor 1)



Possui Pós-doutorado em Engenharia Mecânica no Karlsruhe Institute of technology (KIT) na Alemanha em 2025. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Usinagem dos metais. É Professor Adjunto II da Escola e Faculdade SENAI “Roberto Mange” em Campinas - SP.

ii MARCUS VINICIUS BEGOSSI (Autor 2)



Possui graduação em Ciência da Computação pela Faculdade Anhanguera (2000), Especialização em MBA em Gestão de projetos pela ela Faculdade Anhanguera (2009) e Mestrado (2015) em Engenharia da Produção pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Atualmente é Coordenador Técnico da Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". Tem experiência na área de Automação, com ênfase em Gestão de projetos.

iii ALDO ROBERTO PEREIRA (Autor 3)



Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Anhanguera de São Paulo (2010), com especialização em Metodologia de Ensino na Educação Superior pela Uninter (2015), cursando atualmente Mestrado em Solidificação de Metais, Ligas e Compósitos pela Unicamp (2024). Experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em projetos de produtos para indústria automotiva e moldes para injeção de termoplásticos. Atualmente é professor especialista da Faculdade SENAI de Tecnologia, lecionando as disciplinas Projeto de Ferramentas no curso Tecnológico em Fabricação Mecânica.