

ADAPTAÇÃO DE RETÍFICAS PLANAS PARA USINAGEM DE PEÇAS CILÍNDRICAS: DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO

Data de aceite: 03/04/2023

William Manjud Maluf Filho

Gabriel Nascimento Ferreira

Igor Sampaio Faqueiro

Thiago Alves Pereira

RESUMO: O campo da engenharia de precisão continua a evoluir com soluções inovadoras para acomodar diversas necessidades de fabricação. Este capítulo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo de fixação versátil e econômico que adapta retificadoras planas para usinagem de peças cilíndricas. Esta solução resolve o problema enfrentado por pequenas empresas metalúrgicas de estampagem que não têm recursos financeiros para investir em uma retificadora cilíndrica dedicada. O principal objetivo deste trabalho é permitir que estas empresas capitalizem as oportunidades de negócio que envolvem a maquinação de peças cilíndricas, sem incorrer nos elevados custos associados à aquisição de equipamento especializado. Neste capítulo, primeiro fornecemos uma introdução ao problema enfrentado por pequenas empresas metalúrgicas de

estampagem e a necessidade de uma solução mais acessível para retificação cilíndrica. Segue uma revisão abrangente da literatura, que explora os métodos existentes de conversão de retificadoras planas para aplicações de retificação cilíndrica, bem como as limitações e desafios associados a esses métodos. A revisão da literatura é apoiada por inúmeros livros e artigos técnicos científicos, fornecendo uma forte base teórica para o desenvolvimento do dispositivo de fixação. As seções subsequentes detalham o projeto e a implementação do dispositivo de fixação. Considerações de projeto, como seleção de material, propriedades mecânicas e compatibilidade com retificadoras planas existentes, são discutidas para garantir uma solução robusta e confiável. O processo de implementação abrange a integração do dispositivo de fixação com uma retificadora plana e como ele é configurado para obter usinagem precisa de peças cilíndricas. Exemplos práticos e estudos de caso são fornecidos para demonstrar a eficácia do dispositivo em um contexto do mundo real. Os resultados e as direções futuras para esta inovação também são exploradas, destacando os benefícios do dispositivo de fixação, como custos de investimento

reduzidos, maior versatilidade dos equipamentos existentes e possíveis melhorias na eficiência de fabricação. O capítulo termina com um resumo das principais descobertas e implicações para a comunidade de engenharia mais ampla. A seção de referências compreende uma extensa lista de livros relevantes e artigos técnicos científicos citados ao longo do capítulo, fornecendo um recurso valioso para os leitores interessados em aprofundar a exploração do tópico. Ao apresentar um novo dispositivo de fixação que permite que as retificadoras planas executem a retificação cilíndrica, este capítulo contribui para o avanço da engenharia de precisão e oferece uma solução prática para pequenas empresas metalúrgicas de estampagem expandirem suas capacidades de usinagem sem incorrer em encargos financeiros significativos.

ABSTRACT: The field of precision engineering continues to evolve with innovative solutions to accommodate diverse manufacturing needs. This chapter presents the development of a versatile and cost-effective fixing device that adapts flat grinding machines for machining cylindrical parts. This solution addresses the issue faced by small stamping metalworking companies that lack the financial resources to invest in a dedicated cylindrical grinding machine. The primary objective of this work is to enable these companies to capitalize on business opportunities involving the machining of cylindrical parts, without incurring the high costs associated with acquiring specialized equipment. In this chapter, we first provide an introduction to the problem faced by small stamping metalworking companies and the need for a more accessible solution for cylindrical grinding. A comprehensive literature review follows, which explores existing methods of converting flat grinding machines for cylindrical grinding applications, as well as the limitations and challenges associated with these methods. The literature review is supported by numerous books and scientific technical papers, providing a strong theoretical foundation for the development of the fixing device. The subsequent sections detail the design and implementation of the fixing device. Design considerations, such as material selection, mechanical properties, and compatibility with existing flat grinding machines, are discussed to ensure a robust and reliable solution. The implementation process covers the integration of the fixing device with a flat grinding machine, and how it is set up to achieve precise machining of cylindrical parts. Practical examples and case studies are provided to demonstrate the effectiveness of the device in a real-world context. Advantages and future directions for this innovation are also explored, highlighting the benefits of the fixing device, such as reduced investment costs, increased versatility of existing equipment, and potential improvements in manufacturing efficiency. The chapter concludes with a summary of the key findings and implications for the broader engineering community. The references section comprises an extensive list of relevant books and scientific technical papers cited throughout the chapter, providing a valuable resource for readers interested in further exploration of the topic. By presenting a novel fixing device that enables flat grinding machines to perform cylindrical grinding, this chapter contributes to the advancement of precision engineering and offers a practical solution for small stamping metalworking companies to expand their machining capabilities without incurring significant financial burden.

1 | INTRODUÇÃO

As empresas de usinagem de estampagem são atores vitais na indústria de manufatura, pois são especializadas em transformar chapas metálicas em componentes funcionais e precisos (BRUSCHI; GHIOTTI; SIMONETTO, 2023). As operações realizadas nessas empresas normalmente incluem corte, puncionamento, dobra e conformação, todas as quais requerem o uso de equipamentos especializados (KALPAKJIAN; SCHMID, 2020). Equipamentos típicos utilizados em operações de rotina em pequenas empresas de usinagem de estampagem incluem prensas hidráulicas e mecânicas, dobradeiras, máquinas de corte, dobradeiras e jogos de matrizes (LACOMA *et al.*, 2023).

Existe uma forte correlação técnica entre as atividades de estampagem (metalurgia) e o uso de máquinas retificadoras cilíndricas. As retificadoras cilíndricas são essenciais no processo de acabamento de peças que requerem tolerâncias precisas e acabamentos superficiais (GRZESIK, 2016). Como as retificadoras cilíndricas são capazes de usinar peças prismáticas e cilíndricas, elas são ativos altamente valiosos para pequenas empresas metalúrgicas que buscam expandir suas capacidades (ORYNSKI; PAWLOWSKI, 2002).

A capacidade de usinar peças cilíndricas é importante em muitas aplicações, como a produção de eixos, fusos e rolamentos. As retificadoras cilíndricas podem ser usadas para produzir geometrias complexas, como cones e contornos, que não podem ser facilmente alcançados com outros processos de usinagem. Além disso, para garantir a precisão desejada e o acabamento superficial dessas peças, as empresas de usinagem de estampagem usam as retificadoras cilíndricas (MALKIN; GUO, 2008).

No entanto, o custo de uma retificadora cilíndrica pode ser proibitivo para pequenas empresas. O preço de uma nova retificadora cilíndrica varia de dezenas a centenas de milhares de dólares, dependendo do tamanho, especificações e capacidades do equipamento (MENG *et al.*, 2023). Por exemplo, uma pequena retificadora cilíndrica com uma altura central de 100 mm e uma distância central de 300 mm pode custar cerca de US\$ 20.000 (MARINESCU *et al.*, 2019). Em contraste, as retificadoras de superfícies planas são menos caras e mais acessíveis para empresas menores, tornando-as a escolha mais comum para empresas com orçamentos limitados (SHAW; OXLEY, 2019). Devido a restrições financeiras, muitas pequenas empresas metalúrgicas de estampagem só podem pagar por uma retificadora de superfície plana, que é menos capaz do que uma retificadora cilíndrica (GUO *et al.*, 2023).

As retificadoras cilíndricas diferem das retificadoras planas em vários aspectos importantes. Enquanto ambos os tipos de máquinas empregam rebolos abrasivos para remoção de material, as retificadoras cilíndricas são projetadas para usinar superfícies cilíndricas, enquanto as retificadoras planas são usadas principalmente para superfícies planas ou planas (GRZESIK, 2016). Além disso, as retificadoras cilíndricas possuem sistemas de fixação de trabalho mais complexos e podem acomodar uma ampla gama de

geometrias de peças (ORYNSKI; PAWLOWSKI, 1999).

O desenvolvimento de um dispositivo de fixação que adapte retíficas planas para usinagem de peças cilíndricas pode oferecer diversas vantagens. Tal dispositivo permitiria que pequenas empresas metalúrgicas de estampagem expandissem suas capacidades e aproveitassem novas oportunidades de negócios sem incorrer em custos significativos associados à compra de uma retificadora cilíndrica dedicada (WEN *et al.*, 2023). Além disso, o aumento da versatilidade dos equipamentos existentes pode levar a uma maior eficiência de fabricação e melhoria da competitividade na indústria (STEPHENSON; AGAPIOU, 2016).

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão da literatura abrange uma ampla gama de estudos com foco na conversão de retificadoras planas para aplicações de retificação cilíndrica. A revisão inclui pesquisas sobre o projeto, implementação e análise de várias abordagens, técnicas e inovações no campo da engenharia de precisão.

Wu *et al.* (2008) descrevem um novo método automatizado para planejar sistemas de fixação modulares para usinagem de peças complexas. O método usa teoria de mecanismos de ligação para identificar as posições mais eficazes dos módulos de fixação e, em seguida, usa um algoritmo de otimização para selecionar o melhor conjunto de módulos. O método é capaz de considerar várias restrições, como limitações de espaço, interferências entre os módulos e a posição da peça de trabalho. Os autores testaram o método em várias peças de trabalho complexas e descobriram que ele é capaz de gerar planos de fixação modulares eficazes e eficientes em termos de tempo e custo.

Bejlegaard *et al.* (2018) descrevem uma metodologia para projetar arquiteturas de fixação reconfiguráveis para usinagem de peças de trabalho. A metodologia proposta consiste em três etapas: análise da peça de trabalho, seleção de módulos de fixação reconfiguráveis e projeto da arquitetura de fixação reconfigurável. A análise da peça de trabalho envolve a identificação das características da peça que afetam a fixação e a usinagem. A seleção de módulos de fixação reconfiguráveis envolve a escolha dos módulos mais adequados para cada característica da peça de trabalho. O projeto da arquitetura de fixação reconfigurável envolve a determinação da configuração dos módulos na fixação final. Os autores aplicaram a metodologia proposta em uma peça de trabalho complexa e descobriram que ela é capaz de gerar arquiteturas de fixação reconfiguráveis eficazes e eficientes em termos de tempo e custo.

O artigo de Roy *et al.* (2022) descreve uma metodologia para diagnosticar os erros de usinagem em retificadoras cilíndricas de dois eixos. A metodologia proposta envolve a análise de dados coletados durante a usinagem de peças cilíndricas em uma retificadora. Os dados de erro de usinagem são coletados por meio de um sistema de medição de alta

precisão durante o processo de usinagem. Em seguida, os dados são analisados por meio de uma abordagem de análise de variação para determinar as principais fontes de erro de usinagem. Os autores aplicaram a metodologia proposta em uma retificadora cilíndrica de dois eixos e descobriram que ela é capaz de identificar as principais fontes de erro de usinagem, permitindo a tomada de medidas corretivas para melhorar a precisão da usinagem.

O artigo de Ptashnikov (2009) descreve uma pesquisa sobre a influência da velocidade periférica da peça na ergonomia da retificação cilíndrica com ferramentas de nitreto de boro cúbico (*Cubic Boron Nitride* - CBN). A pesquisa foi conduzida com o objetivo de melhorar as condições de trabalho dos operadores, reduzindo a exposição à vibração e ao ruído. Foram realizados testes experimentais com diferentes velocidades periféricas da peça, avaliando-se a força de retificação, a rugosidade da superfície e a emissão de vibrações. Os resultados indicaram que o aumento da velocidade periférica da peça pode reduzir a vibração e melhorar a ergonomia da retificação cilíndrica com ferramentas de CBN. Além disso, os autores concluíram que a técnica de retificação com velocidade periférica aumentada pode ser uma opção para melhorar as condições de trabalho dos operadores e aumentar a produtividade da retificação cilíndrica.

O artigo de Lomova e Lomov (2011) discute a influência do contato entre o centro da peça e o furo central no processo de retificação em uma retificadora circular. Foi realizada uma análise experimental em diferentes condições de contato, com o objetivo de avaliar a precisão do assentamento da peça durante o processo de retificação. Foram avaliados parâmetros como deslocamento radial da peça, erro de forma e erro de rugosidade. Os resultados mostraram que a precisão do assentamento da peça é afetada pelo contato entre o centro e o furo central, e que a falta de contato pode levar a erros significativos na forma e na rugosidade da peça retificada. Os autores concluíram que a precisão do assentamento pode ser melhorada pela escolha adequada do tamanho e do tipo de centro, bem como pela adoção de medidas para garantir um bom contato entre o centro e o furo central durante o processo de retificação.

Xu e Wu (2012) discutem a aplicação de simulação computacional para investigar o processo de retificação sem centros através do avanço em uma retificadora plana. O estudo teve como objetivo analisar a influência de diferentes parâmetros de processo, como a velocidade de rotação da peça, a taxa de avanço, a altura do rebolo e a largura do rebolo, na qualidade da superfície retificada e na precisão dimensional. Os resultados mostraram que a qualidade da superfície e a precisão dimensional são influenciadas por uma combinação de vários parâmetros de processo, e que a simulação computacional pode ser uma ferramenta útil para otimizar o processo de retificação sem centros. Os autores concluíram que a escolha adequada dos parâmetros de processo é crucial para obter uma superfície retificada de alta qualidade e uma precisão dimensional precisa.

Em um outro artigo, os mesmos autores apresentam uma nova técnica de retificação

sem a necessidade de realizar a centragem por alimentação contínua. A técnica proposta utiliza um dispositivo de suporte modificado com duas esferas de contato em vez de uma lâmina de suporte convencional. Os autores demonstraram que a nova técnica é capaz de retificar peças de trabalho cilíndricas de alta precisão com rugosidade superficial reduzida. Os resultados experimentais indicaram que a nova técnica é altamente eficiente e promissora (XU; WU, 2011).

Yacob e Semere (2021) escreveram um artigo no qual propõe um método para prever a qualidade da peça em processos de usinagem de múltiplos estágios com fixações baseadas em superfícies de localização usando quatérnios duplos. Os autores apresentam um modelo matemático para descrever a interação entre a peça de trabalho, a ferramenta de corte e o dispositivo de fixação, considerando tanto a geometria quanto os parâmetros de fabricação. O método proposto é validado por meio de experimentos em uma máquina de torneamento via *Computer Numerical Control* (CNC) e os resultados mostram que a previsão da qualidade da peça é precisa e eficaz na identificação de problemas na fixação e na usinagem. O método também permite a otimização do processo de usinagem, melhorando a qualidade e reduzindo o tempo de usinagem.

Ding *et al.* (2017) escreveram um artigo no qual apresentam uma revisão sobre as rodas de superabrasivos de CBN para retificação de materiais metálicos. O artigo discute as propriedades do CBN, os processos de fabricação de rodas de CBN, as aplicações de rodas de CBN em retificação de precisão, as técnicas de monitoramento e controle de processo para otimização da operação de retificação com rodas de CBN monolayer, e as tendências recentes e futuras no desenvolvimento de rodas de CBN para a retificação de materiais metálicos.

O artigo de Brinksmeier *et al.* (2006) apresenta uma revisão sobre os avanços recentes na modelagem e simulação de processos de retificação, incluindo a evolução de modelos empíricos, analíticos e numéricos. São discutidos aspectos como a escolha dos parâmetros de entrada, a simulação do contato entre a peça e a ferramenta e a previsão da resposta da peça ao processo de retificação. Os autores avaliaram o desempenho de diferentes materiais de rebolo e sistemas de ligação na retificação cilíndrica de componentes de aço endurecido. No artigo, também é abordada a integração de técnicas de modelagem e simulação com tecnologias de monitoramento e controle de processo, visando a otimização da produção e a melhoria da qualidade das peças. O estudo forneceu informações valiosas sobre a seleção da composição apropriada do rebolo para várias aplicações na conversão de retificadoras planas.

Macerol *et al.* (2022) escreveram um artigo que aborda a importância das propriedades dos grãos e do processo de dressagem para o desempenho das rodas de retificação. O estudo desenvolveu um modelo analítico para avaliar a interação entre os grãos da roda de retificação e o material da peça, levando em conta fatores como tamanho e formato dos grãos, além da eficiência do processo de dressagem. Os resultados mostram

que a seleção adequada dos parâmetros de dressagem e das propriedades dos grãos pode melhorar significativamente a eficiência da retificação e a vida útil da roda de retificação.

Silva *et al.* (2020) estudaram o comportamento da técnica de mínima quantidade de lubrificante (MQL) em processos de retificação, visando à produção mais amigável ao meio ambiente. Foi observado que a utilização de MQL resultou em redução significativa na emissão de partículas e energia consumida, além de melhorias na qualidade da superfície da peça retificada. Os resultados apontam para o potencial da técnica MQL como alternativa sustentável para o processo de retificação. Adicionalmente os autores examinaram o papel dos fluidos de corte no processo de retificação, com foco na usinagem de peças cilíndricas usando retificadoras planas convertidas. O estudo destacou a importância de selecionar fluidos de corte apropriados para minimizar a geração de calor e maximizar a eficácia do processo de conversão.

Dornfeld *et al.* (2006) exploraram a aplicação de tecnologias avançadas de monitoramento e controle para melhorar a eficiência e a qualidade do processo de conversão. A pesquisa demonstrou o potencial do uso de sensores, atuadores e algoritmos de aprendizado de máquina para otimizar o desempenho de retificadoras planas quando adaptadas para aplicações de retificação cilíndrica.

Feng *et al.* (2019) apresentam uma nova técnica de usinagem por retificação com a ajuda de vibração ultrassônica para furos cegos e roscas internas em carbonetos cimentados. A técnica é chamada de *ultrasonic vibration-assisted grinding* (UVAG) e tem como objetivo melhorar a qualidade da superfície e a eficiência da usinagem. O estudo investiga os efeitos dos parâmetros de usinagem, como amplitude de vibração, velocidade de alimentação, profundidade de corte e diâmetro do rebolo, na rugosidade da superfície e na taxa de remoção de material. Os resultados mostraram que a técnica proposta pode melhorar significativamente a qualidade da superfície e a eficiência da usinagem, especialmente para furos cegos e roscas internas em carbonetos cimentados. Os autores também avaliaram o impacto de vários parâmetros do processo de retificação na integridade da superfície de peças cilíndricas usinadas. Suas descobertas forneceram informações valiosas sobre a otimização dos parâmetros do processo para alcançar resultados de alta qualidade na conversão de retificadoras planas.

Ding *et al.* (2023) escreveram um artigo no qual discutem um modelo de otimização colaborativa impulsionado por avaliação de ciclo de vida para a produção de engrenagens hipoides em fresadora com corte a seco. O estudo apresenta uma análise comparativa de várias ferramentas de corte em termos de desempenho e impacto ambiental, com o objetivo de selecionar a melhor combinação de ferramenta e parâmetros de corte. O modelo proposto pode ajudar a melhorar a eficiência do processo de usinagem e reduzir o impacto ambiental da produção de engrenagens hipoides.

He *et al.* (2022) escreveram um artigo no qual detalham um estudo de simulação sobre o efeito da temperatura de retificação e da taxa de resfriamento no aço 9310. Os

resultados mostraram que, com o aumento da temperatura de retificação, houve uma diminuição na dureza, enquanto a taxa de resfriamento mais rápida resultou em uma diminuição do tamanho dos grãos austeníticos. Além disso, a taxa de resfriamento também afetou a transformação de fase durante o resfriamento, o que influenciou as propriedades mecânicas do aço. Suas descobertas forneceram informações valiosas sobre como otimizar as condições de preparação para melhorar a eficiência e a qualidade no processo de conversão de retificadoras planas quando adaptadas para aplicações de retificação cilíndrica.

Jackson (2017) faz uma revisão sobre o design de rebolos de retificação operando em velocidades excessivas. O estudo apresenta a evolução do projeto de rebolos, desde as primeiras pesquisas até os avanços mais recentes. O autor também discute os desafios e as oportunidades na concepção de rebolos para trabalhar em altas velocidades, destacando as diferentes abordagens adotadas pelos pesquisadores para atingir esse objetivo. Finalmente, são apresentados alguns resultados experimentais e simulados, mostrando o desempenho de rebolos de retificação operando em altas velocidades.

Gusev *et al.* (2009) escreveram um artigo que avaliou o impacto das diferentes propriedades físicas das rodas discretas no desempenho da retificação, incluindo a estabilidade do processo, a profundidade do corte e a rugosidade superficial. Para isso, foram realizados testes experimentais em um sistema de retificação com uma variedade de rodas discretas de diferentes dimensões e características. Os resultados indicaram que a escolha adequada de uma roda discreta pode melhorar significativamente o desempenho da retificação e reduzir os efeitos negativos na superfície usinada; O artigo também examinou o papel do balanceamento do rebolo na conversão de retificadoras planas para aplicações de retificação cilíndrica. Dessa forma, o estudo destacou a importância de manter o equilíbrio ideal das rodas para garantir resultados precisos e consistentes no processo de conversão.

Huang *et al.* (2002) escreveram um artigo que trata do uso da robótica em processos de retificação e polimento para a manutenção de turbinas aéreas. O estudo apresenta um sistema robótico desenvolvido para a retificação e polimento de pás de turbina. O sistema é composto por um robô antropomórfico e um sistema de controle adaptativo, que permite que o robô ajuste sua posição para acomodar diferentes formas e geometrias das pás. O estudo concluiu que o uso de robôs pode melhorar a qualidade do processo e a produtividade, além de reduzir custos de mão de obra e aumentar a segurança do trabalhador. Os autores também exploraram a aplicação de sistemas robóticos para automatizar o processo de conversão de retificadoras planas para aplicações de retificação cilíndrica. A pesquisa demonstrou o potencial do uso da robótica para simplificar a configuração, operação e monitoramento das máquinas convertidas, melhorando a eficiência e reduzindo a intervenção humana.

O artigo publicado por Ren *et al.* (2022) é uma correção de um artigo anterior publicado na revista «The International Journal of Advanced Manufacturing Technology». A

correção destaca um erro na metodologia da pesquisa e nos resultados apresentados. O estudo original tinha como objetivo otimizar os parâmetros de retificação de alta velocidade para melhorar o desempenho contra a fadiga do aço 20CrMnTi. A correção do artigo é importante para garantir a precisão e a validade dos resultados da pesquisa. Os autores também haviam analisado os efeitos da retificação de alta velocidade no desempenho e na qualidade da superfície de peças cilíndricas usinadas usando retificadoras planas convertidas. O estudo forneceu informações valiosas sobre os potenciais benefícios e desafios do uso de técnicas de retificação de alta velocidade no processo de conversão.

Wu *et al.* (2020) publicaram um artigo que aborda um estudo sobre a previsão do comportamento da rugosidade de superfície em materiais frágeis durante o processo de retificação. A pesquisa propõe um modelo de previsão baseado na topografia da ferramenta de retificação, levando em consideração a rugosidade e a forma da superfície da ferramenta. O objetivo é otimizar o processo de retificação em pequena escala, em que a rugosidade da superfície é um fator crítico. A pesquisa utiliza análise estatística para avaliar a eficácia do modelo proposto em diferentes condições de retificação. Os resultados mostram que o modelo é capaz de prever com precisão a rugosidade da superfície em diferentes condições de retificação, o que pode ajudar a melhorar a qualidade e a eficiência do processo de retificação de materiais frágeis em pequena escala. Suas descobertas enfatizaram a importância de selecionar geometrias apropriadas para otimizar o processo de conversão e alcançar os resultados desejados.

Meng *et al.* (2022) apresentam uma revisão abrangente das técnicas de modelagem mecânica aplicadas à retificação. A retificação é um processo complexo que envolve múltiplas interações físicas e químicas na interface entre a roda abrasiva e a peça de trabalho. A modelagem matemática do processo de retificação tem um papel importante na compreensão e otimização do processo de retificação. Neste artigo, os autores discutem os principais aspectos da modelagem mecânica da retificação, incluindo a escolha do tipo de modelo, a determinação dos parâmetros do modelo, a validação do modelo e as limitações do modelo. O artigo também apresenta exemplos de aplicação da modelagem mecânica em diferentes processos de retificação, como a retificação plana, cilíndrica, de engrenagens e de perfil. Em geral, o artigo mostra que a modelagem mecânica da retificação é uma ferramenta valiosa para a compreensão e otimização do processo de retificação e pode ser aplicada em diferentes áreas da indústria, como aeroespacial, automotiva e de produção de ferramentas.

O livro escrito por Rowe (2014) é uma obra de referência para profissionais e pesquisadores na área de retificação. O autor é um dos principais especialistas em tecnologia de retificação e por isso, o livro fornece uma visão abrangente dos fundamentos da retificação moderna e suas aplicações. O livro aborda desde os princípios básicos da retificação, como abrasivos, retificadoras e processos de retificação, até as técnicas mais avançadas, como retificação de alta velocidade, micro-retificação e retificação de precisão.

O autor também discute a otimização de processos de retificação, incluindo o controle de qualidade, a seleção de parâmetros de processo e a análise de custo-benefício. Com ilustrações claras e exemplos práticos, o livro é uma leitura essencial para profissionais e estudantes da área.

Tóth *et al.* (2019) apresentam um estudo analítico da regeneração do rebolo na retificação de superfície. O estudo teve como objetivo desenvolver um modelo matemático que descreve o processo de regeneração do rebolo e, em seguida, validar o modelo com experimentos. O modelo matemático proposto considera as propriedades mecânicas do rebolo, como dureza e resistência à fratura, bem como as características do processo de retificação, como a velocidade de avanço e a profundidade de corte. Os resultados dos experimentos foram comparados com as previsões do modelo e foi constatado que o modelo é capaz de prever com precisão o comportamento da regeneração do rebolo. O estudo conclui que o modelo pode ser usado para melhorar a eficiência e a qualidade do processo de retificação de superfície, permitindo a escolha adequada dos parâmetros de operação do processo de retificação, como a taxa de remoção de material, para maximizar a vida útil do rebolo e minimizar o tempo de parada da máquina.

Zhang e Yasunaga *et al.* (1997) editaram um livro que reúne diversos estudos e avanços tecnológicos na área de abrasivos. O livro conta com a participação de diversos pesquisadores e profissionais renomados na área. Os capítulos do livro abordam temas como desenvolvimento de abrasivos de alto desempenho, novas técnicas de medição e avaliação de desempenho, simulação e modelagem do processo de abrasão, entre outros. Um dos capítulos destaca a importância da seleção do abrasivo correto para cada aplicação, considerando as características do material a ser trabalhado e o tipo de operação a ser realizada. Outro capítulo apresenta técnicas avançadas de retificação, como o uso de rebolos eletroquimicamente ligados para obter maior precisão e eficiência no processo. Um dos estudos apresentado explorou o potencial do uso de rebolos superabrasivos na conversão de retificadoras planas para aplicações de retificação cilíndrica. Os benefícios e desafios associados ao uso desses rebolos são debatidos em profundidade.

Cao *et al.* (2021) apresentam uma investigação experimental sobre a retificação por alimentação por arrasto com vibração ultrassônica (*ultrasonic vibration-assisted profile grinding* - UVAPG) em uma superliga à base de níquel, a Inconel 718, utilizando uma roda abrasiva de alumina. O objetivo do estudo é analisar a evolução do desgaste da roda abrasiva durante o processo de retificação e determinar a influência da UVAPG no desgaste da roda. Os resultados mostram que o uso da UVAPG reduz o desgaste da roda abrasiva de alumina, além de melhorar a rugosidade da superfície usinada. A análise das imagens das superfícies da roda abrasiva e da peça usinada indicou que a UVAPG contribuiu para a remoção de detritos aderidos na roda abrasiva e para a redução da temperatura de corte, o que desacelera a taxa de desgaste da roda. Além disso, a UVAPG também pode ajudar a reduzir a geração de calor na zona de corte, o que é benéfico para o processo de usinagem.

Em suma, o estudo conclui que o uso da UVAPG é uma técnica promissora para melhorar a eficiência e a qualidade do processo de retificação em superligas à base de níquel, e pode reduzir significativamente o desgaste da roda abrasiva de alumina.

Förstmann *et al.* (2017) abordam o processo de automação do desenvolvimento de dispositivos de fixação em sistemas de produção em larga escala. O texto apresenta uma nova abordagem chamada de fixação rápida, que tem como objetivo reduzir o tempo de desenvolvimento dos dispositivos, bem como os custos associados à sua construção. A técnica envolve o uso de software de modelagem em *computer-aided design* (CAD) para criar um modelo do produto a ser fabricado, a partir do qual é gerado um modelo virtual do dispositivo de fixação. Em seguida, a partir desse modelo, são gerados os códigos de CNC para a produção do dispositivo em uma máquina-ferramenta. O texto também aborda os desafios envolvidos no desenvolvimento de dispositivos de fixação, como a necessidade de alta precisão e repetibilidade, bem como a necessidade de considerar fatores como a geometria da peça, a força de aperto e a rigidez do sistema. O artigo também destaca as vantagens do uso da abordagem de fixação rápida, incluindo a redução do tempo de desenvolvimento dos dispositivos, a possibilidade de fabricação em larga escala e a flexibilidade na alteração de projetos. Por fim, o estudo destacou os benefícios potenciais da integração dessa abordagem no projeto, configuração e operação de máquinas convertidas, melhorando assim a eficiência e a flexibilidade gerais.

3 | PROJETO DO DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO

O projeto do dispositivo de fixação para adaptação de retificadoras planas para realizar operações de retificação cilíndrica envolve várias considerações importantes para garantir sua eficácia, facilidade de uso e compatibilidade com os equipamentos existentes. As seções a seguir descrevem os principais aspectos do projeto do dispositivo de fixação:

- a) **Estrutura do Dispositivo de Fixação:** O dispositivo de fixação deve consistir em uma estrutura robusta, modular e ajustável que possa segurar com segurança as peças cilíndricas no lugar durante o processo de retificação. Esta estrutura deve ser facilmente fixada à mesa de trabalho da retificadora plana e deve ser ajustável para acomodar uma ampla gama de dimensões de peças cilíndricas.
- b) **Seleção do Material:** Os materiais utilizados na construção do dispositivo de fixação devem ser cuidadosamente selecionados para garantir durabilidade, resistência ao desgaste e impacto mínimo no processo de retificação. Materiais comuns usados em tais dispositivos incluem aço endurecido, ferro fundido e ligas de alumínio de alta resistência.
- c) **Sistema de fixação da peça:** Um sistema de fixação confiável e preciso da peça é essencial para garantir que a peça cilíndrica permaneça fixa durante o processo de retificação. Este sistema pode envolver mecanismos de fixação mecânicos, hidráulicos ou pneumáticos, com foco em minimizar o tempo de configuração e

garantir uma força de fixação consistente.

d) Mecanismo de Alinhamento e Centralização: Para obter acabamentos de superfície de alta qualidade e dimensões precisas, o dispositivo de fixação deve incluir um mecanismo preciso de alinhamento e centralização que garanta que a parte cilíndrica seja posicionada corretamente em relação ao rebolo. Esse mecanismo pode envolver o uso de relógios comparadores, ferramentas de alinhamento a laser ou sistemas de alinhamento auxiliados por computador.

e) Capacidade de rotação: Para acomodar várias operações de retificação cilíndrica, como retificação cônica ou retificação com ângulos variados, o dispositivo de fixação deve incorporar um mecanismo giratório. Esse recurso permite que a peça seja girada e inclinada em ângulos precisos, permitindo maior flexibilidade e adaptabilidade no processo de retificação.

f) Recursos de segurança: O dispositivo de fixação deve incluir recursos de segurança adequados para proteger os operadores e equipamentos durante o processo de retificação. Esses recursos podem incluir proteções para conter faíscas e detritos, mecanismos de parada de emergência e intertravamentos para impedir a operação quando o dispositivo não estiver devidamente protegido.

g) Facilidade de instalação e remoção: O dispositivo de fixação deve ser projetado para ser facilmente instalado e removido da retificadora plana, permitindo uma configuração rápida e trocas entre diferentes operações.

4 | IMPLEMENTAÇÃO DO DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO

O projeto do dispositivo de fixação para adaptação de retificadoras planas para realizar operações de retificação cilíndrica envolve várias considerações importantes para garantir sua eficácia, facilidade de uso e compatibilidade com os equipamentos existentes. As seções a seguir descrevem os principais aspectos do projeto do dispositivo de fixação:

a) Estrutura do Dispositivo de Fixação: O dispositivo de fixação deve consistir em uma estrutura robusta, modular e ajustável que possa segurar com segurança as peças cilíndricas no lugar durante o processo de retificação. Esta estrutura deve ser facilmente fixada à mesa de trabalho da retificadora plana e deve ser ajustável para acomodar uma ampla gama de dimensões de peças cilíndricas.

b) Seleção do Material: Os materiais utilizados na construção do dispositivo de fixação devem ser cuidadosamente selecionados para garantir durabilidade, resistência ao desgaste e impacto mínimo no processo de retificação. Materiais comuns usados em tais dispositivos incluem aço endurecido, ferro fundido e ligas de alumínio de alta resistência.

c) Sistema de fixação da peça: Um sistema de fixação confiável e preciso da peça é essencial para garantir que a peça cilíndrica permaneça fixa durante o processo de retificação. Este sistema pode envolver mecanismos de fixação mecânicos, hidráulicos ou pneumáticos, com foco em minimizar o tempo de configuração e

garantir uma força de fixação consistente.

d) Mecanismo de Alinhamento e Centralização: Para obter acabamentos de superfície de alta qualidade e dimensões precisas, o dispositivo de fixação deve incluir um mecanismo preciso de alinhamento e centralização que garanta que a parte cilíndrica seja posicionada corretamente em relação ao rebolo. Esse mecanismo pode envolver o uso de relógios comparadores, ferramentas de alinhamento a laser ou sistemas de alinhamento auxiliados por computador.

e) Capacidade de rotação: Para acomodar várias operações de retificação cilíndrica, como retificação cônica ou retificação com ângulos variados, o dispositivo de fixação deve incorporar um mecanismo giratório. Esse recurso permite que a peça seja girada e inclinada em ângulos precisos, permitindo maior flexibilidade e adaptabilidade no processo de retificação.

f) Recursos de segurança: O dispositivo de fixação deve incluir recursos de segurança adequados para proteger os operadores e equipamentos durante o processo de retificação. Esses recursos podem incluir proteções para conter faíscas e detritos, mecanismos de parada de emergência e intertravamentos para impedir a operação quando o dispositivo não estiver devidamente protegido.

g) Facilidade de instalação e remoção: O dispositivo de fixação deve ser projetado para ser facilmente instalado e removido da retificadora plana, permitindo uma configuração rápida e trocas entre diferentes operações.

Ao incorporar essas considerações de projeto, o dispositivo de fixação resultante fornece uma solução prática e eficaz para pequenas empresas metalúrgicas de estampagem que buscam expandir suas capacidades adaptando suas retificadoras planas para realizar operações de retificação cilíndrica.

O dispositivo descrito na Figura 1 foi projetado para retificar peças cilíndricas em uma retificadora plana. Desse modo, em várias situações, não seria necessário utilizar uma retificadora cilíndrica.

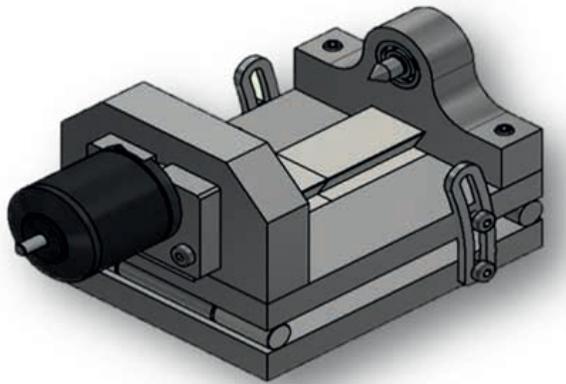


Figura 1 – Dispositivo de adaptação de retíficas planas para usinagem de peças cilíndricas

Fonte: autores

Uma vista explodida do dispositivo é apresentada na Figura 2.

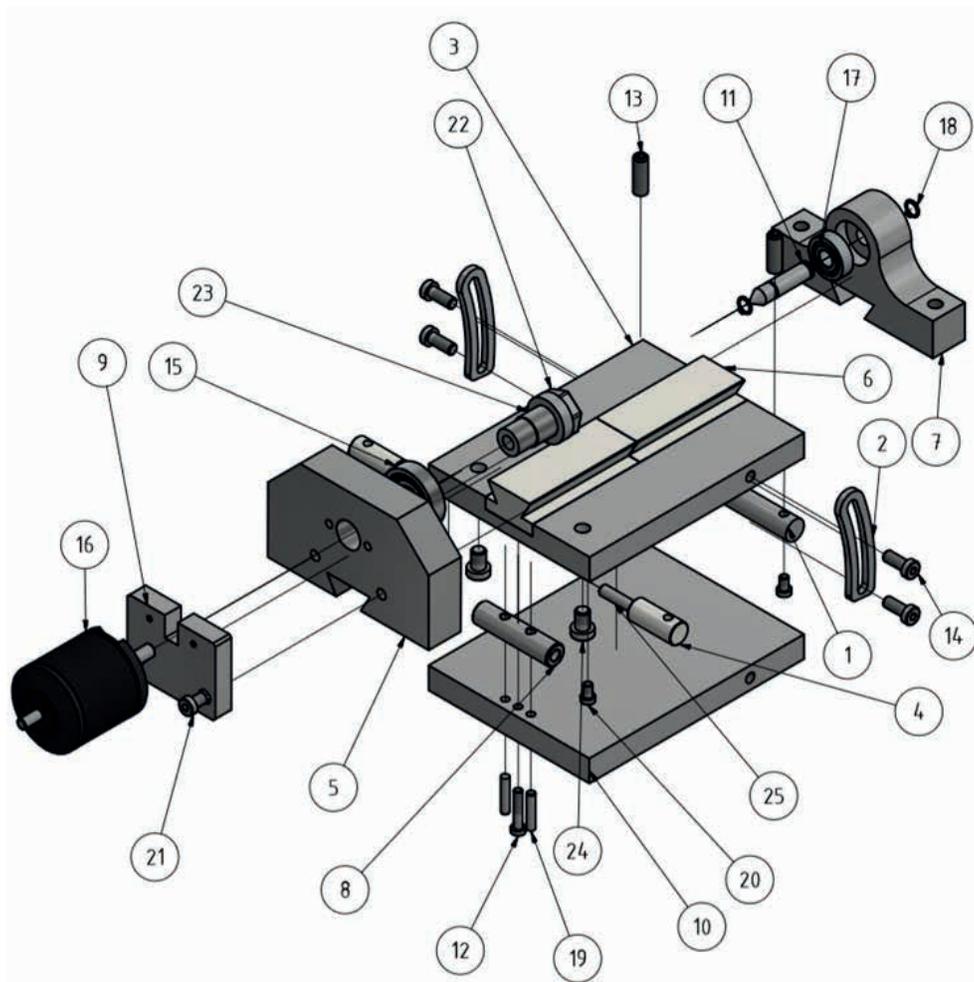


Figura 2 – Vista explodida do dispositivo de adaptação de retíficas planas para usinagem de peças cilíndricas

Fonte: autores

A lista de peças que compões o dispositivo de adaptação de retíficas planas para usinagem de peças cilíndricas é apresentada na Tabela 1.

Item	Quantidade	Descrição da peça	Detalhes adicionais
1	1	Apoio da mesa de seno	
2	2	Arco de sustentação	
3	1	Mesa de seno	
4	2	Eixo do mancal	
5	1	Suporte porta pinça	
6	2	Postiço do rabo de andorinha	
7	1	Mancal	
8	1	Bucha do mancal	
9	1	Suporte do motor	
10	2	Base	
11	1	Contra ponta	
12	1	Parafuso de cabeça cilíndrica	DIN 7984 - M6 x 30
13	2	Parafuso de ajuste sextavado	JIS B 1177 Flat Point - M10 x 30
14	4	Parafuso de cabeça cilíndrica	DIN 7984 - M8 x 20
15	1	Rolamento de rolos cônicos	30204
16	1	Motor para parafusadeira	10.8 V 350 - 1300 RPM
17	1	Rolamento rígido esferas	6201
18	2	Anel elástico	CNS 9074 - 10 x 1
19	2	Pinos de passador de aço paralelos	BS 1804-2 - 6 x 30
20	8	Parafuso de cabeça cilíndrica	DIN 7984 - M6 x 10
21	2	Parafuso de cabeça cilíndrica	DIN 7984 - M8 x 12
22	1	Ponta do porta-pinça	er20
23	1	Eixo do porta-pinça	er20
24	2	Parafuso de cabeça cilíndrica	DIN 7984 - M10 x 14

Tabela 1 - Lista de componentes do dispositivo de adaptação de retíficas planas

Fonte: autores

O diagrama elétrico do dispositivo é apresentado na Figura 3.

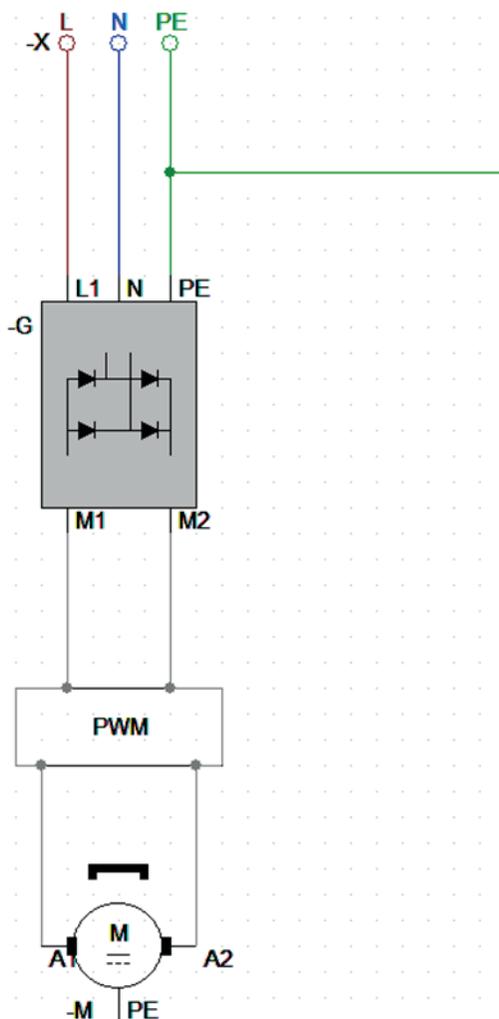


Figura 3 – Diagrama elétrico para acionamento do dispositivo de adaptação de retificas planas para usinagem de peças cilíndricas

Fonte: autores

Para acionar o dispositivo utiliza-se uma fonte chaveada de 12 V CC e 16,7 A. Esse é um tipo de fonte de alimentação eletrônica que converte a tensão da rede elétrica (geralmente 110 V ou 220 V CA) em uma tensão contínua (CC) de 12 volts e é capaz de fornecer até 16,7 amperes de corrente elétrica. As fontes chaveadas são amplamente utilizadas devido à sua eficiência energética e tamanho compacto em comparação com outros tipos de fontes de alimentação, como as lineares. Elas operam comutando (ligando e desligando) rapidamente a energia de entrada em uma alta frequência, o que permite a redução da tensão e a regulação precisa da saída. Esse tipo de fonte de alimentação

pode ser encontrado em uma variedade de aplicações, como carregadores de dispositivos eletrônicos, sistemas de iluminação LED, equipamentos de telecomunicações e sistemas de automação industrial. A saída de 12 V CC e 16,7 A é adequada para dispositivos e equipamentos que requerem uma fonte de alimentação com essas características de tensão e corrente (PRESSMAN *et al.*, 2009).

Também é utilizado um motor monofásico de 12 V e 1,3 A. Esse é um motor elétrico que opera com uma tensão de alimentação contínua (CC) de 12 volts e consome até 1,3 amperes de corrente durante seu funcionamento. Os motores monofásicos são chamados assim porque são alimentados por uma única fase de tensão, neste caso, a tensão contínua. Eles são comumente usados em aplicações de baixa potência e são geralmente encontrados em dispositivos portáteis, automóveis e pequenos equipamentos elétricos (HUGHES; DRURY, 2019).

Finalmente, o sistema de acionamento elétrico conta com um *Pulse Width Modulation* (PWM), também chamado de Dimmer de 12 V, que é um dispositivo eletrônico que controla a potência entregue a cargas elétricas, como motores DC, LEDs ou outros dispositivos que operam com uma tensão de 12 volts. Ele faz isso através da modulação da largura dos pulsos de uma forma de onda, ajustando efetivamente o ciclo de trabalho do sinal. Isso permite controlar a velocidade de um motor, o brilho de um LED ou a potência entregue a outros dispositivos de uma maneira eficiente e precisa (MOHAN *et al.*, 2002).

Os seguintes passos devem ser seguidos para garantir a precisão na usinagem ao utilizar o dispositivo de retificação cilíndrica em uma retificadora plana:

- a) Limpar a mesa magnética da retificadora plana com um pano, removendo quaisquer partículas ou resíduos que possam afetar a precisão da fixação.
- b) Utilizar um relógio comparador para verificar o paralelismo entre o dispositivo e a retificadora plana, garantindo um alinhamento adequado antes de iniciar a usinagem.
- c) Com o rebolo desligado, posicione a peça cilíndrica abaixo do rebolo e desça o mesmo para realizar a referência.
- d) Após a referência, ligue o rebolo e o motor do dispositivo e, em seguida, retifique a medida desejada movimentando apenas o comando transversal da máquina.
- e) O porta-pinça é movimentado por um motor elétrico que gira em sentido oposto ao do rebolo, permitindo a usinagem das peças cilíndricas. A rotação desse motor é controlada por meio de um modulador de largura de pulso (PWM).

Ao seguir essas etapas, será possível garantir uma maior precisão na usinagem de peças cilíndricas utilizando o dispositivo de retificação cilíndrica em uma retificadora plana.

Entre as recomendações de segurança, destacam-se as seguintes diretrizes:

- a) Não se deve utilizar o movimento longitudinal da retificadora. Idealmente, o sistema hidráulico do movimento longitudinal deve ser mantido desligado.
- b) Durante a fase inicial de referenciar a peça cilíndrica com o rebolo da retificadora,

é importante verificar se o equipamento apresentará qualquer interferência mecânica com as partes móveis da máquina.

c) Recomenda-se o uso de um carrinho de transporte de carga para o deslocamento do dispositivo.

d) A elevação do dispositivo deve ser realizada de acordo com as condições de trabalho estabelecidas na Norma Regulamentadora No. 17 (BRASIL, 2017).

e) É aconselhável utilizar calçados e óculos de segurança, bem como obter treinamento adequado na operação e manuseio de máquinas-ferramenta.

5 | RESULTADOS E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Foram examinadas as vantagens potenciais do desenvolvimento de um dispositivo de fixação para adaptar retificadoras planas para realizar operações de retificação cilíndrica, bem como as direções futuras para pesquisa e desenvolvimento nesta área. As seguintes vantagens e direções futuras foram identificadas:

a) Economia de custos: Ao desenvolver um dispositivo de fixação, pequenas empresas de usinagem de estampagem podem evitar os altos custos associados à compra de retificadoras cilíndricas dedicadas. Esta solução econômica permite que eles expandam suas capacidades de usinagem, mantendo uma vantagem competitiva no mercado.

b) Versatilidade: O dispositivo de fixação permite que as empresas utilizem suas retificadoras planas existentes para operações de retificação plana e cilíndrica, aumentando a versatilidade de seus equipamentos e reduzindo a necessidade de máquinas adicionais.

c) Produtividade aprimorada: A capacidade de executar operações de retificação cilíndrica em retificadoras planas pode levar a uma produtividade aprimorada, pois as empresas podem concluir uma ampla gama de tarefas usando seus equipamentos existentes.

d) Qualidade de superfície aprimorada e precisão dimensional: Com o projeto e implementação adequados do dispositivo de fixação, as empresas podem obter acabamentos de superfície de alta qualidade e dimensões precisas em peças cilíndricas, atendendo aos requisitos rigorosos de seus clientes.

e) Impacto ambiental reduzido: O uso de um dispositivo de fixação pode reduzir o impacto ambiental das operações de usinagem, pois são necessárias menos máquinas e os recursos são usados com mais eficiência.

Em relação às sugestões para pesquisas futuras, gostaríamos de elencar as seguintes:

a) Projetos avançados de dispositivos de fixação: pesquisas futuras podem se concentrar no desenvolvimento de projetos de dispositivos de fixação mais eficientes e versáteis, incorporando materiais e tecnologias inovadoras para melhorar o

desempenho e a facilidade de uso.

b) Otimização dos parâmetros do processo: estudos adicionais poderiam investigar a otimização dos parâmetros do processo na conversão de retificadoras planas para aplicações de retificação cilíndrica, levando a uma maior eficiência, qualidade da superfície e precisão dimensional.

c) Integração de tecnologias avançadas: A incorporação de tecnologias avançadas, como CAD/CAM, robótica e sistemas de monitoramento e controle de processo, pode aumentar ainda mais a eficiência e a qualidade do processo de conversão, levando a benefícios ainda maiores para pequenas empresas metalúrgicas de estampagem.

d) Personalização e flexibilidade: Pesquisas futuras podem explorar o desenvolvimento de dispositivos de fixação personalizáveis que podem ser adaptados às necessidades específicas de empresas individuais e seus equipamentos, oferecendo maior flexibilidade e adaptabilidade.

e) Implementação no mundo real e estudos de caso: A implementação prática e real de dispositivos de fixação em pequenas empresas metalúrgicas de estampagem, juntamente com estudos de caso detalhados, forneceriam informações valiosas sobre os benefícios, desafios e melhores práticas associadas à adaptação de retificadoras planas para cilindros operações de moagem.

6 | CONCLUSÕES

Esse capítulo explorou o desenvolvimento de um dispositivo de fixação para adaptar retificadoras planas para realizar operações de retificação cilíndrica. O principal objetivo era fornecer às pequenas empresas metalúrgicas de estampagem uma alternativa econômica para a compra de retificadoras cilíndricas dedicadas, expandindo assim suas capacidades e oportunidades de negócios.

O capítulo começou com uma introdução às operações realizadas nas empresas de estamparia e os equipamentos normalmente utilizados nestes ambientes. Destacou a correlação técnica entre as atividades de estamparia e retificadoras cilíndricas, bem como o custo de aquisição dessas máquinas. A introdução também discutiu as diferenças entre as operações realizadas em retíficas cilíndricas e retíficas planas e as potenciais vantagens de desenvolver um dispositivo de fixação para adaptação de retíficas planas à usinagem de peças cilíndricas.

A revisão da literatura examinou uma ampla gama de artigos científicos e livros que estudaram o projeto, implementação e análise de várias abordagens, técnicas e inovações relacionadas à conversão de retificadoras planas para aplicações de retificação cilíndrica. Esta extensa revisão revelou os avanços significativos feitos nesta área, bem como os desafios e oportunidades que temos pela frente.

Diante dos achados da revisão da literatura e das pesquisas realizadas ao longo

deste capítulo, fica evidente que o desenvolvimento de um dispositivo de fixação para adaptação de retificadoras planas para realizar operações de retificação cilíndrica possui grande potencial para pequenas empresas metalúrgicas de estampagem. Ao investir em tal dispositivo, essas empresas podem expandir suas capacidades, reduzir custos e aumentar sua competitividade no mercado.

No entanto, o projeto e a implementação de um dispositivo de fixação bem-sucedido requerem consideração cuidadosa de vários fatores, incluindo a seleção de materiais apropriados, parâmetros de processo e técnicas de otimização. Além disso, a integração de tecnologias avançadas, como CAD/CAM, robótica e sistemas de monitoramento e controle de processo, pode aumentar ainda mais a eficiência e a qualidade do processo de conversão.

A investigação futura nesta área poderá centrar-se no desenvolvimento de dispositivos de fixação mais versáteis e eficientes, bem como na otimização dos parâmetros do processo e na integração de tecnologias avançadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos colegas Brenno Clafmann, Denis Alves Bezerra, João Lucas Bezerra de Jesus, Marcus Vinicius Vieira Martins e Miguel Henrique Kornarker Pascheti do Senai Roberto Simonsen, cujo trabalho de conclusão de curso da turma de 2019 inspirou a redação desse capítulo. Adicionalmente, gostaríamos de agradecer à FATEC Mauá por proporcionar todas as condições para que o desenvolvimento desse projeto fosse executado.

REFERÊNCIAS

1. BEJLEGAARD, Mads; ELMARAGHY, Waguih; BRUNOE, Thomas D.; ANDERSEN, Ann-Louise; NIELSEN, Kjeld. Methodology for reconfigurable fixture architecture design. **Cirp Journal Of Manufacturing Science And Technology**, [S.L.], v. 23, p. 172-186, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2018.05.001>.
2. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-17 - Ergonomia**. Brasília: MTE, 2022.
3. BRINKSMEIER, E.; AURICH, J.C.; GOVEKAR, E.; HEINZEL, C.; HOFFMEISTER, H.-W.; KLOCKE, F.; PETERS, J.; RENTSCH, R.; STEPHENSON, D.J.; UHLMANN, E.. Advances in Modeling and Simulation of Grinding Processes. **Cirp Annals**, [S.L.], v. 55, n. 2, p. 667-696, 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2006.10.003>.
4. BRUSCHI, Stefania; GHIOTTI, Andrea; SIMONETTO, Enrico. Hot stamping of high strength-to-weight metal alloys. Reference Module In **Materials Science And Materials Engineering**, [S.L.], 2023. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-96020-5.00045-5>.

5. CAO, Yang; YIN, Jingfei; DING, Wenfeng; XU, Jiuhua. Alumina abrasive wheel wear in ultrasonic vibration-assisted creep-feed grinding of Inconel 718 nickel-based superalloy. **Journal Of Materials Processing Technology**, [S.L.], v. 297, p. 117241, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117241>.
6. DING, Wenfeng; LINKE, Barbara; ZHU, Yejun; LI, Zheng; FU, Yucan; SU, Honghua; XU, Jiuhua. Review on monolayer CBN superabrasive wheels for grinding metallic materials. **Chinese Journal Of Aeronautics**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 109-134, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cja.2016.07.003>.
7. DING, Han; RONG, Shifeng; RONG, Kaibin; TANG, Jinyuan; ZHOU, Zhenyu; ZHANG, Jiange; LI, Guowen. Life cycle assessment-driven collaborative optimization model of power dry cutting for face-hobbing hypoid gear production. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 385, p. 135710, jan. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135710>.
8. DORNFELD, D.; MIN, S.; TAKEUCHI, Y.. Recent Advances in Mechanical Micromachining. **Cirp Annals**, [S.L.], v. 55, n. 2, p. 745-768, 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2006.10.006>.
9. FENG, Haoren; XIANG, Daohui; WU, Bangfu; ZHAO, Bo. Ultrasonic vibration-assisted grinding of blind holes and internal threads in cemented carbides. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [S.L.], v. 104, n. 1-4, p. 1357-1367, 27 jun. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-019-04024-2>.
10. FÖRSTMANN, R.; WAGNER, J.; KREISKÖTHER, K.; KAMPKER, A.; BUSCH, D.. Design for Automation: the rapid fixture approach. **Procedia Manufacturing**, [S.L.], v. 11, p. 633-640, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.161>.
11. GRZESIK, Wit. **Advanced Machining Processes of Metallic Materials: theory, modelling, and applications**. 2. ed. Elsevier, 2016.
12. GUO, Zhenfei; GUO, Bing; WU, Guicheng; XIANG, Yang; MENG, Qingyu; JIA, Jianfei; ZHAO, Qingliang; LI, Kenan; ZENG, Zhaoqi. Three-dimensional topography modelling and grinding performance evaluating of micro-structured CVD diamond grinding wheel. **International Journal Of Mechanical Sciences**, [S.L.], v. 244, p. 108079, abr. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.108079>.
13. GUSEV, V. G.; MOROZOV, A. V.; SHVAGIREV, P. S.. Evaluating discrete wheels and their influence on grinding dynamics. **Russian Engineering Research**, [S.L.], v. 29, n. 8, p. 835-837, ago. 2009. Allerton Press. <http://dx.doi.org/10.3103/s1068798x0908019x>.
14. HE, Yuhui; ZHANG, Yutong; ZHOU, Weihua; ZHANG, Jiajia; TANG, Jinyuan. Simulation study on the effect of grinding temperature and cooling rate on microstructure evolution of 9310 steel grinding surface. **Materials Today Communications**, [S.L.], v. 33, p. 104970, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104970>.
15. HUANG, H; GONG, Z.M; CHEN, X.Q; ZHOU, L. Robotic grinding and polishing for turbine-vane overhaul. **Journal Of Materials Processing Technology**, [S.L.], v. 127, n. 2, p. 140-145, set. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0924-0136\(02\)00114-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0924-0136(02)00114-0).
16. HUGHES, A.; DRURY, B.. **Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications**. 5. ed. Newnes, 2019.

17. JACKSON, M. J.. A review of the design of grinding wheels operating at excessive speeds. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [S.L.], v. 94, n. 9-12, p. 3979-4010, 27 set. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-017-1131-2>.
18. KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven. **Manufacturing Engineering and Technology**. 8. ed. Person, 2020.
19. LACOMA, Vincent; BAILLEUL, Jean-Luc; MOISAN, Sandy; VINCENT, Guillaume; BINETRUY, Christophe; KERBRAT, Olivier. Inventory analysis of the carbon fibres reinforced polyphenylene sulfide thermo-stamping manufacturing process. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 393, p. 136337, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136337>.
20. LOMOVA, O. S.; LOMOV, S. M.. Influence of contact between the center and the center hole on the basing precision in a circular grinder. **Russian Engineering Research**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 244-247, mar. 2011. Allerton Press. <http://dx.doi.org/10.3103/s1068798x11030178>.
21. MACEROL, Nastja; FRANCA, Luiz F.P.; DRAZUMERIC, Radovan; KRAJNIK, Peter. The effects of grit properties and dressing on grinding mechanics and wheel performance: analytical assessment framework. **International Journal Of Machine Tools And Manufacture**, [S.L.], v. 180, p. 103919, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmactools.2022.103919>.
22. MALKIN, Stephen; GUO, Changsheng. **Grinding technology: theory and applications of machining with abrasives**. 2. ed. Industrial Press Inc., 2008.
23. MARINESCU, Ioan D.; HITCHINER, Mike; UHLMANN, Eckart; ROWE, W. Brian. **Handbook of Machining with Grinding Wheels**. 2. ed. Crc Press, 2019.
24. MENG, Qingyu; GUO, Bing; WU, Guicheng; XIANG, Yang; GUO, Zhenfei; JIA, Jianfei; ZHAO, Qingliang; LI, Kenan; ZENG, Zhaoqi. Dynamic force modeling and mechanics analysis of precision grinding with microstructured wheels. **Journal Of Materials Processing Technology**, [S.L.], v. 314, p. 117900, maio 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.117900>.
25. MENG, Qingyu; GUO, Bing; ZHAO, Qingliang; LI, Hao Nan; JACKSON, Mark J.; LINKE, Barbara S.; LUO, Xichun. Modelling of grinding mechanics: a review. **Chinese Journal Of Aeronautics**, [S.L.], v. 5, n. 8, p. 327-345, out. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cja.2022.10.006>.
26. MOHAN, N.; UNDELAND, T. M.; ROBBINS, W. P. **Power Electronics: Converters, Applications, and Design**. 3. ed. Wiley, 2002.
27. ORYNSKI, Franciszek; PAWIOWSKI, Witold. The influence of grinding process on forced vibration damping in headstock of grinding wheel of cylindrical grinder. **International Journal Of Machine Tools And Manufacture**, [S.L.], v. 39, n. 2, p. 229-235, fev. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0890-6955\(98\)00023-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0890-6955(98)00023-6).
28. ORYNSKI, Franciszek; PAWLOWSKI, Witold. The mathematical description of dynamics of the cylindrical grinder. **International Journal Of Machine Tools And Manufacture**, [S.L.], v. 42, n. 7, p. 773-780, maio 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0890-6955\(02\)00020-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0890-6955(02)00020-2).
29. PRESSMAN, A. I.; BILLINGS, K.; MOREY, T. **Switching power supply design**. 3. ed. McGraw-Hill Education, 2009.

30. PTASHNIKOV, V. S.. Increasing workpiece peripheral speed as a means for improving ergonomics of cylindrical up grinding with cubic boron nitride tools. **Journal Of Superhard Materials**, [S.L.], v. 31, n. 6, p. 392-406, dez. 2009. Allerton Press. <http://dx.doi.org/10.3103/s1063457609060070>.
31. REN, Zhida; LI, Beizhi; ZHOU, Qingzhi; HOU, Rundong; ZHANG, Yawei. Correction to: Optimization of high-speed grinding parameters for anti-fatigue performance of 20CrMnTi steel. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [S.L.], v. 122, n. 9-10, p. 3583-3583, 16 set. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-022-10155-w>.
32. ROWE, William Brian. **Principles of Modern Grinding Technology**. 2. ed. Elsevier, 2014.
33. ROY, Rohit; CHIENG, Wei-Hua; WU, Pei-Sheng; CHIANG, Chung-Ping. Diagnosis of two-axis cylindrical grinder machining error. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [S.L.], v. 123, n. 7-8, p. 2295-2312, 28 out. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-022-10328-7>.
34. SILVA, Leonardo R.; CORRÊA, Elaine C.s.; BRANDÃO, Joel Romano; ÁVILA, Renato F. de. Environmentally friendly manufacturing: behavior analysis of minimum quantity of lubricant - mql in grinding process. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 256, p. 103287, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.033>.
35. STEPHENSON, David. A.; AGAPIOU, John. S.. **Metal Cutting Theory and Practice**. 3. ed. CRC Press. 2016.
36. SHAW, Milton C.; Oxley, J. C.. **Metal Cutting Principles**. 3. ed. Oxford University Press. 2019.
37. TÓTH, Máté; SIMS, Neil D; CURTIS, David. An analytical study of wheel regeneration in surface grinding. **Procedia Cirp**, [S.L.], v. 82, p. 214-219, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.046>.
38. WEN, Dongdong; WAN, Linlin; ZHANG, Xiaohong; LI, Chao; RAN, Xiaoru; CHEN, Zhuo. Grinding performance evaluation of SiC ceramic by bird feather-like structure diamond grinding wheel. **Journal Of Manufacturing Processes**, [S.L.], v. 95, p. 382-391, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.04.024>.
39. WU, Jun; CHENG, Jun; GAO, Chunchun; YU, Tao; GUO, Zhaozhi. Research on predicting model of surface roughness in small-scale grinding of brittle materials considering grinding tool topography. **International Journal Of Mechanical Sciences**, [S.L.], v. 166, p. 105263, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105263>.
40. WU, Yuguang; GAO, Shuming; CHEN, Zichen. Automated modular fixture planning based on linkage mechanism theory. **Robotics And Computer-Integrated Manufacturing**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 38-49, fev. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2006.06.003>.
41. XU, Weixing; WU, Yongbo. Simulation investigation of through-feed centerless grinding process performed on a surface grinder. **Journal Of Materials Processing Technology**, [S.L.], v. 212, n. 4, p. 927-935, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.12.002>.
42. XU, W.; WU, Y.. A new through-feed centerless grinding technique using a surface grinder. **Journal Of Materials Processing Technology**, [S.L.], v. 211, n. 10, p. 1599-1605, out. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.04.013>.

43. YACOB, Filmon; SEMERE, Daniel. Part Quality Prediction in Multistage Machining Processes with Fixtures Based on Locating Surfaces Using Dual Quaternions. **Procedia Cirp**, [S.L.], v. 104, p. 1825-1830, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.308>.

44. ZHANG, L. C.; YASUNAGA, N. (ed.). **Advances in Abrasive Technology**. World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 1997. 236 p.