

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – “José Crespo Gonzales”

Curso Superior em Fabricação Mecânica

TÍTULO: PROCESSO DE SOLDAGEM EM AÇOS FERRAMENTAS

Autor: Augusto; Pablo¹
Orientador: Benazzi; Ivar²

Resumo. O presente trabalho aborda os desafios e as técnicas relacionadas à soldagem de aços-ferramenta, com foco no recondicionamento de peças utilizadas na indústria. A crescente demanda por componentes com alta resistência mecânica, estabilidade dimensional e durabilidade impulsiona a adoção de práticas que aumentem a vida útil desses materiais. Por meio de revisão bibliográfica e aplicação prática em ambiente industrial, analisam-se os aspectos metalúrgicos e operacionais da soldagem de aços como VC131, VND e AISI D2. A complexidade do processo está relacionada à composição química dos materiais e à sua sensibilidade a ciclos térmicos, exigindo o controle de parâmetros, escolha criteriosa de consumíveis e aplicação de tratamentos térmicos pós-soldagem. Conclui-se que o recondicionamento adequado desses aços proporciona benefícios econômicos e operacionais, garantindo a confiabilidade e a eficiência dos processos industriais.

Palavras-chave: Soldagem; Aços-ferramenta; Recondicionamento; Tratamento térmico e Metalurgia.

***Abstract.** This study addresses the challenges and techniques related to the welding of tool steels, with a focus on the reconditioning of parts used in the industry. The growing demand for components with high mechanical strength, dimensional stability, and durability drives the adoption of practices that extend the service life of these materials. Through a bibliographic review and practical application in an industrial environment, the metallurgical and operational aspects of welding steels such as VC131, VND, and AISI D2 are analyzed. The complexity of the process is related to the chemical composition of these materials and their sensitivity to thermal cycles, requiring parameter control, careful selection of consumables, and the application of post-welding heat treatments. It is concluded that the proper reconditioning of these steels provides economic and operational benefits, ensuring reliability and efficiency in industrial processes*

***Keywords:** Welding; Tool steels; Reconditioning; Heat treatment end Metallurgy.*

Junho/2025

¹Graduando do Curso de Fabricação Mecânica – Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – “José Crespo Gonzales” – Sorocaba / SP – <https://fatecsorocaba.cps.sp.gov.br/>

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por componentes que possuem elevadas propriedades mecânicas, resistência ao desgaste e precisão dimensional, impulsiona a contínua evolução dos processos de fabricação e junção dos materiais para recondicionamento. Nesse contexto, os aços ferramentas, caracterizados pela sua alta dureza, tenacidade e resistência a trabalho a quente, desempenham um papel de extrema importância em diversas aplicações na indústria, sendo aplicado em fabricação de moldes e matrizes até ferramentas de corte e conformação. Portanto o processo de soldagem nesses materiais, apresentam grandes desafios, devido a sua composição química complexa e à sensibilidade a ciclos térmicos inadequados, que podem levar à formação de microestruturas frágeis e assim reduzindo o desempenho do aço ferramenta em serviço.

Este artigo tem por objetivo, apresentar as técnicas do processo dos aços ferramentas, os desafios deste processo, e as qualidades que o recondicionamento das peças de aço ferramentas podem trazer para a indústria.

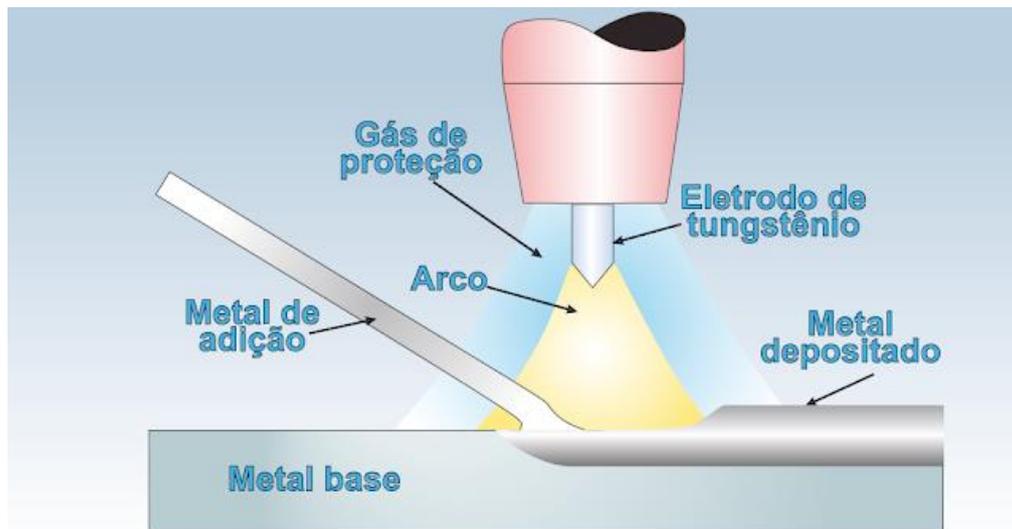
2. METODOLOGIA

Para desenvolver este artigo, serão utilizadas pesquisas baseadas em livros e artigos científicos voltados para o ramo da soldagem e dos aços ferramenta. Para o desenvolvimento e a visualização dos processos necessários para a soldagem, o processo será realizado fisicamente em uma empresa do ramo metalúrgico, sendo possível, assim, provar a eficiência deste processo. A escolha deste tema se deu pela necessidade de recondicionar peças que ainda possuem vida útil no processo de estampagem e que, por algum motivo, vieram a quebrar, lascas ou trincar. O recondicionamento traz benefícios econômicos e produtivos para a empresa.

3. DESENVOLVIMENTO

A soldagem é um processo fundamental na indústria moderna, sendo definida como a união entre duas partes metálicas por meio de uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão. O resultado desse processo é denominado solda (WAINER, 1992). Trata-se de um procedimento amplamente utilizado na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas. Embora classificada tradicionalmente como um método de união, a soldagem também abrange técnicas de deposição de material sobre superfícies, com o objetivo de recuperar peças desgastadas ou formar revestimentos com características especiais (MARQUES, 2009).

figura 1 – Ilustração do processo de soldagem TIG.



Fonte: BrWeld (2025).

O processo de soldagem é considerado o mais relevante método de união de metais em uso na indústria. Sua aplicação abrange desde setores de alta tecnologia, como a indústria microeletrônica, até áreas de grande porte, como a construção naval e outras estruturas pesadas. Além disso, é largamente empregada em estruturas simples e em componentes utilizados em ambientes com elevado grau de responsabilidade técnica, tais como as indústrias química, petrolífera e nuclear. A versatilidade da soldagem estende-se também à produção artesanal, como na confecção de joias e objetos artísticos (MARQUES, 2009).

Na prática industrial, a soldagem apresenta diversas vantagens. Entre elas, destacam-se a agilidade do processo, o baixo custo, a possibilidade de aplicação em diferentes materiais e a flexibilidade de execução, uma vez que os equipamentos podem ser facilmente transportados até o local de trabalho. Ademais, a soldagem contribui significativamente para o aumento da vida útil de peças e equipamentos, possibilitando a postergação de sua substituição, o que representa um ganho estratégico para a manutenção e operação de sistemas produtivos.

No contexto da soldagem, é importante considerar os materiais envolvidos, especialmente os aços-ferramenta, frequentemente empregados em componentes sujeitos a condições severas de operação. Esses aços são utilizados para usinar materiais duros, sendo caracterizados por sua alta dureza, resistência ao desgaste, ao impacto, ao choque térmico, e pela capacidade de manter suas propriedades mecânicas em temperaturas elevadas (SOUZA, 1989). A composição química dos aços-ferramenta pode variar amplamente, desde aqueles com alto teor de carbono e sem elementos de liga, até os que apresentam elevadas concentrações de elementos como cromo, molibdênio, tungstênio, vanádio e cobalto, sendo essa seleção determinada pela aplicação específica de cada liga.

Os aços-ferramenta fazem parte do segmento dos aços especiais e são amplamente utilizados na fabricação de moldes, matrizes, ferramentas de corte contínuo e intermitente, ferramentas para conformação de chapas, corte a frio e componentes de máquinas. Esses materiais abastecem setores como o de autopeças, automobilístico, eletroeletrônico e extrusão de alumínio. Suas propriedades incluem dureza à temperatura ambiente, resistência ao desgaste, tenacidade, resistência mecânica, temperabilidade, dureza a quente, usinabilidade, resistência ao revenido e tamanho de grão adequado para as exigências de desempenho.

Assim, observa-se que a soldagem, aliada ao uso de aços-ferramenta adequados, representa uma combinação essencial para a durabilidade, eficiência e economia na indústria contemporânea, sendo indispensável para o avanço e manutenção de inúmeros processos produtivos.

A escolha dos aços para trabalhos de uso de uma peça como ferramenta de corte, dobra ou repuxo é essencial para alcançar resultados eficientes. O aço VC131 é um aço ferramenta para trabalho a frio com alto teor de carbono e cromo, com adições de vanádio e tungstênio. Este aço apresenta alta resistência mecânica e ao desgaste especialmente em condições abrasivas, além de possuir alta estabilidade dimensional.

VC131 é um aço para trabalho a frio que além dos altos teores de carbono e cromo, apresenta adições de vanádio e tungstênio, resultando em alta concentração de carbonetos. Este balanceamento químico alinhado com alta porcentagem de carbonetos é responsável pela ótima estabilidade dimensional e excelente resistência ao desgaste (VILLARES METALS, 2024).

Composição química típica (porcentagem em massa)

C	Si	Mn	Cr	V	W	Fe
2,05	0,3	0,4	12,00	0,15	0,7	Bal.

Fonte: VILLARES METALS (2024).

O aço VND é amplamente utilizado na fabricação de ferramentas de corte de alta precisão, incluindo machos, cossinetes, brochas, punções e facas para corte de papel. Além disso, é utilizado em ferramentas para trabalhar com madeira, pinos de guia, roletes para laminar roscas, estampos e matrizes em geral. O aço VND também é utilizado na fabricação de instrumentos de medição precisos, como calibres, padrões e réguas. Como parte do segmento de aços especiais, o aço VND é produzido e processado para atingir um alto padrão de qualidade, visando atender às necessidades específicas de cada ferramenta, aumentando a produtividade e reduzindo os custos de manutenção (AÇOS ESPECIAIS, 2024).

figura 3 – Composição química do VND

C	Mn	Cr	W	V
0,95	1,25	0,50	0,50	0,12

Fonte: AÇOS ESPECIAIS (2024).

O aço AISI D2 é um aço ferramenta de alta performance, projetado para trabalhos a frio em aplicações metal-mecânicas, especialmente na indústria de conformação e corte a frio. Ele pode ser submetido a tratamento térmico para alcançar durezas elevadas, mantendo uma boa resistência à fratura. O aço AISI D2 se destaca por sua alta penetração de dureza na têmpera, estabilidade dimensional e de forma excelentes. Além disso, permite a combinação de dois ciclos de tratamento térmico diferentes, o que possibilita o uso posterior de tratamentos superficiais, como nitretação e revestimento PVD. Devido à sua estrutura única, que contém carbonetos duros de cromo, e à sua elevada dureza após tratamento térmico, o aço AISI D2 oferece excelente resistência ao desgaste, tanto abrasivo quanto adesivo. Ele é amplamente utilizado em matrizes e punções de conformação e corte, ferramentas para dobramento, repuxo, extrusão, pentes laminadores para roscas e facas em geral. Além disso, é utilizado na

confecção de moldes para formação de partes cerâmicas e em moldes para a injeção de plásticos técnicos de elevada abrasividade.

figura 4 – Composição química do AISI D2

C	Si	Cr	Mo	V
1,50	0,30	12,0	0,95	0,90

Fonte: AÇOSESPECIAIS (2024).

A soldagem de aços-ferramenta é um procedimento técnico que exige conhecimento aprofundado devido às particularidades metalúrgicas desses materiais. Desenvolvidos com o propósito de oferecer elevada resistência mecânica, dureza e durabilidade, os aços-ferramenta possuem alto teor de carbono e elementos de liga como cromo, tungstênio e vanádio, características que, embora conferindo desempenho superior, também aumentam a complexidade do processo de soldagem (STEELPRO GROUP, 2024).

Segundo a empresa chinesa “STEELPRO GROUP TRUSTEDFACTORY”, referência no setor siderúrgico, a soldagem desses materiais apresenta desafios específicos, sendo necessário dominar parâmetros operacionais e técnicas avançadas para garantir a integridade das juntas soldadas. Em seu guia definitivo para a soldagem de aços-ferramenta, a empresa destaca a necessidade de considerar aspectos como a sensibilidade à formação de trincas, especialmente em função do resfriamento rápido, e as mudanças microestruturais nas zonas afetadas pelo calor (STEELPRO GROUP, 2024).

Davies (1993) reforça que, para reduzir a severidade das alterações microestruturais e os riscos de trincas, é indispensável uma criteriosa seleção dos materiais de adição, assim como a adoção de técnicas adequadas que minimizem a extensão da zona termicamente afetada (ZAC). Mesmo quando as melhores práticas são adotadas, o tratamento térmico pós-soldagem, incluindo o alívio de tensões e o temperamento, permanece obrigatório para garantir a funcionalidade e segurança das peças.

Outro fator crítico é a distorção térmica gerada pela elevada entrada de calor no processo de soldagem. A expansão e contração desuniformes provocam empenamentos e desalinhamentos, os quais podem comprometer a geometria e o desempenho funcional da peça. Para controlar esses efeitos, recomenda-se o uso de técnicas como o *backstepping* e a utilização de dispositivos de fixação (STEELPRO GROUP, 2024).

A zona termicamente afetada (ZTA) também sofre alterações nas propriedades, como perda de dureza, devido à transformação microestrutural causada pelo calor. Isso pode reduzir a resistência ao desgaste do aço-ferramenta, exigindo especial atenção à escolha de parâmetros e tratamentos térmicos adequados.

A execução correta da soldagem em aços-ferramenta demanda uma série de cuidados técnicos. Inicialmente, a preparação da superfície é fundamental: deve-se remover completamente contaminantes como óleos, ferrugem e sujeiras por meio de escovas, solventes ou jateamento abrasivo. O pré-aquecimento do material entre 250 °C e 538 °C é essencial para minimizar tensões térmicas internas, reduzindo a chance de trincas e distorções.

A escolha do processo de soldagem deve considerar as características do material e da aplicação. A soldagem TIG, por exemplo, é indicada para peças finas e que exigem acabamento preciso, enquanto a MIG proporciona maior produtividade. Já o processo com eletrodo revestido, embora mais exigente tecnicamente, é eficaz para ambientes externos e materiais espessos.

A seleção dos metais de adição também é determinante. Eletrodos de baixo hidrogênio, como o E7018, são recomendados para evitar rachaduras em aços com alto teor de carbono. Já os enchimentos à base de níquel promovem tenacidade em aços de alta liga. Estratégias como iniciar com hastes mais macias nas primeiras camadas e endurecê-las nas últimas ajudam a balancear flexibilidade e resistência da solda final (STEELPRO GROUP, 2024).

Após a soldagem, o tratamento térmico é indispensável. O alívio de tensões, realizado a temperaturas subcríticas, redistribui as tensões internas geradas durante o processo, prevenindo falhas por fadiga e distorções indesejadas (BRANDI et al., 2018). Já a têmpera, realizada entre 150 °C e 650 °C, é fundamental para restaurar as propriedades mecânicas da região soldada, conferindo dureza e tenacidade compatíveis com as exigências operacionais do componente.

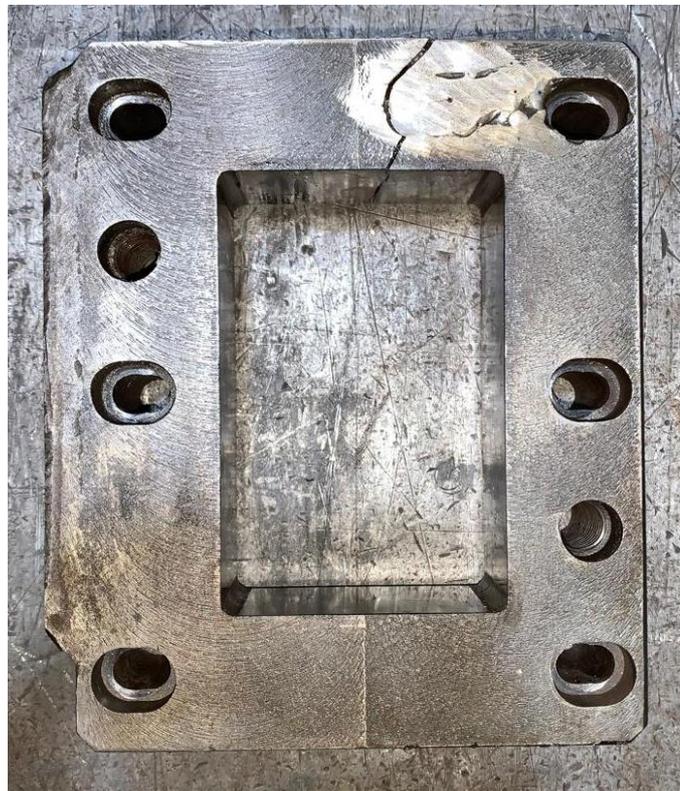
Brandi et al. (2018) enfatizam que esses tratamentos térmicos não apenas prolongam a vida útil das peças, mas também asseguram desempenho confiável mesmo sob condições severas, sendo especialmente relevantes em aços com alta temperabilidade.

Por fim, destaca-se a importância da qualificação profissional. Marques (2009) aponta que o domínio técnico do soldador é fator decisivo para a qualidade da junta soldada. Conhecimento teórico, precisão na execução e habilidade manual são essenciais para garantir cordões de solda sem descontinuidades, com as propriedades metalúrgicas adequadas e durabilidade assegurada.

Para comprovar os dados apresentado no trabalho foi realizado uma aplicação prática, um estudo de caso. Por conta de uma pressão exagerada em uma prensa, o estampo de corte que estava trabalhando acabou fechando mais que o é necessário, causando um impacto na estrutura

da ferramenta toda, e por ventura um porta matriz de VC131 quebrou, como não havia peça de reposição no estoque, foi necessário realizar a operação de soldagem, para que o estampo voltasse a trabalhar e não precisasse esperar uma peça nova vir de um fornecedor externo, que tem todo processo de cotação, aprovação, produção da peça e logística até a empresa, todo esse processo normalmente demora cerca de 3 semanas.

figura 5 – Porta matriz quebrado



Fonte: Foto do autor (2025).

figura 6 – Porta matriz quebrado



Fonte: Foto do autor (2025).

figura 7 – Porta matriz quebrado



Fonte: Foto do autor (2025).

As imagens acima mostram a situação da peça quebrada.

figura 8 – Feito bisel para soldagem



Fonte: Foto do autor (2025).

figura 9 – Feito bisel para soldagem



Fonte: Foto do autor (2025).

figura 10 – Feito bisel para soldagem



Fonte: Foto do autor (2025).

As imagens mostram como ficou onde quebrou após o processo de fazer um bisel para a penetração da solda na peça, bisel foi feito com mini retífica pneumática com rebolo.

figura 11 – limpeza da peça



Fonte: Foto do autor (2025).

Peça sendo limpa com um desengraxante e logo após retirado o mesmo com ar-comprimido e lavagem da peça com sabão neutro e água corrente, para ficar livre de impurezas.

figura 12 – Peça no forno



Fonte: Foto do autor (2025).

figura 13 – Parâmetro do forno para pré-aquecimento



Fonte: Foto do autor (2025).

Para evitar as zonas termicamente afetadas (ZTA), é necessário esse pré-aquecimento que as imagens acima mostram.

figura 14 – Fechamento da solda com sargento



Fonte: Foto do autor (2025).

Após o tempo de 30 minutos da peça no forno para o pré-aquecimento, foi retirado e colocado na bancada para fazer o fechamento da parte quebrada com o uso de um sargento.

figura 15 – Parâmetros utilizado para soldagem.



Fonte: Foto do autor (2025).

figura 16 – Processo de soldagem TIG sendo aplicado.



Fonte: Foto do autor (2025).

O processo de melhor escolha para a soldagem foi a TIG, e a vareta de adição foi com uma liga especial, desenvolvida para o uso na ferramentaria, que atinge uma dureza de até 62 HRC.

figura 17 – Peça soldada.



Fonte: Foto do autor (2025).

figura 18 – Peça soldada.



Fonte: Foto do autor (2025).

figura 19 – Peça soldada sendo resfriada.



Fonte: Foto do autor (2025).

Após o processo de soldagem realizado, é necessário realizar o resfriamento de forma lenta, sem ajuda de algum meio para resfriar mais rápido, por esse motivo, foi imersa em Cal, e retirada somente no outro dia.

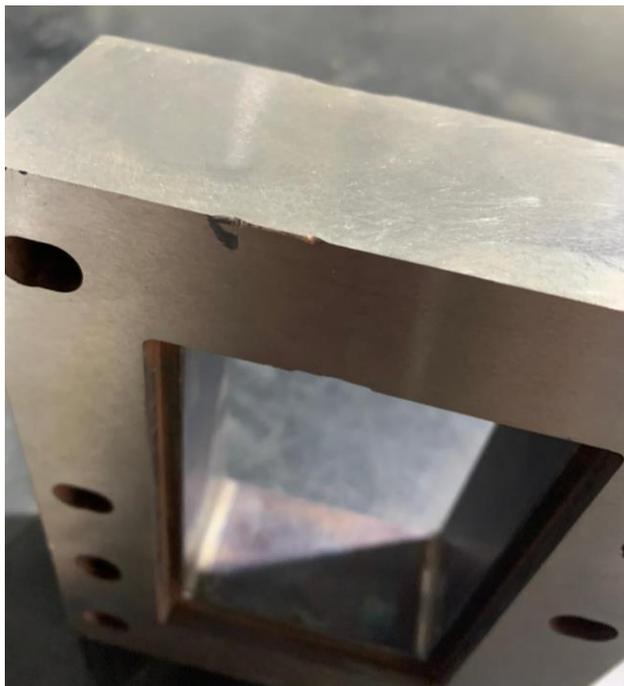
figura 20 – Temperatura de revenimento.



Fonte: Foto do autor (2025).

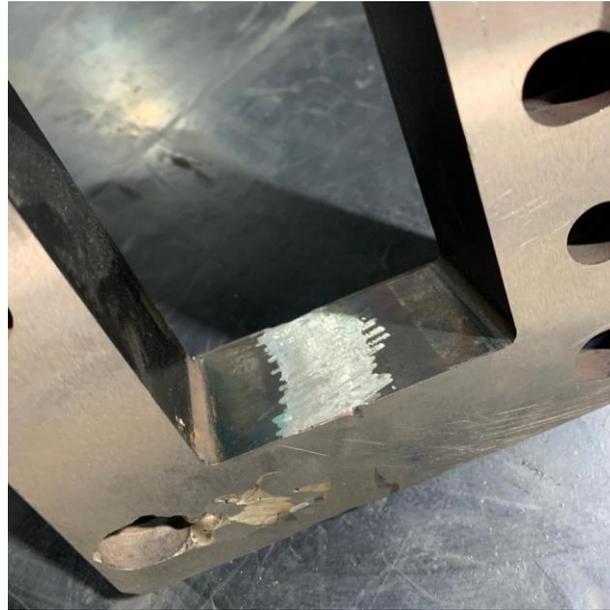
Para o alívio das tensões causadas pelo processo de soldagem, é necessário realizar o revenimento para que a peça tenha a sua ductilidade necessária para receber os impactos.

figura 21 – Peça feita o acabamento em retífica plana.



Fonte: Foto do autor (2025).

figura 22 – Peça feita o acabamento em retífica plana e micro retífica pneumática.



Fonte: Foto do autor (2025).

Depois de feito e revenimento e resfriado ao tempo de forma lenta, foi realizado o processo de acabamento da peça para voltar ao trabalho, atividade foi realizada através de uma retífica plana e uma micro retífica pneumática, de forma manual.

figura 23 – EPI's utilizado para a operação.



Fonte: Foto do autor (2025).

Em todo trabalho realizado, o primeiro ponto para se preocupar é a segurança, tanto a sua como de todo pessoal que está ao redor, e como mostra a imagem acima, esses foram os EPI's utilizados para operação de manejo de peça quente e com a soldagem.

4. CONCLUSÃO

A soldagem de aços-ferramenta representa um dos maiores desafios técnicos na indústria metalúrgica atual, exigindo profundo conhecimento metalúrgico, controle rigoroso de processos e qualificação profissional. Ao longo deste estudo, foi possível compreender que, embora esses materiais apresentem características superiores de dureza e resistência ao desgaste, suas propriedades também impõem cuidados especiais quanto aos efeitos térmicos e às transformações microestruturais durante a soldagem.

Por meio de uma revisão bibliográfica consistente e da aplicação prática em ambiente industrial, verificou-se que o recondicionamento de peças como o porta-matriz em VC131 é não apenas viável, mas altamente eficaz do ponto de vista técnico e econômico. A experiência prática reforçou a importância do pré-aquecimento, da correta preparação da junta, da escolha adequada dos insumos e, principalmente, da aplicação dos tratamentos térmicos pós-soldagem para garantir a integridade da peça e sua performance operacional.

Conclui-se, portanto, que o domínio do processo de soldagem em aços-ferramenta permite não só prolongar a vida útil de componentes críticos, mas também assegurar a continuidade produtiva, reduzindo custos e impactos logísticos. A aplicação segura e eficiente dessa técnica é resultado direto da integração entre conhecimento teórico, prática qualificada e atenção às exigências específicas de cada tipo de aço utilizado.

REFERÊNCIAS

- AÇÃO ESPECIAL. Aço VND: características e aplicações. Disponível em: <https://www.acoespecial.com.br/aco-vnd>. Acesso em: 19 maio 2025.
- BRANDI, S. D. et al. *Metalurgia da soldagem*. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.
- DAVIES, A. C. *The science and practice of welding*. 10. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- MAIS CURSOS LIVRES. *Auxiliar de serviços gerais metalúrgicos – Apostila 04*. Disponível em: <https://maiscursoslivres.com.br/cursos/auxiliar-de-servicos-gerais-metalurgicos-apostila04.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

MARQUES, P. V. *Soldagem: fundamentos e tecnologia*. São Paulo: Blucher, 2009.

NOMUS. *Soldagem: o que é, tipos e aplicações na indústria*. Disponível em: <https://www.nomus.com.br/blog-industrial/soldagem/>. Acesso em: 19 maio 2025.

SOUZA, S. A. *Materiais metálicos: estruturas e propriedades*. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

STEELPRO GROUP TRUSTEDFACTORY. *Guia definitivo para a soldagem de aços ferramentas*. China, 2024. Disponível em: <https://www.steelprogroup.com>. Acesso em: 19 maio 2025.

VC131. *Aço VC131: ficha técnica e propriedades mecânicas*. Disponível em: <file:///C:/Users/SAMSUNG/Downloads/VC131-pt.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

WAINER, E. *Soldagem: princípios e tecnologia*. São Paulo: Nobel, 1992.

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

ABNT NBR 6022/2018 – Artigo em publicação periódica e/ou técnica – Apresentação.

ABNT NBR 6023/2018 – Referências – Elaboração.

ABNT NBR 6024/2012 – Numeração progressiva das seções – Apresentação.

ABNT NBR 6028/2021 – Resumo – Apresentação.

ABNT NBR 10520/2023 – Citações em documentos – Apresentação.