

DENSIFICAÇÃO DO AÇO VANADIS®8 RECICLADO VIA METALURGIA DO PÓ, EMPREGANDO DIFERENTES TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO: PRENSA UNIAXIAL E PRENSA ISOSTÁTICA

Amanda Carvalho Ribeiro Xavier¹ (IC), Gilbert Silva (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá – Campus Itajubá

Palavras-chave: Caracterização Microestrutural; Metalurgia de pó; Moagem de alta; ; Reciclagem; Vanadis ®8;

Introdução

Este estudo propõe a reutilização de um aço de alto valor agregado utilizando a técnica de moagem de alta energia (MAE), seguida de compactação, sinterização e procedimentos de caracterização microestrutural. O objetivo principal desta proposta é viabilizar a reutilização dos cavacos metálicos provenientes da usinagem do aço Vanadis®8, que, até o momento, estariam sujeitos a descarte inadequado. A pesquisa tem como foco a comparação dos resultados microestruturais e da densificação aparente do aço Vanadis®8 reciclado através da metalurgia do pó, empregando diferentes métodos de compactação: prensa uniaxial e a prensa isostática. A justificativa para esta pesquisa reside na necessidade de reutilizar cavacos de aço Vanadis®8, com o intuito de obter um novo material com propriedades mecânicas comparáveis às do material original. A escolha da técnica de moagem de alta energia se deve à sua eficácia na obtenção de pós metálicos, permitindo a produção de granulometrias submicrométricas e nanométricas por meio do impacto entre os agentes moedores, que são submetidos a altas velocidades de rotação (COSTA E SILVA, 2018) e (SURYANARAYANA, 2001).

Metodologia

A metalurgia do pó é um processo de fabricação que utiliza pós metálicos como matéria-prima. Os pós são compactados em moldes e sinterizados a altas temperaturas para formar peças sólidas com características específicas, como alta resistência e complexidade geométrica. Dentro desse contexto a moagem de alta energia é frequentemente utilizada na metalurgia do pó para reduzir o tamanho das partículas de pó metálico,

tornando-as adequadas para a compactação e sinterização. Essa etapa de moagem contribui para a obtenção de uma distribuição de partículas uniforme, o que melhora as propriedades das peças finais produzidas por meio da metalurgia do pó. Durante o processo MAE (Moagem de Alta Energia), as etapas a serem realizadas iniciam-se de acordo com as variáveis de processos que incluem: Tipo de movimento; Rotação de moagem; Tempo de moagem; A relação entre uma massa material esferas; Atmosferas de moagem; Agente Controlador de Processos (ACP); Nível de porcentagem ocupada sobre o volume do recipiente de moagem; Abaixo uma representação da moagem dentro do moinho (COSTA E SILVA) e (BARBEDO, 2021).

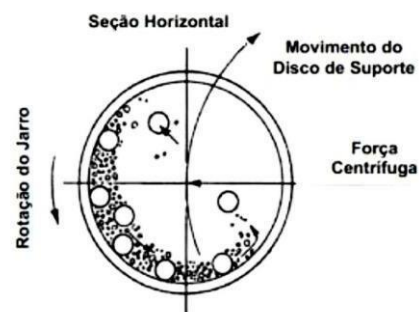


Figura 1 – Esquema representativo da movimentação interna do moinho Fonte: SILVA, G.; GALVÃO, M. M.; AZEVEDO, G. J. R. (2014)

Após a conclusão dessa fase, inicia-se o processo de compactação do material através da prensa uniaxial, o processo de compressão do pó consiste em colocar o pó dentro de uma matriz que também contém o molde desejado para a peça desejada (GONÇALVES, 2021).

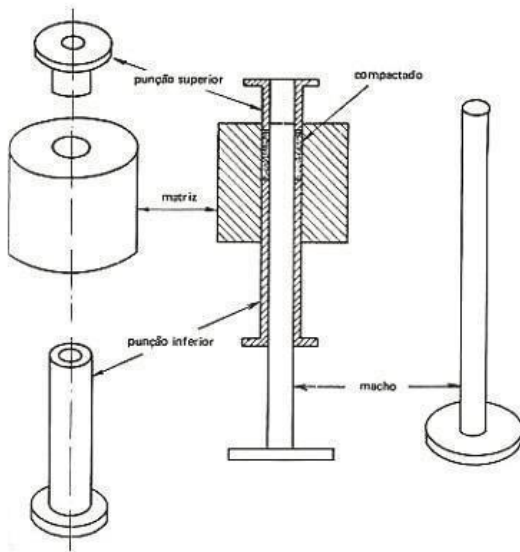


Figura 2 – Esquema representativo da prensa uniaxial
Fonte: MENDONÇA, (2019)

Como resultado, o processo de compactação é acionado pela ação dos pontos de pressão superior e inferior ao mesmo tempo e temperatura ambiente. Na Figura 3 é possível visualizar o resultado do pó compacto:

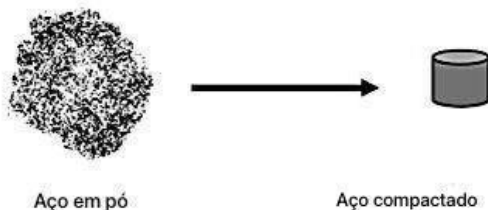


Figura 3 – Pó Compactado

Fonte: SILVA, G.; GALVÃO, M. M.; AZEVEDO, G. J. R. (2014)

A amostra do pó compacto é transferida para o processo de sinterização.

A sinterização é um processo termicamente ativado e fisicamente definido, no qual um aglomerado de partículas de um material específico, inicialmente em contato umas com as outras, adquire resistência mecânica. Durante esse processo, a estrutura porosa do material é consolidada à medida que as partículas são rearranjadas para preencher os espaços vazios existentes.

A sinterização implica aquecer peças previamente compactadas a temperaturas específicas, sempre abaixo do ponto de fusão do metal base da mistura, mas possivelmente acima do ponto de fusão de outros metais secundários presentes na mistura. Essa operação é conduzida sob condições estritamente controladas, incluindo a taxa de aquecimento, o tempo, a temperatura, a taxa de resfriamento e a atmosfera do ambiente de aquecimento. Normalmente, a sinterização ocorre em fornos contínuos que consistem em três zonas distintas: aquecimento, manutenção de temperatura e resfriamento.

É nessa fase que ocorrem as ligações químicas metalúrgicas entre as partículas do pó, resultando na redução ou eliminação da porosidade presente no compactado (SILVA, G.; GALVÃO, M. M.; AZEVEDO, G. J. R. 2014)

Os equipamentos utilizados neste trabalho foram fornecidos pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e o aço Vanadis®8 fornecido pela empresa Uddeholm.

Nesta pesquisa foi utilizado o aço ferramenta Vanadis®8, produzido via metalurgia do pó, é recomendado para aplicações a frio devido à alta concentração de carbono e elementos como vanádio, cromo e molibdênio. Oferece excelente resistência ao desgaste, prolongando a vida útil dos produtos, além de alta resistência à compressão, ductilidade e dureza, sendo ideal para materiais de alto desempenho (BARBEDO, 2021).

Para obter-se os cavacos o material foi inserido numa furadeira Kore KFF-30, os parâmetros utilizados foram: rotação 350 rpm; velocidade de corte em 70 metros por minuto. Em seguida iniciou-se o processo de moagem de alta energia (MAE), onde os cavacos são inseridos no jarro/recipiente do moinho planetário com parametro de: rotação 400rpm; relação massa/bola 1: 15; tempo de moagem 24h;

Com o pó obtido é feito a compactação na prensa uniaxial, foi inserido uma pressão de 2,5 toneladas força durante 60 segundos, para três repetições. A amostra é retirada e inserida no forno elétrico Nabertherm HT 04-17 adaptado com um tubo de alumina, com atmosfera controlada, localizado no laboratório de Processamento e caracterização de Materiais – LCPM, da Universidade Federal de Itajubá nos parâmetros 1250°C durante 1,5 horas.

Ao finalizar esses processos é feito a preparação das amostras para análise microestrutural, onde o pó compacto é embutido em resina termofixa utilizando uma embutidora do modelo PRE30, aplicando uma pressão de 100 a 150 kgf/cm². Em seguida, as amostras foram lixadas com lixas de granulometrias 240, 400, 600, 800 e 1200 em

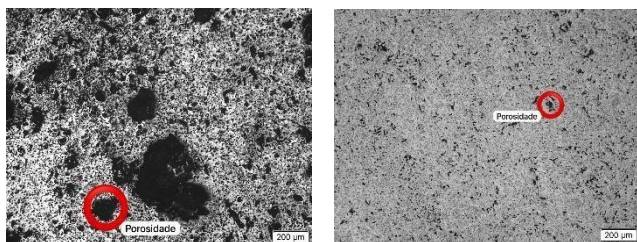
uma máquina politriz da marca Arotec, modelo Aropol 2V. O polimento foi realizado com uma solução diluída composta por 50% de alumina de 0,05 μm e 50% de água. Para a revelação da microestrutura, foi aplicado um ataque com nital (4% de ácido nítrico e álcool) utilizando o método de imersão por um período de 4 segundos. Essa etapa é fundamental para identificação de fases do aço e presença de porosidade no sinterizado.

A análise microestrutural do material em sua condição original, incluindo a investigação dos contornos de grão e a porosidade, foi conduzida no Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais (LPCM) da UNIFEI. Utilizou-se um microscópio da marca OLYMPUS, modelo BX41M, em conjunto com o software Stream Basic para aquisição das micrografias. As imagens foram capturadas em ampliações de 100X, 200X, 500X e 1000X.

Este trabalho consiste em comparar os resultados obtidos através do uso da prensa uniaxial e prensa isostática, tendo em vista que a amostra realizada na prensa isostática já estava pronta.

Resultados e discussão

Após a análise microestrutural é possível observar na Figura 4, que do item A para o item B existe uma diferença significativa em relação a porosidade.



(A) (B)
Figura 4 – Microscopia em 100x
Fonte: [Autor]

A amostra (A) representa o aço compactado em prensa uniaxial enquanto a amostra (B) representa o aço compactado em prensa isostática. Ambas amostras estão com ataque com nital (4% de ácido nítrico e álcool). Para calcular a porosidade média das amostras é necessário remover o ataque com nital, para melhor visualização dos poros.

O relatório fornecido pela OLYMPUS, modelo BX41M, em conjunto com o software Stream Basic apresentou dados de comparação

relacionado a porosidade de acordo com a Tabela 1 e Tabela 2.

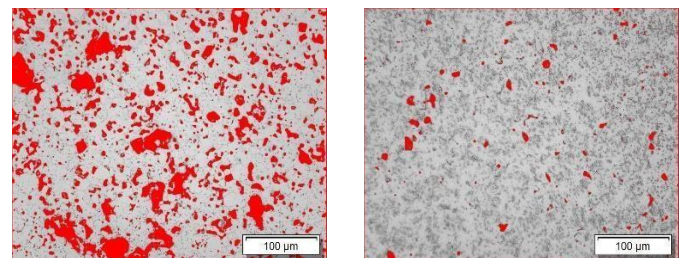
Porosidade[%]	Contagem de Poros	Densidade do Poro [$1/\mu\text{m}^2$]	Tamanho Máximo dos Poros [μm]
19,75%	142	0,00 $1/\mu\text{m}^2$	333,33 μm

Tabela 1 – Relatório Amostra (A) Fonte: [Autor]

Porosidade[%]	Contagem de Poros	Densidade do Poro [$1/\mu\text{m}^2$]	Tamanho Máximo dos Poros [μm]
1,80%	21	0,00	333,33

Tabela 2 – Relatório Amostra (B) Fonte: [Autor]

A Figura 5 representa as amostras em análise sem adição do ataque com nital. As demarcações em vermelho representa os poros.



(A) (B)
Figura 5 – Contagem de Poros
Fonte: [Autor]

Conclusões

Neste estudo, investigamos a reciclagem dos cavacos do aço Vanadis®8 por meio da técnica de Metalurgia do Pó. A Moagem de Alta Energia (MAE) seguida de compactação via prensa isostática provou ser altamente eficaz, resultando em amostras com notável redução da porosidade (1,80%) em comparação com as compactadas na prensa uniaxial (19,75%). Além disso, a análise de microdureza indicou que as amostras prensadas isostaticamente atingiram cerca de 85% da dureza do aço

Vanadis®8 original, demonstrando uma notável integridade estrutural. Esses dados estatísticos validam a eficácia da técnica, destacando sua aplicabilidade industrial. Esta pesquisa não apenas comprova a viabilidade da reutilização de resíduos metálicos valiosos, mas também apresenta uma abordagem técnica robusta pronta para adoção em larga escala. Isso não só oferece uma solução ambientalmente amigável para a indústria, mas também promete economias substanciais, consolidando a metalurgia do pó como uma alternativa inovadora e eficaz na reciclagem de metais de alto valor.

Agradecimentos

Agradeço ao Dr. Gilbert Silva pela orientação e suporte ao longo desta pesquisa. Agradeço também ao Me. Elioenai Levi Barbedo pelas contribuições de ensino como coorientador, pelas palavras de incentivo e pela paciência em minhas limitações.

Sou grato à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pela oportunidade de conduzir este estudo a partir da bolsa de Iniciação Científica (Pibic).

Referências

- ANTONELLO, Rodrigo Tecchio. Preparação de Aços Rápidos Ao Molibdênio Com Adição de Carboneto de Nióbio Através de Técnicas de Metalurgia do Pó. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- BARBEDO, Elioenai Levi et al. Otimização do processo de reuso do cavaco do aço Vanadis® 8 pela rota da metalurgia do pó, utilizando a moagem de alta energia. 2023.
- BARBEDO, Elioenai Levi et al. Reutilização do cavaco do aço Vanadis® 8 pelo processo de metalurgia do pó utilizando a moagem de alta energia. 2021.
- CAMARGO, A. C. Comparação das características de corpos de alumina, a verde e após sinterização, obtidos pelos processos de prensagem uniaxial, prensagem isostática e prensagem uniaxial e isostática. 1993. Tese de Doutorado. Dissertação– Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- COSTA E SILVA, André Luiz V; MEI, Paulo Roberto. Aços e ligas especiais. 3. ed. rev. São Paulo: Blucher, 2018.
- DELFORGE, Daniel Yvan Martin et al. Sinterização de uma mistura de cavaco de aço inoxidável com pó do mesmo material: uma nova tecnologia para a reciclagem de metais. Em: Revista Escola de Minas, v. 60, n. 1, p. 95-100, 2007.
- GONÇALVES, Pedro Henrique et al. Estudo da reutilização do aço uddeholm vanadis® 8 superclean pela rota da metalurgia do pó a partir da técnica de moagem de alta energia (mechanical milling). 2021.
- HØJERSLEV, C. Tool steels. [S.l.]: Risø National Laboratory, 2001.
- MENDONÇA, Alysson Fernando Andrade et al. Avaliação de parâmetros de sinterização. 2019.
- MILHEIRO, Francisco Aurelio Campos. Produção e caracterização de pós compósitos nanoestruturados do metal duro WC-10Co por moagem de alta energia. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Dissertação de Mestrado, Campos dos Goytacazes, RJ, 2006.
- RAMADA. Novidade: Uddeholm Vanadis 8 SuperClean. Disponível em: https://www.ramada.pt/pt/media/noticias/_novidadeuddeholm-vanadis-8-superclean.html. 2023.
- SILVA, G.; GALVÃO, M. M.; AZEVEDO, G. J. R. Participação em banca de Elioenai Levi Barbedo. Caracterização e Aproveitamento de Cavacos do Processo de Retificação de Anéis de Pistão. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá.
- SOUZA, S. A. Ensaio Mecânicos dos Materiais Metálicos - Fundamentos teóricos e práticos. São Paulo : Edgard Blucher, 2000.
- SURYANARAYANA, Cury. Mechanical alloying and milling. Progress in materials science, v. 46, n. 1-2, p. 1-184, 2001.
- UDDEHOLM. Ficha técnica Vanadis® 8 SuperClean. Disponível em: https://www.uddeholm.com/files/PB_Uddeholm_vanadis_8_e_english.pdf. 2023.
- VERMA, P.; SAHA, R.; CHAIRA, D. Waste steel scrap to nanostructured powder and superior compact through powder metallurgy: Powder generation, processing and characterization. Powder Technology, v. 326, p. 159-167, 2018.
- ZHANG, F. L, WANG, C. Y e ZHU, M. Nanostructures WC Co Composite powder prepared by high energy Ball milling. 2000.