

EFEITO DA VARIAÇÃO DE PRESSÃO NA ETAPA DE COMPACTAÇÃO DA LIGA FE-NI-MO NO PROCESSO DA METALURGIA DO PÓ.

J. P. C. Soares¹; V. H. C. Alves¹; R. C. Lima da Silva²; A. V. R. Gomes¹; M. Q. Silva Jr.¹ Reis, F.E.U.¹;

¹Departamento de Engenharia Mecânica, UFERSA; ²CTMA, IFRN
Rua Romualdo Galvão, Nº 303, Alto da Conceição, Mossoró-RN, CEP: 59600-370;
joapaulo_cs5@hotmail.com

RESUMO

O estudo da metalurgia do pó possibilita trabalhar com metais com alto ponto de fusão, facilitando o desenvolvimento de novas ligas metálicas para aplicações mecânicas. Com isso, este trabalho desenvolve um estudo das ligas Fe-30Ni-1Mo e Fe-30Ni-2Mo analisando o efeito de compactação uniaxial, na propriedade mecânica de dureza. Os corpos de prova foram obtidos mediante a compactação de 2ton, 4ton e 6ton e sinterizados no forno do tipo mufla a 1000°C durante 4 horas. Os resultados encontrados mostraram que há uma relação crescente entre a pressão compactação e a propriedade mecânica de dureza, obtendo um média de 44HRH para 2ton, 70HRH para 4ton e 103HRH para 6ton, para a amostra de 1%Mo. Para as amostras com 2%Mo se manteve o aumento crescente em função da carga, mas com valores superiores as amostras de 1%Mo.

Palavras-chave: Metalurgia do pó, Compactação, Pressão, Fe-Ni-Mo.

INTRODUÇÃO

A metalurgia do pó trata-se de uma técnica de fabricação que permite a produção de peças com formas definitivas ou praticamente definitivas dentro de tolerâncias estreitas e também a produção de componentes com certas características estruturais e físicas impossíveis de serem obtidas através de qualquer outro processo ⁽¹⁾. O início deste século marca os mais importantes desenvolvimentos na aplicação industrial da metalurgia do pó, pois foram então desenvolvidas técnicas de fabricação por sinterização do molibdênio e do tungstênio, metais refratários cujos pontos de fusão impossibilitavam sua fabricação pelos processos metalúrgicos convencionais ⁽²⁾.

Entre as vantagens de utilizar a metalurgia do pó podemos citar a possibilidade de se produzir e conformar metais difíceis ou até quase impossíveis de serem obtidos pelos processos metalúrgicos convencionais, também é possível a obtenção de características estruturais especiais como uma porosidade controlada. A

Metalurgia do Pó é um processo de fabricação que leva a economia de matéria prima ao extremo. Enquanto outros processos convencionais chegam a gerar até 50% de sobras na forma de cavacos, carepas, rebarbas e outros, uma peça sinterizada leva consigo mais de 99% da matéria prima utilizada originalmente ⁽³⁾.

Os principais materiais utilizados nos projetos das peças estruturais são baseados em ligas ferrosas. Alterações no tipo e na composição dos diversos pós metálicos utilizados no processo de fabricação do sinterizado, permitem que uma imensa variedade de materiais possa ser obtida, apresentando as mais diversas características físicas e metalúrgicas, oferecendo ao usuário inúmeras opções para o desenvolvimento do componente ⁽⁴⁾. Este trabalho teve por objetivo estudar a influência da etapa de compactação nas propriedades das ligas Fe-30Ni-1Mo e Fe-30Ni-2Mo afim de viabilizar o uso destas duas ligas para aplicações na indústria. A análise das propriedades do produto final, posterior a sinterização, foi feita mediante a microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e ensaios de microdureza e dureza.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção dos pós: Neste trabalho foram utilizados pós de Ferro (99,8% puro com granulometria de 297 μm), Níquel (99,92% puro com granulometria de 0,97 μm) e Molibdênio (99,96% puro e com 3,50 μm de granulometria). Os pós foram adquiridos da empresa JB Química Indústria e Comércio Ltda., onde foram obtidos através dos processos de atomização e redução, segundo a empresa.

Pesagem e mistura dos pós: Primeiramente foi feita a pesagem dos pós nas composições Fe-30Ni-1Mo e Fe-30Ni-2Mo(%p) em uma balança analítica, onde foram obtidas 400g de pó acumulado sendo 200g para cada composição. Depois da pesagem foi feita a mistura dos pós em um torno mecânico visando uma homogeneização das matérias primas. A mistura foi realizada durante 4 horas com uma velocidade de 30rpm. Após a mistura foi feita a separação das amostras, cada uma pesando 6g, totalizando 12 amostras, 6 para cada composição.

Compactação dos pós: A compactação foi realizada em uma matriz cilíndrica com 15mm de diâmetro onde foi utilizado o método de compactação uniaxial em

uma prensa hidráulica, com capacidade de 10ton, para conformar a mistura dos pós. As amostras foram compactadas variando a carga de compactação em 2, 4 e 6ton respectivamente. A Figura 1 traz uma ilustração do molde cilíndrico que foi utilizado para a compactação uniaxial dos corpos de prova na prensa hidráulica.

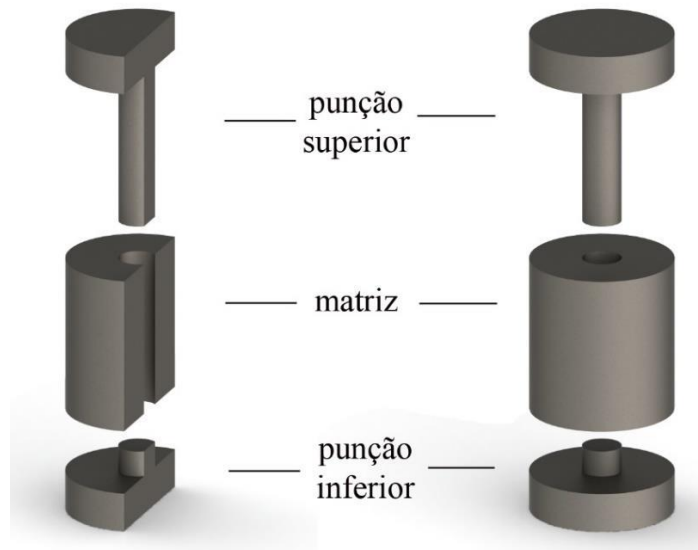


Figura 1 – Molde cilíndrico utilizado na etapa de compactação

Sinterização: Após a retirada da matriz de compactação as amostras foram sinterizadas em um forno mufla com capacidade até 1200°C. A programação para a sinterização foi de 8°/minuto e com permanência de 2h à temperatura de sinterização e posterior resfriamento até a temperatura ambiente. Como o objetivo principal do trabalho era o de avaliar a influência da variação da carga de compactação, a temperatura de sinterização foi mantida constante para todas as amostras. A temperatura utilizada, baseado na literatura, foi de 1000°C para todas amostras, onde foi utilizado o método da sinterização por fase sólida. Na Tabela 1 são apresentadas as informações da preparação das amostras durante o processo da metalurgia do pó.

Tabela 1 – Características do processo de preparação das amostras.

Fe (%p)	Ni (%p)	Mo (%p)	Carga de Compactação (ton)	Temperatura (°C)
68	30	2	2	1000
68	30	2	4	1000
68	30	2	6	1000
69	30	1	2	1000

69	30	1	4	1000
69	30	1	6	1000

Metalografia e caracterização microestrutural para identificação de fases: Para a execução dos ensaios metalográficos e levantamento das características microestruturais dos corpos de prova, foi realizado primeiramente um processo de lixamento onde as amostras foram lixadas com água sequencialmente em lixas de carbetto de silício de 180, 320, 400, 600, 800, 1000 e 1200 mesh. Em seguida foi feito o polimento com pasta diamantada de granulometria de 3µm, preparando as amostras para serem levadas ao microscópio óptico onde foram feitas imagens com ampliações de 100, 200, 500 e 1000x, para caracterização das fases presentes, tamanho dos grãos, inclusões e outros defeitos perceptíveis por esta técnica. Já durante a etapa de microscopia eletrônica de varredura, que foi realizada utilizando um equipamento modelo VEGA 3 LMU do fabricante TESCAN, foram registradas 5 imagens de cada amostra com ampliação de 500 vezes.

Caracterização das propriedades mecânicas: Na avaliação das propriedades mecânicas dos corpos foram utilizados os ensaios de microdureza Vickers e dureza Rockwell. Utilizou-se para a mensuração da microdureza um microdurômetro com carga de 98,07 mN durante 10 segundos. Foram realizadas 20 medidas, 10 em cada região de interesse, em cada amostra para o levantamento e comprovação das propriedades mecânicas. Já o ensaio de dureza Rockwell foi feito no durômetro utilizando-se um indentador com esfera de 1/8 pol e carga de 60 kgf durante 10 segundos. O ensaio foi feito utilizando a escala Rockwell H, onde foram feitas 10 medidas na região de interesse para cada amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao término do experimento, obtido o material sinterizado, percebeu-se a formação de uma liga Fe-Ni-Mo propriamente dita e não mais apenas pó metálico. Apesar do aspecto bastante poroso, que já era esperado por ser um produto proveniente de pó, o material obteve uma forma final com coesão e com uma superfície homogênea.

Pelas imagens feitas no MEV das amostras compactadas com 2,4 e 6ton notou-se para as duas composições (1 e 2% de Mo) a presença de duas fases

distintas uma mais clara e uma mais escura. Na Figura 2 são apresentadas as imagens feitas com ampliação de 500 vezes, no microscópio eletrônico de varredura, da amostra compactada com 4ton, tanto para liga com 1% como para 2% de Molibdênio.

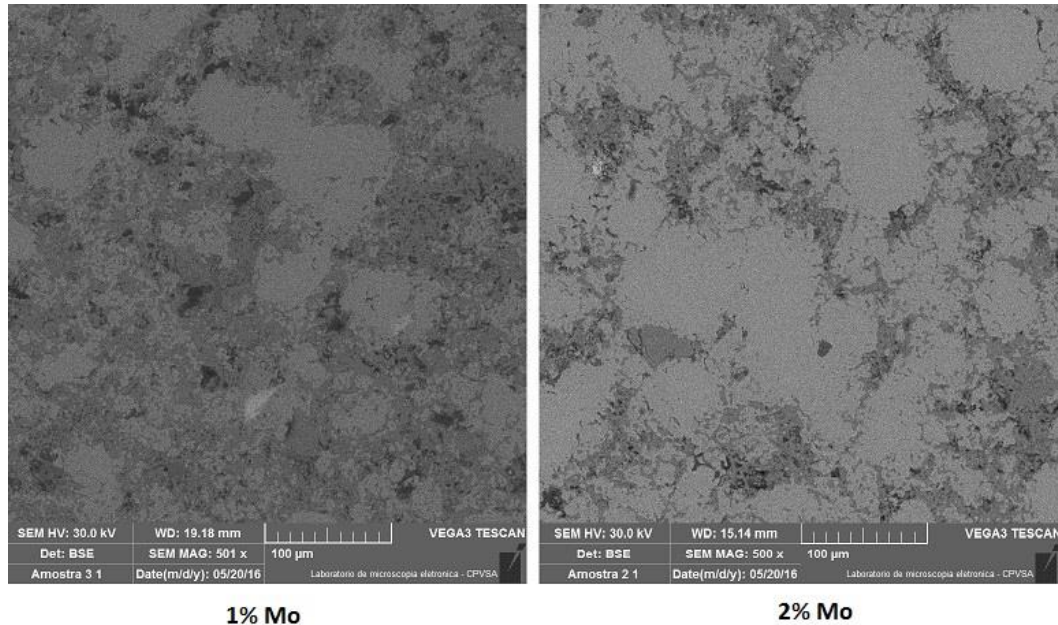


Figura 2 - Imagem ampliada em 500x, obtida por MEV, da amostra compactada com 4 ton para 1% de Mo e 2% de Mo.

A carga de compactação é a variável que mais tem influência no perfil de densificação do corpo de prova ⁽⁵⁾. Baseado nessa informação vimos que as amostras compactadas com carga de 2ton, menor utilizada para o experimento, apresentaram dificuldade de revelação da sua estrutura, uma vez que a microscopia óptica depende muito do grau de planicidade obtida na preparação metalográfica. À medida que se aumentou a carga de compactação as amostras que foram compactadas com as cargas maiores apresentaram uma superfície mais coesa, permitindo assim uma melhor visualização dessa diferença de tonalidade entre as fases presentes.

Os valores de microdureza Vickers obtidos em cada corpo de prova foram anotados em uma planilha eletrônica e os resultados são apresentados nas Figuras 3 e 4 que mostram as curvas de dispersão dos resultados de dureza para as amostras, nas regiões clara e escura.

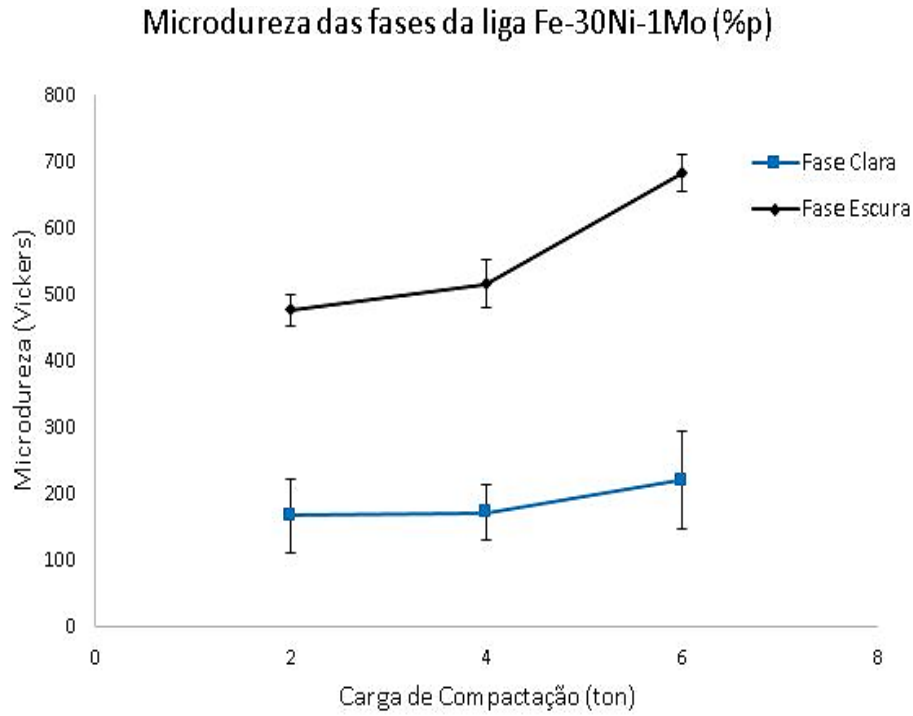


Figura 3 - Gráfico de dispersão (Dureza Vickers x Carga de compactação) com linhas retas e marcadores para as fases clara e escura das amostras com 1% de Mo.

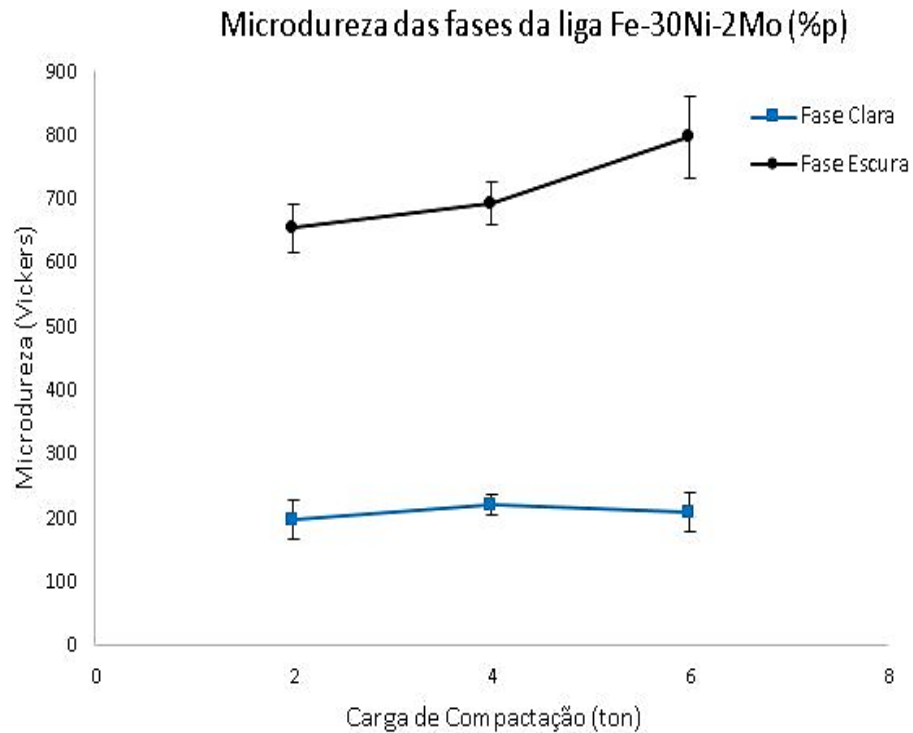


Figura 4 - Gráfico de dispersão (Dureza Vickers x Carga de Compactação) com linhas retas e marcadores para as regiões clara e escura das amostras com 2% de Mo.

Pela análise dos resultados da microdureza Vickers as amostras apresentaram uma significativa diferença de dureza nas regiões distintas onde foram feitas as mensurações desta variável. Os resultados apresentados mostram que os valores de média de microdureza na fase clara, aumentam à medida que elevamos a carga de compactação e também tem o mesmo comportamento para o acréscimo no teor de Molibdênio das ligas. Já para a fase escura os resultados apresentaram médias de microdureza maiores para a amostra compactada a 6ton, mostrando que também para essa fase houve um crescimento nessa propriedade à medida que a carga de compactação aumentou.

Como a fase mais clara apresentou valores menores de dureza que a fase escura, isso leva a crer que a fase mais clara representa a Ferrita, que, pelos estudos da literatura, é uma fase que apresenta esse aspecto. E pelos valores maiores de dureza na fase escura supõe-se que essa fase seja a fase FeNi₃, também se baseando pela literatura.

Os valores de Dureza Rockwell H obtidos em cada corpo de prova foram anotados em uma planilha eletrônica e os resultados são apresentados na Figura 5 que mostra as curvas de dispersão dos resultados de dureza para as amostras.

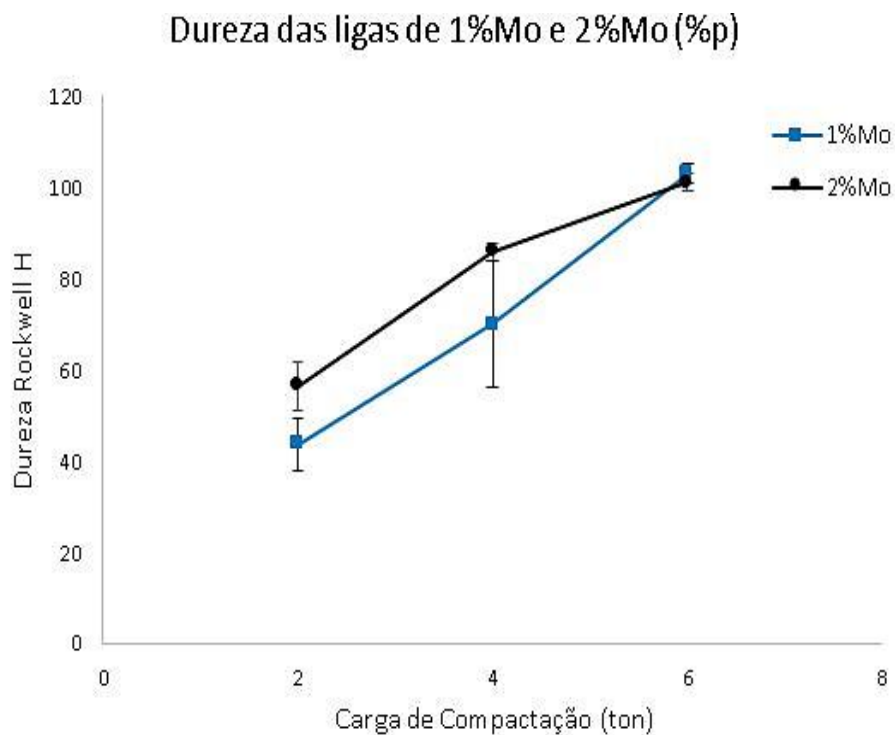


Figura 5 - Curva de dureza Rockwell H das amostras com 1% e 2% de Molibdênio para as cargas de compactação de 2, 4 e 6ton.

Pela análise desses resultados as amostras apresentaram um padrão no que diz respeito ao aumento da dureza pois a mesma aumentou a medida que a carga de compactação foi crescendo. Para a amostra da liga com 1%Mo compactada com 4 ton a mesma apresentou um alto valor de desvio padrão se comparada com o restante das amostras, porém esse alto valor de desvio padrão para essa amostra não compromete em afirmar com confiabilidade que houve um aumento da propriedade de dureza nas amostras para esta composição da liga.

Já as amostras contendo 2% de Molibdênio apresentaram um baixo valor no seu desvio padrão mostrando uma boa homogeneidade e que a mistura foi realizada de forma satisfatória para esta liga. Além disso, as amostras para esta liga apresentaram o mesmo comportamento de aumento da propriedade de dureza com o aumento da carga de compactação.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados experimentais deste trabalho, podem ser pontuadas as seguintes conclusões:

- Os corpos de prova que foram compactados com uma carga de compactação maior apresentaram uma superfície mais coesa e visualmente um aspecto menos poroso;
- Os corpos de prova que foram compactados com uma carga maior possuem maiores valores nas propriedades de microdureza e de dureza;
- Não ocorrendo variação dos outros parâmetros, um aumento na força de compactação dos pós durante a confecção dos corpos de prova, resulta em uma liga com elementos mais unidos e mais homogêneos, resultando em uma diminuição no aspecto de porosidade e um aumento na propriedade mecânica de dureza.

REFERÊNCIAS

(1) STADTLER W.A. **Production of Metallurgy Parts**. ASTM, Powder Metallurgy, Ohio, p.449-463, 1989

- (2) CHIAVERINI, Vicente. **Metalurgia do pó: técnica e produtos**. Vicente Chiaverini, 4º ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e materiais, 2001.
- (3) DELFORGE, Daniel Yvan Martin. **Cavaco de um Aço Inoxidável Austenítico Reciclado por Metalurgia do Pó: Uma Rota Alternativa para o Reaproveitamento de Materiais Metálicos**. 2007. 116 f. Tese (Doutor) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- (4) GRUPO SETORIAL DE METALURGIA DO PÓ. **A Metalurgia do Pó: alternativa econômica com menor impacto ambiental**, São Paulo – SP, 2009.
- (5) LOBO, Cândido Jorge de Sousa. **Estudo das propriedades mecânicas de ligas Fe-Ni e Fe-Ni-Mo processadas por metalurgia do pó**. 2014. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

EFFECT OF PRESSURE CHANGE IN COMPRESSION STAGE ON FE-NI-MO ALLOYS IN THE PROCESS OF POWDER METALLURGY

ABSTRACT

The powder metallurgy study enables working with metals with high melting point, facilitating the development of new metal alloys for mechanical applications. Therefore, this paper develops a study of Fe-30Ni-1Mo and Fe-30Ni-2Mo alloys analyzing the effect of uniaxial compression, in the mechanical properties of hardness. The samples were obtained by compacting on 2ton, 4ton and 6ton and sintered in the muffle type furnace at 1000 ° C for 4 hours. The results showed that there is a growing relationship between pressure compression and mechanical properties of hardness, getting a 44HRH average for 2ton, 70HRH for 4ton and 103HRH for 6ton for the sample of 1% Mo. For samples with 2% Mo remained the increasing according to the load, but with higher values samples than 1% Mo.

Key-words: Powder metallurgy, Compression, Pressure, Fe-Ni-Mo.