



EFEITO DO PROCESSAMENTO POR DEFORMAÇÃO PLÁSTICA SEVERA NO COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DE METAIS E LIGAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Guedes, D. R.¹, Pinto, M. A.¹, Silva, N. A. N.^{1*}, Flausino, P. C. A.¹

*1 – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (DEMET), Escola de Minas -
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, CEP
35402-206, MG.*

daniele.guedes@aluno.ufop.edu.br

mariap@ufop.edu.br

**nayara.neres@ufop.edu.br*

paula.flausino@ufop.edu.br

RESUMO

É consenso na literatura que o refino microestrutural e a elevada densidade de discordâncias alcançados pelos processos de deformação plástica severa (SPD) resultam em propriedades mecânicas superiores em relação àquelas produzidas em processamentos convencionais. Neste contexto, o presente trabalho propôs a busca de maior compreensão sobre a influência dos processos SPD no comportamento tribológico de metais e ligas. A revisão bibliográfica sistemática seguiu um roteiro com três fases de busca a partir de trabalhos encontrados na plataforma CAPES e no acervo da BDTD, limitando o período de publicação de 2013 a 2023. Os resultados apontaram que as técnicas mais comumente utilizadas são a Extrusão Angular por Canais Iguais (ECAP) e a União por Laminação Cumulativa (ARB) e os mecanismos de desgaste mais citados são o abrasivo, o adesivo e o oxidativo. O comportamento tribológico foi, na maioria dos estudos, melhor após o processamento por técnicas SPD.

Palavras-chave: Deformação Plástica Severa; Microestrutura; Propriedades Mecânicas; Desgaste.

INTRODUÇÃO

O presente estudo teve como foco principal abordar, por meio de uma revisão bibliográfica, como o comportamento tribológico dos metais e ligas é afetado pelas modificações microestruturais e mecânicas provocadas pela deformação plástica severa.

Segundo Langdon (1), a Deformação Plástica Severa (DPS) é um procedimento experimental em que se utiliza ferramentas com geometrias especiais que impedem o fluxo livre do material e promovem um processamento sob alta pressão hidrostática. Uma característica importante dos processos DPS é não provocar alterações significativas nas dimensões da peça, permitindo a aplicação de sucessivos passes e o acúmulo de deformações em baixa temperatura homóloga. Como resultado da DPS, grãos ultrafinos são obtidos, o que confere aos materiais alta resistência e boa ductilidade, proporcionando aplicabilidade em peças estruturais, resistentes ao desgaste (2).

De acordo com Gao *et al.* (3), os materiais de grãos ultrafinos processados por DPS, possuem propriedades tribológicas relevantes que devem ser levadas em consideração no projeto de peças a serem utilizadas na engenharia, pois as propriedades de desgaste dos materiais têm impacto significativo na manutenção e durabilidade de seus componentes. Em aplicações práticas, os elementos das máquinas estão sujeitos a desgaste por diversos mecanismos, como adesão, abrasão, desgaste por fadiga, corrosão e fricção, sendo assim, a minimização da taxa de desgaste é uma prioridade, especialmente tratando-se de componentes de pequenas dimensões.

As interações, ou mecanismos de desgaste, entre superfície e partícula, em um sistema mecânico, dependem do comportamento mecânico de ambas. Estes mecanismos podem ser influenciados pela dureza da superfície, que regula a capacidade de resistir à deformação plástica. A resposta mecânica da superfície, por sua vez, pode ser alterada pelo fenômeno de endurecimento conhecido como encruamento, resultante das deformações plásticas típicas dos processos abrasivos (4).

A resistência de um material policristalino é geralmente determinada pela relação Hall-Petch (Equação A).

$$\sigma = \sigma_0 + kd^{-1/2} \quad (A)$$

Na equação (A), σ é o limite de escoamento, d é o tamanho do grão, σ_0 e k são constantes. Nesse contexto, evidencia-se que as ligas de grãos ultrafinos possuem alta resistência devido ao tamanho excepcionalmente pequeno de grãos. A dureza, também desempenha um papel importante no comportamento de desgaste das ligas.

Uma dureza crescente geralmente melhora a resistência ao desgaste das ligas, sendo amplamente utilizada para normalizar a força na construção de mapas de mecanismos de desgaste e correlacionando-se com as propriedades mecânicas fundamentais do material, como a resistência ao escoamento e à tração (3).

Para materiais metálicos convencionais, o volume de desgaste é frequentemente considerado inversamente proporcional à dureza ou resistência do material, refletindo a tradicional relação de Archard (Equação B).

$$Q = K \frac{LN}{H} \quad (B)$$

Na equação (B), Q é a perda de volume por desgaste, N é a carga aplicada, L é a distância de deslizamento, K é o coeficiente de desgaste e H é a dureza da superfície. No caso dos materiais processados por DPS, que apresentam maior dureza e resistência devido à refinada microestrutura e tamanho de grão, espera-se maior resistência ao desgaste (3).

Visando alcançar maior compreensão sobre a influência do processamento por DPS no comportamento tribológico dos metais, o presente trabalho apresentou uma breve revisão dos processos que vem sendo utilizados, bem como as propriedades mecânicas analisadas e a sua influência no comportamento em desgaste dos metais e ligas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo propôs a realização de uma revisão bibliográfica sistemática com estrutura norteada pelo trabalho de Galvão e Ricarte (5) e Conforto, Amaral e Silva (6).

De acordo com Galvão e Ricarte (5), a revisão bibliográfica sistemática consiste em uma modalidade de pesquisa que segue protocolos específicos com o objetivo de entender e dar logicidade a um grande *corpus* documental. Nesse sentido, o presente trabalho de pesquisa está focado em sua reprodutibilidade por outros pesquisadores, buscando apresentar de forma clara as bases de dados bibliográficos que foram consultadas, as estratégias de busca empregadas em cada base, o processo de seleção dos artigos científicos, os critérios de inclusão e exclusão dos artigos e outros trabalhos científicos e o processo de análise de cada artigo. Tendo em vista que a

revisão bibliográfica sistemática não compreende uma mera introdução a uma pesquisa maior, a pesquisa seguiu o roteiro proposto por Conforto, Amaral e Silva (6).

1ª Fase: Entrada da pesquisa - Definição do problema de pesquisa a partir da lacuna encontrada na literatura sobre o comportamento ao desgaste de materiais processados por DPS, seleção das palavras-chaves e critérios de busca;

2ª Fase: Processamento das buscas - a partir do uso das ferramentas e metodologias definidas na primeira fase e refino dos resultados;

3ª Fase: Saída da pesquisa – Análise dos títulos obtidos nas buscas e cessando a pesquisa após alcançar um número satisfatório de resultados.

Além disso, alguns filtros de pesquisa foram selecionados, como a priorização dos trabalhos publicados nos últimos 10 anos que se encontram na plataforma portal periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e no acervo da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca do material para fundamentar o presente trabalho seguiu os passos registrados na Metodologia. O fluxograma ilustrado na Figura 1 representa como a busca foi conduzida e os artigos selecionados foram organizados conforme Tabela 1, com os autores e ano de publicação, tipos de materiais analisados em cada trabalho, técnica de DPS utilizada, propriedades analisadas e testes de desgaste aplicados.

O estudo publicado por Shahreza *et al.* (7), registrou análises sobre o comportamento de uma liga diluída de nióbio, com a composição química de Nb \geq 98,5 (% em peso), processado por IEAP (*Indirect Extrusion Angular Pressing* ou Prensagem Angular por Extrusão Indireta) pela rota *Bc*. O processo de deformação aumentou consideravelmente a densidade de discordâncias no nióbio, entre 4 e 12 passes, indo de aproximadamente $3 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ para cerca de $16 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$, enquanto o tamanho do grão diminuiu de 146 nm para aproximadamente 71 nm. A taxa de aumento da dureza foi bem significativa nos passes iniciais, proporcionando um aumento de 104% após 4 passes do IEAP, diminuindo ligeiramente com o aumento dos passes (aumento de 123% após doze passes) (7).

Segundo Shahreza, *et al.* (7) o aumento da dureza juntamente com a tensão está ligado ao aumento das densidades de discordâncias e à diminuição do tamanho de grão. No aspecto tribológico, foi revelado que após teste de pino sobre disco, em

condição de deslizamento a seco, o processamento IEAP aumentou a resistência ao desgaste do material, particularmente em termos de desgaste por fadiga, e reduziu a taxa de desgaste em 38%, comparado a condição inicial. No entanto, nenhuma mudança notável foi observada no coeficiente de atrito. Os mecanismos de desgaste foram desgaste abrasivo, fadiga, adesivo e desgaste oxidativo.

Figura 1. Resultado da busca na plataforma CAPES e BDTD.

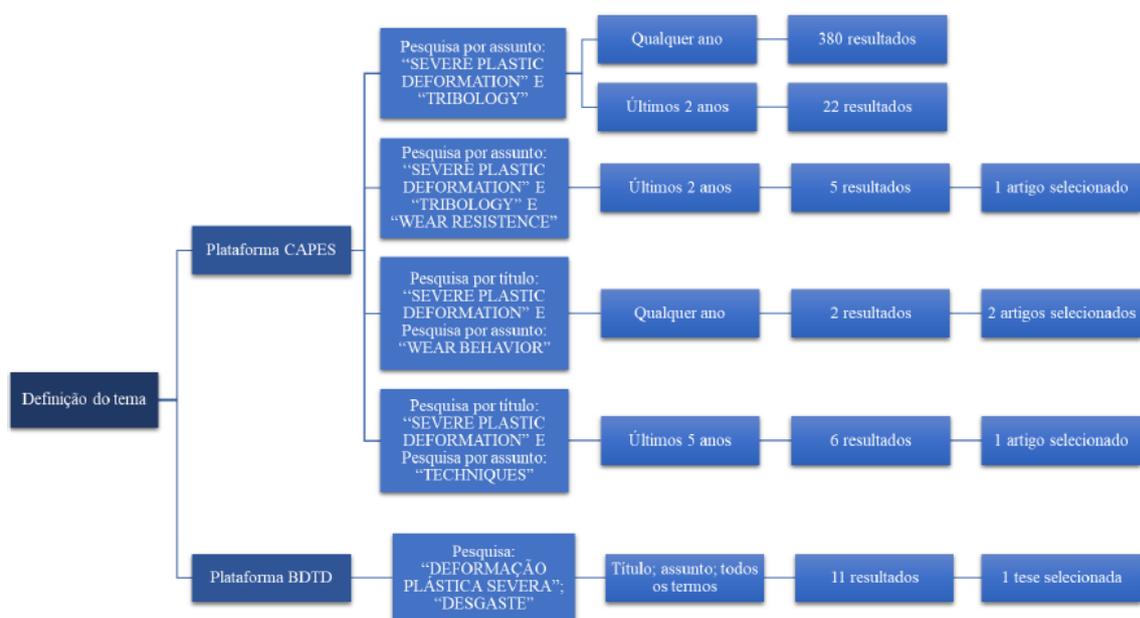


Tabela 1 Organização dos artigos e teses selecionados e os principais resultados encontrados.

Referência	Material analisado	Técnica DPS	Propriedade analisada	Teste de desgaste	Comportamento tribológico após DPS
(7)	Nióbio	Prensagem Angular por Extrusão Indireta (IEAP)	Dureza, resistência ao desgaste, ductilidade	Pino sobre disco em condições de deslizamento a seco	Melhorou
(2)	Titânio	ECAP	Taxa de desgaste; resistência ao desgaste; dureza;	Teste de atrito e desgaste oscilante à temperatura ambiente	Melhorou

continua

(8)	Cu-10Al-5Fe ferro-alumínio bronze (IAB) com transformação β	Polimento com diamante (DB)	Resistência ao desgaste, resistência a fadiga, resistência a tração, resistência ao impacto, dureza	Desgaste por deslizamento - rolos de bronze rotativos de segmento fixo de aço	Melhorou
(4)	Aços inoxidáveis: ferrítico, austenítico e ferrítico-austenítico.		Dureza, microdureza, resistência à abrasão, resistência mecânica; resistência ao desgaste, limite de escoamento, limite de ruptura	Ensaio de macroabrasão tipo roda de borracha e microabrasão tipo esfera livre.	Para a microabrasão melhorou, para a macroabrasão houve pouco efeito
(3)	Ligas de alumínio e cobre	ECAP	Microdureza, taxa de desgaste, resistência ao desgaste	Fricção e desgastes oscilantes bem como testes de arranhões	Melhorou
	Ligas de titânio	ECAP	Resistência ao desgaste	Deslizamento a seco, usando cargas e velocidades de deslizamento variáveis	Sem efeito
	Al puro comercial	ARB	Resistência ao desgaste	Lubrificação a seco e por imersão e em diferentes velocidades de rotação	Piorou
	Al-1100 e Al-5052	ARB	Dureza, resistência ao desgaste	Deslizamento a seco	Piorou
	Camada nanocristalina de cobre e de aço baixo carbono	Tratamentos de atrito mecânico de superfície (SMAT)	Dureza, resistência ao desgaste, fadiga	Não descreve	Não descreve
	Camada nanocristalina aço cromo-silício	Bombardeio supersônico de partículas finas (SFPB)	Dureza, resistência ao desgaste	Não descreve	Não descreve
	Nano-Ti	Extrusão hidrostática (HE)	Resistência ao desgaste	Contato seco de deslizamento, solução salina normal e óleo de parafina	Não descreve

La *et al.* (2) estudaram o comportamento ao desgaste do Ti (99,36% puro), processado por ECAP, rota *Bc*, por 8 passes, com matriz e peça aquecidas a 450°C.

De acordo com a pesquisa, verificou-se que a taxa de desgaste do UFG Ti é da magnitude 10^{-3} mm³/m e aumenta ligeiramente com o aumento da carga. Vale destacar que a taxa de desgaste do Ti UFG é cerca de 30% menor que a do Ti recozido, denotando que a resistência ao desgaste deste metal é melhorada pelo grão ultrafino. Ainda segundo La *et al.* (2), embora a taxa de desgaste diminua drasticamente com o aumento da velocidade de deslizamento, permanece praticamente constante para velocidades maiores que ~0,05 mm/s. Por outro lado, coeficiente de atrito é pouco afetado pelo refino de grão alcançado pelo processamento por ECAP.

De acordo com os resultados de La *et al.* (2), o Ti processado apresentou maior resistência, maior dureza e menor ductilidade em comparação ao Ti de granulação grossa, o que gerou ranhuras e delaminação de material nas superfícies desgastadas. A temperatura da superfície de atrito aumentou com a velocidade de deslizamento, aumentando também a espessura do óxido de titânio (TiO₂). Assim, a taxa de desgaste do Ti de grão ultrafino diminuiu com a velocidade de deslizamento e tendeu a um valor de estado estacionário.

Os efeitos na superfície advindos da DPS na liga Cu-10Al-5Fe foram analisados por Maximov *et al.* (8) após desgaste por deslizamento a seco. A DPS foi implementada via polimento com diamante (DB) e foram usados cinco grupos de corpos de prova: material mantido no estado de recebimento (grupo 1); recozimento a 720°C por três horas e resfriamento do forno (grupo 2); aquecimento a 920°C por uma hora e resfriamento em água (grupo 3); aquecimento a 920°C por uma hora e têmpera em água seguido de revenimento a 600°C por três horas e resfriamento ao ar (grupo 4); aquecimento a 920°C por uma hora e têmpera em água, seguido de revenimento a 300°C por três horas e resfriamento ao ar (grupo 5).

Verificou-se que a resistência à fadiga foi máxima, tanto para baixo ciclo como para megaciclo, entretanto, o atrito e o desgaste de massa no sistema tribológico apresentaram comportamento oposto. Esses resultados são revelados quando o bronze opera sob condição de flexão rotacional, combinado a têmpera em água a 920°C e revenimento a 300°C por 3 horas, seguido do processamento DB (8).

Ribeiro (4), retrata em seu estudo a influência das propriedades mecânicas no desgaste abrasivo de aços inoxidáveis ferrítico, austenítico e duplex, submetidos à deformação de 15% e 30% em relação ao estado inicial. As amostras foram recozidas e laminadas a frio por um laminador de cilindros com diâmetro 254 mm com diferentes

percentuais de trabalho a frio. Constatou-se que para testes de macroabrasão, realizados com roda de borracha, não houve alterações na taxa de desgaste abrasivo pelo trabalho a frio, mas as amostras previamente deformadas nos eventos de desgaste menores, tipo microabrasão, a deformação influenciou a resistência ao desgaste. Segundo Ribeiro (4), esse resultado é gerado pelo efeito do encruamento superficial. Para aços ferríticos e austeníticos previamente deformados há uma mudança no coeficiente de desgaste quando se trata de microabrasão, visto que as propriedades mecânicas são potencializadas pela deformação prévia a frio e influenciam diretamente o comportamento tribológico no desgaste abrasivo (9).

Ribeiro (4) observou ainda que houve aumento nos limites de escoamento e limite de ruptura dos aços 410, AISI 304 e 398 quando as amostras foram submetidas a deformação prévia a frio. O maior aumento foi verificado no aço AISI 304 (austenítico), sendo 49,6% no limite de escoamento e 24,6% para o limite de ruptura, ao ser previamente deformado em 15% em relação a sua espessura inicial e um aumento de 23,3% e 12,5% para o limite de escoamento e limite de ruptura respectivamente quando a deformação prévia foi de 30%. Os limites de resistência do aço 410 aumentaram 24,9% para o limite de escoamento com deformação de 15% e foram encontrados valores similares para uma deformação de 30%. No aço 398 os limites de escoamento e ruptura aumentaram 38,8% e 19,4% ao ser deformado em 15% e aproximadamente 17% quando foi deformado de 15% para 30% (4).

Foi verificado ainda que existe uma relação inversamente proporcional entre dureza e coeficiente de desgaste abrasivo e o aumento da dureza dos aços inoxidáveis é diretamente proporcional ao grau de deformação prévia a frio. O que pode ser explicado pela tensão residual induzida pela deformação prévia, que altera o contato entre partícula e superfície e dificulta a ação dos mecanismos de desgaste. Comparando coeficiente de desgaste abrasivo e limite de escoamento em função do grau de deformação, verifica-se esse mesmo comportamento (4). O autor afirma que a melhor resposta ao desgaste abrasivo é percebida em aços inoxidáveis previamente deformados a frio, tratando-se de microabrasão, ademais os aços inoxidáveis que possuem a presença de fase austenítica, também possuem melhor resposta ao desgaste em relação aos que possuem somente fase ferrítica (4).

Os estudos de Gao *et al.* (3) apontaram que o processamento por ECAP possui grande potencial para promover aumento da resistência ao desgaste no material. Foi observado que ligas de cobre, sob deslizamento a seco, apresentaram uma perda de

massa por desgaste reduzida com o aumento do número de passes de processamento por ECAP e do teor de Cu. Esse resultado foi afetado mais pela distância de deslizamento do que pela carga aplicada.

De acordo com Gao *et al.* (3), a liga de bronze-alumínio Cu-10Al-4Fe, também processada por ECAP, teve o coeficiente de atrito reduzido com o aumento do número de passes. Essa redução, advinda do aumento da dureza, indica que a capacidade de suporte de carga foi ampliada. Além disso, a resistência ao desgaste da liga também foi melhorada devido ao refinamento dos grãos, promovendo fortalecimento. Entretanto, outros resultados mostraram redução da resistência pelo ECAP. Esse comportamento foi observado para a liga Al-1050, por meio de teste de desgaste por deslizamento a seco. O tamanho do grão da liga foi reduzido, a dureza apresentou aumento, mas houve maior perda de massa, justificada pelo aumento da carga aplicada (3).

Existem diferentes estudos sobre as ligas de titânio e na maioria dos casos há uma melhora na resistência ao desgaste após ECAP. Assim como descrito por La *et al.* (2), também houve redução da taxa de desgaste no Ti processado por ECAP. Gao *et al.* (3) realizaram testes com Ti de pureza comercial, avaliado por deslizamento a seco, foi visto que embora não tenha sido identificadas mudanças no coeficiente de atrito, a taxa de desgaste do Ti de grão ultrafino foi aproximadamente 30% menor. O comportamento do Ti nanoestruturado processado por HPT também foi avaliado, apresentando resistência ao desgaste bem maior nos testes de desgaste feitos a seco e a úmido. A amostra de Ti nanoestruturado processada apresentava um tamanho de grão de 5 a 10 nm e a amostra não processada e recozida tinha 10 e 50 nm. Houve menos deformação e detritos na superfície da amostra de Ti nanoestruturado processado por HPT em comparação com o Ti não tratado e recozido, indicando ação leve do mecanismo de abrasão (3).

O mesmo estudo apresentou também alguns resultados de materiais que tiveram o comportamento de resistência ao desgaste reduzido por ARB e HPT, como é o caso do alumínio puro comercial. As amostras de Al-1050, mostraram uma taxa de desgaste maior, tanto após ARB, quanto HPT e no caso dessa última, a perda de massa aumentou com o número de rotações. Durante o estágio inicial houve atuação de um mecanismo severo de desgaste, gerando fragmentos grandes. Posteriormente, o desgaste foi dominado por oxidação, produzindo partículas finas de óxido. As ligas Al-100 e Al-5052 processadas por ARB apresentaram dureza e resistência maior,

porém a taxa de desgaste foi superior em relação a liga não processada. Tratando-se da liga Al-5052, o resultado foi devido a menor capacidade de endurecimento por deformação. Resultados semelhantes foram verificados nas ligas Al-5083 e Al-6061, também processadas por ARB, em que o aumento da dureza não foi capaz de melhorar a resistência ao desgaste. Segundo os autores, é difícil modelar o processo e os mecanismos de desgaste com precisão devido à complexidade dos materiais processados por DPS (3).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa mostrou que as propriedades mecânicas são potencializadas pela deformação e influenciam diretamente o comportamento tribológico nos ensaios de desgaste. As alterações nas propriedades ocorrem, pois, a DPS gera microestrutura de grãos ultrafinos nos materiais, promovendo alta resistência e boa ductilidade. Em diferentes estudos foi observado que ao aumentar o número de passes, o tamanho médio de grão reduz e a dureza aumenta. Dependendo do tipo de processamento e rota utilizada (no caso do ECAP), há aumento significativo nos limites de escoamento e resistência mecânica em determinado passe, podendo ser logo no primeiro, caso ocorra refino acentuado de um grande volume de grãos já no primeiro passe. Foi verificado também que em alguns casos pode haver redução da resistência mecânica ao aumentar os passes e aumento do alongamento, a explicação, em um dos estudos, está relacionada aos mecanismos de recuperação dinâmica.

Os objetivos do estudo foram alcançados, visto que foi possível identificar os principais estudos e parâmetros utilizados para caracterizar o comportamento ao desgaste de metais e ligas processados por deformação plástica severa, compreender como a evolução microestrutural e comportamento mecânico afetam o comportamento tribológico dos metais e ligas. Ademais, foram identificados os principais ensaios utilizados para avaliar a resistência ao desgaste de materiais processados por DPS, bem como os mecanismos de desgaste.

As técnicas de processamentos mais presentes foram ECAP e ARB e os mecanismos de desgaste mais citados foram abrasão, adesão e oxidativo. Tratando-se da resistência ao desgaste, na grande maioria dos casos o processamento aumentou a resistência e em algumas situações o aumento do número de passes foi insignificante para essa propriedade. Contrariando a maior parte das pesquisas,

houve um caso em que a resistência ao desgaste foi reduzida pelo processamento ARB e HPT para uma liga de alumínio. Em diferentes trabalhos foi observado que as alterações no coeficiente de atrito são comumente insignificantes ou inexistentes, mas em um dos estudos foi observada uma redução do coeficiente com o aumento do número de passes. Constatou-se que as respostas dos mesmos materiais nos testes de desgaste serão distintas para ensaios de microabrasão ou macroabrasão.

Foi possível perceber que o acervo de estudos correlacionando processos DPS e a tribologia é limitado e recente, o que pode ser considerada uma dificuldade para uma abordagem ampla com diferentes comparações. Entretanto, observou-se que as pesquisas estão em avanço, expondo um interesse crescente no tema, a fim de prever o comportamento dos metais e ligas nos sistemas que serão inseridos, além de adaptar os processos, as estruturas para que se ganhe mais produtividade e durabilidade.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada pela FAPEMIG e pela Fundação Gorceix.

REFERÊNCIAS

1. LANGDON, T. G. Processing of ultrafine-grained materials using severe plastic deformation: Potential for achieving exceptional properties. *REVISTA DE METALURGIA*. 2008;44(6):556–64. DOI: 10.3989/revmetalm.0838
2. LA, P.; MA, J.; ZHU, Y.T, YANG, J., LIU, W., XUE, Q., VALIEV, R. Z. Dry-sliding tribological properties of ultrafine-grained Ti prepared by severe plastic deformation. *ACTA MATERIALIA*. 2005;53(19):5167–73.
3. GAO, N.; WANG, C. T, WOOD, R. J. K, LANGDON, T. G. Tribological properties of ultrafine-grained materials processed by severe plastic deformation. *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE*. 2012;47(12):4779–97. DOI: 10.1007/s10853-011-6231-z
4. RIBEIRO, R. V. Efeito da deformação plástica prévia na resistência ao desgaste abrasivo de aços inoxidáveis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia; Uberlândia, 2020.
5. GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Systematic literature review: concept, production and publication. *LOGEION FILOS DA INFORMAÇÃO*. 2019;6(1):57–73.
6. CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolviemnto de Produto - CNGDP 2011 [Internet]. Porto Alegre; 2011. p. 1–12. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cbgdp2011/downloads/9149.pdf>
7. SHAHREZA, B. O, HERNANDEZ-RODRIGUEZ, M. A. L.; GARCIA-SANCHEZ, E., KOMMEL, L.; SERGEJEV, F.; SALINAS-RODRÍGUEZ, A.; HECZEL, A.; GUBICZA, J. The impact of microstructural refinement on the tribological behavior of niobium processed by Indirect Extrusion Angular Pressing. *TRIBOLOGY INTERNATIONAL*. 2022;167.
8. MAXIMOV, J.; DUNCHEVA, G.; ANCHEV, A.; DUNCHEV, V.; ARGIROV, Y.; TODOROV, V.;

MECHKAROVA, T. Effects of Heat Treatment and Severe Surface Plastic Deformation on Mechanical Characteristics, Fatigue, and Wear of Cu-10Al-5Fe Bronze. MATERIALS (Basel). 2022;15(24). DOI: 10.3390/ma15248905

9. DE MELLO, J. D. B.; LABIAPARI, W. S, ARDILA, M. A. N, OLIVEIRA, S. A. G.; COSTA, H. L. Strain Hardening: Can it Affect Abrasion Resistance?.TRIBOLOGY LETTERS. 2017;65(2). DOI: 10.1007/s11249-017-0850-8

EFFECT OF SEVERE PLASTIC DEFORMATION PROCESSING ON THE TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF METALS AND ALLOYS: A SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT

There is a consensus in the literature that grain refinement at submicron level and the high density of dislocations achieved by severe plastic deformation (DPS) processes result in superior mechanical properties in relation to those produced by conventional forming processes. This fact can maximize the use of DPS-processed metals in structural and non-structural applications. To this end, an important property is wear resistance, strongly influenced by microstructural parameters. In this context, the present work proposed, based on literature data, the search for greater understanding of the influence of the severe plastic deformation process on the tribological behavior of metals and alloys. The methodology used was based on a systematic bibliographic review, following a script with three search phases. Work from the CAPES Portal and the collection of the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations were used. The results showed that the most common processing techniques were ECAP and ARB and the most cited wear mechanisms were abrasion, adhesion and oxidative. Furthermore, it was possible to infer that the tribological behavior was, in most studies, better after DPS, but there are cases in which the material showed worsening.

Keywords: Severe Plastic Deformation; Microstructure; Mechanical Properties; Wear.