



**CONFORME SOLICITAÇÃO DO AUTOR, ESTA
PRODUÇÃO INTELECTUAL POSSUI
RESTRIÇÃO DE ACESSO**

**CAXIAS DO SUL
2018**



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS

**Efeitos da adição de B, Y_2O_3 e/ou WS_2 na microestrutura e no
comportamento tribológico do aço inoxidável austenítico
produzido por SPS**

Francisco Lanferdini Serafini

Caxias do Sul

Junho de 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

S481e Serafini, Francisco Lanferdini

Efeitos da adição de B, Y₂O₃ e/ou WS₂ na microestrutura e no comportamento tribológico do aço inoxidável austenítico produzido por SPS [recurso eletrônico] / Francisco Lanferdini Serafini. – 2021.

Dados eletrônicos.

Tese (Doutorado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, 2021.

Orientação: Maria Cristina Moré Farias.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Aço inoxidável austenítico. 2. Sinterização. 3. Aditivos. 4. Microestrutura. 5. Tribologia. I. Farias, Maria Cristina Moré, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 691.714

“Efeitos da adição de B, Y₂O₃ e/ou WS₂ na microestrutura e no comportamento tribológico do aço inoxidável austenítico produzido por SPS”

Francisco Lanferdini Serafini

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais da Universidade de Caxias do Sul, visando à obtenção do grau de Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais, sob a orientação acadêmica da Prof^a. Dr^a. María Cristina Moré Farias.

Caxias do Sul, 22 de junho de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. María Cristina Moré Farias (orientadora)
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Salete Martins Alves
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Izabel Fernanda Machado
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Cláudio Antônio Perottoni
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Jadna Catafesta
Universidade de Caxias do Sul

Dr. Marcia Marie Maru de Moraes
Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

DEDICATÓRIA

A todos que confiaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai Luiz, à minha mãe Ana Ires e à minha irmã Ana Luísa por toda a confiança depositada em mim. Os valores que me foram transmitidos a partir de muito amor, puxões de orelha, incentivo e implicâncias me trouxeram até aqui.

À Michele por todo o companheirismo e cumplicidade. Teu amor, tua paciência e teu sorriso foram, são e serão grandes motivadores.

Aos meus inúmeros e estimados amigos por todos os momentos de diversão e pelas palavras de apoio.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. María Cristina Moré Farias, ou, simplesmente, Cris, por todo o tempo dedicado a mim e ao trabalho e por ser um excelente exemplo de caráter.

Aos corpos docente e discente e aos bolsistas de iniciação científica, em especial a estudante Thaysa Luza, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais por contribuir na qualificação da minha formação acadêmica e profissional e às secretárias do Programa Margarida Borges e Karine Zanotto pelos inúmeros favores.

Aos professores e aos discentes do Laboratório de Fenômenos de Superfície, da Universidade de São Paulo, em especial a professora Izabel Fernanda Machado e o discente (e amigo) Michell Felipe Cano Ordoñez, pelo imenso apoio no desenvolvimento do trabalho.

À Universidade de Caxias do Sul e a Universidade de São Paulo por disponibilizarem recursos, instalações e equipamentos para a realização deste trabalho de doutorado. Nestas instituições, pude contar com do apoio do estudante de doutorado Francisco Briones e dos profissionais Israel Krindges, José Adair de Oliveira Giubel, Letícia Bin, Matheus Tuzzin, Rodrigo Barbieri, Ângelo Pradella Titton, Maira Finkle e Miltiele Ferreira Avila.

Às agências de fomento que permitem o suporte financeiro da pesquisa nacional, em especial a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível pelo suporte financeiro e concessão da bolsa de mestrado.

E a todos os demais que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“Disciplina é liberdade”

RESUMO

Como alternativa para atender a demanda de materiais avançados para aplicações que visam diminuir consumo de energia e deterioração de componentes por fenômenos tribológicos como atrito e desgaste, pode-se utilizar materiais a base de aço inoxidável austenítico. Dessa forma, os materiais deverão ter propriedades que os permitam ser utilizados em aplicações tribológicas. Para isso, os aços inoxidáveis austeníticos podem ter adicionados a sua composição aditivos e reforços por uso de processamentos via sinterização. Esses aditivos e reforços possuem papéis diferentes: os agentes de sinterização, como o boro (B), visam aumentar a densificação; os reforços mecânicos, como o óxido de ítrio (Y_2O_3), visam aprimorar as propriedades mecânicas; e os lubrificantes sólidos, como dissulfeto de tungstênio (WS_2), visam aumentar a lubrificidade do material. Portanto, o objetivo desse trabalho é avaliar o efeito da adição de B, Y_2O_3 e WS_2 nas propriedades tribológicas dos aços inoxidáveis austeníticos a base de 316L produzidos por sinterização por plasma pulsado. Para melhor compreender o comportamento tribológico do material, um estudo detalhado visou identificar as fases cristalinas dos materiais, via técnicas como MEV, EDS e DRX e por estudo termodinâmico, para compreender a microestrutura do material e correlacioná-la com os efeitos de atrito e desgaste. Demais análises como densidade e dureza também corroboraram com o estudo. A análise microestrutural revelou que a adição de B e de WS_2 favoreceram o fechamento de poros e o aumento da dureza do material. Por sua vez, a adição de Y_2O_3 propiciou aumento na porosidade e diminuição da dureza. Além disso, foi possível verificar a formação de novas fases durante a sinterização, em que os elementos da matriz austenítica reagiram com os elementos dos aditivos e reforços. Essas microestruturas não foram capazes de diminuir os níveis de atrito dos materiais, o qual manteve um coeficiente de atrito superior a 0,6. Por sua vez, o nível de desgaste variou conforme a microestrutura e demais propriedades dos materiais. O B e o WS_2 tendem a diminuir e a Y_2O_3 tende a aumentar a taxa de desgaste específica. Os níveis de atrito foram regidos principalmente por mecanismos de adesão e os níveis de desgaste, por mecanismos por adesão, por abrasão e oxidativo.

Palavras-chave: **aço inoxidável austenítico, sinterização, aditivos, microestrutura, tribologia.**

ABSTRACT

Austenitic stainless steels are alternatives to meet the demand for advanced materials for applications that aim to reduce energy consumption and deterioration of components due to tribological phenomena such as friction and wear. For this, these steels may have added additives and reinforcements to their composition through the use of sintering processes. These additives and reinforcements have different roles: sintering agents, such as boron (B), aim to increase densification; mechanical reinforcements, such as yttrium oxide (Y_2O_3), aim to improve mechanical properties; and solid lubricants, such as tungsten disulfide (WS_2), aim to increase the lubricity of the material. Thus, the materials may have properties that allow them to be used in tribological applications. Therefore, the objective of this work is to evaluate the effect of the addition of B, Y_2O_3 , and WS_2 on the tribological properties of 316L austenitic stainless steels produced by spark plasma sintering. To better understand the tribological behavior of the material, a detailed study aimed to identify the crystalline phases of the materials, using techniques such as SEM, EDS, and DRX and by thermodynamic study, to understand the microstructure of the material and correlate it with the effects of friction and wear. Other analyzes such as density and hardness also corroborated with the study. Microstructural analysis revealed that the addition of B and WS_2 favored the closure of pores and increased the hardness of the material. In turn, the addition of Y_2O_3 provided an increase in porosity and a decrease in hardness. In addition, it was possible to verify the formation of new phases during sintering, in which the elements of the austenitic matrix reacted with the elements of the additives and reinforcements. These microstructures were not able to decrease the levels of the materials, which maintained a friction coefficient higher than 0.6. In turn, the level of wear varied according to the microstructure and other material properties. B and WS_2 tend to decrease and Y_2O_3 tends to increase the specific wear rate. The friction levels were governed mainly by adhesion mechanisms and the wear levels, by adhesion, abrasion, and oxidative mechanisms.

Keywords: austenitic stainless steel, sintering, additives, microstructure, tribology