Thesis Title Effects of Nanoparticle Additives on Structures, Properties and Tribological Behaviour of Thermal Sprayed Alumina-Based Nanocomposite Coatings

Author Miss Nuchjira Dejang

Degree Doctor of Philosophy (Materials Science)

Thesis Advisory Committee

Asst. Prof. Dr. Sukanda Jiansirisomboon	Advisor
Asst. Prof. Dr. Sittichai Wirojanupatump	Co-advisor
Asst. Prof. Dr. Anucha Watcharapasorn	Co-advisor

Abstract

Plasma sprayed ceramic coatings are widely used in many industrial applications for wear resistance. Objective of this study is to examine the effects of nano-sized additives such as TiO_2, ZrO_2 and MgO (with various content of 3, 13 and 20 wt%) in Al_2O_3-based coatings deposited onto mild steel substrates. Effects of type and content of nano-sized additives on microstructure, phase, mechanical properties and tribology of the Al_2O_3-based coatings have been investigated. X-ray diffraction result presented that the phase structure of Al_2O_3 matrix which comprised mainly of metastable γ-Al_2O_3 and stable α-Al_2O_3. Phases of nano-sized oxide powders were also found to be changed after being plasma-sprayed; for examples, anatase-TiO_2 transformed to rutie-TiO_2, monoclinic-ZrO_2 transformed to tetragonal-ZrO_2 for Al_2O_3/TiO_2 and Al_2O_3/ZrO_2 coatings, respectively. However, cubic-MgO phase

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

presented in the powder was unchanged after being sprayed. Apart from this, Al_2O_3/TiO_2 and Al_2O_3/MgO composite coatings also contained new phase of Al_2TiO_5 and Al_2MgO_4, respectively. Microstructure of the composite coatings showed high density and excellent distribution of oxide lamella. Value of percentage porosity of all composite coatings were rather similar and found Al_2O_3 to be in the range of 12-18%. ZrO_2 addition was found to increase hardness, while reduction of hardness values were observed for TiO_2 and MgO additions. The addition of TiO_2 and ZrO_2 nano-particles could improve fracture toughness, but the MgO addition could not. Friction coefficient of Al_2O_3/ZrO_2 and Al_2O_3/MgO coating systems were similar and found to decrease over 3 times with only 3wt% addition. The friction coefficient values were found to be ~0.1-0.2. An addition of TiO_2 nano-particles into Al_2O_3 coating showed only small drop of friction coefficient when compared to that of pure Al_2O_3 coating. Result of sliding wear test showed good correlation between the friction coefficient and wear rate. The Al_2O_3/ZrO_2 coating had highest wear rate compared to the other systems, but abrasive wear rate of this system was found to be minimum. The Al_2O_3/13wt%MgO presented the lowest friction coefficient and highest sliding wear resistance. For the abrasive wear, the Al_2O_3/TiO_2 coating showed higher abrasive wear resistance than the other coatings. Moreover, nano-particles addition regardless of its type could not reduce abrasive wear rate. This could be a result of rather sharp particles which caused harsh wear behavior. The effect of nano-particle addition on abrasive wear thus could not be classified theoretically.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ผลของตัวเติมอนุภาคนาโนต่อโครงสร้าง สมบัติ และพฤติกรรมไทรโบโลจีของผิวพ่นเคลือบด้วยความร้อนนาโนคอมโพสิตที่มีอะลูมินาเป็นหลัก

ผู้เขียน นางสาวนุชจิรา ดีแจ้ง

ปริญญา วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วัสดุศาสตร์)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกานดา เจียรศิริสมบูรณ์	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย วิโรจนุปถัมภ์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา วัชระภาสร	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

ผิวเคลือบเซรามิกที่เตรียมด้วยการพ่นเคลือบแบบพลาสมาถูกใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมสำหรับงานด้านการสึกหรอในอุตสาหกรรม จุดประสงค์การศึกษานี้เพื่อตรวจสอบผลการสารเติมแต่งขนาดนาโน เช่น TiO_2, ZrO_2 และ MgO (ที่ปริมาณการเติม 3, 13 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ในผิวเคลือบที่มีอะลูมินาเป็นหลักที่ถูกตกสะสมสร้างลงบนซับสเตรทเหล็กอ่อน อิทธิพลของชนิดและปริมาณการเติมแต่งขนาดนาโนที่มีผลต่อโครงสร้างทางจุลภาค เฟส สมบัติเชิงกล และไทรโบโลจีของผิวเคลือบอะลูมินาจะถูกตรวจสอบ ผลการตรวจสอบด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ปรากฏเฟสหลักของซึ่งประกอบด้วยเฟสกึ่งเสถียร γ-Al_2O_3 และเฟสเสถียร α-Al_2O_3 เฟสของออกไซด์นาโนถูกพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงหลังถูกพ่นแบบพลาสมาด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น อะนาเทส-TiO_2 เปลี่ยนเป็นรูไท-TiO_2 ส่วนมอนอคลินิก-ZrO_2 เปลี่ยนเป็นเตตระกอนอล-ZrO_2 สำหรับผิวเคลือบ Al_2O_3/TiO_2 และ Al_2O_3/ZrO_2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เฟสคิวบิก-MgO ที่ปรากฏในผงยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากถูกพ่นแล้ว นอกจากนี้ผิวเคลือบคอมโพสิต Al_2O_2/TiO_2 และ Al_2O_3/MgO ยังปรากฏเฟสใหม่ของ Al_2TiO_5 และ Al_2MgO_4 อีกด้วย โครงสร้างทางจุลภาคของคอมโพสิตแสดงให้เห็นโครงสร้างที่มีความหนาแน่นสูงและการกระจายตัวได้ดีของเฟสออกไซด์ ค่าความพรุนของผิวเคลือบทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 12-18% ผลการเติม ZrO_2 ส่งผลต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเพิ่มค่าความแข็งของผิวเคลือบ ในขณะที่ค่าความแข็งลดลงเมื่อเติม TiO_2 และ MgO ส่วนการเติม TiO_2 และ ZrO_2 สามารถปรับปรุงค่าต้านทานการแตก แต่การเติม MgO ไม่สามารถปรับปรุงค่าดังกล่าวได้ สัมประสิทธิ์การเสียดทานของผิวเคลือบ Al_2O_3/ZrO_2 และ Al_2O_3/MgO คล้ายคลึงกันและลดลงมากกว่า 3 เท่า ที่การเติมอนุภาคนาโนเพียงร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามปริมาณการเติมอนุภาคนาโนไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน ซึ่งพบว่ามีค่าประมาณ 0.1-0.2 การเติมอนุภาคนาโน TiO_2 ลงในผิวเคลือบ Al_2O_3 ลดค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของผิวเคลือบ Al_2O_3 บริสุทธิ์ ผลของการทดสอบการสึกหรอแบบไถล พบว่าสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน กล่าวคือ อัตราการสึกหรอลดลงตามค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานที่ลดลง โดยพบว่าผิวเคลือบ Al_2O_3/ZrO_2 มีค่าอัตราการสึกหรอสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผิวเคลือบระบบอื่นๆ ในทางกลับกันอัตราการสึกหรอแบบขัดถู ของผิวเคลือบนี้พบว่ามีค่าต่ำสุด นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมอนุภาคนาโนไม่ว่าจะเป็นชนิดใดไม่ช่วยลดการสึกหรอแบบขัดถูทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับอนุภาคขัดสีที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมการสึกหรอแบบรุนแรง จึงไม่สามารถแสดงผลของการเติมอนุภาคขนาดนาโนได้อย่างชัดเจนในทางทฤษฎี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved