**เนื้อหางานวิจัย**

เนื่องจากในปัจจุบันโลหะผสมพิเศษนิกเกิลเกรด IN-738 และ GTD-111 ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเป็นวัสดุสำหรับใช้งานที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามการใช้งานของโลหะผสมพิเศษนิกเกิลยังคงจำกัดด้วยความสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชัน งานวิจัยนี้จึงทดลองเคลือบผิวเพื่อเพิ่มความต้านทานการเกิดออกซิเดชันโดยวิธีอะลูมิไนซิงแบบ pack aluminizing และ powder liquid coating จากนั้นได้ทำการทดลองอบเป็นเนื้อเดียวเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และจำลองการใช้งานเพื่อทดสอบความต้านทานการเกิดออกซิเดชัน งานวิจัยนี้ใช้โลหะเป็นโลหะพื้นและใช้ผงอะลูมิเนียมในการเคลือบผิว หลังจากเคลือบผิวชิ้นงานถูกตรวจสอบเชิงคุณภาพด้วยเทคนิค Glancing Incident X-ray Diffraction(GIXD) Energy Dispersive Spectrometer(EDS) และ Electron Probe Micro-Analysis(EPMA) และได้ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด การตรวจสอบความสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันทำโดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักชิ้นงาน

ในการเคลือบผิวด้วยวิธี pack aluminizing ของโลหะผสมพิเศษนิกเกิลทั้งสองชนิด พบว่าการแพร่ของอะลูมิเนียมเข้าสู่วัสดุพื้นเป็นกลไกควบคุมในการเกิดชั้นเคลือบเมื่อใช้อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสมีการแพร่ของนิกเกิลออกสู่ผิวชิ้นงานร่วมด้วย ชั้นเคลือบเกิดจากการตกผลึกของสารประกอบนิกเกิลอะลูมิไนด์ เฟสที่เกิดหลักในชั้นเคลือบ คือ เฟส $Ni_2Al_3$ โดยมีเฟส $NiAl_3$ และ $AlCr_2$ตกผลึกร่วมอยู่ด้วย การเพิ่มอุณหภูมินอกจากส่งผลถึงกลไกการเกิดชั้นเคลือบแล้วยังส่งผลถึงการเพิ่มอัตราการแพร่ทำให้อัตราการโตของชั้นเคลือบเพิ่มสูงขึ้นเป็นจะมีค่าเท่ากับ 1071.05, 4328.5 และ 24527 $\mu m^2/h$ ในโลหะผสมพิเศษนิกเกิลชนิด IN738 เมื่อใช้อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียสตามลำดับ สำหรับโลหะผสม GTD111 มีอัตราการโตของชั้นเคลือบต่ำกว่า IN738 เนื่องจากส่วนผสมที่แตกต่างกัน การแพร่เป็นกระบวนการที่อาศัยเวลาเป็นกลไกควบคุมการเกิดชั้นเคลือบ ทำให้ชั้นเคลือบที่ได้มีความหนาเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ ในงานวิจัยนี้ ชั้นเคลือบที่ได้มีความหนาตั้งแต่ 50 ถึง 400 ไมโครเมตร ตามสภาวะของการเคลือบ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบในงานวิจัยนี้คือ การเคลือบที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาการเคลือบไม่เกิน 4 ชั่วโมง และใช้อัตราการส่วนผสมของอะลูมิเนียมต่ออะลูมินาและแอมโมเนียมคลอไรด์เป็น 5 ต่อ 80 ต่อ 15 โดยน้ำหนัก

ในการเคลือบผิวด้วยวิธี powder liquid coating ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสมีการแพร่ของนิกเกิลออกสู่ผิวชิ้นงาน โดยละลายเข้าสู่อะลูมิเนียมหลอมเหลว และเกิดการตกผลึกเป็นชั้นเคลือบที่รอยต่อของโลหะพื้นกับอะลูมิเนียมเหลว จากนั้นนิกเกิลจะแพร่ผ่านชั้นเคลือบเข้าสู่อะลูมิเนียมเหลวและเกิดชั้นเคลือบ งานวิจัยนี้พบว่า การเปียกของอะลูมิเนียมบนนิกเกิลเป็นสิ่งควบคุมลักษณะของชั้นเคลือบ การเกิดชั้นเคลือบที่สม่ำเสมอไปสามารถเกิดขึ้นได้โดยการเลือกใช้ผงอะลูมิเนียมขนาดเล็กและเลือกอัตราส่วนในการผสมกะลผงอะลูมินาเพื่อให้เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจึงเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการนี้ จากงานวิจัยนี้พบว่าการใช้ผงขนาดเล็ก (3 ไมโครเมตร) ให้ชั้นเคลือบที่สม่ำเสมอ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการเคลือบ คือ อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เวลา 2.25 ชั่วโมงและใช้ผงอะลูมิเนียมขนาด 3 ไมโครเมตรโดยมีอัตราส่วนของผงอะลูมิเนียมต่ออะลูมินา 7 ต่อ 3 โดยน้ำหนัก ชั้นเคลือบที่ได้จากการเคลือบด้วยวิธี powder liquid coating ประกอบด้วยเฟส $Ni_2Al_3$ เป็นหลัก โดยมีเฟส $NiAl_3$ และ $AlCr_2$ ตกผลึก เช่นเดียวกับชั้นเคลือบที่ได้จากวิธี pack aluminizing ทั้งในโลหะผสมพิเศษนิกเกิลชนิด IN738 และ GTD111

เมื่อชิ้นงานผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส จะเกิดการแพร่ของอะลูมิเนียมจากชั้นเคลือบเข้าสู่เนื้อพื้นโลหะผสมนิกเกิลทำให้สารประกอบ $Ni_2Al_3$ แตกตัวเป็นสารประกอบ NiAl ซึ่งมีความต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ดี ในขั้นตอนการอบเป็นเนื้อเดียวอาศัยกลไกการแพร่ดังนั้น เวลาจึงส่งผลต่อความสมบูรณ์ของการอบเป็นเนื้อเดียว ในการทดลองนี้พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบเป็นเนื้อเดียวที่เหมาะสมคือ 10 ชั่วโมง

ในการจำลองการใช้งานพบว่าการเคลือบผิวและการเคลือบผิวตามด้วยการอบเป็นเนื้อเดียวเป็นกระบวนการที่สามารถเพิ่มความต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้เป็นอย่างดี โดยพบว่า น้ำหนักของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวและการเคลือบผิวตามด้วยการอบเป็นเนื้อเดียว มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากการเกิดขึ้นของฟิล์มออกไซด์ หลังจากผ่านการทดสอบออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 ชั่วโมง แต่สำหรับชิ้นงานที่ไม่ผ่านการเคลือบพบว่ามีน้ำหนักลดลงอย่างมากเมื่อผ่านการทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากมีการหลุดร่อนของชั้นฟิล์มออกไซด์ที่เกิดบริเวณ

ผิวชิ้นงาน เมื่อตรวจสอบชนิดของฟิล์มออกไซด์ที่เกิดขึ้นพบว่าในชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวและการเคลือบผิวตามด้วยการอบเป็นเนื้อเดียวเป็นฟิล์มของอะลูมิเนียมออกไซด์ซึ่งมีความหนาแน่นสูงและป้องกันการแพร่ของออกซิเจนได้ดี จึงเพิ่มความต้านทานการเกิดออกซิเดชัน การเกิดฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์นี้เกิดจากปฏิกริยาของอะลูมิเนียมในชั้นเคลือบกับออกซิเจนในบรรยากาศ แต่สำหรับชิ้นงานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวพบว่า ฟิล์มออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นฟิล์มนิกเกิลออกไซด์จึงไม่สามารถยับยั้งการแพร่ของออกซิเจนและไม่สามารถช่วยเพิ่มความต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้