



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>**การลดของเสียคราบขาวบนแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นในกระบวนการอัดร้อน :
กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์****Reduction of adhesive stain defect in flexible printed circuit board on hot pressing process:
a case study of electronic component factory**

สกุลแก้ว ศรีสังข์ และ สมชาย พัวจินดาเนตร*

Sakulkaew Srisang and Somchai Puajindanetr*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 10330.

Received July 2013

Accepted December 2013

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียคราบขาวบนแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นในกระบวนการอัดร้อน ดำเนินกระบวนการผลิตเป็นลักษณะแผ่นงาน โดยหนึ่งแผ่นงานมีชิ้นงานทั้งสิ้น 96 ชิ้นงานพบชิ้นงานในขั้นตอนการเตรียมป้อนแผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อนมีอุณหภูมิสูงเท่ากับ 71.2 องศาเซลเซียสซึ่งเกินค่าจุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจึงเกิดการระเหยของกาวในชั้นฟิล์มของชิ้นงานก่อนเข้าสู่ช่วงการอัดร้อน และขั้นตอนขณะที่แผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อน แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือช่วงเวลากการอบร้อนและช่วงเวลากการอัดร้อน โดยช่วงการอบร้อนพบแรงกดทับของแผ่นอัดร้อนที่ไม่เหมาะสมกระทบงานจึงทำให้เกิดคราบขาวเปื้อนในชั้นฟิล์มของชิ้นงานก่อนเข้าสู่ช่วงการอัดร้อน และในช่วงเวลากการอัดร้อนพบแผ่นอัดร้อนมีพื้นผิวระนาบไม่สม่ำเสมอส่งผลให้มีแรงกดทับบนแผ่นงานไม่เท่ากัน ทำให้กาวในชั้นฟิล์มของชิ้นงานได้ รับการอัดร้อนที่ไม่สมบูรณ์ จึงทำการวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของแรงกดทับบนผิวระนาบแผ่นอัดร้อนด้วยแผ่นทดสอบแรงกดทับและประเมินผลค่าความเข้มสี เปรียบเทียบกับความเข้มสีมาตรฐานด้วยสมการถดถอยพหุคูณที่สร้างขึ้นระหว่างค่าความเข้มสีมาตรฐานกับผลการวัดค่าสี RGB โดยใช้โปรแกรมแต่งภาพ (Photoshop) และเปรียบเทียบค่าความเข้มสีกับจำนวนของเสียเพื่อหาค่าความเข้มสีที่เหมาะสมกำหนดเป็นดัชนีชี้วัดความเรียบสม่ำเสมอจากแรงกดทับที่กระทำบนชิ้นงาน โดยมีวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มพื้นที่การระบายความร้อนบริเวณชิ้นงานที่มีอุณหภูมิสูงเกินค่าจุดเปลี่ยนสถานะ ปรับปรุงระยะของแผ่นอัดร้อนให้อยู่ในช่วงที่กำหนด และจัดระนาบแผ่นอัดร้อนให้มีค่าความเข้มสีอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมพบผลลัพธ์จากการปรับปรุง คือสามารถลดของเสียคราบขาวจากร้อยละ 24.4 เหลือเพียงร้อยละ 7.2 ของจำนวนชิ้นงานที่ทำการศึกษาทั้งหมด

สำคัญ : กระบวนการอัดร้อน คราบขาว แรงกดทับ**Abstract**

The objective of this research is a reduction of an adhesive stain defect in flexible printed circuit board in hot pressing process, the electronic factory. The manufacturing have been processing by sheet type of products with ninety-six pieces of flexible printed circuit boards. Causes of the problem include the before and internal hot pressing process. In process beginning times, the most right row of products between the cooling plate

*Corresponding author.

Email address: fiespj@eng.chula.ac.th

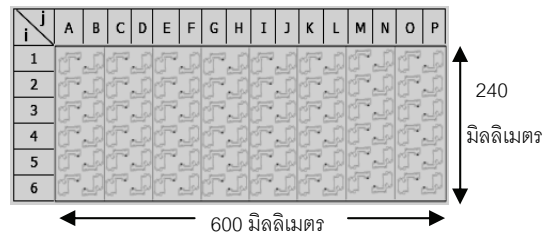
and the hot pressing machine has temperature 71.2°C that is higher than glass transition temperature (T_g) 60°C . Those products' temperature lead to evaporate a polyimide adhesive before hot pressing process beginning. The internal hot pressing process include the preheat times and the pressure time. In the preheat time the problem is a gap between lower and upper plate, was under specification (Under 1 mm) and leaded to adhesive polyimide stain. In the actuality this time requires temperature and low pressure that mean a gap within 1 – 2 mm (between lower and upper plate). In pressure times the hot pressing plate surface is not flat and products are pressed by insufficient force that it lead to generate an adhesive stain on flexible printed circuit boards. That force is measured by the pre-scale paper and a result, RGB color, is provided. And then color density (From standard color sample) and RGB color (From pre-scale paper) is found out the relation by Photoshop program and multiple regression theory using. The formula is applied to compare with defect so as to find out the suitable color density (Defects reducing). The solving solutions is provided including the gap reduced adjustment between cooling plate and hot pressing machine before hot pressing process, the plate adjustment within specification in the preheat time and the pressing plate polishing in the pressure time. Results of study and solving are provide defect reduction from 24.4 percentage to 7.2 percentage of total study product.

Keywords : Hot pressing process, Adhesive stain, Pressure

1. บทนำ

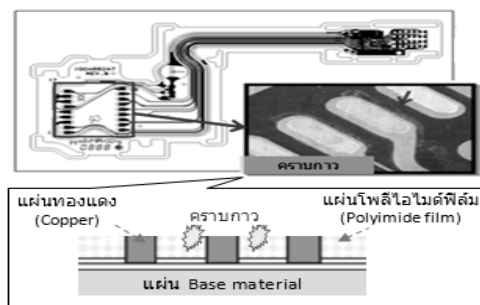
เนื่องจากอัตราการแข่งขันที่สูงในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงเป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยให้ธุรกิจสามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ งานวิจัยนี้เป็นการลดของเสียคราบขาวบนแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นลักษณะการผลิตแบบแผ่นงาน หากเกิดของเสียบนแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นเพียง 1 ชิ้นงานจะทำให้กระบวนการถัดไปได้รับผลิตภัณฑ์ที่ดีและเสียรวมกันแผ่นงาน เป็นการสิ้นเปลืองวัสดุที่ต้องนำมาประกอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียคราบขาวบนแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นในกระบวนการอัดร้อน (Hot pressing process) ของโรงงานกรณีศึกษาผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งชิ้นงานดังกล่าวเป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์หัวอ่านเขียนของอุปกรณ์เก็บหน่วยความจำในคอมพิวเตอร์ (Hard disk drive) พบของเสียคราบขาวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องบนแผ่นงานและเป็นของเสียที่มีปริมาณมากที่สุดในการผลิตโดยม้วนงาน 1 ม้วนประกอบด้วยแผ่นงาน (Base material) ที่มีตำแหน่งของทองแดง (Copper) ตามรูปแบบของชิ้นงานและแผ่นโพลีไมด์ฟิล์ม (Polyimide film) ที่มีชั้นกาว พอลิเมอร์ชนิดโพลีไมด์ประกบติดกันจากกระบวนการก่อนหน้านี้และนำมาอัดร้อนให้แนบสนิทกันในกระบวนการอัดร้อนนี้ โดยใน 1 ม้วนมีแผ่นงานทั้งสิ้น 100 แผ่นงานแต่ละแผ่นงาน

ประกอบด้วยแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นจำนวน 96 ชิ้นงาน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตำแหน่งชิ้นงานบนแผ่นงาน

โดยพบของเสียคราบขาวมีลักษณะเป็นรอยระหว่างขอบทองแดงและโพลีไมด์ฟิล์มบริเวณส่วนหัวของชิ้นงาน เนื่องจากบริเวณอื่นๆถูกปิดทับด้วยแผ่นโพลีไมด์ฟิล์มและไม่มีช่องว่างของทองแดงที่ทำให้เกิดการไหลเป็นของคราบขาว ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของเสียคราบขาว

1.1 กลไกของกระบวนการอัดร้อน

กระบวนการอัดร้อน (Hot pressing process)

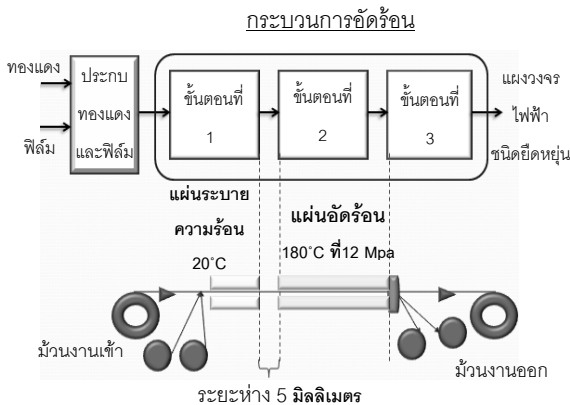
แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3 คือ

ขั้นตอนที่ 1: เตรียมป้อนแผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อน

ขั้นตอนที่ 2: แผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อน โดยการประกบ

ให้ความร้อนและให้แรงดันอัดบนแผ่นงาน

ขั้นตอนที่ 3: แผ่นงานออกจากเครื่องอัดร้อน

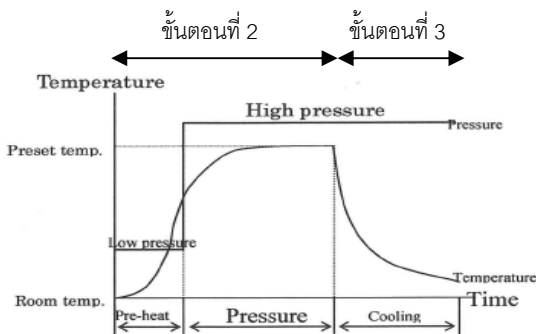


รูปที่ 3 รูปแบบกระบวนการอัดร้อน

(Hot pressing process)

โดยสามารถอธิบายกลไกการอัดร้อน

(Hot pressing profile) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กลไกการอัดร้อน (Hot pressing profile)

กลไกการอัดร้อนแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.1.1 ระยะเตรียมป้อนแผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อน
 อ้างถึงขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 3 คือช่วงที่แผ่นงานอยู่บนแผ่นระบายความร้อน (Cooling plate) อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสก่อนเข้ารับการอัดร้อน ซึ่งแผ่นระบายความร้อน

จะช่วยลดความร้อนชิ้นงาน ที่ได้รับผลกระทบจากเครื่องอัดร้อนอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

1.1.2 ระยะแผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อนเพื่อทำการอัดร้อน ด้วยแผ่นอัดร้อนแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ

1) ช่วงเวลาให้ความร้อนหรืออบร้อน (Pre-heat time) อ้างถึงขั้นตอนที่ 2 ดังรูปที่ 3 และ 4 คือ ช่วงที่แผ่นงานได้รับความร้อนอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสจากแผ่นอัดร้อนเป็นเวลา 9 วินาทีและแรงดันอัดต่ำ (Low pressure) คือระยะห่างระหว่างแผ่นอัดร้อนด้านล่างกับด้านบนเท่ากับ 1-2 มิลลิเมตร เพื่อกระตุ้นการระเหยของกาว เป็นช่วงที่กาวภายในชั้นโพลีไธไมด์ฟิล์มมีสารละลายคงอยู่ในเนื้อกาวและมีความนุ่มเนื่องจากได้รับความร้อน

2) ช่วงเวลาการอัดร้อน (Pressure time) อ้างถึงขั้นตอนที่ 2 ดังรูปที่ 3 และ 4 คือช่วงเวลาที่ แผ่นงานได้รับความร้อนอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสจากเครื่องอัดร้อนเป็นเวลา 27 วินาทีและแรงดันอัดสูง (High pressure) เท่ากับ 12 MPa เป็นช่วงที่กาวภายในชั้นโพลีไธไมด์ฟิล์มพร้อมต่อการเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวหลอมติดกับแผ่นงาน

3) ระยะแผ่นงานออกจากเครื่องอัดร้อน อ้างถึงขั้นตอนที่ 3 ดังรูปที่ 3 และ 4 คือช่วง ที่นำแผ่นงานออกมาพักเป็นเวลา 108 วินาที (Cooling time) หรือปล่อยให้เย็นเพื่อรอเก็บเข้าม้วนงาน

1.2 การเปลี่ยนสถานะทางความร้อนของโพลีไธไมด์ฟิล์มและกาวพอลิเมอร์ชนิดโพลีไธไมด์

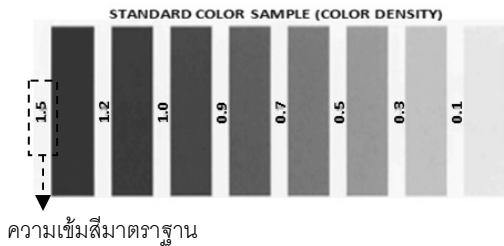
จากรูปที่ 4 แสดงคุณสมบัติของชั้นฟิล์มและชั้นกาวพอลิเมอร์ชนิดโพลีไธไมด์ เมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนสูงกว่าจุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่อุณหภูมิ 60 – 65 องศาเซลเซียส (Glass transition temperature: Tg) จะทำให้พอลิเมอร์อยู่ในสถานะของแข็งค่อนข้างหยุ่นคล้ายยาง (Rubbery state) และที่อุณหภูมิจุดหลอมเหลวหรือเกินกว่าจุดหลอมเหลวอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส (Melting point temperature: Tm) พันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลข้างเคียงจะอ่อนแอ หากมีแรงดันอัดมากจะทำทำให้พอลิเมอร์เกิดการประสานกันอย่างสมบูรณ์ระหว่างชั้นฟิล์มพอลิเมอร์โพลีไธไมด์และชั้นกาวพอลิเมอร์ชนิดโพลีไธไมด์กับแผ่นงาน (Base material) [1]

2. วัสดุและวิธีการศึกษา

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

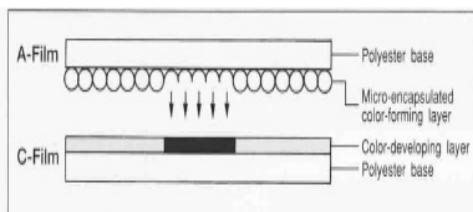
2.1.1 แผ่นงาน 100 แผ่นแต่ละแผ่นงานประกอบด้วยแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นจำนวน 96 ชิ้นงาน

2.1.2 แผ่นทดสอบแรงกดทับมาตรฐานที่แสดงค่าความเข้มสีจำนวน 8 ระดับ (Standard color sample: color density) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผ่นทดสอบแรงกดทับมาตรฐาน

2.1.3 แผ่นทดสอบแรงกดทับ (Pre-scale paper) ประกอบด้วยแผ่นฟิล์ม Micro-encapsulated layer (A-Film) ทำปฏิกิริยากับแผ่นฟิล์ม Color-developing material (C-Film) เมื่อมีแรงกดทับจะแสดงความเข้มสีซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสม่ำเสมอของระนาบบนแผ่นอัดร้อน หากมีค่าความเข้มสีมากแสดงถึงแรงกดทับมากแผ่นทดสอบนั้นจะแสดงค่าสีแดงเข้ม และหากมีค่าความเข้มสีน้อยแสดงถึงการมีแรงกดทับที่น้อย แผ่นทดสอบนั้นจะแสดงค่าสีแดงอ่อน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผ่นทดสอบแรงกดทับ

2.1.4 แผ่นอัดร้อน (Hot pressing plate) ทำหน้าที่อัดร้อนแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นในแผ่นงานโดย 1 รอบการอัดร้อนครอบคลุมแผ่นงานทั้งสิ้น 1 แผ่นงาน

2.1.5 อุปกรณ์ลิมิตสวิตช์ (Limit switch) ทำหน้าที่กำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นอัดร้อนด้านล่างกับด้านบน

2.1.6 อุปกรณ์ฟีลเลอร์เกจ (Feeler gauge) ทำหน้าที่ตรวจสอบระยะของแผ่นอัดร้อนด้านล่างกับด้านบน

2.1.7 โปรแกรมแต่งภาพ (Photoshop) เพื่อใช้ในการวัดค่าโมเดลสีแบบ RGB คือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และ สีน้ำเงิน (Blue)

2.1.8. โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ

2.2 วิธีการศึกษา

การศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.1 ศึกษาอุณหภูมิชิ้นงานแถวขาสุดของแผ่นงานหรือแถวแรกที่เข้าสู่เครื่องอัดร้อน เนื่องจากเป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างแผ่นระบายความร้อนกับเครื่องอัดร้อน ด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 15 วินาที จำนวน 2 รอบการตรวจสอบ ในขั้นตอนการเตรียมป้อนแผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อน

2.2.2 ศึกษาระยะห่างระหว่างแผ่นอัดร้อนด้านล่างกับด้านบนเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดคือ 1-2 มิลลิเมตร ในขั้นตอนที่แผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อน

2.2.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นทดสอบแรงกดทับมาตรฐานกับค่าสี RGB จากการวัดค่า ด้วยโปรแกรมแต่งภาพ ในขั้นตอนที่แผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อนโดยประมวลผลด้วยสมการถดถอยพหุคูณ (Multiple regression) ดังนี้

1) วิเคราะห์ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของการสแกนแผ่นทดสอบแรงกดทับมาตรฐานทับจำนวน 2 รอบเบื้องต้น โดยวิธี Pair T-Test ที่นัยสำคัญ 0.05

2) วิเคราะห์ความสามารถระบบการวัดค่าสี RGB เบื้องต้นของพนักงานจำนวน 3 คน โดยการวัดซ้ำทั้งสิ้น 5 รอบบนแผ่นทดสอบแรงกดทับมาตรฐานในความสามารถการวัดซ้ำและการทำซ้ำ โดยใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกันด้วยเทคนิค Gauge Repeatability and Reproducibility

3) เมื่อผลลัพธ์จากข้อ 3.1 และ 3.2 ผ่านเกณฑ์การยอมรับจึงทำการวัดค่าสี RGB บนแผ่นทดสอบแรงกดทับที่แสดงค่าความเข้มสีมาตรฐาน

4) สร้างสมการถดถอยพหุคูณ ระหว่างแผ่นทดสอบแรงกดทับมาตรฐานที่แสดงค่าความเข้มสี 8 ระดับ (ตัวแปรตาม (Y)) กับการวัดค่าสี RGB หรือสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) (ตัวแปรต้น X_1, X_2, X_3) บนแผ่นทดสอบแรงกดทับมาตรฐานดังกล่าว จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของสมการถดถอยพหุคูณ

2.2.4 ศึกษาความเรียบสม่ำเสมอของระนาบบนแผ่นอัดร้อน โดยมีวิธีการศึกษา ดังนี้

1) ดำเนินการอบให้ความร้อนและอัดร้อนแผ่นทดสอบแรงกดทับจำนวน 1 รอบด้วยแผ่นอัดร้อนและแรงดันอัดของเครื่องอัดร้อน 12 MPa เป็นเวลา 36 วินาที

2) ตรวจสอบแผ่นทดสอบแรงกดทับจาก ข้อ 4.1 โดยการวัดค่าสี RGB บนตำแหน่งชิ้นงานทั้งสิ้น 96 ชิ้นงาน และแทนค่าสี RGB ในสมการถดถอยพหุคูณจากข้อ 3.4 เพื่อหาความเข้มสีบนระนาบของแผ่นอัดร้อนในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงาน

3) ดำเนินการอัดร้อนแผ่นงานจำนวน 100 แผ่นงานหรือ 9,600 ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสด้วยแรงดันอัดของเครื่องอัดร้อน 12 MPa เป็นเวลา 36 วินาที เพื่อตรวจสอบของเสียที่เกิดขึ้น

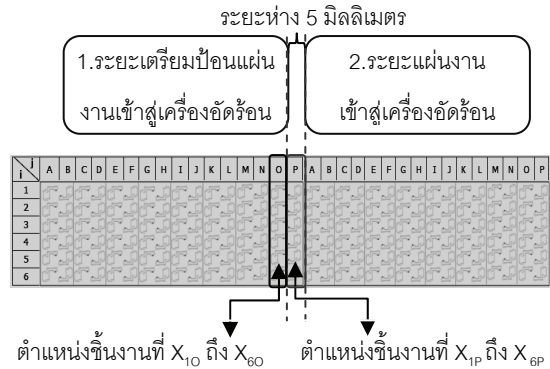
4) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มสีที่ได้จากข้อ 4.2 และจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในข้อ 4.3 เพื่อหาค่าความเข้มสีที่เหมาะสมกำหนดเป็นมาตรฐานในการวัดระนาบของแผ่นอัดร้อน

3. ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

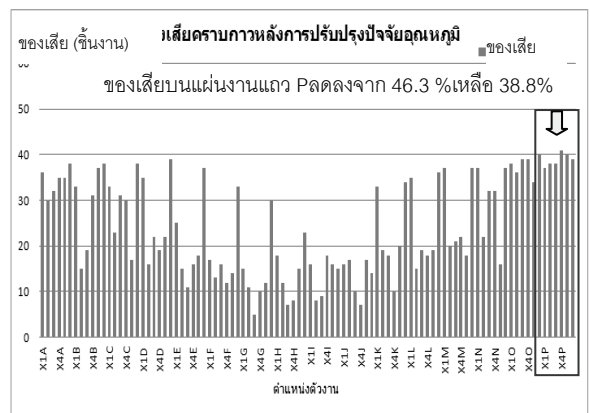
3.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิของชิ้นงานที่อยู่ระหว่างแผ่นระบายความร้อนกับเครื่องอัดร้อน

แผ่นระบายความร้อนและเครื่องอัดร้อนมีระยะห่าง 5 มิลลิเมตรซึ่งเป็นระยะของตำแหน่งชิ้นงานในแผ่นงานแถวขวาสุดหรือชิ้นงานแถวแรก ที่เข้าสู่เครื่องอัดร้อน โดยพบอุณหภูมิบนชิ้นงานแถว ขวาสุดคือแถว P ที่ตำแหน่ง X_{1P} ถึง X_{6P} มีค่าเท่ากับ 71.2 องศาเซลเซียสสูงกว่าจุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส (T_g) ก่อนเข้าสู่ช่วงเวลากการอัดร้อน ให้อุณหภูมิและแรงดันอัดเพื่อทำให้การได้รับการอัดร้อนสมบูรณ์ จึงทำให้เกิดการไหลเบื่อนของกาวภายในชั้นโพลีไอไมด์ฟิล์ม ขณะที่อุณหภูมิบนชิ้นงานตำแหน่งที่ X_{1O} ถึง X_{6O} วัดค่าอุณหภูมิได้ 20.3 องศาเซลเซียส ดังลักษณะตำแหน่งของชิ้นงานรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตำแหน่งของชิ้นงานแถว P และแถว O

โดยทำปรับปรุงเพื่อลดระยะระหว่างแผ่นระบายความร้อนกับเครื่องอัดร้อนจาก 5 มิลลิเมตรเหลือ 1 มิลลิเมตร พบผลของอุณหภูมิมีความร้อนเฉลี่ยลดลงจาก 71.2 องศาเซลเซียสเหลือเพียง 25.9 องศาเซลเซียส ซึ่งน้อยกว่าอุณหภูมิจุดเปลี่ยนสถานะดังกล่าว โดยจากการตรวจสอบผลลัพธ์ด้วยแผ่นงาน 100 แผ่นงานพบของเสียคราบขาวบริเวณริมแผ่นงานแถว P ลดลงอย่างชัดเจนคือจากร้อยละ 46.3 เหลือร้อยละ 38.8 ของจำนวนชิ้นงานแถว P ขณะที่ชิ้นงานบริเวณอื่นๆ ในแผ่นงานยังคงพบของเสียปริมาณมาก เนื่องจากมีของเสียลดลงเพียงร้อยละ 24.4 เหลือร้อยละ 24.2 ของจำนวนชิ้นงานที่ศึกษา ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ของเสียคราบขาวจากผลการศึกษาอุณหภูมิ

3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาว่างแผ่นอัดร้อนด้านล่างกับด้านบน ในขั้นตอนที่แผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อน

จากการศึกษาพบแรงกดทับของแผ่นอัดร้อนกระทำกับแผ่นงาน มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนของกาวยในชิ้นงาน เนื่องจากเป็นช่วงเวลากาวยอบให้ความร้อนที่ต้องการความร้อนและแรงดันอัดต่ำ คือระยะห่างระหว่างแผ่นอัดร้อนด้านล่างกับด้านบนเท่ากับ 1-2 มิลลิเมตร เพื่อกระตุ้นการระเหยของกาวย จึงทำการปรับระยะของลิมิตสวิสต์และตรวจสอบระยะห่างของแผ่นอัดร้อนด้วยอุปกรณ์ฟิลเลอร์เกจ พบการตั้งค่าลิมิตสวิสต์ที่เหมาะสมคือ 2.5 เซนติเมตร เนื่องจากมีระยะห่างระหว่างแผ่นอัดร้อนเท่ากับ 1 มิลลิเมตรซึ่งอยู่ใน ช่วงค่าที่กำหนดคือ 1-2 มิลลิเมตร

3.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสีมาตรฐานกับค่าสี RGB จากการวัดค่าด้วยโปรแกรมแต่งภาพ โดยประมวลผลผ่านสมการถดถอยพหุคูณ

3.3.1 ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นสำหรับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของการสแกนแผ่นทดสอบแรงกดทับโดยวิธี Pair T-Test [2] ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากพบค่า P-value ของค่าสี RGB เท่ากับ 0.62, 0.39 และ 0.1 มีค่ามากกว่า 0.05 ตามลำดับที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตารางที่ 1 ข้อ 1

3.3.2 ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นสำหรับ Gauge R&R [3] ของพนักงานวัดค่าสี RGB พบค่า P-value ของค่าสี RGB เท่ากับ 0.80, 0.97 และ 0.62 มีค่ามากกว่า 0.05 ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 1 ข้อ 2 และจากองค์ประกอบความแปรปรวน เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าร้อยละพบว่ามีความแปรปรวนจากระบบการวัด 4.11 ซึ่งความแปรปรวนนี้แบ่งออกเป็นความแปรปรวนจากการวัดซ้ำของพนักงาน (Repeatability) เท่ากับ 4.11 และความผันแปรจากสาเหตุความแตกต่างระหว่างพนักงาน (Reproducibility) เท่ากับ 0.00 อีกทั้งมีค่าผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับแผ่นทดสอบแรงกดทับมาตรฐานเท่ากับ 20.26% มีค่าน้อยกว่า 30% ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานกำหนดโดยองค์กร AIAG ของสหรัฐอเมริกา จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดมีความผันแปรต่ำสามารถนำระบบไปใช้วิเคราะห์ได้ [3]

3.3.3 ทำการวัดค่าสี RGB บนแผ่นทดสอบแรงกดทับมาตรฐานที่แสดงค่าความเข้มสีทั้ง 8 ระดับ โดยแบ่งช่วงการวัดค่าสีออกเป็น 10 ตำแหน่งต่อ 1 ค่าความเข้มสี โดยแสดงผลการวัดค่าสี ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่า P-value จากการวิเคราะห์ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการสแกนแผ่นทดสอบและจากการวิเคราะห์ Gauge R&R ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค่าสี	P-value (Specification)	P-value (Actual)	
		1	2
สีแดง (R)	0.05	0.62	0.80
สีเขียว (G)	0.05	0.39	0.97
สีน้ำเงิน (B)	0.05	0.10	0.62

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าสีบนแผ่นทดสอบแรงกดทับมาตรฐาน

ความเข้มสีมาตรฐาน	ค่าสี		
	สีแดง	สีเขียว	สีน้ำเงิน
1.5	245.7	5.0	105.7
1.3	246.7	28.3	116.6
1.1	248.0	60.9	126.7
0.9	249.1	92.3	140.2
0.7	249.8	119.1	156.3
0.5	250.6	153.8	179.3
0.3	251.7	195.5	209.2
0.1	253.0	235.5	237.6
0	255.0	255.0	255.0

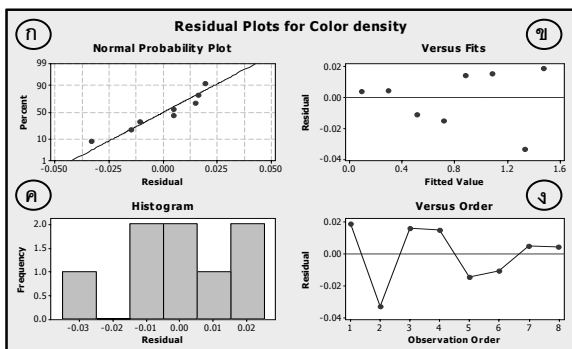
ประมวลผลระหว่างค่าความเข้มสีมาตรฐานทั้ง 8 ระดับกับการวัดค่าสี RGB บนความเข้มสีมาตรฐาน ด้วยสมการถดถอยพหุคูณ [4] ดังนี้

$$Y = -8.4 + 0.0375(X_1) - 0.0133(X_2) + 0.00716(X_3) \quad (1)$$

โดยค่า

- Y คือ ระดับความเข้มสี
 X_1 คือ ค่าสีแดง (R)
 X_2 คือ ค่าสีเขียว (G)
 X_3 คือ ค่าสีน้ำเงิน (B)

จากการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องเป็นไปตามข้อกำหนดการวิเคราะห์เชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 9 โดยจากรูปที่ 9 (ก) แสดงข้อมูลการกระจายตัวแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (residual) (ข) แสดงแนวโน้มของความแปรปรวนมีลักษณะการกระจายตัวแบบสุ่ม แสดงว่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนและข้อมูลที่ได้มีน่าเชื่อถือ (ค) แสดงข้อมูลในรูปแบบของกราฟ Histogram ในการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (ง) แสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบที่เป็นอิสระหรือไม่สามารถประมาณรูปแบบได้ แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน [5-6] ดังรูปที่ 9



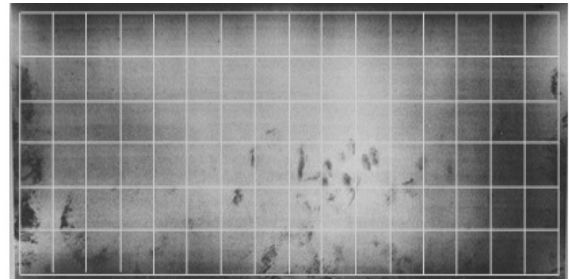
รูปที่ 9 กราฟค่าส่วนตกค้างต่อค่าความเข้มสี

จากสมการถดถอยพหุคูณพบค่า F-Statistic เท่ากับ 957 และค่า P-value เท่ากับ 0.00 น้อยกว่า 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จึงสรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มสีทั้ง 8 ระดับและค่าสี RGB อย่างน้อย 1 คู่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สมการถดถอยพหุคูณนี้ให้ความแม่นยำสูงและพบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสีทั้ง 8 ระดับและ ค่าสี RGB นั้นมีค่า R-Sq เท่ากับ 99.9% จึงสรุปได้ว่าสมการถดถอยพหุคูณนี้มีความสัมพันธ์ที่น่าเชื่อถือ [6]

3.4 ผลการศึกษาความเรียบสม่ำเสมอของพื้นผิวบนแผ่นอัดร้อนในขั้นตอนที่แผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดร้อน

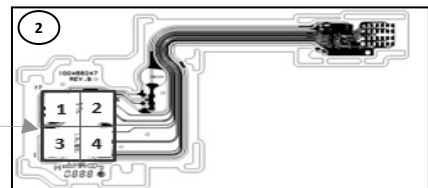
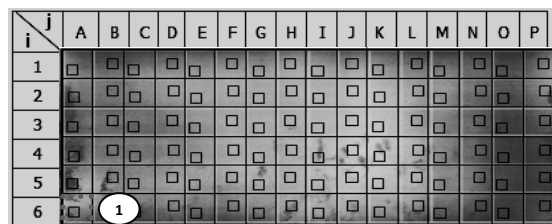
จากการศึกษาพื้นผิวบนระนาบแผ่นอัดร้อนไม่เรียบสม่ำเสมอ จึงทำให้แผ่นงานได้รับการกดทับของแรงดันอัดไม่เท่ากัน ดังนี้

3.4.1 ผลการทดสอบระนาบของแผ่นอัดร้อนแสดงถึงความไม่เรียบสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แผ่นทดสอบแรงกดทับก่อนการปรับปรุง

3.4.2 ดำเนินการวัดค่าสี RGB บนแผ่นทดสอบแรงกดทับบนตำแหน่งที่เกิดของเสียคราบขาวดังแสดงในกรอบสี่เหลี่ยมของตัวอย่างรูปที่ 12 หมายเลข 1 ซึ่งภายในกรอบสี่เหลี่ยมจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ต่อการวัดค่าสี RGB และใน 4 ส่วนนี้ คือบริเวณที่เกิดของเสียคราบขาวดังหมายเลข 2 โดยจะได้ผลจากการวัดค่าสี RGB ทั้งสิ้น 4 ข้อมูลต่อชิ้นงาน 1 ชิ้นงาน ดังรูปที่ 11

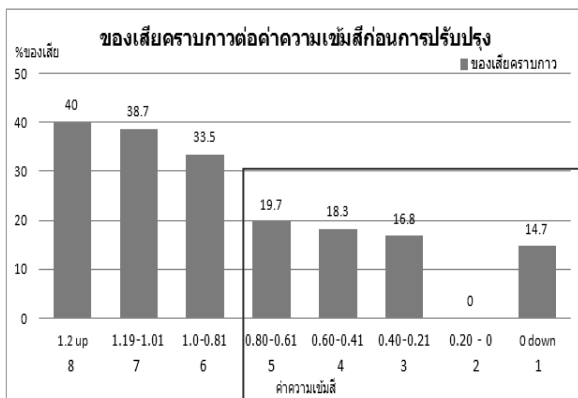


รูปที่ 11 ตำแหน่งที่ทำการวัดค่าสี RGB

3.4.3 แทนค่าสี RGB จากผลลัพธ์ข้อ 4.2 ในสมการถดถอยพหุคูณ (1) ผลจากการวิเคราะห์สามารถแบ่งช่วงความเข้มสีออกเป็น 8 ระดับ ดังตารางที่ 3 และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเข้มสีกับข้อมูลของเสีย ดังรูปที่ 13 โดยทำการคำนวณของเสียในหน่วยร้อยละต่อจำนวนชิ้นงานที่มีตำแหน่งอยู่ในช่วงค่าความเข้มสีทั้ง 8 ระดับ ดังผลการวิเคราะห์ รูปที่ 10

ตารางที่ 3 การแบ่งช่วงค่าความเข้มสีทั้ง 8 ระดับ

ระดับ	ช่วงความเข้มสี
8	ตั้งแต่ 1.2 ขึ้นไป
7	1.19-1.01
6	1.0-0.81
5	0.80-0.61
4	0.60-0.41
3	0.40-0.21
2	0.20 - 0
1	ต่ำกว่า 0

**รูปที่ 12** ของเสียคราบการต่อค่าความเข้มสีก่อนปรับปรุง

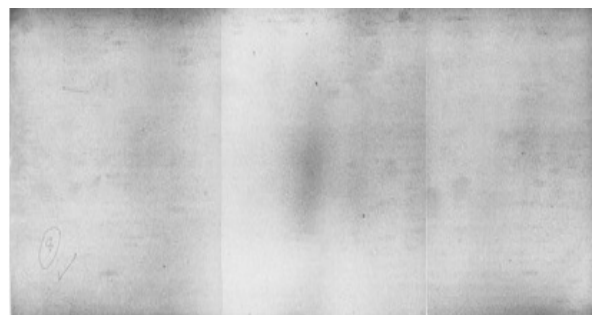
จากรูปที่ 12 พบของเสียคราบการแปรผันโดยตรงกับค่าความเข้มสี คือค่าความเข้มสีมากจะพบของเสียคราบการมาก และความเข้มสีน้อยจะพบของเสียคราบการน้อย ดังนั้นจึงนำค่าความเข้มสีที่มีค่ามากที่สุดจากการวัดความเข้มสีทั้ง 4 ข้อมูลเปรียบเทียบกับจำนวนของเสียได้ผลดังนี้

ช่วงความเข้มสีที่มีค่ามากกว่า 1.2 มีจำนวนของเสียร้อยละ 40 จากชิ้นงานที่มีตำแหน่งอยู่ในค่าความเข้มสีระดับ 8 และความเข้มสีระดับ 7 และ 6 ในช่วงความเข้มสีที่ 1.19 ถึง 1.01 และ 1.0 ถึง 0.81 มีจำนวนของเสียที่มีปริมาณสูงเช่นกันคือร้อยละ 38.7 และร้อยละ 33.5 ตามลำดับ ซึ่งที่ความเข้มสีระดับ 6, 7 และ 8 มีจำนวนของเสียปริมาณมากจึงไม่ควรทำการขัดระนาบพื้นผิวแผ่นอัดร้อนให้มีค่าความเข้มสีอยู่ในค่าช่วงนี้ และในช่วงความ

เข้มสีระดับที่ 5 ถึง 1 มีของเสียคราบการต่ำกว่าร้อยละ 20 จากจำนวนชิ้นงานที่มีตำแหน่งอยู่ในค่าความเข้มสีในระดับที่ 5 ถึง 1 โดยมีของเสียเฉลี่ยร้อยละ 13.9 ดังนั้นจึงควรปรับปรุงให้มีค่าความเข้มสีอยู่ในช่วงค่าที่น้อยกว่าระดับค่าความเข้มสีที่ 0.8 เนื่องจากเป็นช่วงความเข้มสีที่เกิดของเสียน้อยกว่าจำนวนของเสียเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงร้อยละ 24.2 จึงทำการปรับปรุงโดยการขัดระนาบบนแผ่นอัดร้อนด้วยหินขัดสำหรับงานเตรียมผิว (Finishing stones) ให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นอัดร้อน ดังรูปที่ 13

**รูปที่ 13** การขัดระนาบของแผ่นอัดร้อน

จากนั้นทดสอบระนาบแผ่นอัดร้อนด้วยแผ่นทดสอบแรงกดทับได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 14 และทำการวัดค่าสี RGB แทนค่าในสมการถดถอยพหุคูณ (1) เพื่อหาค่าความเข้มสีจากการปรับปรุง

**รูปที่ 14** แผ่นทดสอบแรงกดทับหลังการปรับปรุง

จากการปรับปรุงโดยปรับระยะห่างระหว่างแผ่นอัดร้อนด้านล่างกับด้านบน และการขัดระนาบบนแผ่นอัดร้อนให้มีความเรียบสม่ำเสมอ ส่งผลทำให้ค่าความเข้มสีหลังการปรับปรุงมีค่าอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 0.1 ซึ่งเป็นไปตามระดับค่าความเข้มสีที่กำหนดข้างต้นคือช่วงค่าความเข้มสีน้อยกว่า 0.8

4. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาในขั้นตอนการเตรียมป้อนแผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดรีดของเสียคราบขาวเกิดจากอุณหภูมิขึ้นงานแถวขาวสุดของแผ่นงานระหว่างแผ่นระบายความร้อนกับเครื่องอัดรีดได้รับอุณหภูมิสูงกว่าจุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว คือเกินค่าอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงทำการปรับปรุงโดยลดระยะระหว่างแผ่นระบายความร้อนกับเครื่องอัดรีดจาก 5 มิลลิเมตรเหลือ 1 มิลลิเมตร (ขีดขอบของเครื่องอัดรีด) ทำให้ของเสียคราบขาวลดลงจากร้อยละ 46.3 เหลือ 38.8 บนชิ้นงานแถวขาวสุดของแผ่นงาน ในขณะที่ชิ้นงานตำแหน่งอื่นๆมีของเสียเกิดขึ้นปริมาณมาก จึงทำการปรับปรุงปัจจัยในขั้นตอนที่แผ่นงานเข้าสู่เครื่องอัดรีด เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่เกิดคราบขาวจากแรงกดทับบนแผ่นอัดรีดที่ไม่เหมาะสมจึงปรับปรุงโดยเพิ่มระยะระหว่างแผ่นอัดรีดด้านล่างกับด้านบนให้อยู่ในช่วงค่าที่กำหนดคือ 1 มิลลิเมตรและขีดระนาบของแผ่นอัดรีดให้มีความเรียบสม่ำเสมอในช่วงค่าความเข้มสีน้อยกว่า 0.8 โดยพบ ผลลัพธ์จากการปรับปรุงนั้นสามารถลดของเสียคราบขาวจากร้อยละ 24.4 เหลือเพียงร้อยละ 7.2 ของจำนวนชิ้นงานที่ทำการศึกษา

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ (1) โรงงานกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ (2) บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Askeland DR, Phule PP. The Science and Engineering of Materials. International Student Edition. United States of America: Bill stenquist; 2006.
- [2] Rapin P. Statistics for research. Bangkok.: Chulalongkorn University Press; 2006. (In Thai).
- [3] Kittisak P. Measurement system analysis 2nd ed. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan); 2003. (In Thai).
- [4] Levine DM. Statistic of six sigma green belts with MINITAB and JMP. United States of America: Tim Moore; 2013.
- [5] Titaporn P. Pomtep K. The quality improvement in electronic welding process: A case study of electronic factory. KRU Res J. 2012; 39(2): 155-164. (In Thai).
- [6] Nikom T. Multiple regression analysis [serial online] 2012. [cited 2013 Oct 5]; 1(1): [38 screens]. Available from: URL: http://home.kku.ac.th/nikom/multiple_regression_nk2555u. (In Thai).