Case Study ในงานวิเคราะห์เกี่ยวกับการแตกหัก และการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ

รศ.วิรุฬห์ มังคละวิรัช * วีระชัย บัญชรเทวกุล **

*** รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

**** อาจารย์ประจำภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

โลหะเป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่สำคัญชนิดหนึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีคุณสมบัติแข็งแรง ขึ้นรูปให้มีรูปร่างตามต้องการได้ง่าย มีความคงทนในการใช้งานและมีราคาไม่สูงนัก โลหะจำแนกออกได้หลายกลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมีคุณสมบัติทางกายภาพทางเชิงกล ส่วนผสมและโครงสร้างแตกต่างกันไปตามสภาพการใช้งาน ดังนั้นการเลือกชนิดโลหะให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการจะช่วยให้เสียค่าใช้จ่ายน้อยลง และอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จะยืนยาวคุ้มกับเงินที่เสียไป อย่างไรก็ตาม การเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับงานในแต่ละชนิดไม่ได้หมายความว่าจะปราศจากปัญหาในการขึ้นรูปและในการใช้งานอย่างสิ้นเชิง ทั้งนี้เนื่องจากยังมีองค์ประกอบหลายอย่างซึ่งมีผลต่อผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ทั้งในขั้นตอนการขึ้นรูปและการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพและสภาวะในขณะที่ใช้งาน เมื่อเกิดปัญหาขึ้นสิ่งที่วิศวกรจำเป็นต้องทราบก็คือ สาเหตุของการแตกร้าวของชิ้นงานเพื่อจะได้นำไปแก้ไขและปรับปรุงสภาพในการใช้งานหรือเปลี่ยนแปลงวัสดุให้เหมาะสมกับงานนั้น ๆ ให้ดีขึ้น อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เราสัมผัสกันอยู่ในชีวิตประจำวัน เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้อำนวยความสะดวกต่าง ๆ และเครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตประกอบด้วยโลหะเป็นส่วนใหญ่ แม้ว่าในบางส่วนจะถูกแทนที่ด้วยพลาสติก เซรามิค และวัสดุอื่นก็ตาม ชิ้นส่วนของอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ เหล่านี้มีอยู่บ่อยครั้งที่เกิดแตกหักหรือเสียหายมีอายุการใช้งานสั้นเกินควร แม้จะมีเป็นจำนวนน้อยแต่ว่าจะมีผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตเองโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเกิดการบาดเจ็บอันตรายต่อชีวิตขึ้น ซึ่งเราจะเห็นได้บ่อยครั้งที่ผู้ผลิตต้องเรียกชิ้นส่วนที่ขายสู่ท้องตลาดแล้วกลับไปเปลี่ยนแปลง แก้ไข หรือชำระเงินคืนให้แก่ผู้ซื้อเมื่อเกิดอันตรายกับชีวิตต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เมื่อมีชิ้นงานแตกหักขึ้น การวิเคราะห์สาเหตุของการแตกหักจำเป็นจะต้องทราบถึงอายุการใช้งาน ลักษณะของแรงที่กระทำ และ stress ที่เกิดขึ้น การติดตั้งลักษณะการทำงาน และสภาพแวดล้อมในขณะใช้งาน เป็นต้น จากนั้นจึงเป็นการศึกษาหารายละเอียดจากตัวชิ้นงานที่แตกหัก เพื่อหาข้อมูลของลักษณะรอยแตกว่ามีลักษณะเปราะหรือเหนียว ตำแหน่งของจุดกำเนิดรอยแตกร้าว และระยะเวลาที่ใช้จนเกิดการแตกหัก เป็นต้น จากข้อมูลเหล่านี้เมื่อนำมาประมวลเข้ากับคุณสมบัติของโลหะที่ใช้งานนั้นจะช่วยให้เราสามารถสรุปหาสาเหตุและทราบถึงวิธีการแก้ไขมิให้วัสดุเกิดการแตกร้าวได้ด้วยสาเหตุเดิมอีก[1) - 4)]

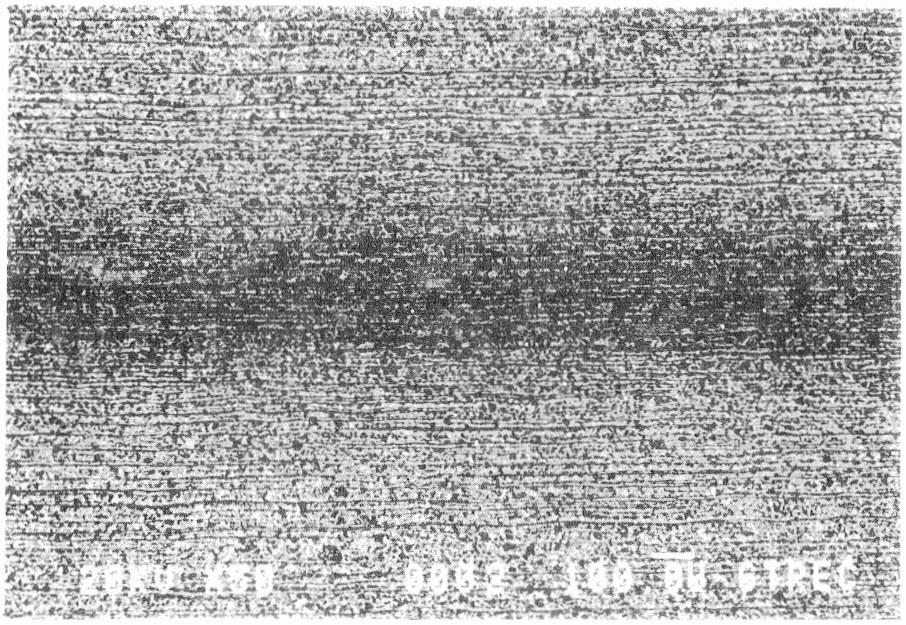
ตัวอย่างต่อไปนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุการแตกหักของชิ้นงานและการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ โดยใช้สายตา กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำแบบสเตริโอ กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง ไปจนถึงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนซึ่งมีเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์ประกอบอยู่ด้วย เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งเราสามารถสรุปสาเหตุใหญ่ของปัญหาต่าง ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

1. เกิดจากชนิดและคุณสมบัติของวัสดุไม่เหมาะสม
2. เกิดจากขั้นตอนและวิธีการขึ้นรูปของวัสดุไม่เหมาะสม
3. เกิดจากสภาพและสภาวะการใช้งานของวัสดุไม่เหมาะสม

สาเหตุของปัญหาดังกล่าวอาจเป็นผลจากสาเหตุเพียงอย่างเดียว หรือเป็นผลรวมของสาเหตุหลายอย่างก็ได้

ข้อมูลเดิม : โลหะดังกล่าวสั่งนำเข้าจากต่างประเทศเป็นเหล็กแผ่นหนาครึ่งนิ้ว ชิ้นงานที่เกิดแตกร้าวในขณะชุบแข็งด้วยการเหนี่ยวนำ ถูกตัดแบ่งมาให้ศึกษา

ผลการวิเคราะห์ : การวิเคราะห์ส่วนผสมด้านหน้าของเหล็กแผ่น (ด้านข้างของฟันเฟือง) พบว่าเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (0.4% C) ปริมาณธาตุต่าง ๆ อยู่ในระดับปกติ การศึกษาจากลักษณะและโครงสร้างของรอยแตกไม่สามารถระบุสาเหตุได้ จากการสังเกตที่ด้านหน้าของฟันเฟืองที่ยังไม่ได้ชุบแข็ง พบแนวเป็นมันเงาพาดอยู่กึ่งกลางระหว่างแผ่นของชิ้นงานในแนวเดียวกับรอยแตกร้าวภายหลังการชุบแข็ง จึงตรวจโครงสร้างในบริเวณดังกล่าวพบว่าแนวดังกล่าวมีโครงสร้างเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (0.6-0.7% C) ดูภาพที่ 1 ประกอบ นอกจากนี้ยังพบว่าในโลหะดังกล่าวมีอินคลูชัน (inclusions) วางตัวเป็นแนวยาวตามทิศทางการขึ้นรูป (รีดร้อน) ทั้งในบริเวณแนวที่เกิดการแตกร้าวและในบริเวณทั่วไป



ภาพที่ 1
แสดงโครงสร้างของฟันเฟืองบริเวณใจกลางของแผ่นโลหะ บริเวณแนวดำกลางภาพซึ่งเกิดการแตกร้าวในขณะที่ชุบแข็ง มีปริมาณของเพอร์ไลท์ (สีเข้ม) มากกว่าบริเวณใกล้เคียง

จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่า การแตกร้าวที่เกิดขึ้นในขณะที่ชุบแข็งเป็นผลจากคุณสมบัติของวัสดุร่วมกับขั้นตอนการผลิตไม่ดี กล่าวคือในขณะที่หล่อโลหะเป็น slab มี segregation เกิดขึ้น แล้วทำการ homogenize โลหะดังกล่าวไม่พอเพียง[6] เป็นผลให้ปริมาณคาร์บอนสูงในบริเวณใจกลางแผ่นโลหะยังคงปรากฏอยู่ แม้จะทำการขึ้นรูปร้อน (hot working) เท่าใดก็ตาม เมื่อกัดเฟืองแล้วนำมาชุบแข็งในบริเวณใจกลางและบริเวณด้านนอกจะมีอัตราการขยายตัวและหดตัวไม่เท่ากัน ประกอบกับลักษณะของอินคลูชันซึ่งวางตัวในแนวการรีดจะช่วยให้เกิดการแตกร้าวในขณะที่ชุบแข็งได้ง่ายกว่ากรณีทั่ว ๆ ไป

ปัญหาเกี่ยวกับวัสดุ : เปลือกนอกของลูกรีดทำด้วยเหล็กหล่อ เมื่อนำไปประกอบกับแกนในทำด้วยเหล็กกล้าเพื่อประกอบเป็นลูกรีด (ที่อุณหภูมิ 200-260°ซ) ปรากฏว่าเมื่ออุณหภูมิลดลงเปลือกนอกเกิดรอยร้าวขึ้นตามแนวแกน อยากทราบว่าเกิดจากสาเหตุใด

ข้อมูลเดิม : เปลือกนอกของลูกรีดกำหนดตามมาตรฐาน JIS FC25 ส่วนแกนในกำหนดตามมาตรฐาน AISI 4140 เวลาประกอบใช้ burner เผาผิวในของเปลือกทางด้านล่าง ส่วนด้านบนปิดไว้ เมื่อวัดอุณหภูมิด้านนอกได้ 200-260°ซ จึงประกอบเข้าด้วยกัน เมื่อเกิดการแตกร้าวขึ้นแล้วในขณะที่เจาะเปลือกลูกรีดเพื่อนำเพลาออกรู้สึกว่าแตกง่าย

ผลการวิเคราะห์ : เนื่องจากการแตกร้าวเกิดขึ้นกับเปลือกนอกของลูกรีด การศึกษาจึงเน้นเฉพาะชิ้นงานที่เสียหายเท่านั้น ตามมาตรฐาน JIS FC25 นั้น เนื่องจากมิได้กำหนดส่วนผสมไว้เพียงแต่ระบุค่าของ tensile strength ที่ความหนาของตัวอย่างต่าง ๆ กัน องค์ประกอบที่ใช้ในการพิจารณาจึงมีเพียงค่า tensile strength และลักษณะของโครงสร้างเท่านั้น จากตัวอย่างที่ได้รับซึ่งมีขนาดเล็กไม่สามารถวัดแรงดึงได้โดยตรง การตรวจสอบจึงกระทำโดยใช้การวัดความแข็งแล้วคำนวณกลับเป็นค่า tensile strength ซึ่งมีค่าประมาณ 19 กก/มม^2 เทียบกับค่าที่กำหนดคือ สูงกว่า 22 กก/มม^2 อนึ่งจากการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์พบโครงสร้างแบบ pearlitic grey cast iron ซึ่งมีกราไฟท์ (graphite) สองประเภทกระจายอยู่ในแมทริกซ์ของเพอร์ไลท์ (pearlite) กราไฟท์ ทั้งสองประเภทมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ โดยมีกราไฟท์ขนาดกลางปนกับกราไฟท์ขนาดเล็ก กราไฟท์ขนาดเล็กมีลักษณะคล้ายต้นไม้ (dendrite) เป็นแนวซึ่งส่งผลให้ tensile strength ไม่สม่ำเสมอ ส่วนโครงสร้างยูเทคติคซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงนั้น มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอเช่นกัน สรุปได้ว่าการแตกร้าวของเปลือกนอกของลูกรีดเกิดจากเลือกใช้วัสดุที่นำมาหลอม (scrap) ไม่สะอาด ร่วมกับโครงสร้างที่เกิดขึ้นซึ่งเอื้ออำนวยให้ค่า tensile strength ของวัสดุต่ำกว่าที่ควรจะเป็น การควบคุมคุณภาพของ scrap ที่ใช้ส่วนผสม และโครงสร้างที่เกิดขึ้นจะช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้โดยตรง

ปัญหาเกี่ยวกับวิธีการขึ้นรูป : เหล็กเส้นข้ออ้อยเกิดรอยปริที่ฐานของบั้งซึ่งอยู่ในแนวรัศมีเมื่อดัดให้เป็นรูปตัวยู (U-shape) อยากทราบสาเหตุ[7]

ข้อมูลเดิม : เหล็กข้ออ้อยดังกล่าวผ่านการรีดร้อน (hot rolling) มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว

ผลการวิเคราะห์ : จากการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางไม่มีปริมาณธาตุอื่น ๆ ผิดปกติ มีโครงสร้างของเพอร์ไลท์และเฟอร์ไรท์วางเรียงตัวตามทิศทางการรีด (directional flow) จากการสังเกตพบว่าบั้งมีลักษณะไม่สมมาตรโดยที่ด้านหน้าของบั้งจะเป็นมุมชัดเจนในขณะที่ด้านหลังของบั้งมีลักษณะเป็นผิวเว้าและลาดลง ในบริเวณฐานด้านหลังของบั้งพบว่ามีลักษณะเป็นแอ่งลึกลงไป เมื่อเทียบกับระดับของฐานด้านหน้าของบั้ง และรอยปริที่เกิดขึ้นเมื่อดัดเป็นรูปตัวยูจะเกิดในบริเวณนี้ (ดูภาพที่ 2 ประกอบ) สรุปได้ว่าการเกิดรอยปริที่ฐานของบั้งในการทดสอบการดัดรูปตัวยูนั้นเกิดจากการออกแบบลูกรีดไม่เหมาะสม การแก้ไขทำได้โดยการแต่งผิวของลูกรีดให้ด้านหน้าและด้านหลังของบั้งสมมาตรกันโดยไม่ให้มีแอ่งลึกลงไปในเนื้อโลหะเกิดขึ้น

ปัญหาเกี่ยวกับวิธีการขึ้นรูป : แคลมป์รูปตัวซี (C-clamp) ขนาดปากกว้าง 4 นิ้ว อยากทราบว่าขึ้นรูปด้วยวิธี forging หรือไม่[8]

ข้อมูลเดิม : ตัวอย่างแคลมป์รูปตัว C ทาสีดำมีสติกเกอร์เขียนว่า forged product ติดอยู่

ผลการวิเคราะห์ : ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่า

เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (0.1% C) จากการตรวจลักษณะภายนอกพบว่าผิวด้านข้างของชิ้นงานเป็นสันหรือแนวที่เกิดจากการหล่อแบบ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างจากสันหรือแนวที่เกิดจากการทำ forging นอกจากนี้ยังปรากฏลักษณะของโพรงค่อนข้างใหญ่ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของก๊าซในขณะที่หล่อโลหะอีกด้วย ซึ่งถ้าผ่านการขึ้นรูปด้วยการทำ forging แล้ว จะต้องไม่มีโพรงลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้น การศึกษาโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ และการทำ macroscopic etching ของชิ้นงานในแนวขวางสนับสนุนผลการวิเคราะห์เบื้องต้น โดยมีลักษณะเป็นโครงสร้างที่เกิดจากการหล่อโลหะ สรุปว่าแคลมป์รูปตัวซีที่ศึกษาเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำผ่านขึ้นรูปด้วยการหล่อโลหะโดยใช้แบบทราย (sand mould casting)

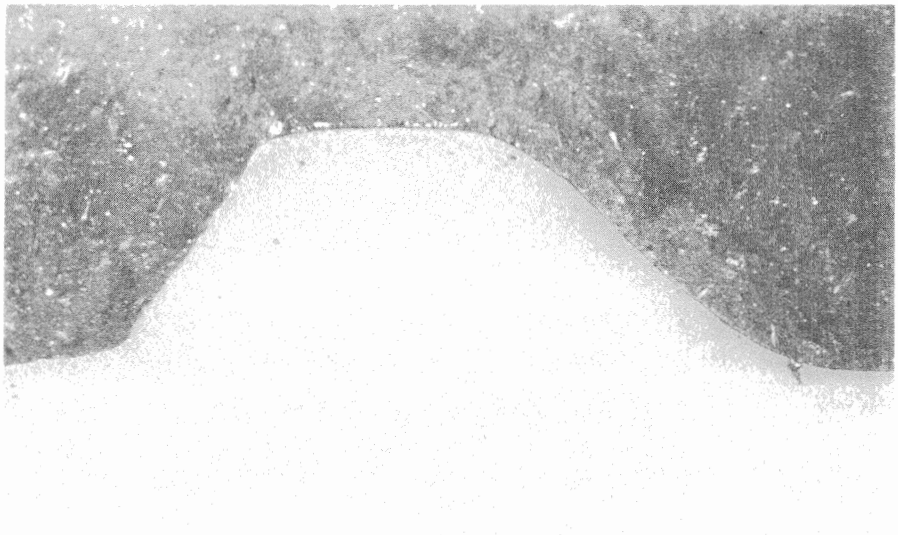
ปัญหาเกี่ยวกับวิธีการขึ้นรูป : หัวค้อนหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส ปลายแหลม ขนาด 12 ออนซ์ อยากทราบวิธีการขึ้นรูป[8]

ข้อมูลเดิม : ได้รับค้อนที่ประกอบด้ามเรียบร้อยแล้ว ด้านหน้าพบว่ามีรอยร้าว

ผลการวิเคราะห์ : ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (0.5% C) บริเวณหน้าค้อนมีรอยร้าวเนื่องจากสภาวะในการชุบแข็งที่ผิวหน้าค้อนไม่เหมาะสม การตรวจโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่ามีโครงสร้างของเพอร์ไลท์และเฟอร์ไรท์เรียงตัวในแนวยาวเป็นแบบ directional flow ตามทิศทางการขึ้นรูปโดยการรีดร้อน บริเวณหน้าค้อนมีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซท์ (martensite) เนื่องจากการชุบแข็ง สรุปว่าหัวค้อนดังกล่าวเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางทำจากเหล็กรีดร้อน (rolled square bar) นำมาแต่งให้มีรูปร่างตามต้องการ แล้วชุบแข็งเฉพาะบริเวณหน้าค้อน

ปัญหาเกี่ยวกับวิธีการขึ้นรูป และสภาวะแวดล้อม : Bearing holder เกิดรอยด่างที่ผิว ต้องการทราบว่าเป็นสนิมหรือไม่[9]

ข้อมูลเดิม : วัสดุทำด้วยเหล็กไร้สนิม (stainless steel) ขั้นตอนเดิมผลิตโดยการกลึง (machining) แท่งโลหะ (bar) เพื่อลดค่าใช้จ่ายจึงเปลี่ยนกระบวนการผลิตเป็นการหล่อโลหะ (casting) หลังจากขนส่งจากสิงคโปร์มาเมืองไทยเพื่อจะนำมาใช้ พบว่าเกิดรอยด่างปรากฏที่ผิว



ภาพที่ 2

แสดงโครงสร้างบริเวณบั้งของเหล็กข้ออ้อย บริเวณที่เกิดการปริเมื่อดัดเป็นรูปตัวยู จะเห็นเป็นรอยแยกเกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าลักษณะผิวโค้งทั้งด้านหน้าและด้านหลังไม่สมมาตรกัน ในบริเวณด้านหลังจะมีลักษณะเป็นแอ่งลึกลงไปในเนื้อโลหะ เนื่องมาจากการควบคุมการทำลูกรีดไม่ดีพอ

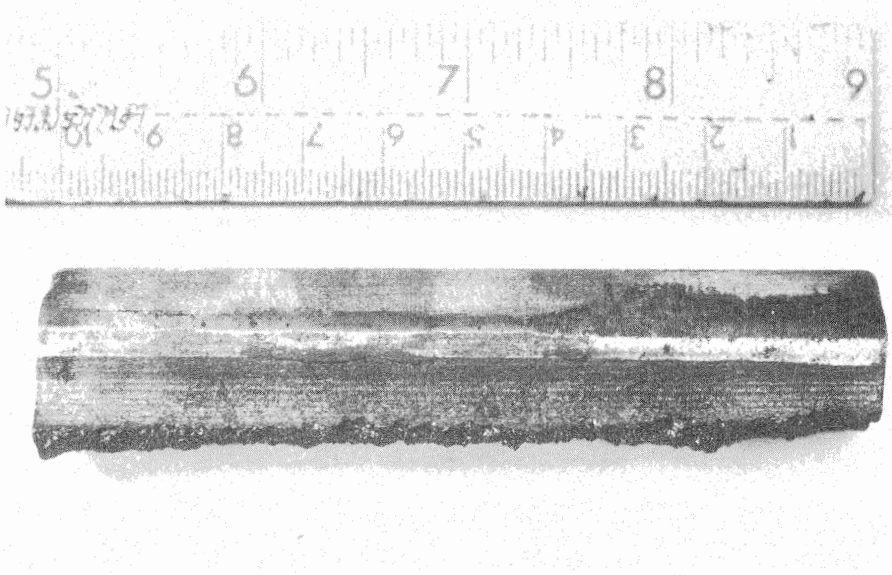
ชิ้นงานคล้ายสนิม เคยส่งไปวิเคราะห์ที่สิงคโปร์แต่ไม่สามารถระบุว่าเป็นสนิมหรือไม่

การวิเคราะห์และสรุป : จากการตรวจผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตริโอ และทำ scratch test พบว่ารอยด่างที่ปรากฏไม่มีความสัมพันธ์กับเนื้อโลหะด้านล่าง ผลการวิเคราะห์รอยด่างด้วย EPMA (Electron Probe Microanalysis) ให้ผลเช่นเดียวกับผลวิเคราะห์เดิมจากสิงคโปร์ จากการตรวจผิวบริเวณใกล้เคียงกับรอยด่าง พบว่ามี pinholes ซึ่งเป็น defect จากการหล่อ ในขณะที่ชิ้นงานจากการกลึงไม่มี defect ดังกล่าวปรากฏ การวิเคราะห์ด้วย EPMA แสดงว่าใน pinholes มีปริมาณของคลอรีน (Chlorine) และฟอสฟอรัส (Phosphorus) สูงกว่าพื้นผิวบริเวณอื่น สรุปว่ารอยด่างดังกล่าวเป็นสนิมเหล็กเกิดจากการที่ชิ้นตัวอย่างงานหล่อโดนความชื้นหรือน้ำและค้างอยู่ใน pinholes ซึ่งการระเหยเกิดขึ้นได้ยาก ทำให้เกิดสนิมขึ้นและลามออกมาทางด้านนอกในบริเวณใกล้เคียง การแก้ไขทำได้โดยขัดผิวชิ้นงานเล็กน้อยด้วยกระดาษทรายขนาดละเอียด จะทำให้ pinholes ขนาดเล็กดังกล่าวหายไป

ปัญหาเกี่ยวกับวัสดุ การขึ้นรูป และการใช้งาน : ฟันของเฟืองเหล็กหล่อ (หนาประมาณ ๆ นิ้ว) หลุดออกมาในขณะที่ใช้งาน อยากแก้ไขไม่ให้เกิดขึ้นอีก[10]

ข้อมูลเดิม : เป็นเฟืองส่งกำลังแบบฟันตรงติดมากับอุปกรณ์ที่สั่งจากต่างประเทศ ขณะที่ใช้ไปนาน ๆ ฟันก็หลุดออกมา

ผลการวิเคราะห์ : จากการวิเคราะห์พบว่ามีส่วนผสมจัดอยู่ในกลุ่มของเหล็กหล่อสีเทาปกติ (3.4% C แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสค่อนข้างสูงประมาณ 0.2%) จากการประมาณค่าของการรับแรงดึง (tensile strength) จากส่วนผสมของ % C และ % Si จะอยู่ในช่วงประมาณ 25,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว การศึกษาโครงสร้างพบว่ามีโครงสร้างแบบ pearlitic grey cast iron ซึ่งมีเพอร์ไลท์ปนกับกราไฟท์ชนิด A ขนาดเบอร์ 2 และ 3 ปนกัน การศึกษารอยแตกบริเวณฐานของฟันเฟืองพบว่าเป็นแบบเปราะ ไม่มีลักษณะของรอยแตกแบบเหนียวอยู่เลย รอยแตกมีผิวเป็นมันเงาสะท้อนแสงได้ดี เนื่องจากการแยกตัวของเนื้อโลหะ เกิดในบริเวณที่เป็นเหล็กฟอสไฟด์ซึ่งมีปริมาณของธาตุฟอสฟอรัสสูง การศึกษาผิวหน้าของฟันเฟืองพบว่าในขณะที่ใช้งานจะมีส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสกับเฟืองอื่นเพียงครึ่งหนึ่งของหน้าเฟืองเท่านั้น (ดูภาพที่



ภาพที่ 3
แสดงลักษณะของฟันเฟืองที่หลุดออกมาในขณะที่ใช้งาน แนวขาวที่เห็นด้านขวามือเกิดจากการสัมผัสกันระหว่างเฟืองที่ใช้งานและเกิดขัดสีกันจนมีผิวเป็นเงาเป็นผลมาจากกัดเฟืองไม่ดี

3 ประกอบ) ทำให้บริเวณที่สัมผัสรับแรงที่มากระทำสูงกว่าปกติเป็นผลให้เฟืองดังกล่าวมีอายุการใช้งานลดลงสั้นกว่าที่ควรจะเป็น สรุปได้ว่าเกิดจากการใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม การใช้เหล็กหล่อที่มีขนาดกราไฟท์ละเอียดขึ้นและมีปริมาณฟอสฟอรัสลดลงจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ การใช้เหล็กหล่อกราไฟท์กลมหรือใช้เหล็กกล้าให้ผลดีกว่าการใช้เหล็กหล่อสีเทา แต่จะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่ามาก อนึ่ง การกัดเฟืองให้มีรูปร่างและขนาดถูกต้อง จะช่วยยืดอายุการใช้งานของเฟืองดังกล่าวโดยตรงสำหรับวัสดุทุกชนิดที่นำมาใช้

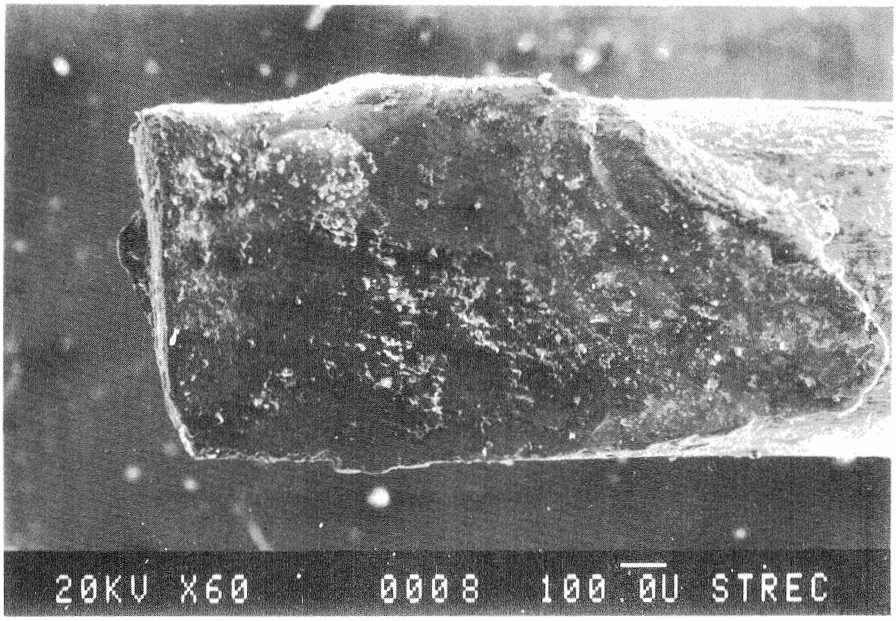
ปัญหาเกี่ยวกับการใช้งาน : ต้องการทราบสาเหตุการขาดของเชือกสลิง (sling rope) ในขณะที่ใช้งาน[11,12]

ข้อมูลเดิม : ได้รับเชือกสลิงมัดย่อยซึ่งมีปลายกระจายออก ไม่มีข้อมูลอื่นเพิ่มเติม

ผลการวิเคราะห์ : ชิ้นงานเป็นเชือกสลิงที่ใช้กับลิฟท์ (elevator) ประกอบด้วยเชือกสลิงย่อยตีเกลียว กับแกนในซึ่งเป็นป่านมนิลา เชือกสลิงย่อยประกอบด้วยลวดสลิง (sling wire) ตีเกลียวเข้าด้วยกัน ตัวอย่างที่ได้รับเป็นช่วงปลายติดกับบริเวณที่เกิดการแตกหัก การทดสอบโดยการดึงลวดสลิงขนาดเล็กพบว่าเกิดการขาดแบบเหนียว ส่วนบริเวณปลายเชือกสลิงที่ขาดเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตริโอพบว่ามีการหลอมตัวเกิดขึ้นที่ปลายลวดสลิง ลักษณะผิวบริเวณที่ขาดส่วนใหญ่จะเรียบ บางเส้นจะหลอมเพียงบางส่วนและเป็นรอยขาดในส่วนที่เหลือ การตรวจสอบส่วนผสมของลวดสลิงด้วย EPMA พบเหล็กแมงกานีส และซิลิกอนในขณะที่ผิวของบริเวณที่ขาดบางจุดมีลักษณะเป็นจุดนูนขึ้นจากผิวเนื้อเหล็ก ซึ่งพบว่าเป็นทองแดง (ดูภาพที่ 4 ประกอบ) จึงสรุปได้ว่าเชือกสลิงเกิดขัดสีกับสายไฟฟ้าในขณะที่ใช้งานจนเปลือกของสายไฟฟ้าขาดเกิดอาร์คขึ้นระหว่างสายไฟฟ้ากับเชือกสลิงจนเชือกสลิงมัดย่อยดังกล่าวขาดและมีทองแดงที่หลอมตัวเนื่องจากการอาร์คเกาะอยู่ที่ปลายของลวดสลิงบางเส้น

ปัญหาเกี่ยวกับการใช้งาน : อยากทราบสาเหตุการแตกหักของลวดสลิงเนื่องจากการใช้งาน

ข้อมูลเดิม : เชือกสลิงที่ใช้กับลิฟท์ (elevator) เกิดขาดตามแนวขวางที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของลวดสลิง โดยไม่ทราบสาเหตุในขณะที่เชือก lot เดียวกัน นำไปใช้งานอื่นแล้วไม่เกิดปัญหา ตัวอย่างที่ได้รับยาว 50 ซม. เป็นเชือกสลิงซึ่งมีเชือกสลิงมัดย่อย 8 มัด ตีเกลียวรูป Z รอบ



ภาพที่ 4

แสดงลักษณะผิวบริเวณรอยขาดของลวดสลิง บริเวณซ้ายมือด้านบนจะเห็นจุดนูนลักษณะกลมชัดเจน จุดดังกล่าวคือทองแดงที่คาดว่ามาจากสายไฟฟ้า เมื่อเกิดอาร์คระหว่างสายไฟฟ้ากับเชือกสลิง

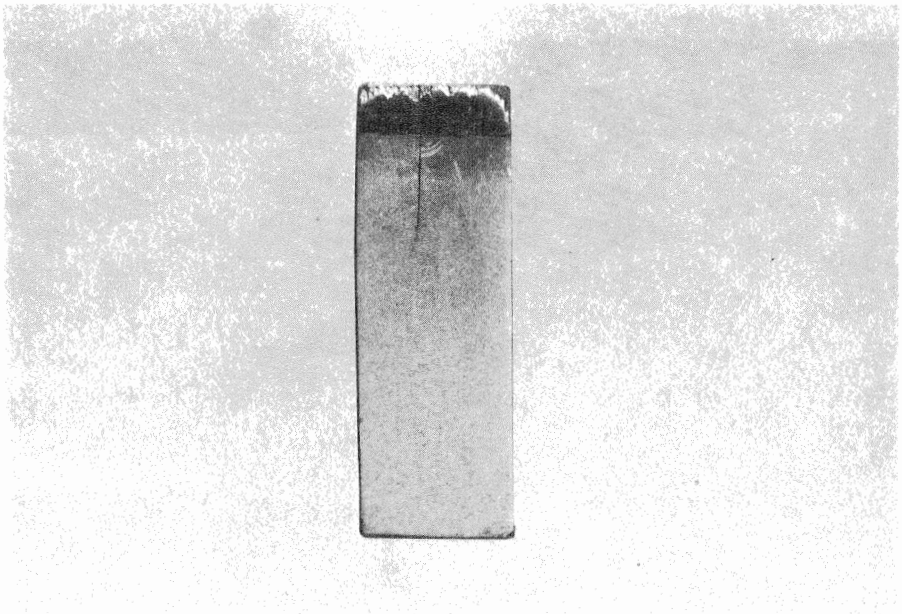
เชือกมนิลาซึ่งเป็นแกนกลาง

ผลการวิเคราะห์ : จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตริโอพบว่า ด้านนอกรอยขาดตามขวางเกือบทุกรอยของลวดสลิงมีลักษณะถูกบีบเป็นแนวยาว (เนื่องจากเกิดการขัดสี, abrasion) ในรอยซึ่งถูกบีบเป็นแนวยาวนี้บางแห่งยังไม่ปรากฏรอยแตกหัก จากการศึกษารอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่ารอยดังกล่าวมีลักษณะแตกหักแบบเปราะ ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าเกิดจากการล้าของโลหะในขณะที่ใช้งาน โครงสร้างในระนาบตามแนวแกนของลวดสลิงเป็นแบบ fibrous structure เนื่องจาก drawing process และในบริเวณที่เกิดการแตกหัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งใต้แนวยาวที่เกิดเนื่องจากการขัดสีไม่พบโครงสร้างมาร์เทนไซท์ การทดสอบโดยการดึงลวดสลิงขนาดเล็กพบว่าเกิดการขาดแบบเหนียว จึงสรุปได้ว่ารอยแนวยาวที่พบอาจเกิดจากการขัดสีระหว่าง guide ที่รับเชือกสลิงมีขนาดไม่พอดีกับเชือกสลิง หรือเชือกสลิงขัดสีกันเอง เป็นผลให้พื้นที่หน้าตัดของลวดสลิงเล็กลง ทำให้ต้องรับแรงเค้นเพิ่มขึ้นเมื่อโดนแรงบิดและแรงดึงกระทำซ้ำ ๆ กัน (cyclic torsional and tensile) จากการใช้งาน จึงเกิดการล้าของโลหะขึ้นและแตกหักในที่สุด อนึ่ง ขนาดและจำนวนของเชือกสลิงมัดย่อยที่ใช้ถ้าไม่เหมาะสมต่องานดังกล่าวจะมีผลต่ออายุการใช้งานของเชือกสลิงเช่นกัน

ปัญหาเนื่องจากการใช้งาน : Bucket pin ใช้งานมานานแล้วไม่แน่ใจว่าภายในจะมีรอยร้าว (crack) หรือไม่ และการผ่านกรรมวิธีอบชุบ (heat treatment) จะช่วยลดหรือทำให้รอยร้าวหายไปหรือไม่[13]

ข้อมูลเดิม : ใช้งานมาแล้ว 15,000 ชั่วโมง ในขณะที่ใช้งานด้านหลังของ pin จะสึกไป จำเป็นต้องเชื่อมพอกแล้ว เจียรผิวให้เรียบเมื่อใช้งานจนผิวที่เชื่อมพอกไว้สึกไปจึงนำมาเชื่อมพอกอีกเช่นนี้เรื่อยไป

ผลการวิเคราะห์ : การศึกษารอยตัดของ pin ในแนวรัศมี พบรอยร้าวอยู่ทั่วไปในชั้นที่เชื่อมพอก รอยร้าวส่วนใหญ่ไม่มีความสัมพันธ์กับรอยร้าวในเนื้อโลหะเดิม ซึ่งเป็น 2.5% Ni-Cr-Mo steel โครงสร้างของโลหะเดิมเป็น deformed forged structure มีเนื้อสม่ำเสมอ ส่วน heat effected zone มีความหนาประมาณ 4 มม. การศึกษารอยตัดของ pin ในแนวแกนพบรอยร้าวทั้งใน



ภาพที่ 5

แสดงรอยร้าวที่เกิดขึ้นในเนื้อ bucket pin เนื่องจากการล้าในขณะที่ใช้งาน บริเวณผิวด้านบนเป็นโลหะที่นำมาเชื่อมพอกที่ผิว (มีปริมาณโครเมียมสูง) มีรอยร้าวเกิดขึ้นทั่วไป ซึ่งเป็นผลจากการเชื่อมพอก (ไม่เกี่ยวกับการล้าในขณะที่ใช้งานแต่ประการใด)

ชั้นบริเวณเชื่อมพอกและในส่วนของ heat effected zone โดยที่รอยร้าวบางแห่งขยายตัวเข้าไปในเนื้อโลหะด้านในลึกประมาณ 8 มม. (ดูภาพที่ 5 ประกอบ) บางรอยลากผ่านทั้งบริเวณเชื่อมพอกเข้าไปในเนื้อโลหะเดิมด้วย สาเหตุของการเกิดรอยร้าวคาดว่าเป็นผลจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วในขณะที่เชื่อมพอก ทำให้เกิด stress concentration area ในบริเวณ heat effected zone ประกอบกับการเกิด bending fatigue ในขณะที่ใช้งาน ทำให้รอยร้าวที่เกิดขึ้นขยายตัวเข้าสู่ด้านในของ pin จนอาจเกิดการแตกหักของชิ้นงานในที่สุด สรุปได้ว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้นโดยเริ่มจาก heat effected zone แล้วขยายตัวเข้าสู่ด้านใน ของ pin ในขณะที่ใช้งานอย่างแน่นอน จะแตกต่างกันที่จำนวนของขนาดและจำนวนรอยร้าวเท่านั้น การตรวจรอยร้าวดังกล่าวถ้าใช้ ultrasonic inspection จะเหมาะที่สุดเนื่องจาก pin มีขนาดโตมาก การใช้เทคนิคอื่นตรวจสอบจะไม่เหมาะสม รอยร้าวดังกล่าวเมื่อเกิดขึ้นแล้วไม่สามารถทำให้ลดลง หรือหายไปโดยการทำ stress relief หรือ annealing หรือ normalizing วิธีที่ดีที่สุดคือควบคุมอัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อมพอกให้เย็นตัวช้าลงตั้งแต่การเชื่อมพอกครั้งแรก โดยการ preheat ผิวโลหะก่อนที่จะเชื่อมพอก และใช้ flux ที่เหมาะสมคลุมผิวรอยเชื่อมพอกจะช่วยลด residual stress ในบริเวณ heat effected zone เป็นผลให้โอกาสที่จะเกิดรอยร้าวในขณะที่ใช้งานลดน้อยลง

จากตัวอย่างที่อธิบายแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่าสิ่งที่จำเป็นในการศึกษาวิเคราะห์ประกอบด้วย

---

1. เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาลักษณะรูปร่างภายนอกของชิ้นงานและรอยแตกหักตั้งแต่กำลังขยายต่ำไปจนถึงกำลังขยายสูง (จากกล้องจุลทรรศน์แบบสเตริโอ กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง ไปจนถึงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนซึ่งสามารถวิเคราะห์ธาตุได้) ในบางตัวอย่างจะเห็นได้ว่าไม่มีความจำเป็น ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในการวิเคราะห์เลย ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ทดสอบ เช่น เครื่องวัดความแข็ง universal testing machine และอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งมีราคาแพงมาก การขอรับบริการจากสถาบันที่มีอุปกรณ์ดังกล่าวจะเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด

2. ข้อมูลเดิมและความละเอียดถี่ถ้วนในสิ่งเล็ก ๆ น้อย ๆ ขณะที่ตรวจสอบชิ้นงาน ปัญหาต่าง ๆ จะเกิดในกรณีนี้มากที่สุด เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับส่วนใหญ่จะมีน้อยมาก หรือในบางครั้งจะไม่มีข้อมูลเลย ทำให้การวิเคราะห์ทำได้ยากเนื่องจากไม่ทราบสภาวะที่เป็นจริงในการใช้งาน ผลวิเคราะห์ที่ได้จึงไม่แน่นอนเท่าที่ควร หรืออาจผิดพลาดไปเลยก็ได้ (ในกรณีนี้จะรวมถึงตัวอย่างที่อธิบายข้างต้นด้วย)

3. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุต่าง ๆ สิ่งเหล่านี้เป็นวิชาพื้นฐานที่จำเป็นที่สุดในการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ และมีสอนอยู่ในหลักสูตรชั้นปีที่หนึ่งของนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ เพียงแต่ว่าจะมีข้อปลีกย่อยในรายละเอียดมากขึ้นเมื่อเรียนในชั้นปีที่สูงขึ้นเท่านั้น

นอกเหนือจากสิ่งที่จำเป็น 3 ข้อ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์จะมีผลต่อเวลาที่ใช้วิเคราะห์และความถูกต้องของผลการวิเคราะห์โดยตรง ในกรณีที่ผู้วิเคราะห์มีประสบการณ์เกี่ยวกับปัญหานั้น ๆ ไม่มากนัก ผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ จากคู่มือ หนังสือ หรือตำราเฉพาะงาน จะช่วยให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์และทำได้ง่ายขึ้น สำหรับผู้ที่กำลังฝึกตนเองให้มีความชำนาญในการวิเคราะห์มากขึ้น สิ่งที่ดีที่สุดคือการช่วยกันคิดและวิเคราะห์หลาย ๆ คน จะให้ผลดีกว่าการคิดและวิเคราะห์เพียงคนเดียว เนื่องจากประสบการณ์ ความละเอียด และความคิดเห็นของบุคคลหลาย ๆ คน เมื่อนำมาประมวลผลจะช่วยให้สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณวิศวกร และนักวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ของศูนย์เครื่องมือฯ จุฬาฯ ที่มีรายชื่อปรากฏในเอกสารอ้างอิงของบทความนี้ คุณบรรจงศักดิ์ สนริ้ว คุณนฤปวัจน์ เงินวิจิตร และคุณวิรัช ธรรมวินิจฉัย ซึ่งมีส่วนร่วมในงานวิเคราะห์ผลและถ่ายรูปทั้งหมดที่ปรากฏในบทความนี้ และขอขอบคุณ คุณศิริพร มานะสัมฤทธิ์ผล ที่ได้กรุณาพิมพ์ ตรวจทาน และแก้ไขบทความดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาฯ ที่ได้กรุณาตามทวงบทความดังกล่าวจนบทความนี้สำเร็จลุล่วงลงได้มา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

1. S.H. Avner, "Introduction to Physical Metallurgy". 2nd edition, McGraw-Hill Book Company, 1986, p.633-665.
2. D.K. Felbeck and A.G. Atkins, "Strength and Fracture of Engineering Solids". Prentice-Hall Inc., 1984, 542 p.
3. American Society for Metals, Metals Handbook, 8th edition, volume 10, "Failure Analysis and Prevention". Metals Park, Ohio : American Society for Metals, 1975.
4. Engel, Lothar, and Hermann Klingcle, "An Atlas of Metal Damage". Eaglewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1981.
5. เอกสารผลการวิเคราะห์, ศูนย์เครื่องมือวิจัยฯ จุฬาฯ เลขที่ 424/2530 วราภรณ์ ตันรัตนกุล, วีระชัย บัญชรเทวกุล, วิรุฬห์ มังคละวิรัช.
6. R.W.K. Honeycombe, "Steels, Microstructure and Properties". Edward Arnold (Publishers) Ltd., 1982, p.11
7. เอกสารผลการวิเคราะห์, ศูนย์เครื่องมือวิจัยฯ จุฬาฯ เลขที่ 696/2530 อดุลย์ สลักคำ, วีระชัย บัญชรเทวกุล, วิรุฬห์ มังคละวิรัช.
8. เอกสารผลการวิเคราะห์, ศูนย์เครื่องมือวิจัยฯ จุฬาฯ เลขที่ 445/2531 สัญชัย พรรคประพันธ์, อดุลย์ สลักคำ, วีระชัย บัญชรเทวกุล, วิรุฬห์ มังคละวิรัช,
9. เอกสารผลการวิเคราะห์, ศูนย์เครื่องมือวิจัยฯ จุฬาฯ เลขที่ 639/2531 วราภรณ์ ตันรัตนกุล, วีระชัย บัญชรเทวกุล, วิรุฬห์ มังคละวิรัช.
10. เอกสารผลการวิเคราะห์, ศูนย์เครื่องมือวิจัยฯ จุฬาฯ เลขที่ 256/2531 สัญชัย พรรคประพันธ์, วีระชัย บัญชรเทวกุล, วิรุฬห์ มังคละวิรัช.
11. เอกสารผลการวิเคราะห์, ศูนย์เครื่องมือวิจัยฯ จุฬาฯ เลขที่ 909/2531 อัมพร อึ้งปกรณ์แก้ว, วีระชัย บัญชรเทวกุล, วิรุฬห์ มังคละวิรัช.
12. V. Mangclaviraj, W. Banchorndhevakul, V. Tanratanakul, S. Vetchagarun, "Electron Microscopy in Analysis Service", Proc. IVth Asia-Pacific Conference and Workshop on Electron Microscopy, Bangkok, 1988, p.47.
13. เอกสารผลการวิเคราะห์, ศูนย์เครื่องมือวิจัยฯ จุฬาฯ เลขที่ 532/2531 สัญชัย พรรคประพันธ์, วีระชัย บัญชรเทวกุล, วิรุฬห์ มังคละวิรัช.