

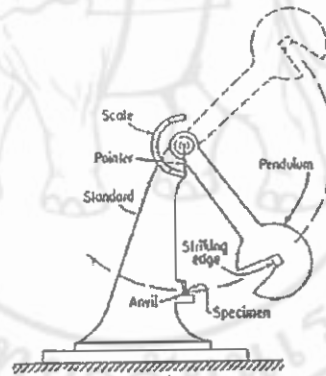
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 บทนำ

การทดสอบด้วยแรงกระแทกเป็นการทดสอบประเภท Dynamic load test ซึ่งทดสอบดูการแตกด้วยน้ำหนักซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วอย่างทันทีทันใดหรือภายในระยะเวลาสั้นๆ

เครื่องทดสอบการรับแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy Impact Testing Machine) มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น ขนาด 220 ft-lb (298.28 J) สำหรับทดสอบโลหะ และขนาด 4 ft-lb (5.42 J) สำหรับทดสอบพลาสติก ลักษณะของเครื่องทดสอบการรับแรงกระแทกโดยทั่วไปเป็นดังรูปที่ 2.1



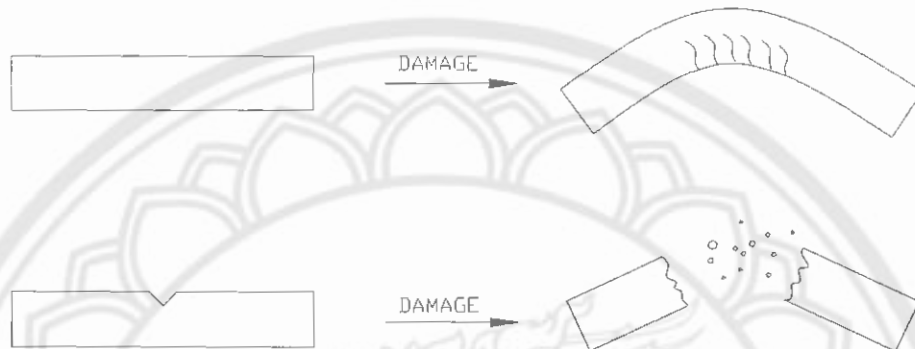
รูปที่ 2.1 แผนภาพการทดสอบการรับแรงกระแทกแบบชาร์ปี

(ที่มา : The Testing of Engineering Materials, Hammer E. Davies, George Earl Troxell and George F.W. Hauck)

2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อการทนต่อแรงกระแทก

2.2.1 ขนาดของชิ้นงานทดสอบ ถ้าชิ้นงานทดสอบยิ่งใหญ่กว่าใดก็จะมีแนวโน้มที่เกิดการแตกหักแบบเปราะ (Brittle) ได้ง่ายขึ้น

2.2.2 รอยบาก (Notches) รอยบากที่คมจะแตกหักง่ายกว่ารอยบากที่โค้ง ชิ้นงานที่มีรอยบากจะแตกหักง่ายกว่าชิ้นงานที่ไม่มีรอยบาก ดังแสดงในรูปที่ 2.2

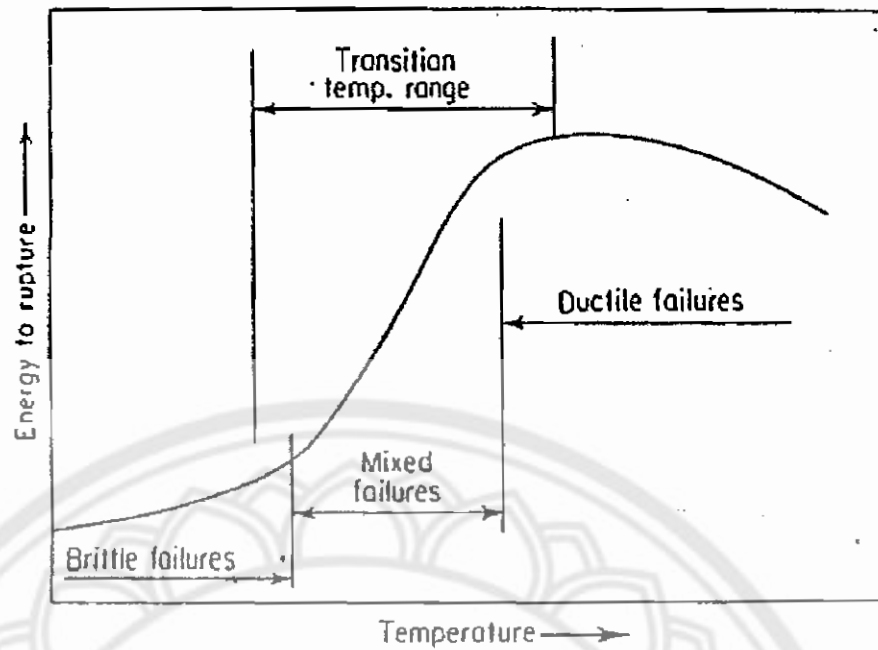


รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของชิ้นงานภายหลังจากการรับแรงกระแทก
(ที่มา : เอกสารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 1, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร)

2.2.3 อุณหภูมิ กล่าวคือ อุณหภูมิของวัสดุยิ่งต่ำ การหักแบบเปราะจะยิ่งมาก ถ้าอุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้นจะทำให้วัสดุเหนียวมากขึ้น (ในระดับหนึ่งเท่านั้น) ดังแสดงให้เห็นตามกราฟที่ 2.1

2.2.4 คุณสมบัติของผิว ผิวงานที่ขรุขระเป็นรอยขีด มักจะเกิดการแตกหักแบบเปราะมากกว่าผิวงานที่เรียบ ในวัสดุชนิดเดียวกัน การมีผิวขรุขระก็เปรียบเสมือนมีร่องบากคมนั่นเอง

2.2.5 ชนิดของวัสดุ โดยมากวัสดุอ่อนมักมีความเหนียวทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่าวัสดุแข็งแต่เปราะ เช่น เหล็กอ่อนทนต่อแรงกระแทกกว่าเหล็กหล่อ



กราฟ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเหนียวของวัสดุ
(ที่มา : The Testing of Engineering Materials, Hammer E. Davies, George Earl Troxell and
George F.W. Hauck)

2.3 พฤติกรรมของวัสดุภายใต้แรงกระแทก

เมื่อวัสดุหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลถูกกระแทกจากชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ บริเวณที่ถูกกระแทกของวัสดุจะเกิดความเค้นขึ้นอย่างมาก นอกจากนั้นยังเกิดการถ่ายเทพลังงานจากวัตถุที่เคลื่อนที่ไปสู่ชิ้นส่วนที่ถูกกระแทก และยังสามารถถ่ายเทไปยังชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่อยู่ติดกันด้วย

พลังงานจากการกระแทกถูกดูดกลืนได้หลายลักษณะ ดังนี้

2.3.1 โดยการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) ของวัสดุที่ถูกกระแทก

2.3.2 โดยการเปลี่ยนรูปแบบถาวร (plastic deformation) ของวัสดุที่ถูกกระแทก

2.3.3 ผลจากลักษณะทาง โครงสร้างของวัสดุ เช่น การจัดเรียงอะตอม

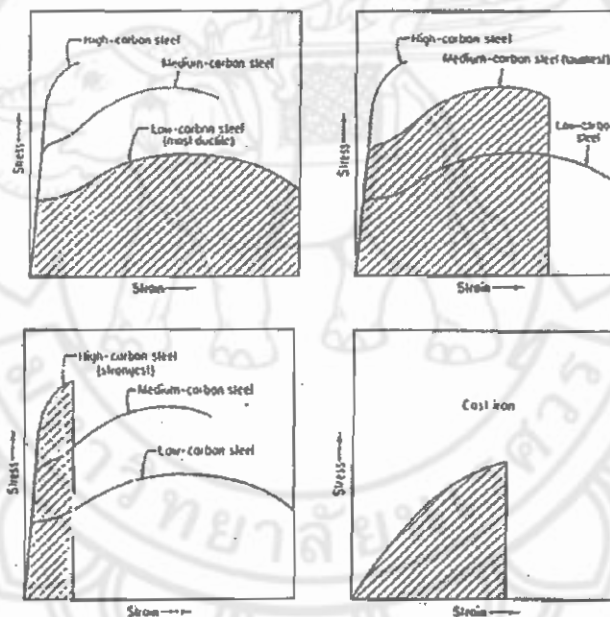
2.3.4 สูญเสียไปกับความเสียดทานต่างๆ

2.3.5 สูญเสียไปกับส่วนที่เคลื่อนที่

ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องรับแรงแบบกระแทก ต้องพิจารณาถึงความสามารถของวัสดุในการดูดกลืนพลังงานในช่วงยืดหยุ่นให้ได้มากที่สุด เพราะถ้าเลยจากช่วงที่ยืดหยุ่นไปสู่ช่วงพลาสติกแล้ว ชิ้นส่วนนั้นจะเกิดการเสียหายเนื่องจากการเปลี่ยนรูป ดังนั้นความ

สามารถในการดูดกลืนพลังงานในช่วงยืดหยุ่นของวัสดุจึงเป็นคุณสมบัติสำคัญที่บ่งบอกว่าวัสดุใดเหมาะสมในการใช้ภาระแบบกระแทกงานมากที่สุด

ความเหนียวแน่นของวัสดุ (Toughness) คือ ความสามารถของวัสดุในการดูดกลืนพลังงานต่อหน่วยปริมาตร ถ้าวัสดุใดสามารถดูดกลืนพลังงานต่อหน่วยปริมาตรไว้ได้สูง แสดงว่าวัสดุนั้นมีความเหนียวแน่นสูง โดยปกติความเหนียวแน่นของวัสดุขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและความเหนียวของวัสดุ แต่ไม่ขึ้นกับชนิดของภาระที่มากระทำ ในความเป็นจริงอัตราการดูดกลืนพลังงานมีผลกระทบต่อพฤติกรรมของวัสดุอย่างมาก ดังนั้นการวัดความเหนียวแน่นของวัสดุจึงมักใช้แรงกระแทกมากกว่าใช้แรงสถิตย์



กราฟที่ 2.2 แผนภาพความเค้น-ความเครียดแสดงความสัมพันธ์ของความเหนียวแน่นกับพื้นที่ใต้กราฟ

(ที่มา : The Testing of Engineering Materials, Hammer E. Davies, George Earl Troxell and George F.W. Hauck)

เมื่อพิจารณาถึงกราฟความเค้น-ความเครียดแล้ว ความเหนียวแน่นของวัสดุ คือ พื้นที่ภายใต้กราฟทั้งหมดจนถึงจุดแตกหัก กราฟที่ 2.2 เปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟความเค้น-ความเครียดของวัสดุชนิดต่างๆ

จากกราฟที่ 2.2 จะพบว่าวัสดุที่มีความเหนียวแน่นสูงต้องเป็นวัสดุที่มีทั้งพิกัดเส้นตรง (proportional limit) และความเหนียวสูง โลหะที่มีความเหนียวแน่นมากกว่ายึดตัวได้มากกว่าโลหะที่มีความเหนียวแน่นน้อยกว่าเมื่อถูกแรงกระทำ

2.4 เครื่องทดสอบการกระแทก

เครื่องทดสอบการกระแทกแบ่งตามลักษณะของชิ้นส่วนที่ให้พลังงานแก่ชิ้นทดสอบ เพื่อให้สามารถใช้ทดสอบวัสดุได้อย่างเหมาะสมโดยแบ่งเป็น 2 แบบ คือ เครื่องทดสอบการกระแทกแบบค้อนเหวี่ยงกระแทก (swinging pendulum) และเครื่องทดสอบการกระแทกแบบน้ำหนักตกกระทบ (dropping weight)

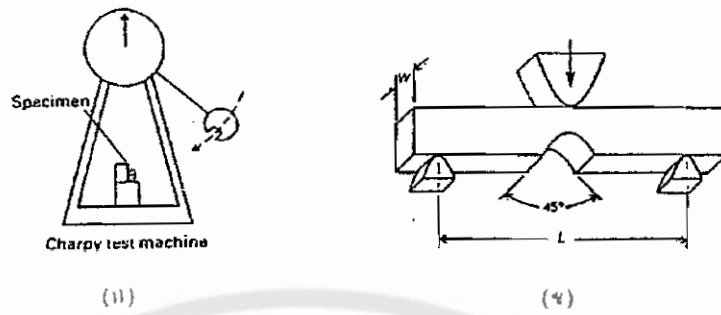
2.4.1 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบค้อนเหวี่ยงกระแทก เป็นทดสอบการกระแทกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบการกระแทก คือ มีหัวค้อนและด้ามหัวค้อนเหวี่ยงหมุนเคลื่อนที่รอบจุดหมุนจุดหนึ่ง มาตีชิ้นทดสอบที่มีรอยบาก (notch) แล้วอ่านค่าพลังงานการแตกหักของชิ้นทดสอบเป็นหน่วย J หรือ ft-lb

เครื่องทดสอบการกระแทกแบบค้อนเหวี่ยงกระแทกแบ่งออกเป็น

ก) เครื่องทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy impact testing machine)

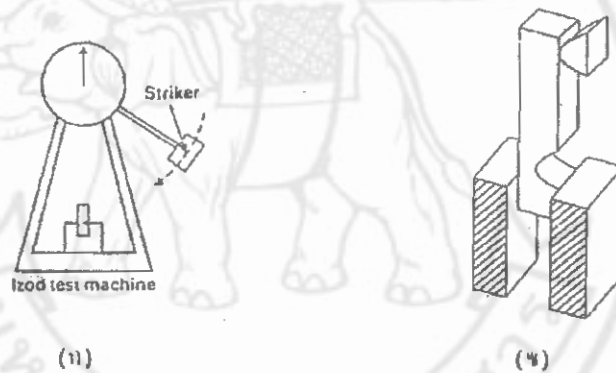
ข) เครื่องทดสอบการกระแทกแบบไอซอด (Izod impact testing machine)

เครื่องทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีและเครื่องทดสอบการกระแทกแบบไอซอด มีลักษณะของการทำงานที่เหมือนกัน แต่จะต่างกันตรงลักษณะการวางชิ้นทดสอบและจุดรับแรงของชิ้นทดสอบ การทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี จะวางชิ้นทดสอบเหมือนคานรองรับอย่างง่าย จุดรับแรงกระแทกอยู่ตรงกึ่งกลางชิ้นทดสอบและอยู่ด้านตรงกันข้ามกับรอยบาก ดังรูปที่ 2.3 ข) ส่วนการทดสอบการกระแทกแบบไอซอดจะวางชิ้นทดสอบเหมือนคานยื่น ดังรูปที่ 2.4 ข) รอยบากอยู่ตรงโคนชิ้นทดสอบ



รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี

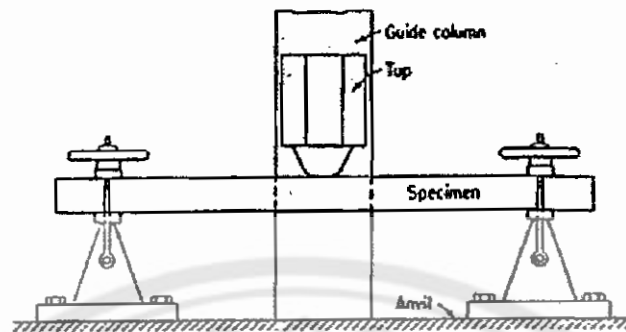
(ที่มา : The Technology and Applications of Engineering Materials, Martyn S. Ray)



รูปที่ 2.4 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบไอซอด

(ที่มา : The Technology and Applications of Engineering Materials, Martyn S. Ray)

2.4.2 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบน้ำหนักรวมมีลักษณะการทำงาน คือ มีลูกน้ำหนักรวม (tup) ถูกปล่อยจากความสูงใดๆลงมาตามร่องนำ (guide column) กระแทกชิ้นทดสอบที่ไม่มีรอยบากเมื่อกระแทกชิ้นทดสอบไม่ขาดจะเพิ่มความสูงขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งชิ้นทดสอบแตกหัก ค่าพลังงานการแตกหักของชิ้นทดสอบ คือ พลังงานศักย์ของลูกน้ำหนักรวมก่อนการปล่อยลงมากระแทกชิ้นทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภาพเครื่องทดสอบการกระแทกแบบน้ำหนักตกกระทบ

(ที่มา : The Testing of Engineering Materials, Hammer E. Davies, George Earl Troxell and George F.W. Hauck)

2.5 มาตรฐานของการทดสอบการรับแรงกระแทกแบบชาร์ปี

มาตรฐานของการทดสอบการรับแรงกระแทกนั้นมีสมาคมหรือสถาบันหลายแห่งที่ได้ตั้งมาตรฐานของตนเองขึ้นและเป็นที่ยอมรับ โดยทั่วไป ได้แก่

2.5.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า (Standard Methods of Test for Iron and Steel, MOG)

2.5.2 องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO)

2.5.3 มาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุของอเมริกา (American Society for Testing and Materials, ASTM)

2.5.4 มาตรฐานอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard, JIS)

2.5.5 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (สมอ.) (Thai Industrial Standard Institute, TIS)

ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดอย่างย่อๆของการทดสอบการรับแรงกระแทกแบบชาร์ปีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า (มอก. 244 เล่ม 8 ถึง 9-2522) ดังนี้

2.6 เครื่องทดสอบการรับแรงกระแทกแบบชาร์ปี

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องทดสอบการรับแรงกระแทก มีดังนี้

2.6.1 หัวค้อน

2.6.2 เช็มวัดค่าพลังงาน

2.6.3 เปรก

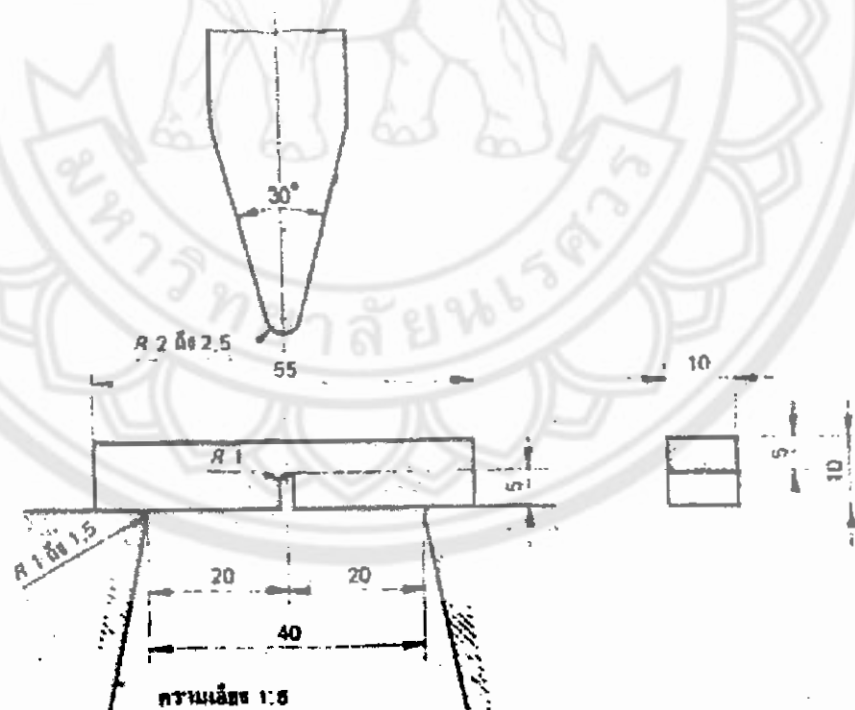
2.6.4 ชั้นทดสอบ

2.6.5 แท่นวางชั้นทดสอบ

ซึ่งส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญของเครื่องทดสอบการรับแรงกระแทก ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.7 มาตรฐานของเครื่องทดสอบการรับแรงกระแทกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า (มอก. 244 เล่ม 8 ถึง 9-2522)



รูปที่ 2.6 การทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปี รอยบากรูปตัวยู (U-notch) หน่วยเป็นมิลลิเมตร
(ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของเครื่องทดสอบ

(ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)

ข้อกำหนด	ขนาด
ระยะระหว่างฐานรองรับ	มิลลิเมตร
รัศมีความโค้งของฐานรองรับ	มิลลิเมตร
ความเอียงของฐานรองรับ	
มุมที่ปลายค้อน	องศา
รัศมีความโค้งของปลายค้อน	มิลลิเมตร
ความเร็วของค้อนขณะกระแทก	เมตรต่อวินาที

หมายเหตุ * เครื่องทดสอบที่ทำขึ้นก่อนหน้านี้ยอมให้ความเร็วเป็น 4.5 ถึง 7 เมตรต่อวินาทีได้

2.7.1 เครื่องทดสอบจะต้องสร้างขึ้นและติดตั้งอย่างเที่ยงตรงและมั่นคง ให้ค่าพลังงานที่สูญหายไปเนื่องจากการเคลื่อน การหมุน หรือการสั่นในโครงสร้างของเครื่องทดสอบน้อยมากจนไม่ต้องคิด

2.7.2 เครื่องทดสอบต้องมีลักษณะถูกต้องตามรูปที่ 2.6 และตารางที่ 2.1

2.7.3 ระนาบที่ค้อนแกว่งต้องอยู่ในแนวตั้ง

2.7.4 จุดศูนย์กลางของการปะทะ คือ จุดที่ค้อนกระแทก

2.7.5 ความแม่นยำของสเกลเครื่องทดสอบเป็นร้อยละ ± 0.5 ของพลังงานการกระแทกสูงสุดของเครื่องทดสอบ

2.7.6 เมื่อปล่อยให้หัวค้อนแกว่ง โดยที่ไม่มีชิ้นทดสอบอุปกรณ์อ่านค่าพลังงานต้องอ่านค่าพลังงานที่ศูนย์

2.7.7 พลังงานที่ใช้ในการกระแทกสำหรับการทดสอบมาตรฐาน คือ 300 ± 10 จูล

2.7.8 เครื่องทดสอบที่ใช้พลังงานการกระแทกต่างจากนี้ ยอมให้ใช้ได้

2.7.9 เครื่องทดสอบต้องได้รับการตรวจสอบให้ถูกต้องตาม ISO/R 442

2.8 มาตรฐานของชิ้นทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีสำหรับเหล็กกล้า รอยบาก รูปตัวยู (U-notch)

2.8.1 ให้ตัดชิ้นทดสอบยาว 55 มิลลิเมตร หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 10 มิลลิเมตร ตรงกลางของความยาวทำให้เป็นรอยบากรูป U ลึก 5 มิลลิเมตร (เว้นแต่จะกำหนดเป็นอย่างอื่น) ตรงกันรอยบากเป็นรูปครึ่งวงกลมมีรัศมีความโค้ง 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2.8.2 รอยบากต้องตัดด้วยเครื่องมือกลให้ระนาบตั้งได้ฉากสมมาตรกับแนวแกนของชิ้นทดสอบ และต้องระมัดระวังมิให้มีร่องเกิดขึ้นที่กันรอยบาก

2.8.3 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมิติชิ้นทดสอบ ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมิติชิ้นทดสอบที่กำหนด
(ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)

ข้อกำหนด		ขนาดระบุ	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	
			ค่า	สัญลักษณ์
ความยาว	มิลลิเมตร	55	± 0.60	Js 15
ความหนา	มิลลิเมตร	10	± 0.11	Js 13
ความกว้าง	มิลลิเมตร	10	± 0.11	Js 13
ความลึกของรอยบาก	มิลลิเมตร	5	± 0.09	Js 13
รัศมีความโค้งที่กันรอยบาก	มิลลิเมตร	1	± 0.07	Js 13
ระยะจากระนาบสมมาตรของรอยบากถึงปลายชิ้นทดสอบ	มิลลิเมตร	27.5	± 0.42	Js 15
มุมระหว่างระนาบสมมาตรของรอยบากกับแนวแกนของชิ้นทดสอบ	องศา	90	± 2	

หมายเหตุ สัญลักษณ์ Js 13 และ Js 15 ให้ไว้ในกรณีที่กำหนดขนาดระบุเป็นอย่างอื่น ค่าของสัญลักษณ์เหล่านี้กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมระบบขีดจำกัดและระยะพอดี (ในระหว่างที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้ใช้ตาม ISO/R 286)

2.9 หลักในการทดสอบ

2.9.1 อุณหภูมิของชิ้นทดสอบขณะทดสอบต้องไม่แตกต่างจากอุณหภูมิที่กำหนดให้ ± 2 องศาเซลเซียส เว้นแต่จะมีการตกลงกันเป็นอย่างอื่น ถ้าไม่ได้กำหนดอุณหภูมิการทดสอบ ให้ทดสอบที่ 20 องศาเซลเซียสเหมือนกับอุณหภูมิของประเทศที่มีอากาศหนาว หรือให้ทดสอบที่ 27 องศาเซลเซียสเหมือนกับอุณหภูมิของประเทศที่มีอากาศร้อน โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเป็น ± 2 องศาเซลเซียส

2.9.2 วางชิ้นทดสอบให้ได้ตั้งฉากกับฐานรองรับและให้รอยบากอยู่ที่จุดกึ่งกลางระหว่างฐานรองรับภายใน 0.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ให้ค้อนกระแทกด้านตรงข้ามกับรอยบากในระนาบสมมาตร

2.9.3 ในการทดสอบ ถ้าชิ้นทดสอบไม่หักขาดออกจากกัน ค่าพลังงานที่ได้ถือว่ายังไม่แน่นอน

หมายเหตุ ค่าพลังงานการกระแทกที่ได้นี้จะเปลี่ยนไปเป็นค่าพลังงานการกระแทกที่ได้โดยวิธีทดสอบอื่นไม่ได้

2.10 ผลกระทบที่มีต่อการทดสอบ

ผลการทดสอบการกระแทกของโลหะ โดยใช้เครื่องทดสอบชนิดต่างกัน ให้ผลการทดสอบที่แตกต่างกัน เนื่องจาก

2.10.1 ค่าพลังงานการแตกหักที่เปลี่ยนไปเป็นการสิ้นของชิ้นส่วนของเครื่องทดสอบ

2.10.2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วขณะกระแทกหัวค้อน

2.10.3 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบ

ค่าพลังงานการแตกหักของชิ้นทดสอบที่เหมือนกัน จากเครื่องทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีและแบบไอซอดจะมีค่าต่างกัน กล่าวคือ ค่าพลังงานการแตกหักจากการทดสอบแบบชาร์ปีสูงกว่าการทดสอบแบบไอซอด ซึ่งวัสดุที่ทดสอบมีความเหนียวแน่นมากขึ้นค่าพลังงานการแตกหักจากการทดสอบทั้งสองยิ่งแตกต่างกันมากขึ้น

ก) ความเร็วของหัวค้อนขณะกระแทก ความเร็วของหัวค้อนเครื่องทดสอบการกระแทกที่ใช้งานกันโดยทั่วไปประมาณ 3-6 เมตรต่อวินาที จะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าพลังงานการแตกหัก แต่ในการทดสอบบางกรณีที่มีความเร็วหัวค้อนมีค่าสูงมากจนถึงความเร็ววิกฤติประมาณ 300 เมตรต่อ

วินาที พบว่าค่าพลังงานการแตกหักมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด โลหะแต่ละชนิดมีค่าความเร็ววิกฤติ และอัตราการลดลงของค่าพลังงานการแตกหักที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปค่าความเร็ววิกฤติในเหล็กกล้าที่ผ่านการอบอ่อนมีค่าน้อยกว่าเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็งเมื่อพิจารณาถึงช่วงความเร็วใช้งาน ในการทดสอบแบบชาร์ปีและแบบไอซอด เหล็กกล้าคาร์บอนมีความเร็ววิกฤติต่ำกว่าช่วงความเร็วใช้งาน แต่เหล็กกล้าผสมมีความเร็ววิกฤติใกล้เคียงกันกับช่วงความเร็วใช้งานนี้




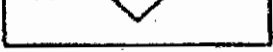


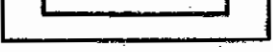
ข) ชินทดสอบ ในกรณีที่ไม่สามารถหาชินทดสอบมาตรฐานได้ สามารถใช้ชินทดสอบ ขนาดเล็กกว่ามาตรฐานในการทดสอบแทนได้ แต่ค่าพลังงานการแตกหักที่ได้มักจะมีความสูงกว่าค่าพลังงานการแตกหักที่ได้จากชินทดสอบมาตรฐาน

มุมของรอยบากของชินทดสอบมีผลกระทบต่อค่าพลังงานการแตกหักด้วย จากการทดสอบของเหล็กกล้า (mild steel) เมื่อรอยบากลึก 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 2.3 พบว่ามุมของรอยบากไม่มีผลกระทบต่อค่าพลังงานการแตกหักจนกระทั่งมุมของรอยบากเกิน 60 องศา

ตารางที่ 2.3 ผลของมุมรอยบากบนชินทดสอบต่อค่าพลังงานการแตกหักในการทดสอบเหล็กกล้า (mild steel)

(ที่มา : The Testing of Engineering Materials, Hammer E. Davies. George Earl Troxell and George F.W. Hauck)

George F.W. Hauck)

Angle of notch, °	Sketch of specimen	Charpy impact value, ft-lb
0		22.1
30		24.4
60		23.1
90		25.9
120		41.8
150		66.2
180		63.1

* J. J. Thomas, "The Charpy Impact Test on Heat-treated Steels," *Proc. ASTM*, vol. 16, pt. II, 1915.

ความคมของโคนรอยบาก มีผลกระทบต่อถึงค่าพลังงานการแตกหักเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.4 พบว่าค่าพลังงานการแตกหักมีค่าลดลงเมื่อความคมของโคนรอยบากเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าความเค้นหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.4 ผลของรัศมีที่โคนรอยบากรูปตัววี

(ที่มา : The Testing of Engineering Materials, Hammer E. Davies. George Earl Troxell and George F.W. Hauck)

Root radius of notch, 2 mm deep, mm	Charpy impact value, ft-lb
Sharp	4.0
0.17	6.9
0.34	8.3
0.68	13.7

R.G. Batson, and J.H. Hyde, Mechanical Testing, Vol 1 : Testing of Materials of Construction, Dutton, New York (Chapman & Hall, London), 1992

ค) การแตกหัก การแตกหักของชิ้นทดสอบ แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

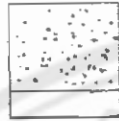
- ค.1 การแตกหักแบบเปราะ (brittle fracture)
- ค.2 การแตกหักแบบเหนียว (ductile fracture)
- ค.3 การแตกหักแบบรวม (combined fracture)

การแตกหักลักษณะต่างๆของชิ้นทดสอบ ส่งผลกระทบต่อถึงค่าพลังงานการแตกหักเช่นกัน กล่าวคือ การแตกหักแบบเปราะให้ค่าพลังงานการแตกหักต่ำกว่าการแตกหักแบบเหนียว ส่วนชิ้นทดสอบจะมีการแตกหักในลักษณะใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชิ้นทดสอบเองและคุณสมบัติของชิ้นทดสอบเป็นผลมาจากกรรมวิธีการผลิตวัสดุที่ใช้ทำชิ้นทดสอบด้วย นอกจากนี้ความเร็วของหัวค้อนก็มีผลถึงลักษณะของการแตกหักด้วยเช่นกัน

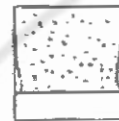
ง) อุณหภูมิการทดสอบ อุณหภูมิของชิ้นทดสอบมีอิทธิพลอย่างมากต่อค่าพลังงานการแตกหักที่วัดได้ดังกราฟที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพลังงานการแตกหักของโลหะ



(ก) รอยแตกแบบเหนียว

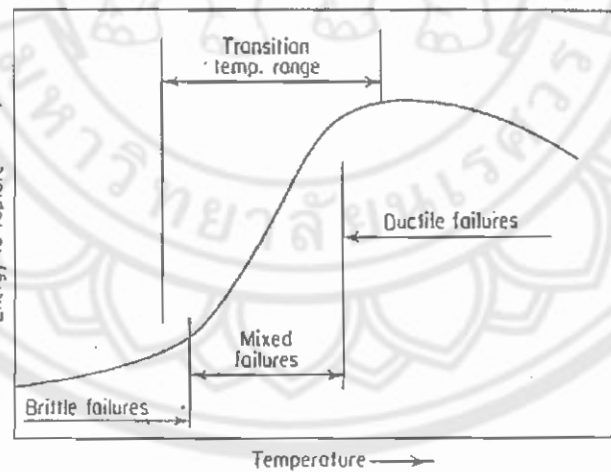


(ข) รอยแตกแบบเปราะ

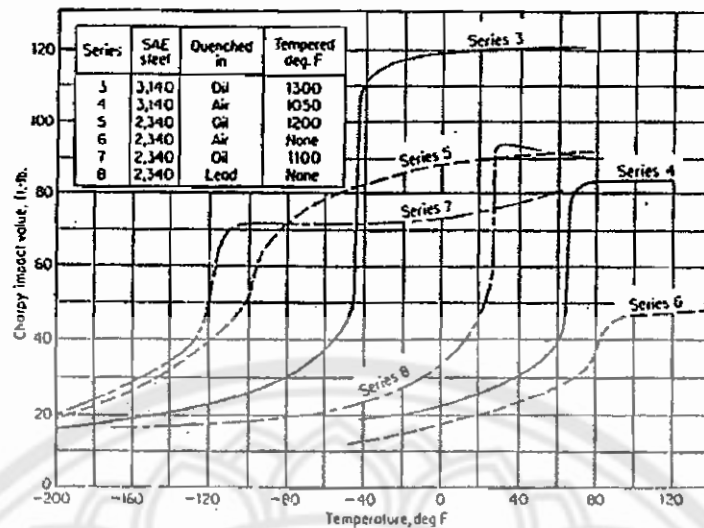


(ค) รอยแตกแบบรวม

รูปที่ 2.7 แสดงรอยแตกแบบต่างๆ
(ที่มา : งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม, มานพ ดันตระกูล)



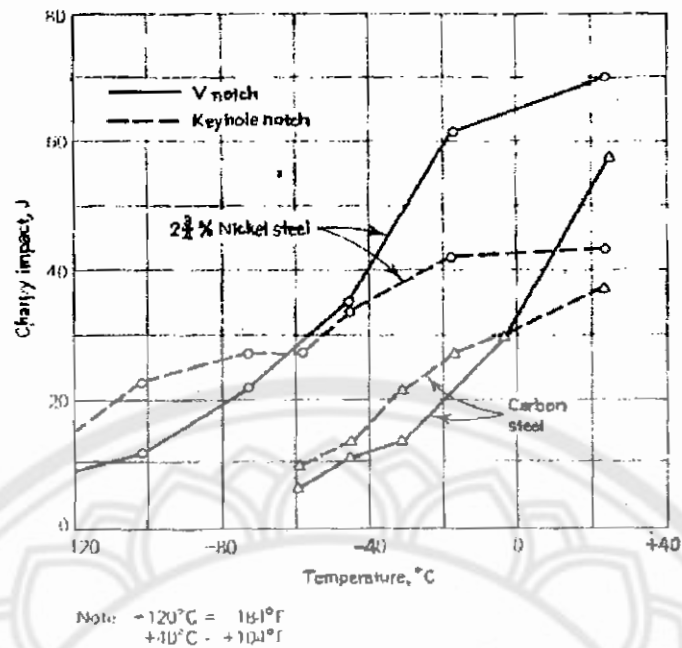
กราฟที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของพลังงานการแตกหักที่อุณหภูมิขึ้นทดสอบต่างๆของโลหะ
(ที่มา : The Testing of Engineering Materials, Hamner E. Davies, George Earl Troxell and
George F.W. Hauck)



กราฟที่ 2.4 แสดงช่วง transition-temperature ของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ
(ที่มา : The Testing of Engineering Materials, Hammer E. Davies, George Earl Troxell and
George F.W. Hauck)

ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆช่วงอุณหภูมิวิกฤติ (critical temperature) คือ ช่วงอุณหภูมิที่ค่าพลังงานการแตกหักเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก แม้ว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อุณหภูมิของชิ้นทดสอบต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิวิกฤติการแตกหักของชิ้นทดสอบมักเป็นการแตกหักแบบเปราะดังแสดงในรูปที่ 2.7 ข) และค่าพลังงานการแตกหักที่อ่านได้จะมีค่าต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิของชิ้นทดสอบสูงกว่าช่วงอุณหภูมิวิกฤติการแตกหักของชิ้นทดสอบจะเป็นการแตกหักแบบเหนียว ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ก) และค่าพลังงานการแตกหักที่อ่านได้จะมีค่าสูงที่อุณหภูมิของชิ้นทดสอบอยู่ในช่วงอุณหภูมิวิกฤติ หรือเรียกว่า transition-temperature range การแตกหักของชิ้นทดสอบจะเป็นการแตกหักแบบรวมดังแสดงในรูปที่ 2.7 ค)

กราฟที่ 2.4 แสดงช่วง transition-temperature ของเหล็กกล้าตามมาตรฐานสมาคมวิศวกรยานยนต์ (Society of Automotive Engineers, SAE) ชนิดต่างๆ จากกราฟที่ 2.4 พบว่าเส้นกราฟที่ช่วง transition-temperature จะชันมากน้อยหรือตั้งชันสูงเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของเหล็กกล้า



กราฟที่ 2.5 อิทธิพลของรอยบากบนขึ้นทดสอบต่อช่วง transition-temperature ของเหล็กกล้า 2 ชนิด

(ที่มา : The Testing of Engineering Materials, Hammer E. Davies, George Earl Troxell and George F.W. Hauck)

นอกจากนี้ช่วง transition-temperature ยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของรอยบากในขึ้นทดสอบดังแสดงในกราฟที่ 2.5 แสดงช่วง transition-temperature ของเหล็กกล้า 2 ชนิดที่มีรูปร่างของรอยบากเป็นรูปตัววี (เส้นทึบ) และรูปรูกลุญแจ (เส้นประ)