

เครื่องทดสอบการกระแทก



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....55623.....
วัน,เดือน,ปี.....20 พ.ค. 2548.....

b.....
i.....

IMPACT TESTER



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ACADEMIC YEAR 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

เครื่องทดสอบการกระแทก
IMPACT TESTER

นักศึกษา

นายสรายุทธ เกตุทอง รหัสประจำตัว 44015756

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

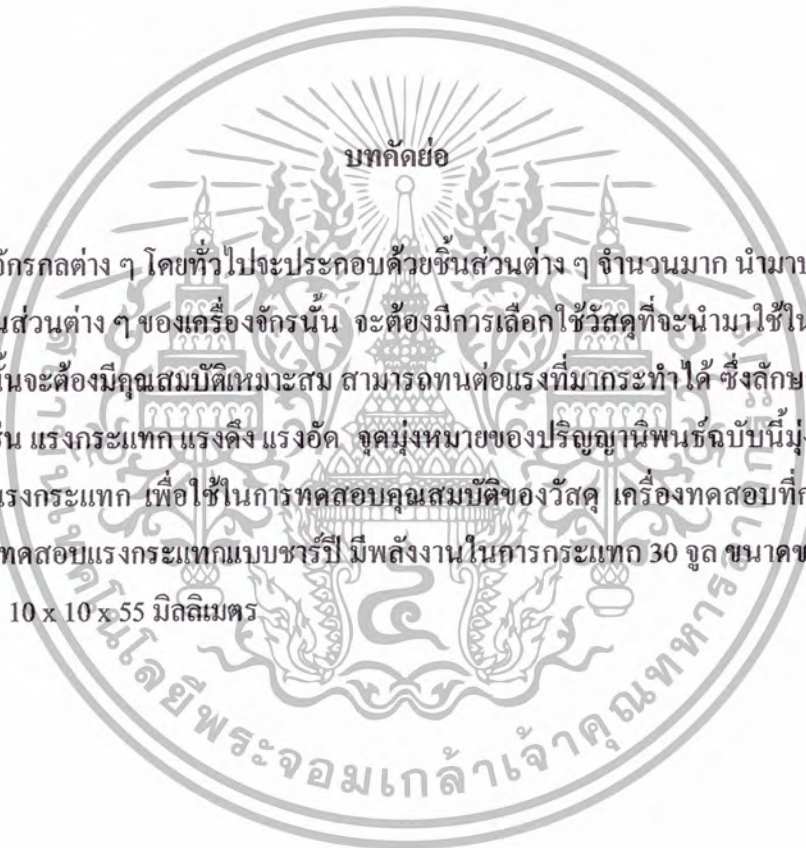
ทรงชัย ก้อยศิริ

(ดร.ทรงชัย ก้อยศิริ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องทดสอบการกระแทก
นักศึกษา นายสราวดี เกตุทอง
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2546
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ



เครื่องจักรกลต่าง ๆ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ จำนวนมาก นำมาประกอบกัน ซึ่งการที่จะผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรนั้น จะต้องมีการเลือกใช้วัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิต และวัสดุที่เลือกใช้นั้นจะต้องมีคุณสมบัติเหมาะสม สามารถทนต่อแรงที่มากระทำได้ ซึ่งลักษณะต่าง ๆ ของแรงที่กระทำ เช่น แรงกระแทก แรงดึง แรงอัด จุดมุ่งหมายของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นเพื่อจัดทำเครื่องทดสอบแรงกระแทก เพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ เครื่องทดสอบที่กลุ่มได้จัดสร้างขึ้นนี้เป็นเครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี มีพลังงานในการกระแทก 30 จูล ขนาดของวัสดุที่นำมาทดสอบมีขนาด 10 x 10 x 55 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Impact Tester
Student Mr.Sarawut Kettong
Degree Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2003
Thesis Advisor Dr.Kannachai Kanlayasiri



ABSTRACT

In general, various machines consist of enormous parts that have been assembled together. The materials for production of each machine have to be selected according to the forces acting upon such as impact force, compressive force, tensile force. This project aims to examine the impact force to classify the material quality. The developed impact tester is for Charpy impact test, and has a forcing energy at 30 joules. The size of the specimen is 10 x 10 x 55 millimeter.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องทดสอบการกระแทก สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่ช่วยให้คำแนะนำในส่วนที่บกพร่อง และส่วนที่อาจจะเกิดปัญหาในขั้นตอนการทำงาน หรือให้ความรู้เพิ่มเติม และให้การช่วยเหลือเกี่ยวกับการทำงานที่ผ่านมา

พี่ๆและเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเหลือจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา



นายตราวุฒิ เกตุทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง

หน้า

ปกใน (ภาษาไทย)

ปกใน (ภาษาอังกฤษ)

หน้าอำนวยการ

บทคัดย่อภาษาไทย..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข

กิตติกรรมประกาศ..... ค

สารบัญ..... ง

สารบัญรูป..... ฉ

สารบัญตาราง..... ช

คำอธิบายสัญลักษณ์..... ฌ

คำอธิบายคำย่อ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... 2

1.3 ขอบเขตปริญญาพนธ์..... 2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 การทดสอบวัสดุด้วยการกระแทก

2.1 การทดสอบด้วยการตีหักแบบชาร์ปี..... 4

2.1.1 การกำหนดสัญลักษณ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย..... 8

2.2 การชุบแข็งโลหะ..... 8

2.2.1 การอบชุบ..... 8

2.2.2 แผนภาพการเปลี่ยนภาคสัมพันธ์กับเวลาและอุณหภูมิ..... 8

2.2.3 การชุบแข็ง..... 12

2.2.4 การอบคืนตัว..... 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 แผนการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาหาข้อมูล.....	24
3.2 แผนการดำเนินงานปีการศึกษา 2546	25
3.3 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนต่างๆ	26
3.3.1 ความเร็วที่ใช้ในการกระแทก.....	26
3.3.2 จำนวนหาปริมาตรของก้อนดี	27
3.3.3 หาขนาดความหนาแผ่นประกบถ่วงน้ำหนัก.....	28
3.3.4 แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	29
3.3.5 กำลังงานสูญเสียจากความเสียดทาน.....	30
3.4 การออกแบบและการเขียนแบบชิ้นส่วน	32
3.5 วิธีการทดสอบการกระแทก.....	34

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานของเครื่องทดสอบการกระแทก	35
4.2 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทดสอบการกระแทก	36
4.3 ผลการทดลอง	40
4.3.1 ค่าการทำซ้ำของเครื่องทดสอบการกระแทก.....	41
4.3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องทดสอบการกระแทก.....	41

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42

บรรณานุกรม**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก.	ผก 1
แบบชิ้นส่วนของเครื่องทดสอบการกระแทก.....	ผก 2
ภาคผนวก ข.	ผข 1
รายการสั่งซื้ออุปกรณ์.....	ผข 2
เอกสารมาตรฐานเครื่องทดสอบการกระแทก DIN EN 10 045.....	ผข 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 การทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy) และ ไอซอด (Izod).....	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปร่างของชิ้นทดสอบ	4
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างประเภทของรอยแตกหักของชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าชนิดต่างๆ.....	4
รูปที่ 2.4 แผนภาพความต้านทานแรงกระแทก (a_k) – อุณหภูมิ	6
รูปที่ 2.5 เส้นโค้งแสดง $a_k - T$ ของเหล็กกล้าไม่เจือ.....	6
รูปที่ 2.6 รอยแตกจากการตีกระแทกที่อุณหภูมิต่างๆกัน วัสดุ St 37.....	7
รูปที่ 2.6 a. - c. แสดงแบบต่างๆ ของรอยแตกหัก.....	7
รูปที่ 2.7 Time-Temperature-Transformation (T.T.T) ของเหล็ก Plain Carbon Steel ที่ส่วนผสม ยูเทคติก.....	9
รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนโครงสร้างระยะต่างๆในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ที่อุณหภูมิต่างๆของเหล็ก.....	10
รูปที่ 2.9 แสดงการทดลองเพื่อสร้างเส้นโค้ง T.T.T.	10
รูปที่ 2.10 แผนภาพสมดุลภาพของเหล็กกับคาร์บอน.....	12
รูปที่ 2.11 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของออสเทนไนต์ 0.8%C ระหว่างการทำให้เย็น ในอัตราต่างๆกัน.....	13
รูปที่ 2.12 ผลของเปอร์เซ็นต์มาร์เทนไซต์ ในโครงสร้าง จากการชุบแข็ง.....	14
รูปที่ 2.13 ผลของอุณหภูมิต่อกำลังในการเย็นตัวของน้ำ ซึ่งควมแน่นแรงปานกลาง.....	16
รูปที่ 2.14 แสดง Continuous Cooling Transformation (C.C.T.) ของเหล็กกล้า SAE 1045 และ SAE 4145.....	17
รูปที่ 2.15 ขนาดที่เปลี่ยนแปลงในชิ้นงาน “Navy C” เมื่อทำการ Tempered จนมีความแข็ง HRC 63 หลังจากการชุบ แข็งโดยจุ่มในน้ำมัน และการทำมาร์เท็มเพอริง.....	18
รูปที่ 2.16 ผลของอุณหภูมิ การอบคืนตัว ต่อคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าชุบแข็ง	22
รูปที่ 2.17 Temper Embrittlement ใช้เหล็กกล้า Ni-Cr	23
รูปที่ 3.1 ภาพเขียนแบบแบนเหวี่ยง.....	26
รูปที่ 3.2 ภาพเขียนแบบค้อนทดสอบการกระแทก	27
รูปที่ 3.3 ภาพเขียนแบบแผ่นประกบ.....	28
รูปที่ 3.4 ภาพแสดงขนาดที่ใช้ในการคำนวณแรงหนีศูนย์กลาง.....	29
รูปที่ 3.5 ภาพแสดงการคำนวณพลังงานสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน	30
รูปที่ 3.6 ภาพประกอบเครื่องทดสอบการกระแทก 3 มิติ.....	32
รูปที่ 3.7 ภาพเขียนแบบด้านหน้าเครื่องทดสอบการกระแทก.....	33
รูปที่ 3.8 ภาพเขียนแบบคั่นข้างเครื่องทดสอบการกระแทก.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

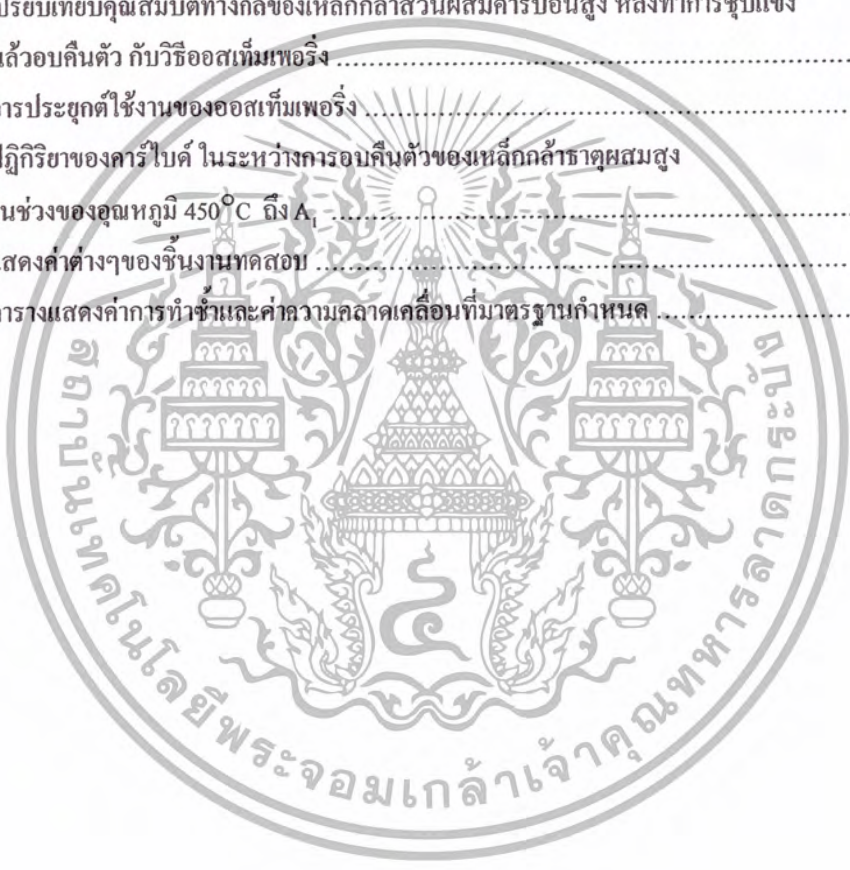
รูปที่ 3.9 ภาพเขียนแบบค้ำบนเครื่องทดสอบการกระแทก.....	34
รูปที่ 4.1 รูปของเครื่องทดสอบการกระแทกที่ได้สร้างขึ้น.....	35
รูปที่ 4.2 รูปแสดงน้ำหนักของค้อนตี.....	36
รูปที่ 4.3 รูปการทดสอบความแข็งของคม่มีดกระแทกชิ้นงาน.....	36
รูปที่ 4.4 รูปการทดสอบความแข็งของที่วางชิ้นงานทดสอบ.....	37
รูปที่ 4.5 รูปแสดงสเกลวัดมุม.....	37
รูปที่ 4.6 รูปชิ้นงานทดสอบที่นำไปทดสอบ.....	38
รูปที่ 4.7 รูปแสดงลักษณะการวางชิ้นงานทดสอบ.....	38
รูปที่ 4.8 รูปแสดงลักษณะการทดสอบการกระแทก.....	39
รูปที่ 4.9 รูปแสดงการวัดมุมหลังการกระแทก.....	39
รูปที่ 4.10 รูปแสดงชิ้นงานหลังการทดสอบการกระแทก.....	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงค่าของ ความรุนแรงในการลดอุณหภูมิ ของสารตัวกลางชนิดต่างๆ	15
ตารางที่ 2.2	ความสัมพันธ์ของส่วนผสมของคาร์บอน และเปอร์เซ็นต์ของมาร์เทนไซต์ ต่อค่าความแข็ง Rockwell C	16
ตารางที่ 2.3	แสดงการชุบแข็งแบบมาร์เทมเพอริง	18
ตารางที่ 2.4	เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าส่วนผสมคาร์บอนสูง หลังทำการชุบแข็ง แล้วอบคืนตัว กับวิธีออสเทมเพอริง	19
ตารางที่ 2.5	การประยุกต์ใช้งานของออสเทมเพอริง	20
ตารางที่ 2.6	ปฏิกิริยาของคาร์ไบด์ ในระหว่างการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสมสูง ในช่วงของอุณหภูมิ 450°C ถึง A ₁	21
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าต่างๆของชิ้นงานทดสอบ	40
ตารางที่ 4.2	ตารางแสดงค่าการทำให้ร้อนและค่าความคลาดเคลื่อนที่มาตรฐานกำหนด	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

W_v	งานที่ใช้ในการตี
a_k	ความเหนียวของร่องบาก
S_0	พื้นที่หน้าตัดชิ้นทดสอบ
α	มุมค้อนทิ้ง
β	มุมที่ค้อนทำกับฐานคิดในแนวตั้ง
L	ความยาวของค้อนเป็น
g	แรงโน้มถ่วงของโลก
U	ความเร็วของค้อนตี
W_{pot}	งานที่ใช้ในการตี
m	มวลของค้อนทดสอบการกระแทก
h	ความสูงระหว่างค้อนและชิ้นงานทดสอบก่อนการทดสอบ
r	รัศมีในการเคลื่อนที่
ω	ความเร็วเชิงมุม
F_z	แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
f	ส.ป.ส.ความเสียดทานของบอลแบร์ริง
F_r	แรงกระทำในแนวรัศมี
d	ขนาดครุสวมแบร์ริง
n	ความเร็วรอบเพลา
h_1	ความสูงระหว่างค้อนและ ชิ้นงานทดสอบก่อนการทดสอบ
h_2	ความสูงของค้อนหลังกระแทกชิ้นงานทดสอบ
\bar{E}	ค่าเฉลี่ยความเหนียวของร่องบากของกลุ่มชิ้นงานทดสอบ
E	ค่าความเหนียวของชิ้นงานทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายคำย่อ

คำย่อ	ชื่อเต็ม
ITT	Impact Transition Temperature
FCC	Face Centered Cubic
BCC	Body Centered Cubic
TTT	Time Temperature Transformation Diagrams
CCT	Continuous Cooling Transformation Diagrams
FATT	Fracture Appearance Transition Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ

ในทางวิชาวัสดุศาสตร์มีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของโลหะหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งการทดสอบแต่ละวิธีนั้นมีการทดสอบแตกต่างกัน และลักษณะของเครื่องทดสอบนั้นมีความแตกต่างกัน การทดสอบความต้านทานการกระแทกของโลหะสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องทดสอบการกระแทก (Impact Tester) โดยอาศัยการปล่อยตุ้มน้ำหนักมากระแทกชิ้นงานทดสอบแล้วอ่านค่ามุมหลังการตีแล้วสามารถคำนวณรู้ค่าความต้านทานการกระแทกได้ แต่ภายในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการนั้นไม่มีเครื่องทดสอบการกระแทกนี้ และที่ได้สังเกตว่าเครื่องจักรกลต่าง ๆ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ จำนวนมาก นำมาประกอบกัน ซึ่งการที่จะผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรนั้น จะต้องมีการเลือกใช้วัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิต และวัสดุที่เลือกใช้นั้นจะต้องมีคุณสมบัติเหมาะสม สามารถทนต่อแรงต่างๆที่มากกระทำได้ เช่น แรงกระแทก แรงดึง แรงอัด จุดมุ่งหมายของปริญญาโทฉบับนี้คือจัดทำเครื่องทดสอบแรงกระแทก เพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ เครื่องทดสอบที่ได้จัดสร้างขึ้นนี้เป็นเครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี มีพลังงานในการกระแทก 30 จูล ขนาดของวัสดุที่นำมาทดสอบมีขนาด 10 x 10 x 55 มิลลิเมตร

ความหุน่วัดอยู่ในรูปของปริมาณพลังงานที่วัสดุสามารถเก็บไว้ได้ก่อนเกิดการแตกและมีความสำคัญมากทางวิศวกรรม จึงได้มีผู้กำหนดวิธีการทดสอบที่เรียกว่าการทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) วัดค่าพลังงานกระแทก (Impact Energy) ซึ่งเป็นการวัดปริมาณของพลังงานที่วัสดุจะดูดซับไว้ได้เมื่อได้รับแรงจากการกระแทกจนหัก (Dynamic Impact Force) วิธีการทดสอบมีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบชาร์ปี(Charpy Impact Test) และแบบไอซอด (Izod Impact) วิธีการทดสอบของทั้ง 2 ชนิดนี้คล้ายกันคือจะวางชิ้นงานทดสอบไว้รับแรงกระแทกจากการเหวี่ยงของลูกตุ้มที่น้ำหนักค่าหนึ่ง พลังงานนี้ขึ้นอยู่กับมวลของลูกตุ้ม และความเร็วของมันขณะกระแทก จุดกระแทกจะเป็นจุดต่ำสุดของการเหวี่ยง ซึ่งลูกตุ้มมีความเร็วมากที่สุด เมื่อลูกตุ้มกระทบชิ้นทดสอบ ลูกตุ้มจะเสียพลังงานไปจำนวนหนึ่งในการจะทำให้ชิ้นทดสอบหัก พลังงานที่เสียไปนี้ก็คือ ค่าพลังงานกระแทก นั่นเอง ซึ่งมีหน่วยเป็นฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต (ft-lbf) หรือจูล (Joule)

ชิ้นทดสอบจะเป็นแท่งยาว มีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส และมีรอยบากอยู่ตรงกลาง รอยบากนี้จะทำเป็นรูปตัววี ยู (V, U) หรือรูปรูกลุญแจ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดไว้ ข้อแตกต่างระหว่างแบบชาร์ปี และ ไอซอด ก็คือการวางชิ้นทดสอบแบบชาร์ปีจะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวระดับให้ลูกตุ้มตกกระแทกที่ด้านตรงข้ามกับรอยบาก ส่วนไอซอดจะวางชิ้นทดสอบไว้ในแนวตั้งและให้ลูกตุ้มกระแทกกับด้านที่มีรอยบาก

อุณหภูมิมีผลต่อความแกร่งอย่างมาก วัสดุเหนียวอาจจะเปลี่ยนเป็นวัสดุเปราะ ได้เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ถ้าเรานำค่าพลังงานกระแทกมาพลอต (Plot) กับอุณหภูมิ เราจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิอยู่ช่วงหนึ่งซึ่งมีค่าของพลังงานกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่าอุณหภูมิในช่วงนี้เรียกว่า Impact Transition Temperature (ITT) อุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากวัสดุเหนียวมาเป็นวัสดุเปราะ คือช่วงที่มีค่าพลังงานสูงจะเป็นวัสดุเหนียวและช่วงที่มีพลังงานต่ำจะเป็นวัสดุเปราะ

ค่าพลังงานกระแทกจะไม่นำมาใช้โดยตรงในการออกแบบ แต่มันมีประโยชน์ที่จะใช้เป็นแนวทางในการประเมินคุณสมบัติของวัสดุ เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิค่า ๆ โดยเฉพาะพวกเหล็กที่มีค่า ITT อยู่ใกล้กับอุณหภูมิห้องเรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องระมัดระวังไม่ใช้งานวัสดุที่อุณหภูมิต่ำกว่า ITT ของมันวิธีกำหนดค่า ITT เป็นค่าเดียว มีอยู่หลายวิธี เช่น ตรวจสอบผิวรอยแตกของชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกแล้ว ใช้อุณหภูมิที่ผิวรอยแตกมีส่วนของการแตกแบบเปราะ (Brittle Fracture) กับการแตกแบบเหนียว (Ductile Fracture) เป็น 50:50 พอดี เป็นค่า ITT (ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Fracture Appearance Transition Temperature - FATT) แต่วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ กำหนดค่าพลังงานกระแทกที่ต่ำค่าหนึ่งขึ้นมาเป็นเกณฑ์ ซึ่งถ้าวัสดุทดสอบแล้วมีค่าพลังงานกระแทก ต่ำกว่านี้ก็ถือว่าเป็นวัสดุเปราะอย่างแน่นอน แล้วกำหนดให้อุณหภูมิที่ทดสอบได้ค่าพลังงานกระแทก เท่ากับเกณฑ์นี้พอดีเป็น ITT (ITT ที่กำหนดโดยวิธีนี้เรียกว่า Ductility Transition Temperature) ค่าพลังงานแรงกระแทกที่ใช้เป็นเกณฑ์ คือ 20 J สำหรับการทดสอบแบบชาร์ปี (ชิ้นงานมีรอยบากรูปตัว V)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ออกแบบและศึกษาค่ามาตรฐานต่างๆของเครื่องทดสอบการกระแทก
2. เพื่อใช้ทดสอบความต้านทานการกระแทกของวัสดุ
3. เป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนการดำเนินงานและขั้นตอนการทำงาน

1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

1. ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการกระแทกตามมาตรฐาน DIN EN 10 045
2. ใช้ทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอน 0.53% เหล็กหล่อ และอลูมิเนียม

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สร้างเครื่องทดสอบการกระแทกที่มีค่าความผิดพลาดน้อยและได้มาตรฐาน
2. นำวิชาความรู้ที่เรียนมาประใช้ในการออกแบบและการวางแผนการดำเนินงาน
3. มีความรู้เพิ่มขึ้นในขั้นตอนการผลิต
4. ทำให้ทราบลำดับขั้นตอนการทำงาน

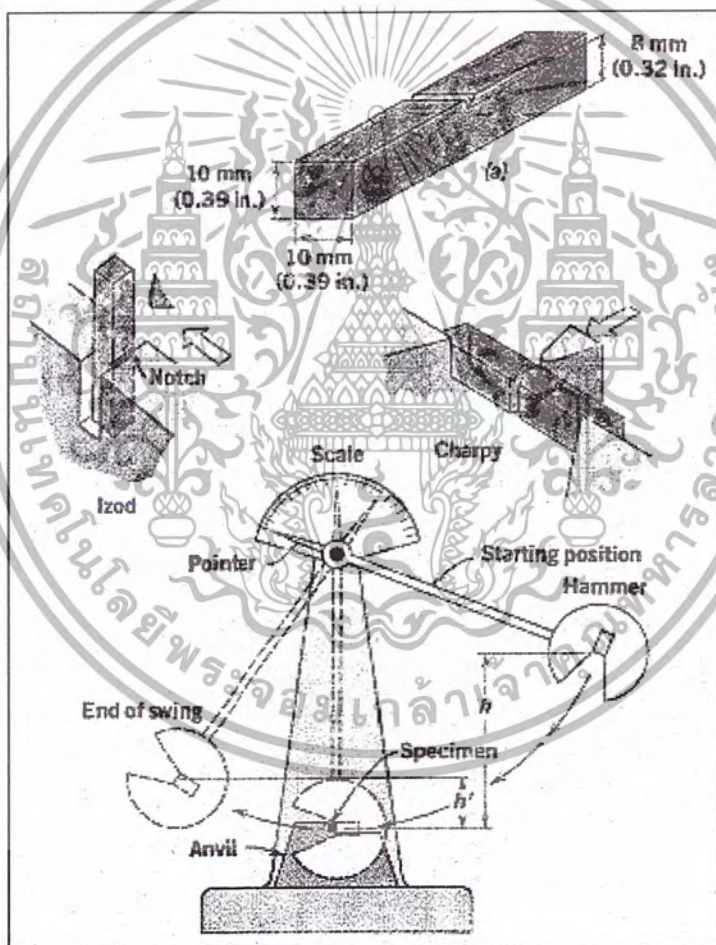


บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบวัสดุด้วยการกระแทก (Notched Bar Impact Bending Test)

ชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ต้องรับแรงมากระทำอย่างรวดเร็ว (Impact Load) เรียกว่า แรงกระแทกที่อุณหภูมิใช้งานแตกต่างกัน ผลที่ได้รับจากการทดสอบจะเปลี่ยนไปตามสภาพของเนื้อโลหะ ที่ได้รับจากการขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ กัน เช่น การรีด การตี และการขึ้นรูปแบบต่างๆ ทำให้เนื้อโลหะเกิดเส้นใยไปตามทิศทางของเส้นใย แต่ถ้าชิ้นทดสอบ (specimen) มีเนื้อตัดไปตามทิศทางการรีด เส้นใยและรอยบากจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ซึ่งให้ผลต่อการแตกหักของชิ้นทดสอบด้วย วัสดุเหนียวจะทนการกระแทกได้ดีกว่าวัสดุที่แข็งเปราะ



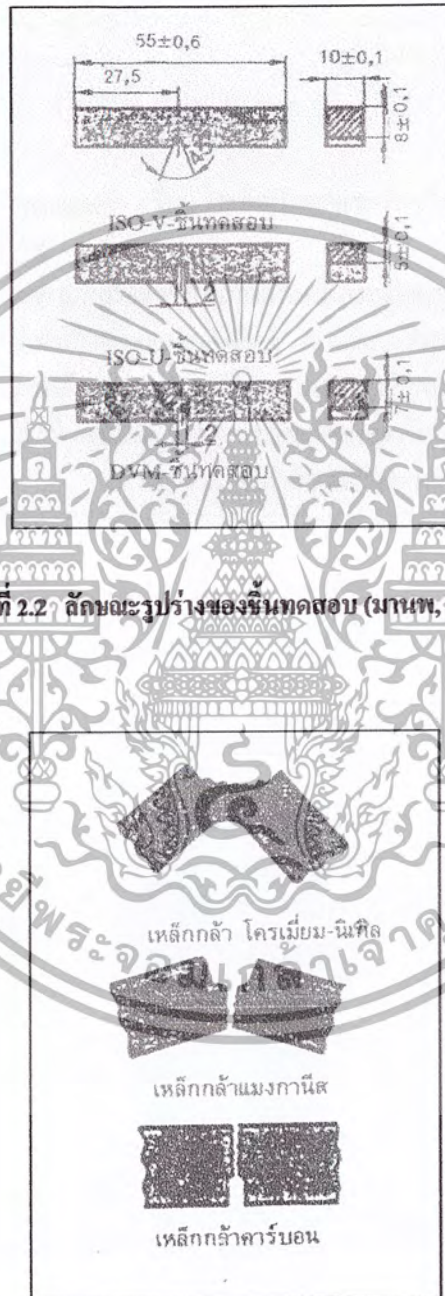
รูปที่ 2.1 การทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy) และไอซอด (Izod) (मानव, 2531)

การเปลี่ยนรูปร่างของเหล็กกล้าและเหล็กกล้าหล่อจะเปลี่ยนรูปไปตามอุณหภูมิ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการทดสอบที่อุณหภูมิระหว่าง -180°C ถึง 120°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 การทดสอบด้วยการตีหักแบบชาร์ปี (Charpy Impact Test)

เพื่อต้องการทราบว่าวัสดุต่างๆ มีความเหนียวและการเปลี่ยนแปลง โดยใช้ลูกตุ้มน้ำหนักปล่อยลงมาให้กระแทกกับชิ้นทดสอบ ที่มีมาตรฐานต่างกันด้วยความเร็วของตุ้มน้ำหนักประมาณ 5 – 5.5 เมตรต่อวินาที เครื่องทดสอบนี้มีขนาดมาตรฐานตั้งแต่ 50 – 300 จูล สำหรับชิ้นทดสอบขนาดเล็กจะใช้กับเครื่องทดสอบขนาด 7.5 – 50 จูล ใช้ความเร็วตุ้มน้ำหนัก 3.6 – 4 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปร่างของชิ้นทดสอบ (มาตรฐาน, 2531)

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างประเภทของรอยแตกหักของชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าชนิดต่างๆ (มาตรฐาน, 2531)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจะประเมินค่าหรือเปรียบเทียบค่าจากการทดสอบจะต้องมีข้อมูลดังต่อไปนี้

- 1) งานที่ใช้ในการตี W_v
- 2) ลักษณะรูปร่างของชิ้นทดสอบ
- 3) อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ (ในกรณีที่ไม่ได้บอกมาให้ทดสอบที่ $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$)
- 4) ทิศทางการตีชิ้นทดสอบที่ถูกรีดตามแนวขวางหรือตามแนวยาว
- 5) งานทั้งหมดที่ตุ้มน้ำหนักใช้ทั้งหมดในการทดสอบ

ความแตกต่างระหว่างวัสดุที่เหนียว (คือ เหล็กกล้าโครเมียม-นิกเกิล) กับวัสดุที่เปราะ (คือ เหล็กกล้าคาร์บอน) จะเห็นได้ตามรูปตัวอย่างของรอยแตกหักของชิ้นทดสอบ การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบแบบไดนามิกส์ (dynamic)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$W_v = F.L. (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$a_k = \frac{W_v}{S_0}$$

โดยที่

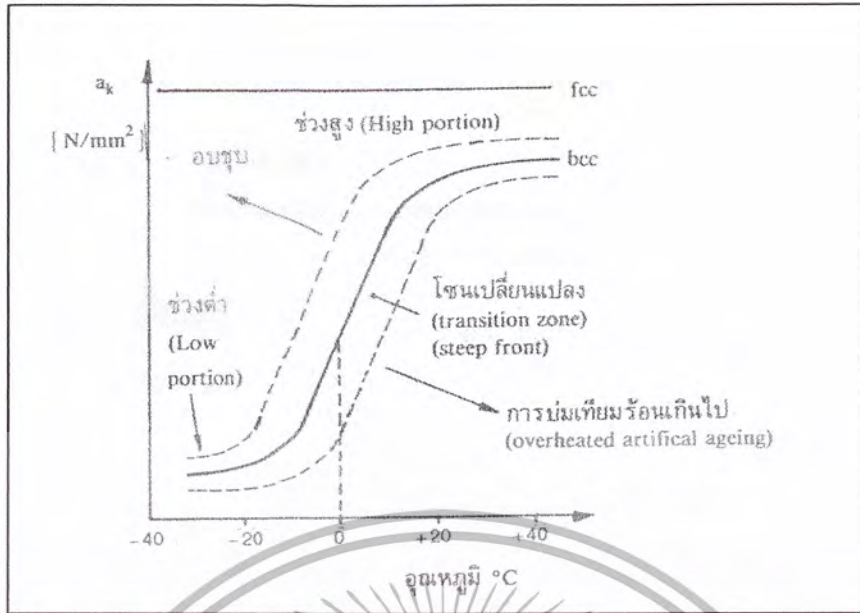
- a_k ความเหนียวของร่องบาก J/cm^2
 W_v งานที่ใช้ในการตี J
 S_0 พื้นที่หน้าตัดชิ้นทดสอบ cm^2
 α มุมค้อนทั้ง = 160°
 β มุมที่ค้อนทำกับฐานค้อนในแนวตั้ง (องศา)
 L ความยาวของค้อนเป็น m

องค์ประกอบที่มีผลต่อแรงกระแทกคือ

- 1) รอยบาก (notch) รูปตัววี (V) จะแตกได้ง่ายกว่ารอยบากรูปตัวยู (U)
- 2) ถ้าอุณหภูมิของวัสดุยิ่งต่ำจะเกิดการหักแบบเปราะได้ง่าย

ในการทดสอบแบบตีกระแทกนี้เหมาะกับการหาความเหนียวของเหล็กกล้า เหล็กเหนียวหล่อ การบ่ม (ageing) ความเปราะจากความร้อน ความเปราะจากความเย็น และการตรวจสอบวัสดุที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (heat treatment)

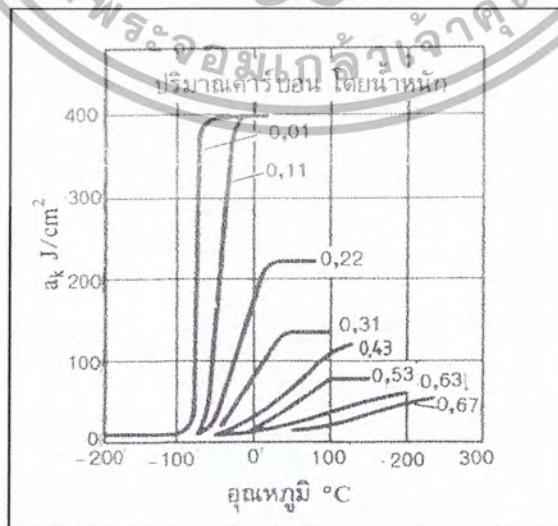
ดังนั้น จึงมีการทดสอบชิ้นทดสอบหลายชิ้นที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิต่างๆกัน ตามรูปที่ 2.4 แสดงความแตกต่างกันของวัสดุเหล็ก ระหว่าง Face Centered Cubic (FCC) และ Body Centered Cubic (BCC)



รูปที่ 2.4 แผนภาพความต้านทานแรงกระทำ (σ_k) - อุณหภูมิ (มานพ, 2531)

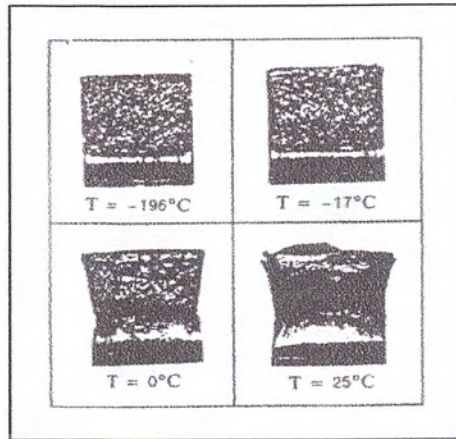
วัสดุโครงสร้าง FCC เป็นวัสดุเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) จะมีค่าคงที่ตลอด (ระหว่าง $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) และคงความเหนียว ซึ่งได้แก่วัสดุเหล็กกล้าออสเทนไนต์ นิกเกิล ทองแดง อลูมิเนียม

วัสดุโครงสร้าง BCC เช่น เหล็กกล้าไม่เจือหรือเจือต่ำทุกชนิด จะมีค่าความเหนียวที่อุณหภูมิสูง (High Portion) แต่จะเปราะ (ค่าความเหนียวต่ำ) ที่อุณหภูมิต่ำ ค่าความเหนียวที่อยู่ระหว่างช่วงโซนเปลี่ยนแปลง (Transition Zone) ($\approx -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$) ค่าความเหนียวจะไม่คงที่ (เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ค่าความเหนียวเปลี่ยน) วัสดุที่มีเส้นโค้งในช่วงนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุซึ่งได้แก่ เหล็กกล้าเฟอร์ไรต์ และวัสดุที่มีเกรนละเอียด จะมีความเหนียวที่ช่วงต่ำ (Low Portion) มากกว่าวัสดุที่มีเกรนหยาบ ความเหนียว ความเปราะของวัสดุสามารถดูได้จากกราฟรอยแตกดังต่อไปนี้ (พิจารณารูปที่ 2.6 ประกอบ)

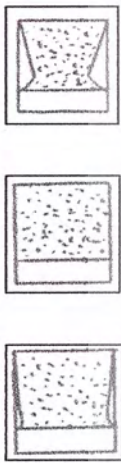


รูปที่ 2.5 เส้นโค้งแสดง $\sigma_k - T$ ของเหล็กกล้าไม่เจือ (มานพ, 2531)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการพาณิชย์ใด ๆ เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 รอยแตกจากการตีกระแทกที่อุณหภูมิต่างๆกัน วัสดุ St 37 (มานพ, 2531)



a. รอยแตกแบบเหนียว (Ductile Fracture) จะเกิดที่ช่วงสูง (High Portion)

b. รอยแตกแบบเปราะ (Brittle Fracture) จะเกิดที่ช่วงต่ำ (Low Portion)

c. รอยแตกแบบรวม (Combinated Fracture) มีค้ำขึ้น จะเกิดที่ช่วงเปลี่ยนแปลง (Transition Zone)

รูปที่ 2.6 a. - c. มสคงแบบต่างๆ ของรอยแตกหัก (มานพ, 2531)

ในการทำให้ชิ้นทดสอบมีอุณหภูมิต่างๆ ในการจะทดสอบจึงต้องใช้วิธีการต่างๆเข้าช่วยดังต่อไปนี้

-184°C	ใช้อากาศเหลว
-72°C	ใช้ส่วนประสมความเย็นของกรดคาร์บอนิกรูปหิมะ + แอลกอฮอล์
-21°C	ใช้ส่วนประสมความเย็น เกลือแคง + น้ำแข็ง
0°C	น้ำแข็ง
20°C	อุณหภูมิห้องปรับอากาศ
100°C	น้ำเดือด
200°C	อ่างเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การกำหนดสัญลักษณ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย

เนื่องจากพลังงานที่ใช้มีขนาดต่างกัน ขึ้นทดสอบมีลักษณะรอยบากและขนาดต่างกัน ดังนั้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย จึงเลือกใช้ขึ้นทดสอบที่มีรอยบากเป็นตัวยู ลึก 5 มิลลิเมตร ขนาด 10×10×55 มิลลิเมตร แต่ถ้าความลึกของรอยบากตัวยูเป็นขนาดอื่น ก็เขียนสัญลักษณ์ดังนี้ เช่น

- KCU 15/3 แสดงถึงการใช้พลังงานในการกระแทก 15 กิโลกรัมเมตร (kgm) และใช้ขึ้นทดสอบที่มีรอยบากลึก 3 มิลลิเมตร
- KCU 30/3 แสดงถึงการใช้พลังงานในการกระแทกตามปกติคือ 30 กิโลกรัมเมตร และใช้ขึ้นทดสอบที่มีรอยบากลึก 3 มิลลิเมตร

2.2 การชุบแข็งโลหะ (Heat Treatment of Steel)

2.2.1 การอบชุบ

สิ่งที่พึงปรารถนามากที่สุดในงานวิศวกรรม คือ การที่ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล หรือ ชิ้นส่วนของงานต่างๆ มีอายุการใช้งานได้มากที่สุด ฉะนั้นนอกจากการออกแบบรูปร่างลักษณะของชิ้นงานที่ถูกต้องแล้วเนื้อโลหะหรือจุลโครงสร้าง (Microstructure) ของชิ้นงานนั้น ก็ควรได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบด้วย จุลโครงสร้างของชิ้นงานที่เหมาะสมกับงานนั้น นอกจากจะทำให้มีคุณสมบัติเชิงกลที่เยี่ยมแล้วยังยืดอายุการใช้งานให้นาน ไปอีกด้วย เราสามารถจัดจุลโครงสร้างในเนื้อเหล็กกล้า ตามที่เราต้องการตามความเป็นไปได้ โดยวิธีที่เรียกว่า การอบชุบ (Heat Treatment)

ตัวอย่างเช่น ถ้าชิ้นงานเป็นแม่แบบ (Die) ที่ต้องการความแข็งแรงมากเพื่อว่าเวลาใช้งาน แม่แบบจะได้ไม่ขยายหรือเกิดการบิดเบี้ยว อันจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ขนาดผิดไปจากที่ต้องการ จุลโครงสร้าง ซึ่งต้องรับทั้งหนักและแรงกระแทก เช่น แขนของรถแทรกเตอร์ จุลโครงสร้างจะเป็นเฟอร์ไรต์ + เพิร์ลไลต์ (Ferrite + Pearlite) เป็นต้น

การอบชุบ หมายถึง วิธีการซึ่งทำให้โลหะหรือโลหะผสมความร้อนและเย็นตามขั้นตอนที่แน่นอน เพื่อทำให้ได้คุณสมบัติตามข้อกำหนดที่ต้องการ การอบชุบนี้ ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในโลหะประเภทเหล็ก และประเภทที่ไม่ใช่เหล็ก แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงการอบชุบเหล็กกล้าซึ่งมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรม

2.2.2 แผนภาพการเปลี่ยนภาคสัมพันธ์กับเวลาและอุณหภูมิ (Time Temperature Transformation Diagrams)

Transformation Diagrams)

แผนภาพการเปลี่ยนภาคสัมพันธ์กับเวลา และอุณหภูมินี้เรียกชื่อว่า แผนภาพ T.T.T (T T T Diagram) หรือเรียกว่า Isothermal Transformation Diagram เป็นแผนภาพแสดงเวลาที่จำเป็นในการทำให้ออสเตนไนต์หลงเหลือ (Retained Austenite) เปลี่ยนภาค (Phase) ไปที่อุณหภูมิคงที่

รูปที่ 2.7 เป็นแผนภาพ T.T.T ของเหล็กกล้ามีคาร์บอนผสมอยู่ 0.8% (ส่วนผสม Eutectoid) เส้นโค้งรูปตัวซี (C) เรียกว่า เส้นโค้งตัวเอส (S-Curve) ด้านซ้ายสุดเป็นเส้นโค้ง แสดงเวลาที่ออสเตนไนต์เริ่มเปลี่ยน ส่วนเส้นที่อยู่ทางขวามือแสดงเวลาที่ออสเตนไนต์เปลี่ยนภาค ไปหมดที่อุณหภูมิเดียวกัน

แผนภาพ T.T.T ได้มาจากการทดลองกับเหล็กตัวอย่างจำนวนหลายๆชิ้น ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานทดลองให้อยู่ในช่วงออสเตนไนติก (Austenitic) แบ่งชิ้นงานออกเป็นกลุ่มๆแต่ละกลุ่มทำให้มีการเปลี่ยนภาคไปที่อุณหภูมิเดียวกัน ในช่วงเวลาต่างกัน แล้วจุ่มชิ้นงานทดลองในน้ำเราสามารถตรวจ จุลโครงสร้างของชิ้นงานทดลองที่เปลี่ยนแปลงไป

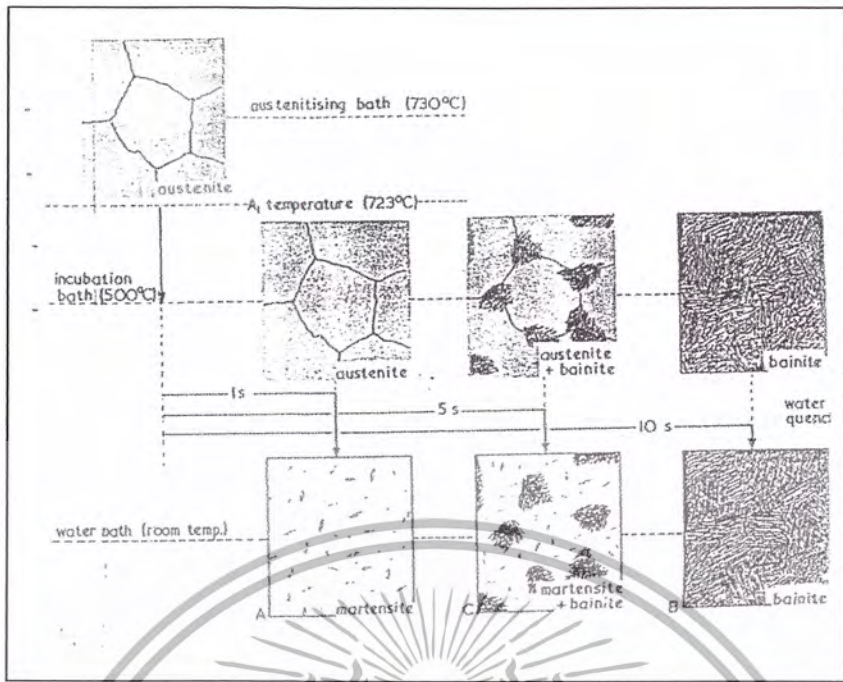
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่อุณหภูมิคงที่ ตัวอย่างเช่น เราให้ความร้อนชิ้นงานทศลง (0.8%C) ให้อุณหภูมิอุณหภูมิสูงกว่า 723°C แล้วจุ่มลงในตะกั่วหลอมละลายที่ 500°C ในเวลา 1 วินาที แล้วจุ่มลงในน้ำ เราจะได้โครงสร้างชิ้นงานเป็นโครงสร้างแบบมาเทนซิติค (Martensitic) ทั้งหมด แสดงว่าที่อุณหภูมิ 500 °C ในเวลา 1 วินาที (A ในรูปที่ 2.7 และ 2.8) เหล็กกล้ามีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ (Austenite) ถ้าปล่อยให้เหล็กกล้าอยู่ในถังตะกั่วอุณหภูมิ 500°C 10 วินาที (B ในรูปที่ 2.7 และ 2.8) แล้วจุ่มในน้ำ เราจะได้โครงสร้างซึ่งประกอบด้วยเบนไนต์ (Bainite) ทั้งหมด (เบนไนต์ เป็นโครงสร้างที่ออสเทนไนต์หลงเหลือ แยกตัวเป็นซีเมนต์ไต์ (Cementite) และเฟอร์ไรต์ (Ferrite) เกรนละเอียด) ซึ่งแสดงว่าภายใน 10 วินาที จะมีการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเบนไนต์ ทั้งหมด ถ้าเราแช่ชิ้นงานในถังตะกั่วหลอมละลาย 5 วินาที แล้วจุ่มในน้ำ (C ในรูปที่ 2.7 และ 2.8) เราจะได้ ส่วนผสมของเบนไนต์ และมาร์เทนไซต์ (Martensite) ซึ่งแสดงว่า ที่อุณหภูมิคงที่ 500°C ในเวลา 5 วินาที โครงสร้างจะเปลี่ยนเบนไนต์ และออสเทนไนต์ ที่เหลือซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเป็น มาร์เทนไซต์ ในเวลาต่อมา โดยวิธีทดลองที่อุณหภูมิคงที่ต่าง ๆ กัน จากจุดโครงสร้างที่เกิด เราสามารถสร้าง เส้นโค้งทีทีที (T.T.T Curve) ได้ดังรูปที่ 2.7



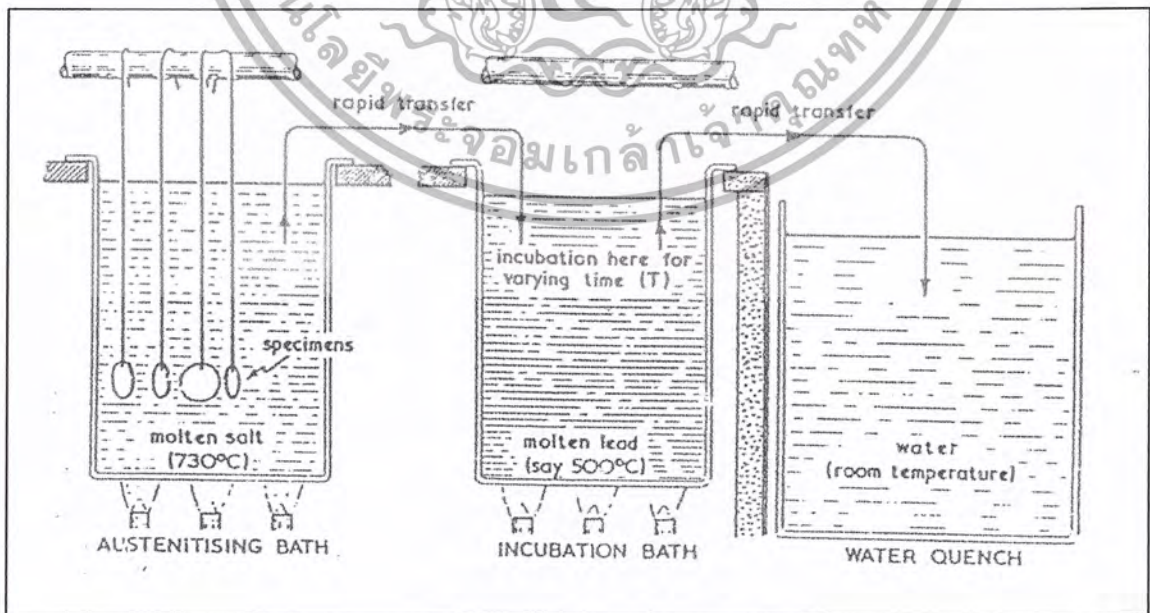
รูปที่ 2.7 Time-Temperature-Transformation (T.T.T) ของเหล็ก Olain Carbon Steel ที่ส่วนผสมยูเทคติก (พรตักดี, 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนโครงสร้างระยะต่างๆในช่วงเวลาที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิคงที่ของเหล็ก 0.8%C (พรศักดิ์, 2536)

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากออสเทนไนต์ เป็นมาร์เทนไซต์ (และถึงแม้จากออสเทนไนต์ เป็นเฟอร์ไรต์) ในทางปฏิบัติ เป็นไปไม่ได้ที่จะเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 730°C เป็น 500°C (ตามตัวอย่างข้างบน) ในเวลาศูนย์วินาที และจาก 500°C เป็น 0°C ในเวลาศูนย์วินาที แต่ก็ทำได้ใกล้เคียงที่สุดได้โดยใช้ชิ้นงาน เป็นรูปเหรียญกลมจิ้งเหลียงเป็นชิ้นงานทดลอง เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อสร้างเส้นโค้ง T.T.T. ดังแสดงในรูปที่ 2.9



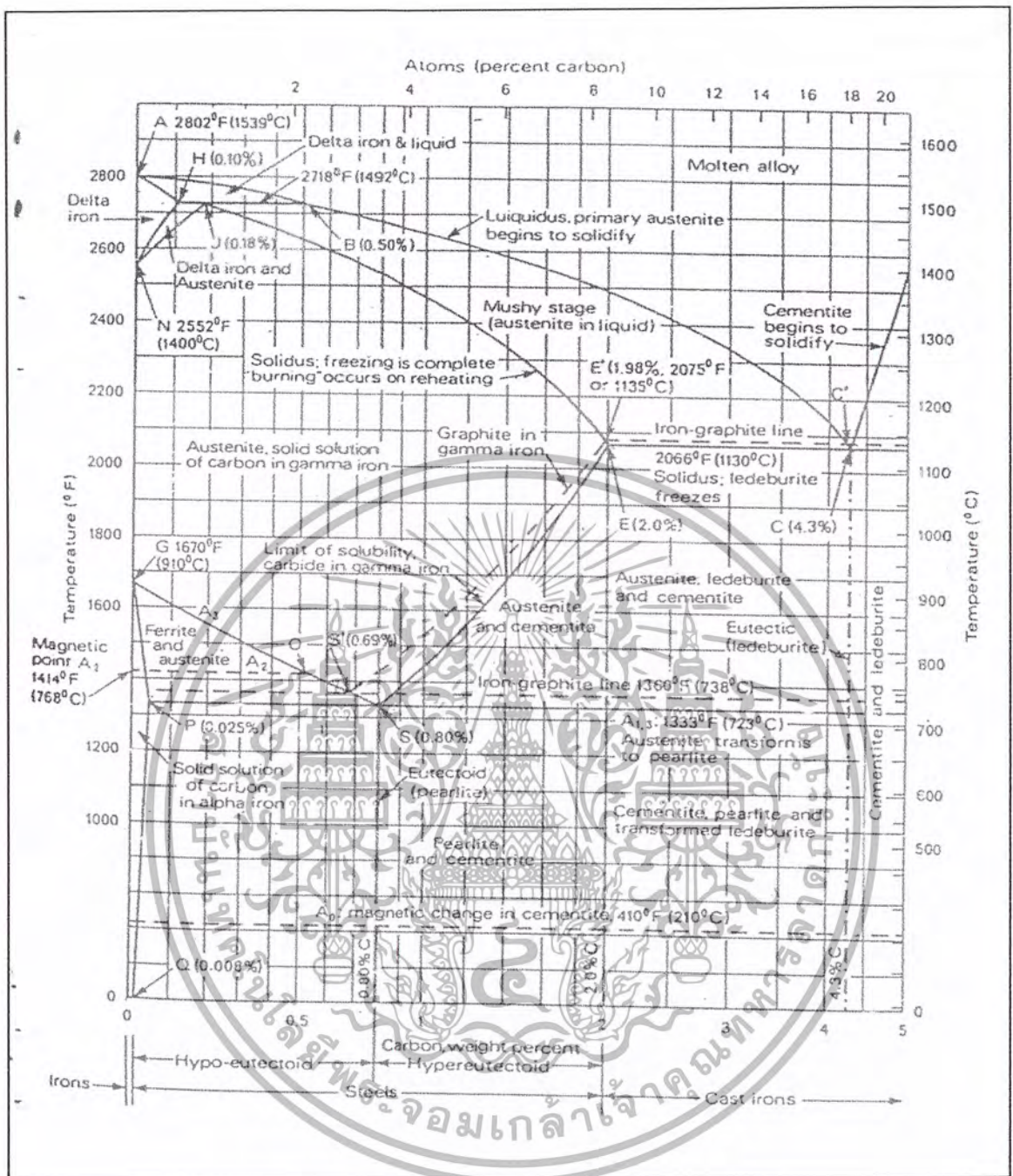
รูปที่ 2.9 แสดงการทดลองเพื่อสร้างเส้นโค้ง T.T.T. (พรศักดิ์, 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านวิชาการ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อเส้นอุณหภูมิวิกฤติล่าง (Lower Critical Temperature) A_1 สำหรับเหล็กกล้าที่ส่วนผสมยูเทคตอยด์ (Eutectoid) (0.8% C) หรือเนื้อเส้นอุณหภูมิวิกฤติบน (Upper Critical Temperature) A_3, A_{cm} สำหรับเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ (Hypoeutectoid) ($C < 0.8\%$) และเหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ (Hypereutectoid) ($0.8\% < C < 2\%$) รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเหล็กกล้าจะเป็นออสเทนไนต์ แบบเสถียรภาพ ถ้าให้การเปลี่ยนสภาพเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal) ที่อุณหภูมิได้เส้น A_1 (723°C) เพียงเล็กน้อยออสเทนไนต์ จะเปลี่ยนสภาพเป็นโครงสร้างแบบ เฟอร์ไรต์ อย่างหยาบและอ่อน ดังรูปที่ 2.7 ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสภาพแบบไอโซเทอร์มอล (Isothermal) ที่อุณหภูมิต่ำลงมาอีก จะเกิด โครงสร้างของเฟอร์ไรต์เกรนละเอียด และมีความแข็งแรงมากขึ้น จนกระทั่งการเปลี่ยนภาคแบบไอโซเทอร์มอล เกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 535°C จะเกิดโครงสร้างแบบเบนไนต์ ซึ่งมีคุณสมบัติค่อนข้าง แข็งเหนียว มีคุณสมบัติทาง แม่เหล็ก ที่อุณหภูมิประมาณ 240°C สำหรับเหล็กกล้าส่วนผสมยูเทคตอยด์ ซึ่งเป็นเส้นที่อยู่ในแนวระดับ M_s ของเส้น โค้ง T.T.T ในรูปที่ 2.7 เป็นอุณหภูมิที่เริ่มเกิด มาร์เทนไซต์ และจะเกิดมาร์เทนไซต์ หมดที่เส้น M_f หรืออุณหภูมิ ประมาณ -50°C ถ้าจุ่มเหล็กลงในน้ำที่อุณหภูมิต่ำจะมีออสเทนไนต์ เหลืออยู่ประมาณ 5% ส่วนที่อุณหภูมิ 110°C ออสเทนไนต์ จะเปลี่ยนรูปเป็นมาร์เทนไซต์ ประมาณ 90%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แผนภาพสมดุลภาพของเหล็กกับคาร์บอน (พรตักดี, 2536)

2.2.3 การชุบแข็ง (Quench Hardening)

การชุบแข็งแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีการคือ

- (1) การชุบแข็งตามหลักการ (Conventional Quench Hardening)
- (2) การชุบแข็งวิธีมาร์เทมเพอริง (Martempering)
- (3) การชุบแข็งวิธีออสเทมเพอริง (Austempering)

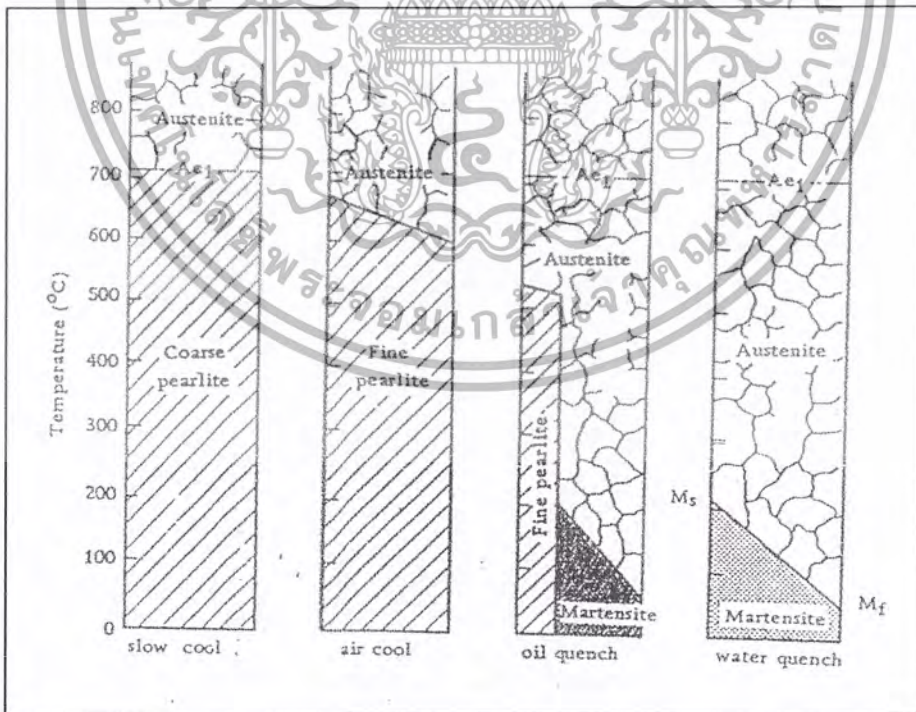
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การชุบแข็งตามหลักการ

หรือเรียกว่า การชุบแข็งโดยปกติ เมื่อเหล็กกล้ายูเทคตอยด์ถูกทำให้ร้อนจน โครงสร้างเปลี่ยนสภาพเป็น ออสเทนไนท์ ทั้งหมดแล้ว ทำให้เย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ตามอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างกัน เช่น ปล่อยให้เย็นใน เตา ปล่อยให้เย็นในอากาศ จุ่มลงในน้ำมัน จุ่มในน้ำ จุลโครงสร้างแบบออสเทนไนต์ จะเปลี่ยนไปตามแบบต่างๆดังรูป ที่ 2.11 ดังนั้นจุลโครงสร้างของเหล็กกล้าที่ถูกทำให้เย็นลงจะมีโครงสร้างเป็นเฟิร์ลไลต์ อย่างหยาบ ไปจนถึง มาร์เทน ไซต์ ความแข็งของเหล็กกล้า จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการเย็นตัว การชุบแข็ง (Quenching Hardening) เป็นการทำให้โลหะผสมประเภทเหล็กมีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยการทำให้โครงสร้างกลายเป็นออสเทนไนต์ แล้วลดอุณหภูมิลงอย่าง รวดเร็วพอที่จะทำให้ออสเทนไนต์ บางส่วนหรือทั้งหมดเปลี่ยนสภาพเป็นมาร์เทนไซต์

โดยทั่วไป เหล็กกล้าทำเครื่องมือประเภทคาร์บอนสูงและเหล็กกล้าทำเครื่องมือที่ทำการชุบแข็งแล้วทำการอบ คืบตัว (Tempering) ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อให้กำลังวัสดุสูงและมีความต้านทานต่อการสึกหรอดีขึ้น สำหรับเหล็กกล้าทำ โครงสร้างที่มีคาร์บอนปานกลาง เหล็กกล้าทำสปริง จะใช้วิธีการชุบแข็งแล้วทำการอบคืบตัว ที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ค่า ของทั้งกำลังวัสดุ และความเหนียว (Ductility) ดีที่สุด

อุณหภูมิสำหรับการชุบแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าผสมต่ำ หรือเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ ($C < 0.8\%$) จะสูงกว่าเส้น A_1 ประมาณ $30-50^\circ\text{C}$ ส่วนเหล็กกล้าพุกไฮโปยูเทคตอยด์ ($0.8\% < C < 2\%$) จะสูงกว่าเส้น A_1 ประมาณ $30-50^\circ\text{C}$ ซึ่งหมายถึง เหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ จะถูกชุบแข็งจากร่วงที่จุลโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ ทั้งหมด และเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ จากร่วงของออสเทนไนต์ ผสมกับคาร์ไบด์ (Fe_3C) ดังนั้นออสเทนไนต์ จะ เปลี่ยนสภาพเป็นมาร์เทนไซต์ ทั้งหมดสำหรับเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ และเป็นมาร์เทนไซต์ ผสมกับคาร์ไบด์ สำหรับเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ เมื่ออัตราการเย็นตัวในการชุบสูงพอ



รูปที่ 2.11 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของออสเทนไนต์ 0.8%C ระหว่างการทำให้เย็นในอัตราต่างๆกัน

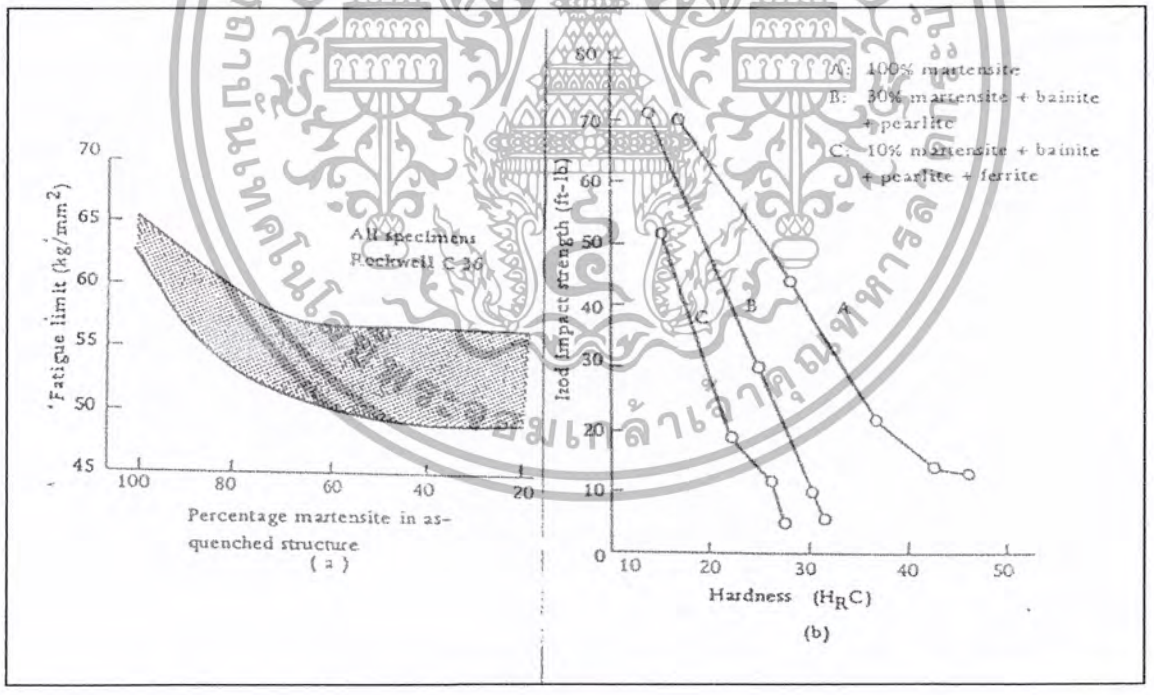
(พรศักดิ์, 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเหล็กกล้าพวกไฮโปยูเทคตอยด์ ถ้าอุณหภูมิที่ทำให้โครงสร้างกลายเป็นออสเตนไนต์ทั้งหมด (Austenizing) ต่ำหมายถึงสูงกว่า A_1 แต่ต่ำกว่า A_3 ในการชุบแข็งจะมีเฟอร์ไรต์เหลืออยู่ ซึ่งจะทำให้ความแข็งของเหล็กกล้าไม่สูงเต็มที่ ส่วนเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ ถ้าทำให้อุณหภูมิที่ทำให้โครงสร้างกลายเป็นออสเตนไนต์ทั้งหมดสูงกว่า A_{cm} จะทำให้มีออสเตนไนต์หลงเหลือมาก เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่า A_{cm} นั้น ออสเตนไนต์ จะมีความคงตัว (Stable) มากขึ้น เปลี่ยนสภาพเป็นมาร์เทนไซด์ ได้ยาก และ ออสเตนไนต์ นี้จะละลายคาร์ไบด์ไว้จำนวนมาก ออสเตนไนต์ที่เหลืออยู่ นี้มีอันตรายมากเนื่องจากทำให้ความแข็ง และขนาดของเหล็กกล้าที่ทำการชุบแข็งลดลง โดยเฉพาะเหล็กกล้าทำเครื่องมือ

การรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ที่อุณหภูมิที่ทำให้โครงสร้างกลายเป็นออสเตนไนต์ทั้งหมด ในการชุบแข็งสำหรับเหล็กกล้า นั้น โดยปกติอย่างน้อยที่สุด 30 นาที สำหรับความหนาของหน้าตัดถึง 25 มิลลิเมตร และเพิ่มขึ้น 30 นาที ต่อความหนาที่เพิ่มขึ้น 25 มิลลิเมตร

ในการชุบแข็งเหล็กกล้าจะต้องลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วจากอุณหภูมิที่ทำให้โครงสร้างกลายเป็นออสเตนไนต์ทั้งหมด จนถึงอุณหภูมิห้อง โดยการจุ่มลงในสารตัวกลางที่ใช้ลดอุณหภูมิของเหล็กกล้า (Quenching Medium) จุดประสงค์ในการชุบ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสภาพจากออสเตนไนต์ ไปเป็นเพิร์ลไลต์ แต่เพื่อให้จุลโครงสร้างที่ต้องการ ซึ่งโดยปกติคือมาร์เทนไซด์ ในการชุบแข็งจะต้องทำให้เกิดเป็นมาร์เทนไซด์ ทั้งหมด 100% เพราะว่าถ้าเปอร์เซ็นต์ของมาร์เทนไซด์ น้อย นอกจากเป็นการเพิ่มความแข็งแล้ว ยังเพิ่มคุณสมบัติของความล้า (Fatigue) และการกระแทก (Impact) หลังจากทำการอบคืนตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ผลของเปอร์เซ็นต์มาร์เทนไซด์ในโครงสร้าง จากการชุบแข็ง (พรศักดิ์, 2536)

- (a) ความล้าของเหล็กกล้าผสม (SAE 1340, 4042, 4340, 5140, 80 B 40)
- (b) ความแข็งแรงที่สามารถทนต่อการกระแทกของเหล็กกล้า (Impact Strength) 0.29%C, 0.99%Cr, 0.25%Mo และ 0.002%B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างแบบมาร์เทนไซต์ ที่ได้รับการชุบเหล็กกล้า นั้น ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับอัตราการเย็นตัวที่ได้รับจากการชุบ และความสามารถของเหล็กกล้านั้นในการที่จะเปลี่ยนเป็นโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ (ความสามารถในการที่เหล็กกล้าที่โครงสร้างออสเทนไนต์เปลี่ยนรูปเป็นมาร์เทนไซต์ เรียกว่าความสามารถในการชุบแข็ง (Hardenability))

อัตราการเย็นตัว (Cooling Rate) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการชุบขึ้นอยู่กับชนิด (Type), ระดับของความปั่นป่วน (degree of agitation) และอุณหภูมิของสารที่ใช้เป็นตัวกลางในการชุบ และขนาดหน้าตัดของเหล็กกล้าที่นำมาชุบ

ในการชุบแข็งเหล็กกล้านั้น เราต้องการตัวกลางที่ใช้ในการชุบ ที่มีอัตราการเย็นตัวอย่างรวดเร็วผ่านช่วงอุณหภูมิที่ทำให้ ออสเทนไนต์ เปลี่ยนสภาพเป็นเฟอไรต์ และเมื่ออัตราการเย็นตัวอย่างช้าๆ ในช่วงอุณหภูมิที่ซึ่งมีการเปลี่ยนสภาพเป็นมาร์เทนไซต์ แต่ก็ไม่สามารถหาสารตัวกลางที่ใช้ในการชุบที่มีคุณสมบัติตามนี้ได้ โดยปกติจะใช้น้ำมัน น้ำเค็ม (Brine) ฯลฯ เป็นสารตัวกลางในการชุบแข็ง

พลังในการชุบ (Quenching Power) หรือความสามารถในการที่ดึงความร้อนออกจากชิ้นงานของสารตัวกลางที่ใช้ในการชุบสามารถแสดงออกมาในรูปของ "Severity of Quench, H" ถ้าเรากำหนดความรุนแรงในการลดอุณหภูมิ (Severity of Quench) ของน้ำ = 1 ดังนั้นค่าของสารอื่นๆ ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ในตารางนี้จะสังเกตเห็นว่าการกวน (Agitation) สารตัวกลางมีผลต่อค่าความรุนแรงในการลดอุณหภูมิ ของสารที่ใช้ในการชุบมาก

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าของความรุนแรงในการลดอุณหภูมิ ของสารตัวกลางชนิดต่างๆ

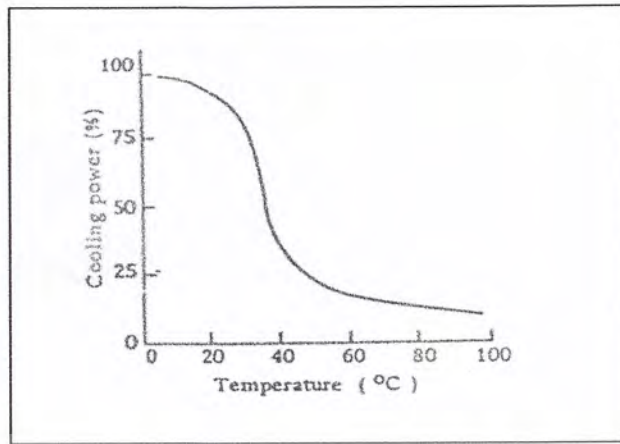
Circulation of liquid or agitation of piece	Severity of quench, H			
	Air	Oil	Water	Brine
None	0.02	0.25 - 0.30	0.9 - 1.0	2
Mild	---	0.30 - 0.35	1.0 - 1.1	2.0 - 2.2
Moderate	---	0.35 - 0.40	1.2 - 1.3	---
Good	---	0.40 - 0.50	1.4 - 1.5	---
Strong	---	0.50 - 0.80	1.6 - 2.0	---
Violent	---	0.80 - 1.20	4	5

ในทางปฏิบัติ การเลือกตัวกลางที่ใช้ในการชุบชิ้นงานพิเศษจะพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆดังนี้

- (1) ค่าความสามารถในการชุบแข็งของเหล็กกล้า
- (2) ขนาด หน้าตัดและรูปร่าง (Section Size and Shape)
- (3) ขนาดพิสัยความเผื่อ (Dimension Tolerance)
- (4) คุณสมบัติทางกลที่ต้องการ (Mechanical Property Requirements)

ผลของอุณหภูมิของสารตัวกลางที่ใช้ในการชุบต่อการเย็นตัวมีความสำคัญมากสำหรับน้ำ แต่ในกรณีของน้ำมันมีผลน้อยเพราะว่ากำลังในการเย็นตัวของน้ำลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.14 อุณหภูมิของน้ำจะควรควบคุมไว้ต่ำกว่า 25°C ส่วนน้ำมันควรควบคุมอุณหภูมิไว้ในช่วง 50-70°C เพื่อที่จะลดการบิดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ผลของอุณหภูมิต่อกำลังในการเย็นตัวที่ผิวของน้ำ ซึ่งกวนน้ำแรงปานกลาง (พรศักดิ์, 2536)

ความแข็ง และ โครงสร้างของเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็ง โดยปรกติความแข็งจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของ มาร์เทนไซต์ที่เกิดขึ้น และส่วนผสมของคาร์บอนในเหล็กกล้า นั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ค่าความแข็งสูงสุดที่สามารถทำได้จากชิ้นงานเล็กๆ ภายใต้การเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ในน้ำ แต่เป็นค่าความแข็งที่หาได้จากสภาวะการอบชุบในงานผลิตจะสังเกตเห็นว่า เปอร์เซ็นต์น้อยๆ ของธาตุผสมที่มีผลต่อความแข็งของเหล็กกล้าที่ชุบแข็ง

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของส่วนผสมของคาร์บอน และเปอร์เซ็นต์ของมาร์เทนไซต์ต่อค่าความแข็ง Rockwell C (พรศักดิ์, 2536)

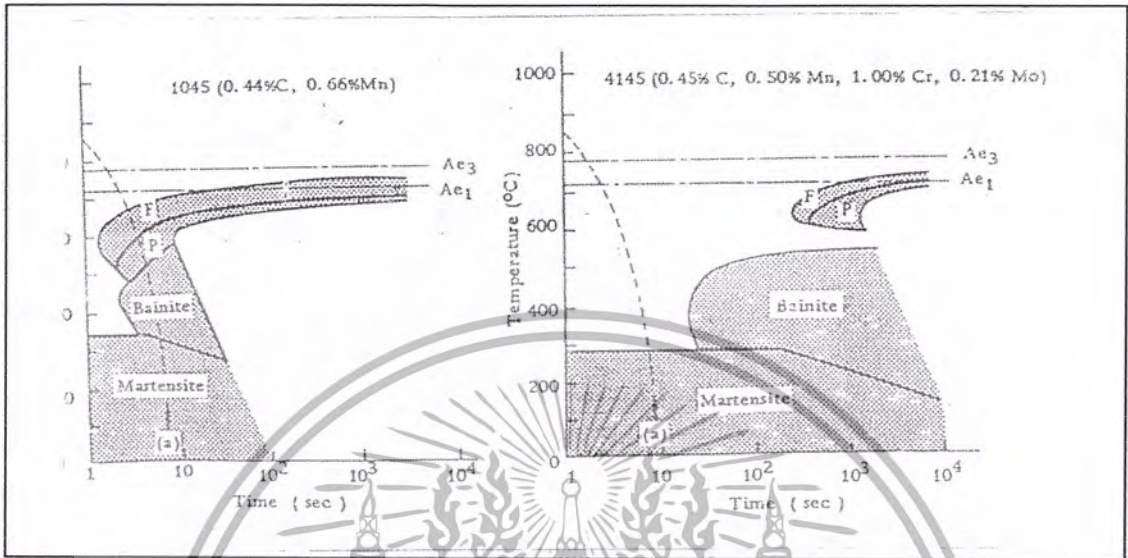
% Mar- tensite	Rockwell C hardness					
	0.2% C	0.3% C	0.4% C	0.5% C	0.6% C	0.8% C
99.9	44 ± 2	50 ± 2	56 ± 2	60 ± 1.5	63 ± 1	65
95	40 ± 2.5	47 ± 2.5	52.5 ± 2.5	57 ± 2	61 ± 1	63
90	38 ± 3	45 ± 2.5	50 ± 2	55 ± 1.5	58 ± 1	60
80	36 ± 4	42 ± 3.5	47 ± 3	52 ± 2.5	55 ± 2	57
50	32.5 ± 4	37.5 ± 4	43 ± 4	47 ± 4	51 ± 3	54

ดังนั้นถ้ารู้ปริมาณของคาร์บอนที่ผสมในเหล็กกล้า ก็สามารถทำนายค่าความแข็งจากการชุบสูงสุด ในเหล็กกล้านี้ได้ หรือประมาณค่าเปอร์เซ็นต์มาร์เทนไซต์ ของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็ง ได้จากการวัดความแข็ง

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าเปอร์เซ็นต์ของมาร์เทนไซต์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความแข็งของโลหะที่ทำการชุบแข็งขึ้นอยู่กับ การเย็นตัวที่ได้จากการชุบ และค่าความสามารถในการชุบแข็ง ของเหล็กกล้า ซึ่งเราสามารถศึกษาได้จาก Continuous Cooling Transformation Diagrams (C.C.T. Diagram) ซึ่งเป็นเส้นโค้ง แทนการเปลี่ยนสภาพของออสเตนไนต์ ในระหว่างการเย็นตัวอย่างต่อเนื่อง (Continuous Cooling) รูปที่ 2.14 แสดงค่าเส้นโค้งความเย็นตัวในอุดมคติ (Imaginary Cooling Curve) ของเหล็กกล้า SAE 1045 (JIS S45C) และ 4145 (JIS. SCM 445)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติ ตำแหน่งของภาพ C.C.T. จะเคลื่อนที่ไปทางขวา เมื่อค่าความสามารถในการชุบแข็ง ของเหล็กกล้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นเหล็กกล้าผสม 4145 จะทำให้เกิดมาร์เทนไซต์ น้อยกว่าและจะมีเฟอไรต์ เฟอร์ไรต์ไลต์ละเอียด และ เบนไนต์ เกิดขึ้นด้วยที่อัตราการเย็นตัวเดียวกัน

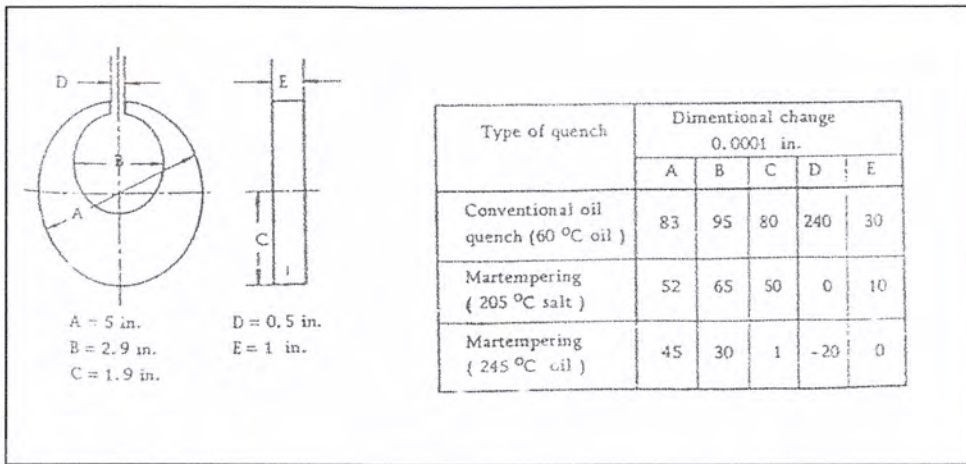


รูปที่ 2.14 แสดง Continuous Cooling Transformation (C.C.T.) ของเหล็กกล้า SAE 1045 และ 4145 ตาม Imaginary Cooling Curve (พรตักดิ์, 2536)

2. มาร์เท็มเพอริง

หลักการในการทำมาร์เท็มเพอริง หลังจากทำให้เหล็กกล้าให้อยู่ในสภาพที่ทำให้โครงสร้างกลายเป็นออสเทนไนต์ทั้งหมดแล้ว จะถูกทำให้เย็นลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิ M_s เล็กน้อย โดยปกติจะจุ่มชิ้นงานลงในน้ำมันหรืออ่างเกลือ แล้วคงอุณหภูมิไว้จนเนื้อเหล็กกล้ามีการเปลี่ยนแปลงเหมือนกันตลอดทั้งชิ้น แล้วปล่อยให้เย็นในอากาศผ่านช่วงของการเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ หลังจากการทำมาร์เท็มเพอริง ควรจะทำการอบคืนตัว (Tempering) เนื่องจากโครงสร้างที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกับการชุบแข็งตามหลักการ

ในการทำมาร์เท็มเพอริง อัตราการเย็นผ่านช่วงมาร์เทนไซต์ต่ำ จึงทำให้เกิดมาร์เทนไซต์ ในชิ้นงานเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งแท่ง ดังนั้นในการทำมาร์เท็มเพอริง จึงมีการบิดตัวน้อยมากหรือไม่บิดตัวเลย รูปที่ 2.15 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขนาดหลังจากการทำมาร์เท็มเพอริง โดยวิธีชุบแข็งตามหลักการ และวิธีมาร์เท็มเพอริง ตารางที่ 2.3 แสดงการใช้วิธีชุบแข็งแบบมาร์เท็มเพอริง



รูปที่ 2.15 ขนาดที่เปลี่ยนแปลงในงาน “Navy C” เมื่อทำการ Tempered จนมีความแข็ง HRC 63 หลังจากการชุบแข็งโดยจุ่มในน้ำมัน และการทำมาร์เทมเพอริง (0.95%C, 1.25%Mn, 0.50%W, 0.50%Cr, 0.20%V) (พรศักดิ์, 2536)

ตารางที่ 2.3 แสดงการชุบแข็งแบบมาร์เทมเพอริง (พรศักดิ์, 2536)

Parts	Steel	Weight of part kg	Maximum section thickness mm	Martempering conditions		Rockwell C hardness required
				Temp. of salt °C	Minimum time in salt, min	
Thrust washers	8740	0.05	5	230	1	50
Accessory drive shafts	9310*	0.5	6.4	190	2.5	90 (15N scale)
Seal rings	52100	0.2	7.3	190	10	65
Drive coupling	4340	0.3	10	230	2.5	52 minimum
Screw-machine spindles	8620*	7.6	10	205	3	-----
Bearing races	52100	15	13	220	2.5	63 - 64
Screw-machine sprocket	8620*	10	38	205	3	-----

การทำมาร์เทมเพอริง มีความเหมาะสมเป็นพิเศษสำหรับชิ้นส่วนที่ผ่านการชุบแข็งที่ผิว (Carburized) มาแล้ว เช่น Splined เฟลา (Shafts) และเฟือง (Gears) เนื่องจากชิ้นส่วนเหล่านี้โดยปกติยากในการเจียรนัยแต่ง ถ้าชิ้นงานเกิดการบิดตัวเนื่องจากการชุบแข็ง

สารตัวกลางที่ใช้ในการทำมาร์เทมเพอริง โดยทั่วไปจะใช้เกลือหลอมเหลว (Molten Salt) หรือน้ำมันร้อน (Hot Oil) น้ำมันใช้ได้ในกรณีที่ทำมาร์เทมเพอริง ที่อุณหภูมิไม่เกิน 200°C และเกลือหลอมเหลวใช้ในการทำ มาร์เทมเพอริง ที่อุณหภูมิระหว่าง 200-400°C เกลือที่ใช้มีความเข้มข้นดังนี้

Potassium Nitrate (KNO₃) ----- 50-60%

Sodium Nitrate (NaNO₃) ----- 37-50%

Sodium Nitrite (NaNO₂) ----- 0-20%

จุดหลอมเหลวของเกลือเหล่านี้ประมาณ 140 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าที่จะทำการชุบแข็งโดยวิธีมาร์เท็มเพอริง จะต้องพิจารณาจากความสามารถในการชุบแข็ง และขนาดหน้าตัด โดยปกติเหล็กกล้าใดๆที่สามารถทำการชุบแข็งในน้ำมัน ได้ก็สามารถทำให้แข็งได้โดยวิธีมาร์เท็มเพอริง เหล็กกล้าคาร์บอนบางชนิด ซึ่งปกติทำให้แข็ง โดยการชุบแข็งในน้ำ สามารถทำมาร์เท็มเพอริง ที่อุณหภูมิ 200°C โดยที่ขนาดหน้าตัดบางกว่า 5 มิลลิเมตร แต่จะต้องกวนสารตัวกลางในการทำมาร์เท็มเพอริง อย่างรุนแรงเหล็กกล้าโดยปกติใช้วิธีชุบแข็งแบบมาร์เท็มเพอริง เพื่อให้ได้ความแข็งเต็มที่ มีเหล็กกล้าผสมที่มีคาร์บอนปานกลาง เหล็กกล้าผสมประเภท Carburized Low Carbon และเหล็กกล้าผสมทำเครื่องมือ (Alloy Tool Steels)

3. ออสเท็มเพอริง

หลักการของออสเท็มเพอริง ต่างจากมาร์เท็มเพอริง ตรงที่ออสเท็มเพอริง นั้นจุ่มในอ่างของเหลวร้อน เพื่อคงอุณหภูมิไว้จนออสเทนไนท์ เปลี่ยนสภาพเป็นเบนไนต์หมด เนื่องจากจุลโครงสร้างที่ได้เป็นเบนไนต์ ดังนั้นจึงไม่ต้องทำการอบคืนตัว

จุดประสงค์หลักในการทำออสเท็มเพอริง คือเพิ่มคุณสมบัติด้านความเหนียว และความเหนียวของร่องบาก (Notch Toughness) ที่ความแข็งสูง ตารางที่ 2.4 แสดงถึงการปรับปรุงคุณภาพด้านความเหนียว ของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steels) โดยวิธีการทำออสเท็มเพอริง และตารางที่ 2.5 แสดงการประยุกต์ใช้งานของออสเท็มเพอริง

ในการทำออสเท็มเพอริง โดยปกติจะใช้เกลือหลอมเหลว เป็นตัวลดอุณหภูมิจากออสเท็มเพอริง ลงมาถึงอุณหภูมิที่ต้องการ สำหรับน้ำมันมีใช้บ้าง เนื่องจากน้ำมันจะไม่มีเสถียรภาพที่อุณหภูมิเกิน 250°C เกลือที่ใช้ในการทำออสเท็มเพอริง มีส่วนผสมเช่นเดียวกับในการทำมาร์เท็มเพอริง

หลักการในการเลือกเหล็กกล้าสำหรับทำออสเท็มเพอริง เหมือนกับมาร์เท็มเพอริง แต่สำหรับเหล็กกล้าผสมสูง เช่น เหล็กกล้าในกลุ่ม SAE 4300 (1.8% Ni, 0.5 หรือ 0.8% Cr, 0.25% Mo) เหล็กกล้าทำแบบ สำหรับงานขึ้นรูปร้อน (Hot Working Die Steels) และเหล็กกล้าทำเครื่องมือความเร็วสูง (High Speed Tool Steels) ไม่เหมาะที่จะทำออสเท็มเพอริง เนื่องจากจะต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนสภาพนานเกินไป

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าส่วนผสมคาร์บอนสูง หลังทำการชุบแข็งแล้วอบคืนตัว กับวิธีออสเท็มเพอริง (พรีคัทลี, 2536)

Heat treatment *	Rockwell C hardness	Impact ft-lb	Elongation %
Water quench and temper	53.0	12	0
Water quench and temper	52.5	14	0
Austemper	52.0	45	11
Austemper	52.5	40	8

* Steel is SAE 1095 (JIS SK 4)

Mechanical properties *	Quench and temper	Austemper at 400 °C
Tensile strength (kg/mm ²)	141	144
Elongation (%)	6.0	11.5
Reduction of area (%)	10.2	30
Fatigue cycles **	58600	105000

* Steel is SAE 1090.
** Fatigue specimens 20.6 mm in diameter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 การประยุกต์ใช้งานของออสตีเอ็มเพอริง (พรศักดิ์, 2536)

Parts	Steel	Weight of part	Maximum section thickness(mm)	Temperature of salt (°C)	Immersion time (min)	Rockwell C hardness
Spring	1080	220/kg	0.8	330	15	48
Plate	1060	88/kg	0.8	330	6	45 - 50
Cam lever	1065	62/kg	1.0	370	15	42
Chain link	1050	570/kg	1.5	345	15	45
Fastener	1060	110/kg	6.4	310	25	50
Pin	3140	5500/kg	1.0	330	45	48
Cylinder liner	4140	3.2kg	2.5	260	14	40
Gear	6150	0.9 kg	13	305	30	45

2.2.4 การอบคืนตัว

เหล็กกล้าที่ได้รับการชุบแข็งจะมีจุลโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ มีคุณสมบัติแข็งมาก เปราะ และมีความเค้น (Stress) สูง ถ้าปล่อยไว้ในลักษณะที่มีความเค้นเช่นนี้ จะเกิดการแตกร้าวขึ้นได้ในเหล็กกล้าส่วนมากยกเว้นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steels) เพื่อป้องกันการแตกร้าวขึ้นจะต้องทำการอบคืนตัว ทันทีหลังการชุบแข็ง ความเหนียว ความที่ต้องการใช้งาน โดยปรกติการอบคืนตัว ในช่วงอุณหภูมิ 100-200°C สำหรับเหล็กกล้าทำเครื่องมือเหล็กกล้าทำแม่พิมพ์ และชิ้นส่วนที่ผ่านการทำชุบแข็งผิว และในช่วงอุณหภูมิ 400-650°C สำหรับเหล็กกล้าโครงสร้างและเหล็กกล้าทำสปริง

การทำการอบคืนตัว ทำให้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ เปลี่ยนภาคเป็นเฟอร์ไรต์ และ Spheroidal Carbide ตามขั้นตอนต่างๆขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาในการทำการอบคืนตัว

เมื่อเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนมากกว่า 0.2% ผ่านการการอบคืนตัว ที่อุณหภูมิในช่วง 100-200°C จะเกิดโครงสร้างกึ่งเสถียรภาพ E-Carbide ($Fe_2.5C$, Hexagonal Closed-Packed) ตกตะกอนก่อนและส่วนผสมของคาร์บอนในกลุ่มจะลดลงมาเป็นประมาณ 0.2%

ถ้ามีออสเทนไนท์เหลืออยู่ในเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็ง จะแตกตัวออกเป็นเบนไนต์ ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างเฟอร์ไรต์ และ คาร์ไบด์ละเอียด ที่อุณหภูมิอบคืนตัว 200-300°C ยกเว้นในเหล็กกล้าที่มีธาตุผสมสูง

ที่อุณหภูมิทำการอบคืนตัวประมาณ 250 °C เหล็กคาร์ไบด์ (Iron Carbide) ที่มีเสถียรภาพ หรือซีเมนไตท์ Cementite (Fe_3C , Orthorhombic) มีลักษณะเป็นรูปเข็มตกตะกอน และค่อยๆเป็นรูปทรงกลม (Spheroidzes) ในขณะที่อุณหภูมิของการอบคืนตัว เพิ่มขึ้น โครงสร้างสุดท้ายของเหล็กกล้าคาร์บอน (Plain Carbon Steels) และเหล็กส่วนผสมต่ำ (Low-Alloy Steels) จะทำการอบคืนตัวที่ 700°C ประกอบด้วย Spheroidal Cementite และกลุ่มของเฟอร์ไรต์ อย่างไรก็ตาม คาร์ไบด์บางส่วนจะรวมตัวกับธาตุผสม (Alloying Elements) ที่เติมลงไป เช่น Cr, W, Mo หรือ V เกิดเป็นคาร์ไบด์ของธาตุต่างๆ ที่ผสมลงไปปฏิกิริยาของคาร์ไบด์ จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิในช่วงจาก 450°C ถึงเส้น A_1 ดังตารางที่ 2.6 ซึ่งจะเกิดเป็นคาร์ไบด์กึ่งเสถียรภาพตกตะกอน (Precipitation of Metastable Transition Carbide) W_2C , Mo_2C , หรือ V_4C_3 ซึ่งเราเรียกว่า "Secondary Hardening"

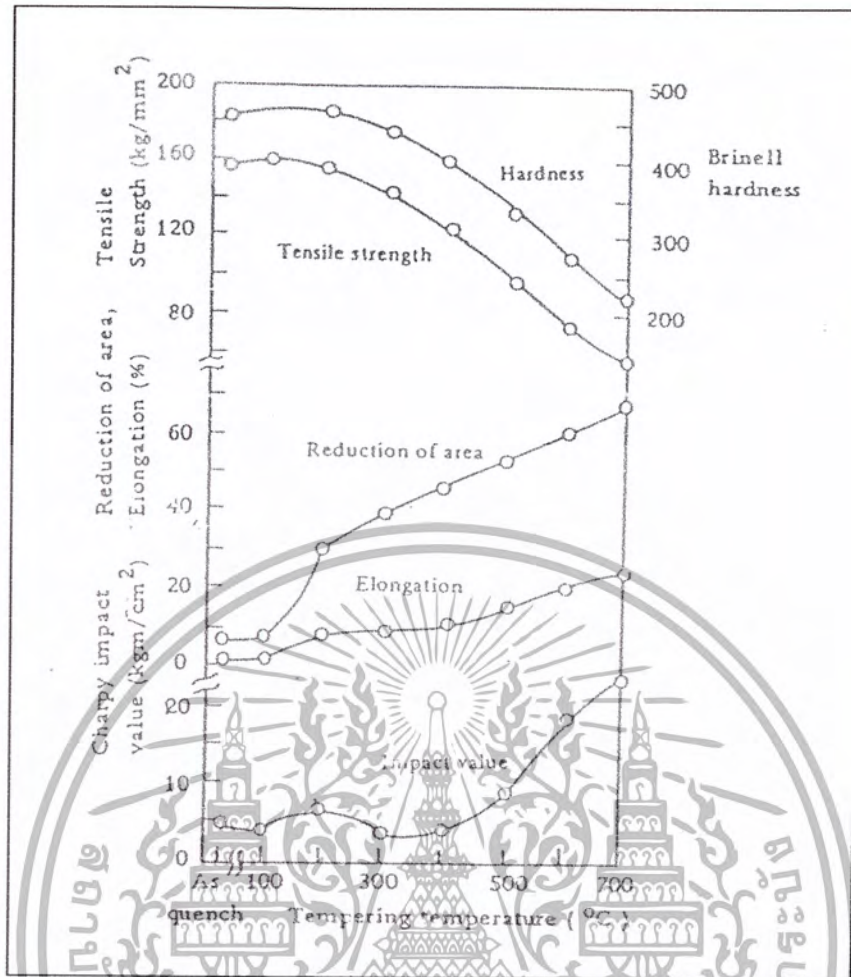
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ปฏิกิริยาของคาร์ไบด์ในระหว่างการอบคืนตัวของเหล็กกล้าธาตุผสมสูงในช่วงของอุณหภูมิ 450 °C ถึง A₁ (พรตักดี, 2536)

Type of steels	Carbide reactions
Cr-steels	Fe ₃ C — (Fe, Cr) ₃ C — (Cr, Fe) ₇ C ₃ (hexagonal) — — (Cr, Fe) ₂₃ C ₆ (fcc)
W-steels	Fe ₃ C — (Fe, W) ₃ C — W ₂ C (hexagonal) — — (Fe, W) ₆ C (fcc)
Mo-steels	Fe ₃ C — (Fe, Mo) ₃ C — Mo ₂ C (hexagonal) — — (Fe, Mo) ₆ C (fcc)
V-steels	Fe ₃ C — (Fe, V) ₃ C — V ₄ C ₃ (cubic) — — (Fe, V) ₆ C (fcc)

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลในระหว่างการอบคืนตัวของเหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าธาตุผสมต่ำ เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของการอบคืนตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.16 การอบคืนตัว เหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้ว ในช่วงอุณหภูมิ 100-200 °C ความแข็งจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากแต่ความเหนียวหยาบ (Toughness) จะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นชิ้นส่วนที่ต้องการ ความแข็งและความต้านทานต่อการสึกหรอเป็นสิ่งสำคัญ เช่น เหล็กเครื่องมือตัด (Cutting Tools), Drawing Dies, แม่พิมพ์ และ เฟลา ที่ผ่านการชุบแข็งที่ความมาแล้วปกติจะทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมินี้แล้วปล่อยให้เย็นในอากาศ

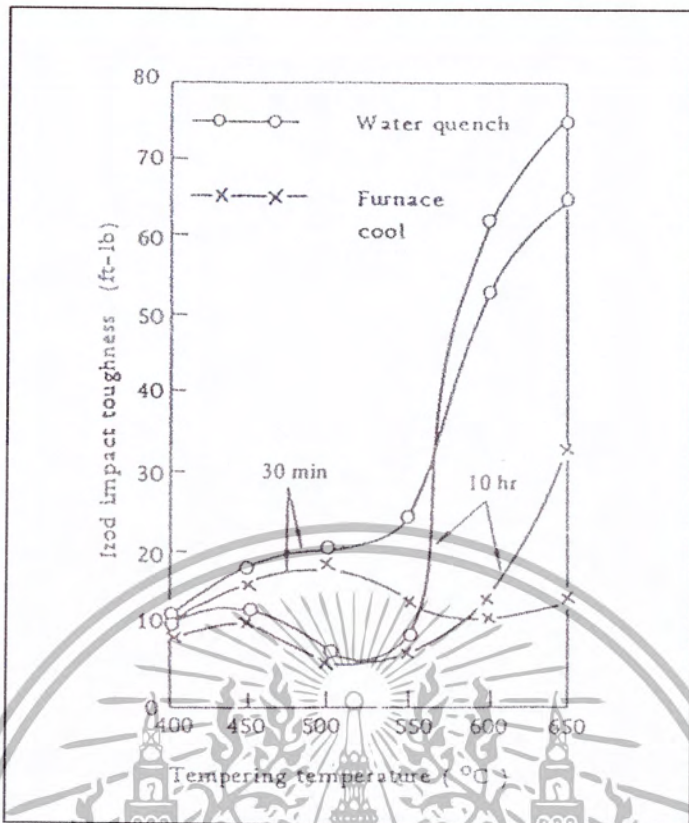
สำหรับเหล็กกล้าผสม Cr-Mo, SCM 435 ทำการอบคืนตัว ในช่วงอุณหภูมิจาก 200 °C ถึง A₁ ค่าความเหนียวของร่องบากที่สามารถแรงกระแทก (Notch Impact Toughness) จะลดลงต่ำสุดที่อุณหภูมิ 250-300 °C แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การที่ค่าความเหนียวของร่องบาก ลดลงนี้เรียกว่า “Low Temperature Temper Embrittlement” เนื่องจากการเกิดการแตกร้าวขึ้น เหล็กกล้าประเภทนี้จึงควรหลีกเลี่ยงการอบคืนตัว ในช่วงอุณหภูมิ 250-300 °C ชิ้นส่วนที่ต้องการความเหนียว กับความแข็งแรง (Strength) เช่น เฟลา Connecting Rods, Fastening Bolts และ สปริง โดยปกติจะทำการอบคืนตัว ที่อุณหภูมิ 400-650 °C ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ต้องการ



รูปที่ 2.16 ผลของอุณหภูมิ การอบคืนตัว ต่อคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าชุบแข็ง เช่น เหล็กกล้า Cr-Mo, SCM345 (0.37% C, 0.85% Mn, 0.77% Cr, 0.30% Mo) (พรศักดิ์, 2536)

การเกิดการแตกร้าวแบบอื่นๆ ส่วนมากจะเกิดในเหล็กกล้าโครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กกล้า Ni-Cr หลังจากทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ จากอุณหภูมิอบคืนตัวที่ 600°C หรือสูงกว่า หรือหลังจากคงที่อุณหภูมิไว้ประมาณ 450-600°C นานพอสมควร ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ปรากฏการณ์ลักษณะนี้เรียกว่า “High Temperature Temper Embrittlement” ซึ่งเกิดการจากการแยกตัวของธาตุผสม บางชนิด เช่น Mn, Ni, Cr และสารแปลกปน (Impurities) เช่น P, Sn เป็นต้น ในช่วงอุณหภูมิ 450-600°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 Temper Embrittlement ในเหล็กกล้า Ni-Cr (0.35%C, 0.52%Mn, 0.19%P, 3.44Ni, 0.05%Cr) (พรศักดิ์, 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แผนการดำเนินงาน

ในการจัดทำโครงการเครื่องทดสอบการกระแทกได้ดำเนินการตามลำดับขั้นตอนการดำเนินงานที่มีการวางแผนการดำเนินงานไว้ดังนี้



3.1 การศึกษาหาข้อมูล

การศึกษาหาข้อมูลที่เป็นมาตรฐานของเครื่องทดสอบการกระแทก จะอ้างอิงจากมาตรฐาน European Standard EN 10 045 – 1 : 1991 (เอกสารที่ใช้อ้างอิงอยู่ในภาคผนวก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผนการดำเนินงานปีการศึกษา 2546

งานที่ต้องดำเนินการ	แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2546															
	มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. วางแผนการดำเนินงาน	■															
2. ศึกษาข้อมูลทาง Hard Ware																
2.1 กำหนดขนาดของเครื่องทดสอบการกระแทก		■														
2.2 กำหนดขนาดของชิ้นงานทดสอบที่ใช้ทดสอบ			■													
2.3 กำหนดขนาดชิ้นส่วนมาตรฐาน				■												
2.4 เขียนแบบ Auto Cad					■											
2.5 คำนวณแรงที่โครงสร้างจะรับได้						■										
2.6 กำหนดขนาดความหนาของโครงสร้าง							■									
2.7 คำนวณหาขนาดของสกรู								■								
2.8 คำนวณหาน้ำหนักโครงสร้าง									■							
2.9 ออกแบบการวางตำแหน่งชิ้นส่วนต่างๆ										■						
3. เขียนแบบ Auto Cad																
3.1 เขียนแบบโครงสร้างเครื่อง													■			
3.2 เขียนแบบชิ้นส่วนต่างๆของเครื่อง															■	

งานที่ต้องดำเนินการ	แผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2546															
	ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. เตรียมเอกสารข้อมูลในการสอบ โครงการงาน	■															
2. สร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง																
2.1 สร้างโครงสร้างเครื่อง					■											
2.2 สร้างแกนเหวี่ยงค้อนตี							■									
2.3 สร้างลูกตุ้มน้ำหนัก								■								
2.4 สร้างสเกลวัดแรงเหวี่ยงของค้อนตี									■							
2.5 สร้างที่รองรับชิ้นงานทดสอบ										■						
2.6 สร้างชิ้นส่วนของเครื่องทดสอบการกระแทก											■					
3. ประกอบทุกชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน													■			
4. ทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบ															■	
5. สรุปและแก้ไข																■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนต่างๆ

3.3.1 ความเร็วที่ใช้ในการกระแทก

สูตรในการคำนวณหาความเร็วในการกระแทกเพื่อใช้ในการหาขนาดของแขนหมุนคือ

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot L(1 - \cos \alpha)} \quad (3.1)$$

เมื่อ

$$v = \text{ความเร็วของก้อนดี} = 4 \text{ m/s}$$

$$g = \text{แรงโน้มถ่วงของโลก} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

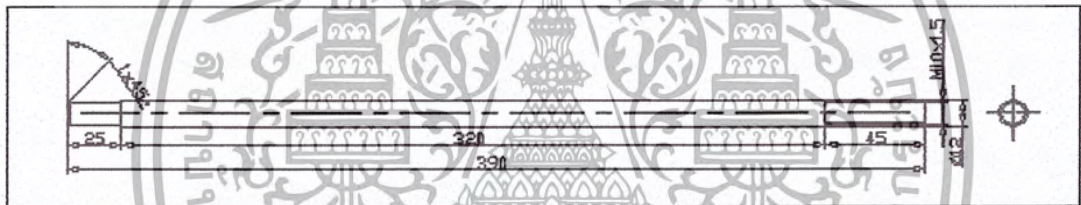
$$\alpha = \text{มุมก่อนการตี} = 160^\circ$$

$$L = \text{ความยาวของแขนเหวี่ยง (m)}$$

แทนค่าในสูตร

$$4 = \sqrt{2 \times 9.81 \times L(1 - \cos 160^\circ)}$$

$$L = 0.42 \text{ m}$$



รูปที่ 3.1 ภาพเขียนแบบแขนเหวี่ยง

แรงที่ใช้ในการทดสอบการกระแทกของวัสดุ = 30 Nm.

ดังนั้นต้องหาน้ำหนักของก้อนดี โดยใช้สูตร

$$W_{\text{pot}} = mgh \quad (3.1)$$

แทนค่าในสูตร

$$30 \text{ Nm} = m \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.81 \text{ m}$$

$$30 \text{ Kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = m \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.81 \text{ m}$$

$$30 \text{ Kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = m \times 7.946 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$m = \frac{30}{7.946} \text{ Kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}^2}$$

$$m = 3.775 \text{ Kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค้ำน้ำหนักของก้อนดิน มีน้ำหนัก 3.775 Kg.

เมื่อ

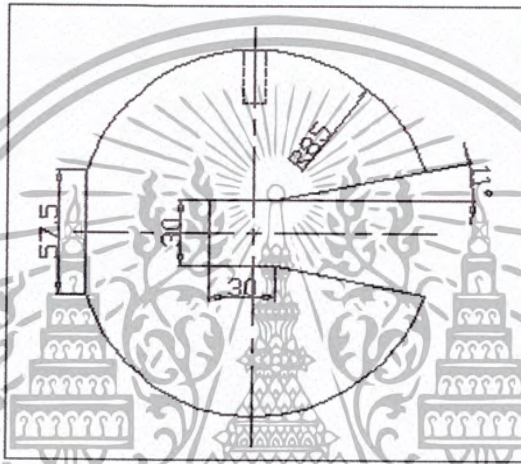
W_{pot} = งานที่ใช้ในการตี (Nm)

m = มวลของก้อนดิน (Kg)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก ($\frac{m^2}{s^2}$)

h = ความสูงระหว่างก้อนดินและชิ้นงานทดสอบก่อนการทดสอบ (m)

3.3.2 คำนวณหาปริมาตรของก้อนดิน



รูปที่ 3.2 ภาพเขียนแบบก้อนดิน

ปริมาตรของก้อนดินเท่ากับ

ปริมาตรวงกลม - [ปริมาตรสี่เหลี่ยมตรงมุม + ปริมาตรสี่เหลี่ยมจัตุรัส + (2) ปริมาตรส่วนตัดวงกลม]
สูตรในการคำนวณ

$$\frac{\pi}{4} d^2 \cdot h - \left[\left(\frac{l_1 + l_2}{2} \cdot b \cdot h \right) + (l^2 \cdot h) + 2 \left(\frac{2}{3} \cdot l \cdot b \cdot h \right) \right]$$

$$\frac{\pi}{4} \times 17^2 \times 1.8 - \left[\left(\frac{3 + 5.75}{2} \times 7 \times 1.8 \right) + (3^2 \times 1.8) + 2 \left(\frac{2}{3} \times 0.5 \times 5.75 \times 1.8 \right) \right]$$

$$= 408.5 - [(55.12 + 16.2 + 3.45)]$$

$$= 333.73 \text{ cm}^3$$

$$= 333.73 \text{ cm}^3 \times 7.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$= 2619.8 \text{ g}$$

น้ำหนักแกนหมุน คมตี และสกรู = 318.7 g

น้ำหนักรวม = 2619.8 + 318.7 g

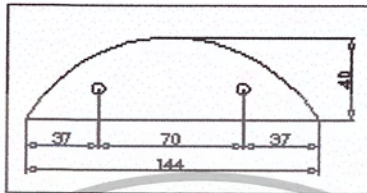
= 2938.5 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 หาขนาดความหนาแผ่นประกบถ่วงน้ำหนัก

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักรวมของค้อนตี} &= 3775 - 2938.5 \\ &= 836.5 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักแผ่นประกบแต่ละข้าง} &= \frac{836.5}{4} \\ &= 209.125 \text{ g} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.3 ภาพเขียนแบบแผ่นประกบ

สูตรการคำนวณปริมาตรส่วนโค้ง

$$\frac{2}{3} \times r \times b \times h$$

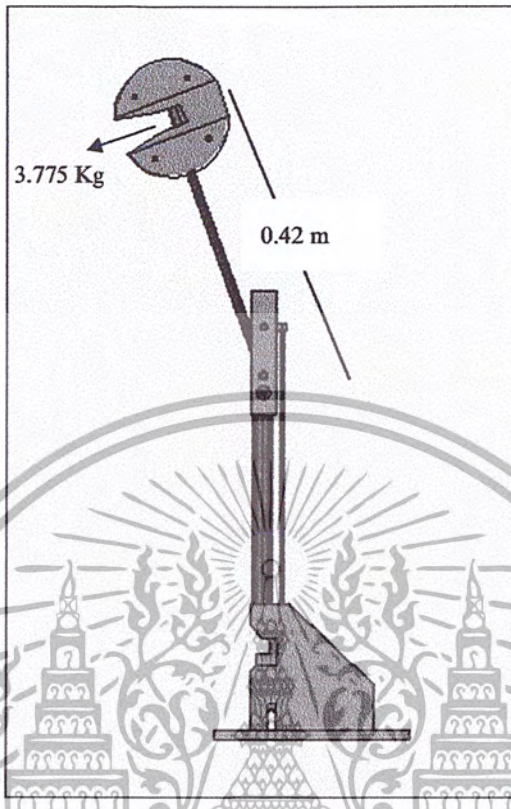
(3.3)

แทนค่า

$$\begin{aligned} 209.125 &= \frac{2}{3} \times 14.4 \times 4 \times h \times 7.85 \\ h &= 0.693 \text{ cm} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (F_z)



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงขนาดที่ใช้ในการคำนวณแรงหนีศูนย์กลาง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาแรงหนีศูนย์กลางคือ

$$F_z = m \cdot r \cdot \omega^2$$

(3.4)

เมื่อ

$$m = 3.775 \text{ Kg}$$

$$r = 0.42 \text{ m}$$

$$\omega = 9.524 \text{ 1/s}$$

แทนค่า

$$F_z = [3.775 \times 0.42 \times (9.5241)^2]$$

$$F_z = 144 \text{ N}$$

โดยที่

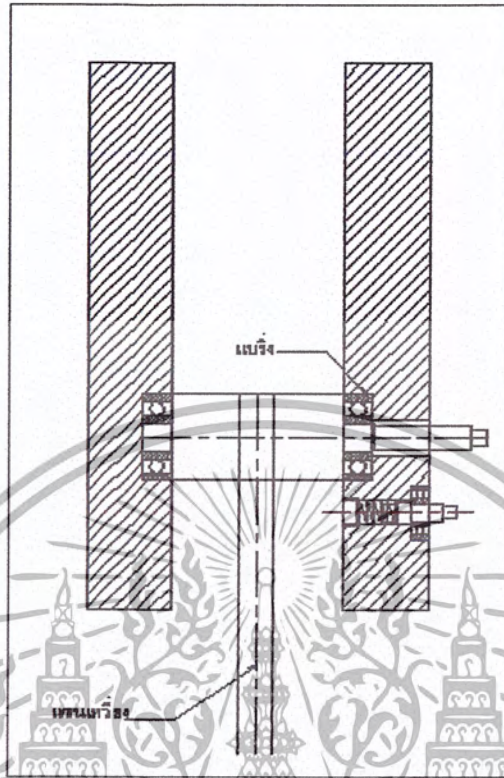
m มวลของวัตถุ (Kg)

r รัศมีในการเคลื่อนที่ (m)

ω ความเร็วเชิงมุม (1/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5. กำลังงานสูญเสียจากความเสียดทาน (W_p)



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงการคำนวณพลังงานสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาพลังงานสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานคือ

$$W_p = \frac{\pi F_r d n}{60}$$

(3.5)

เมื่อ

$$f = 0.0025$$

$$F_r = 144 \text{ N}$$

$$d = 0.01 \text{ m}$$

$$n = 1.516 \text{ rpm}$$

แทนค่า

$$W_p = \frac{\pi \times (2 \times 0.0025) \times 144 \times 0.01 \times 1.516}{60}$$

$$W_p = 0.00057 \text{ J}$$

โดยที่

ส.ป.ส. ความเสียดทานของบอลแบริ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- F_T แรงกระทำในแนวรัศมี (N)
- d ขนาดรูสวมนเบริง (m)
- n ความเร็วรอบเพลลา (rpm)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณการทดสอบการกระแทก มีอยู่ 2 สูตร คือ

$$a_k = \frac{Wv}{s}$$

โดยที่

$$W_v = mgh_1 - mgh_2 \tag{3.6}$$

$$W_v = F.L. (\cos \beta - \cos \alpha) \tag{3.7}$$

เมื่อ

$$a_k = \text{ความเหนียวของวัสดุ} \frac{J}{cm^2}$$

$$W_v = \text{งานที่ใช้ในการตี} Nm$$

$$m = \text{มวลของค้อนทดสอบการกระแทก} Kg$$

$$g = \text{แรงโน้มถ่วงของโลก} \frac{m}{s^2}$$

$$h_1 = \text{ความสูงระหว่างค้อนและชิ้นงานทดสอบก่อนการทดสอบ} m$$

$$h_2 = \text{ความสูงของค้อนหลังการกระแทกชิ้นงานทดสอบ} m$$

$$S = \text{พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบ} cm^2$$

$$\beta = \text{มุมที่ค้อนทำกับฐานก่อนการกระแทก}$$

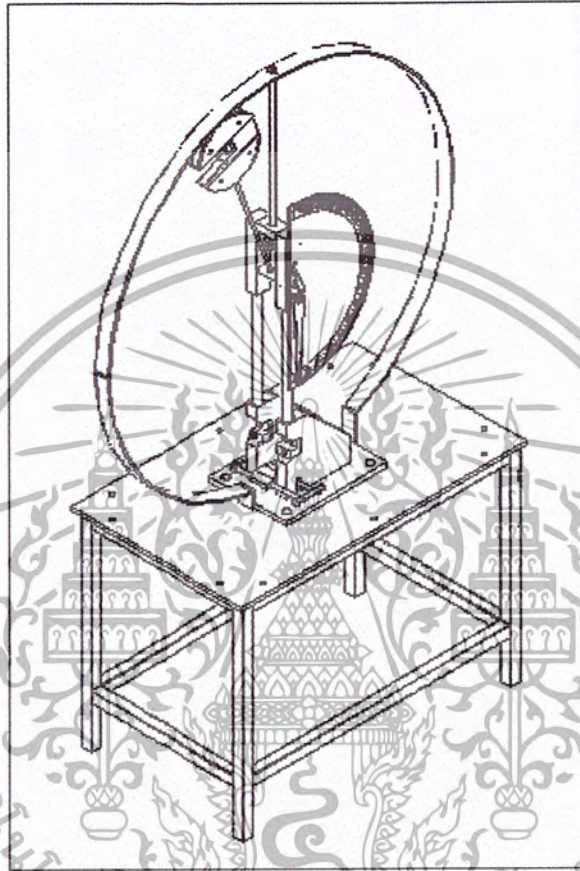
$$\alpha = \text{มุมที่ค้อนทำกับฐานหลังการกระแทก}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

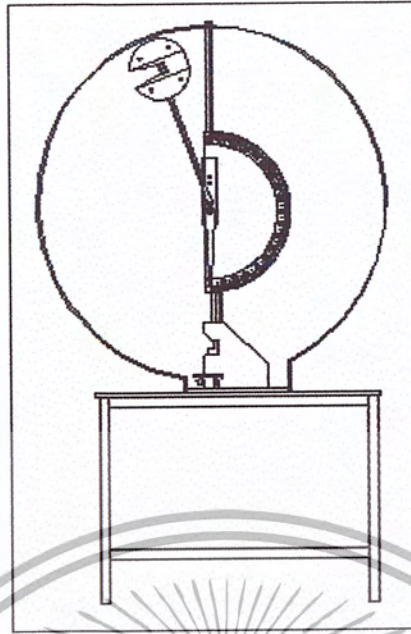
3.4 การออกแบบและเขียนแบบชิ้นส่วน

ในการออกแบบเครื่องทดสอบการกระแทกได้ทำการเขียนแบบด้วยโปรแกรมออโต้แคด (Auto Cad) ซึ่งจะทำให้การเขียนแบบ 3 มิติก่อนแล้วจึงทำการเขียนแบบแยกชิ้นส่วนประกอบย่อยของเครื่องทดสอบการกระแทก เพื่อที่จะผลิตชิ้นส่วนนั้นในกระบวนการต่อไป เครื่องทดสอบที่ทำการออกแบบมีลักษณะดังรูปต่อไปนี้

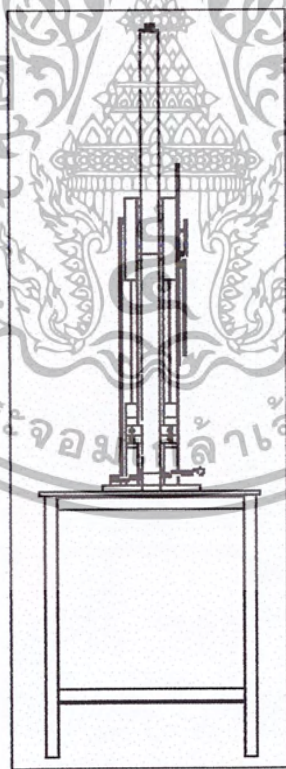


รูปที่ 3.6 ภาพประกอบเครื่องทดสอบการกระแทก 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

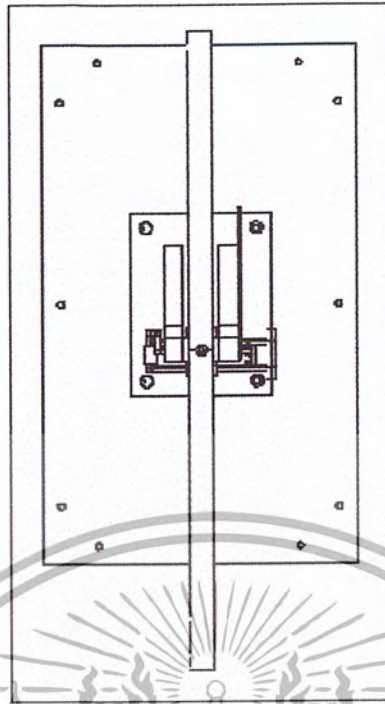


รูปที่ 3.7 ภาพเขียนแบบด้านหน้าเครื่องทดสอบการกระแทก



รูปที่ 3.8 ภาพเขียนแบบด้านข้างเครื่องทดสอบการกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ภาพเขียนแบบด้านบนเครื่องทดสอบการกระแทก

3.5 วิธีการทดสอบการกระแทก

1. ตรวจสอบเครื่องทดสอบการกระแทกก่อนที่จะทำการทดสอบ เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานแก่ผู้ปฏิบัติงาน
2. ตรวจสอบขนาดของชิ้นทดสอบและวัดพื้นที่หน้าตัด
3. ยกค้อนตีขึ้นเล็กน้อยเพื่อที่จะวางชิ้นทดสอบให้ได้ตั้งฉากกับฐานรองรับ โดยรอยบากอยู่ตรงที่จุดกึ่งกลางระหว่างฐานรองรับ และรอยบากจะต้องอยู่ตรงกันข้ามกับค้อนที่ตี
4. ยกค้อนตีขึ้น จนกระทั่งเข็มพา (Main Point) อยู่ตรงขีดตำแหน่งพอดี ซึ่งค้อนจะอยู่สูงโดยทำมุม 160°
5. ตั้งเข็มชี้ (Idel Pointer) ให้ตำแหน่งศูนย์
6. กดตัวปล่อยค้อนให้สุดจนกว่าค้อนที่จะกระแทกชิ้นงานแตกหักแล้วค้อนตีเหวี่ยงไปด้านหลัง (ก่อนทำการกดตัวปล่อยค้อนจะต้องไม่มีมือของผู้ปฏิบัติงานอยู่หรือสิ่งกีดขวางอื่นๆ)
7. อ่านค่ามุมหลังจากการตี
8. ปล่อยตัวปล่อยค้อนเพื่อให้ค้อนตีหยุดเหวี่ยง
9. จดบันทึกมุมหลังการตี และอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ
10. นำค่าตัวแปรที่ได้ไปคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานของเครื่องทดสอบการกระแทก

ลักษณะโดยรวมของเครื่องทดสอบการกระแทกที่ได้ทำการออกแบบ และได้ทำการสร้างขึ้นนี้มีความกว้าง 520 มิลลิเมตร ยาว 850 มิลลิเมตร สูง 1630 มิลลิเมตร โดยที่มีพลังงานในการตี 30 จูล มีความยาวของแขนตี 0.42 เมตร และจากการที่ได้ทดสอบชิ้นงาน เครื่องทดสอบการกระแทกที่สร้างขึ้นมา มีความสามารถทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีปริมาณส่วนผสมของคาร์บอนมากกว่า 0.53 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งลักษณะของเครื่องทดสอบจะมีลักษณะของเครื่องทดสอบดังรูป



รูปที่ 4.1 รูปของเครื่องทดสอบการกระแทกที่สร้างขึ้น

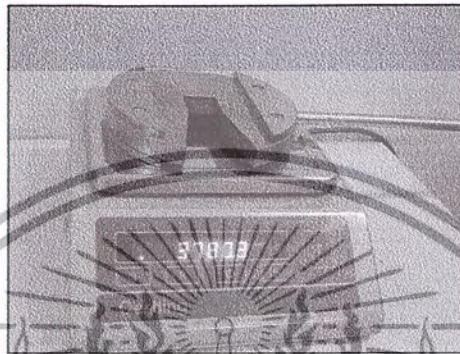
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทดสอบการกระแทก

จากการศึกษามาตรฐานของเครื่องทดสอบการกระแทกได้นำมาออกแบบชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องทดสอบการกระแทกที่ได้ผลิตขึ้นมา 4 ชิ้นดังนี้

1. ค้อนตี

จากการคำนวณจะได้น้ำหนักของค้อนตี 3775 กรัม และเมื่อทำการผลิตชิ้นงานได้น้ำหนัก 3780.3 กรัม ซึ่งค่าหนักที่ได้คลาดเคลื่อนจากการคำนวณไป 5.3 กรัม



รูปที่ 4.2 รูปแสดงน้ำหนักของค้อนตี

2. คมมีดกระแทกชิ้นงาน

จากมาตรฐานกำหนดความแข็งของคมมีดกระแทกชิ้นงานต้องมีความแข็งมากกว่า 47 HRC จากการผลิตคมมีดกระแทกชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวแล้ว ได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 55.33 HRC

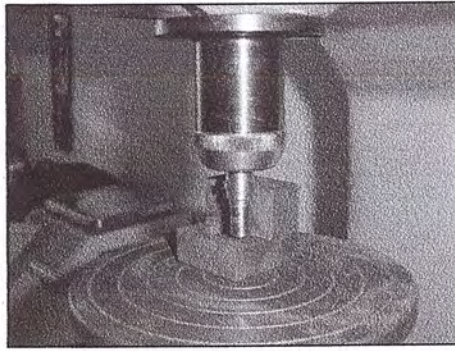


รูปที่ 4.3 รูปการทดสอบความแข็งของคมมีดกระแทกชิ้นงาน

3. ที่วางชิ้นงานทดสอบ

จากมาตรฐานกำหนดความแข็งของที่วางชิ้นงานทดสอบต้องมีความแข็งมากกว่า 47 HRC จากการผลิตที่วางชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวแล้ว ได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 58.33 HRC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปการทดสอบความแข็งของที่วางชิ้นงานทดสอบ

4. สเกลวัดมุม

สเกลวัดมุมนี้ถูกผลิตขึ้นจากแผ่นอะคริลิก แบ่งองศาโดยใช้หัวแบ่งโรตารี (Rotary)



รูปที่ 4.5 รูปแสดงสเกลวัดมุม

ขั้นตอนการทดลองการทำงานของเครื่องทดสอบการกระแทก

จากการที่ได้ทำการทดลองการทำงานของเครื่องทดสอบการกระแทก มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

1. ทำชิ้นงานทดสอบมีขนาด $10 \times 10 \times 55$ มิลลิเมตร โดยที่ทำร่องบากมุม 45° ลึก 2 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 รูปชิ้นงานทดสอบที่นำไปทดสอบ

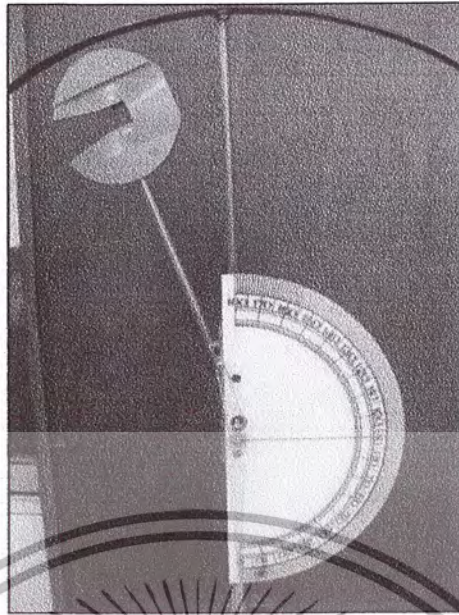
2. ก่อนการทดสอบการกระแทกจะต้องวัดขนาดของชิ้นงานทดสอบแล้วทำการจดบันทึกค่าที่วัดได้
3. นำชิ้นงานทดสอบวางบนที่วางชิ้นงาน โดยที่ร่องบากจะต้องวางตรงกับคมมีดกระแทกชิ้นงานและร่องบากจะต้องวางตรงข้ามกับค้อนตี



รูปที่ 4.7 รูปแสดงลักษณะการวางชิ้นงานทดสอบ

4. ยกค้อนตีขึ้น จนกระทั่งเข็มทา (main point) อยู่ตรงขีดตำแหน่งพอดี ซึ่งค้อนจะอยู่สูงโดยทำมุม 160°
5. ดึงเข็มชี้ (idel pointer) ให้ตำแหน่งศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 รูปแสดงลักษณะการทดสอบการกระแทก

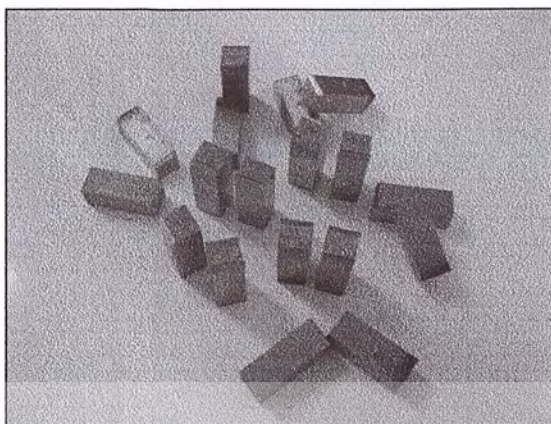
6. กดตัวปล่อยก้อนให้สู่จุดจนกว่าก้อนดีจะกระแทกชิ้นงานแตกหักแล้วก้อนดีเหวี่ยงไปด้านหลัง (ก่อนทำการกดตัวปล่อยก้อนจะต้องไม่มีมือของผู้ปฏิบัติงานอยู่หรือสิ่งกีดขวางอื่นๆ)
7. อ่านค่ามุมหลังจากการตี



รูปที่ 4.9 รูปแสดงการวัดมุมหลังการกระแทก

8. ปล่อยตัวปล่อยก้อนเพื่อให้ก้อนดีหยุดเหวี่ยง
9. จดบันทึกมุมหลังการตี และอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ
10. นำค่าตัวแปรที่ได้ไปคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 รูปแสดงชิ้นงานหลังการทดสอบการกระแทก

4.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าต่างๆของชิ้นงานทดสอบ

ความกว้าง (มม.)	ความสูง (มม.)	ความยาว (มม.)	ระยะจากขอบชิ้นงานถึง กึ่งกลางร่องบาก (มม.)		ความลึก ของร่อง บาก (มม.)	มุมหลังการ ตี (องศา)	ค่าความ เหนียว (จูล/ซม. ²)
			ด้านที่1	ด้านที่2			
10.02	10.00	55.14	27.55	27.59	1.85	68	25.049
10.04	10.00	55.04	27.34	27.70	1.90	72	23.926
10.04	10.00	55.00	27.80	27.20	1.95	64	26.561
10.00	10.00	55.04	27.52	27.52	1.95	63	26.970
10.04	10.06	55.04	27.30	27.74	2.00	65	26.220
9.98	10.00	55.04	27.40	27.64	2.15	67	26.455

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าการทำซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนที่มีมาตรฐานกำหนด

ระดับพลังงาน (จูล)	ค่าการทำซ้ำ (จูล)	ค่าความคลาดเคลื่อน (จูล)
< 40	≤ 6	< 4
≥ 40	≤ 15% ของ E	< 10% ของ E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ค่าการทำซ้ำของเครื่องทดสอบการกระแทก

จากค่าความเหนียวของชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการทดลองนำมาหาค่าการทำซ้ำเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานว่าเครื่องที่ทำการทดสอบได้มาตรฐานหรือไม่ โดยใช้สูตรดังนี้

$$E_{\max} - E_{\min} \quad (4.1)$$

แทนค่าในสูตร

$$26.970 - 23.926 = 3.044 \text{ จูล}$$

จากการทดสอบชิ้นงานซึ่งเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเบอร์ S50C จำนวนชิ้นงานทดสอบ 6 ชิ้น ซึ่งผลที่ได้มีค่าการทำซ้ำเท่ากับ 3.044 จูล เมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจากเครื่องที่ทำการสร้างขึ้นมีค่าการทำซ้ำได้น้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ ≤ 6 จูล ดังนั้นถือว่าเครื่องที่สร้างขึ้นนี้ได้มาตรฐาน

4.3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องทดสอบการกระแทก

จากค่าความเหนียวของชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการทดลองนำมาหาความคลาดเคลื่อนเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานว่าเครื่องที่ทำการทดสอบได้มาตรฐานหรือไม่ โดยใช้สูตรดังนี้

$$\bar{E} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6}{6} \quad (4.2)$$

แทนค่าในสูตร

$$\bar{E} = \frac{25.049 + 23.926 + 26.561 + 26.970 + 26.220 + 26.455}{6}$$

$$\bar{E} = 25.864$$

ทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดจำนวน 7 ค่า ดังนี้

ค่าความคลาดเคลื่อนชิ้นงานที่ 1	$25.864 - 25.049 = 0.815$
ค่าความคลาดเคลื่อนชิ้นงานที่ 2	$25.864 - 23.926 = 1.938$
ค่าความคลาดเคลื่อนชิ้นงานที่ 3	$25.864 - 26.561 = -0.697$
ค่าความคลาดเคลื่อนชิ้นงานที่ 4	$25.864 - 26.970 = -1.106$
ค่าความคลาดเคลื่อนชิ้นงานที่ 5	$25.864 - 26.220 = -0.356$
ค่าความคลาดเคลื่อนชิ้นงานที่ 6	$25.864 - 26.455 = -0.591$

จากการทดสอบชิ้นงานซึ่งเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเบอร์ S50C จำนวนชิ้นงานทดสอบ 6 ชิ้น ซึ่งผลที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่ากับ 1.938 จูล เมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจากเครื่องที่ทำการสร้างขึ้นมีค่าการทำซ้ำได้น้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ < 4 จูล ดังนั้นถือว่าเครื่องที่สร้างขึ้นนี้ได้มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

1. สามารถสร้างเครื่องทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีได้ตามที่ออกแบบไว้และจากการทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนเบอร์ S50C ผลที่ได้รับจากการทดสอบคือมีค่าการทำซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนที่มาตรฐาน DIN EN 10045 ยอมรับให้เกิดขึ้นได้ของเครื่องทดสอบการกระแทกแต่ละเครื่อง ซึ่งถือว่าบรรลุตามวัตถุประสงค์

2. จากการทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนเบอร์ S45C นั้นจึงทดสอบชนิดนี้ไม่หักและได้ทำการทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนเบอร์ S50C (มีปริมาณคาร์บอน 0.47-0.53%) จำนวนที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 6 ชิ้น ซึ่งจากมาตรฐานกำหนดไว้ว่าในการหาค่าการทำซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนทดสอบที่จำนวน 5 ชิ้น ผลจากการทดสอบคือชิ้นงานทดสอบหักจึงสามารถบอกชนิดของวัสดุที่เป็นชิ้นงานทดสอบการกระแทกสามารถทดสอบได้ ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอนที่มีส่วนผสมมากกว่า 0.53 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เหล็กหล่อ อลูมิเนียม เนื่องจากเครื่องทดสอบการกระแทกที่สร้างขึ้นมีพลังงานในการกระแทก 30 จูล์ ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องทดสอบการกระแทกที่มีพลังงานที่ใช้ในการกระแทกน้อย จึงมีชนิดของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบได้ไม่กี่ชนิด

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากได้ทำการทดสอบการกระแทกด้วยเครื่องทดสอบการกระแทกที่ทำการสร้างขึ้น เป็นการทดสอบเพื่อทำการหาค่าการทำซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนเท่านั้น ซึ่งผลที่ได้นั้นสามารถบอกได้ว่าเครื่องทดสอบนั้นมีค่าการทำซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มาตรฐาน แต่ถ้าต้องการให้เครื่องทดสอบการกระแทกที่สร้างขึ้นนั้นเป็นเครื่องทดสอบที่ได้รับการยอมรับให้เป็นเครื่องทดสอบที่ได้มาตรฐาน จะต้องนำเครื่องทดสอบนี้ไปทำการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดกับสถาบันที่ได้มาตรฐาน

บรรณานุกรม

- พรศักดิ์ อรรถวานิช, 2536. วัสดุศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 1
- มานพ ตันตรบัณฑิตย์, 2531. งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : หจก.เอช-เอน การพิมพ์
- รศ.บรรเลง ศรีนิล และ ศศ.ประเสริฐ ก๊วยสมบุญณ์, ตารางงานโลหะ, กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- DIN EN 10 045 - 1, 1991. Charpy impact test on metallic materials test method.
- DIN EN 10 045 - 2, 1992. Charpy notched bar impact test on metallic materials.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



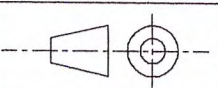
ภาคผนวก ก.

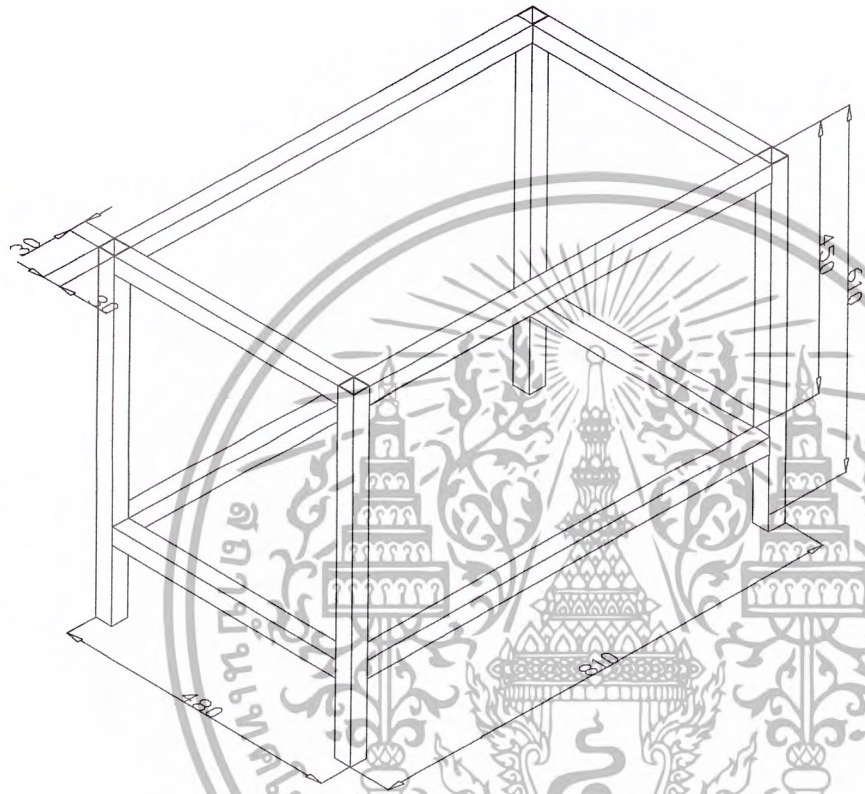
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



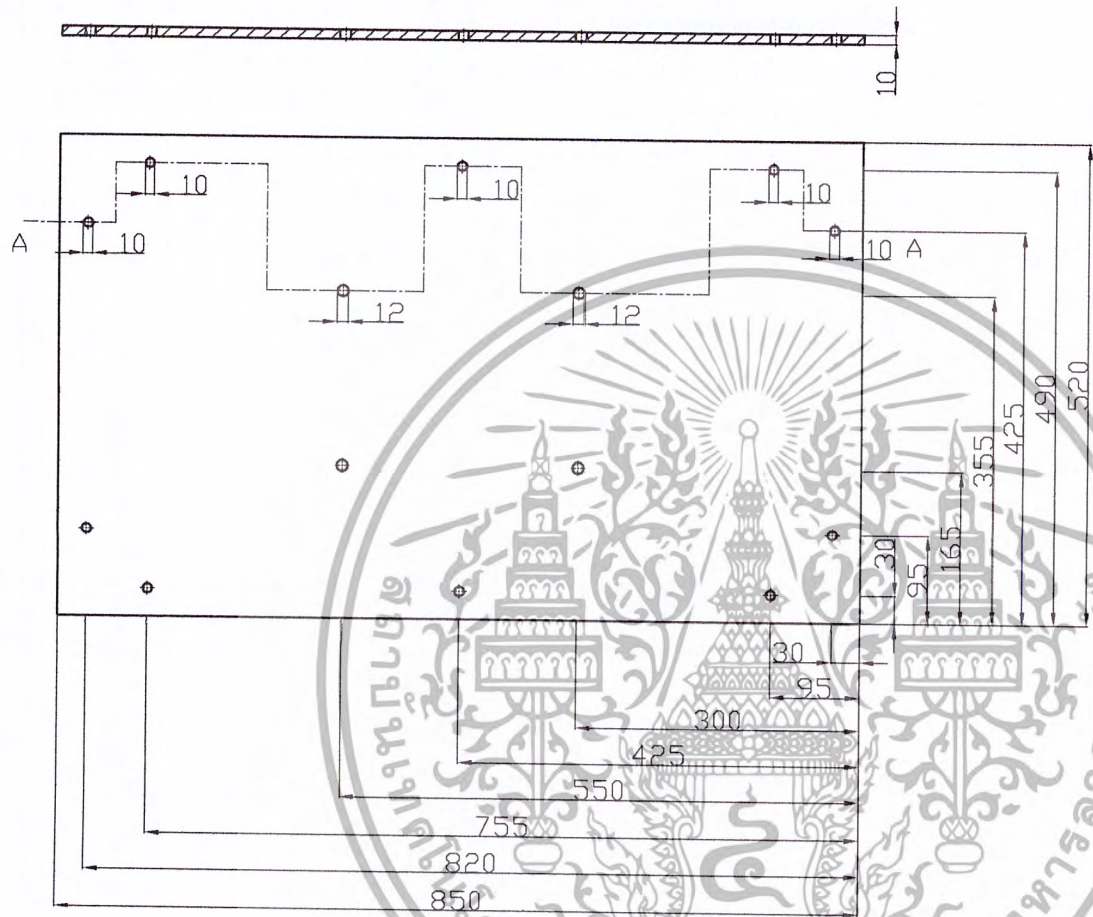
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพประกอบเครื่องทดสอบการกระแทก				
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req. Drawing No.
Scale 1:12	Drawn Sarawut Kettong		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	
	Checked Kannachai			
	Date			
			Impact Tester	
				Drawing No.

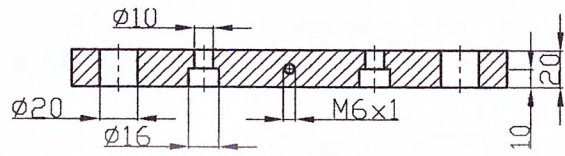


001	โต๊ะเครื่องทดสอบการกระแทก	480x810x610	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:10	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
		Impact Tester			Drawing No. 001

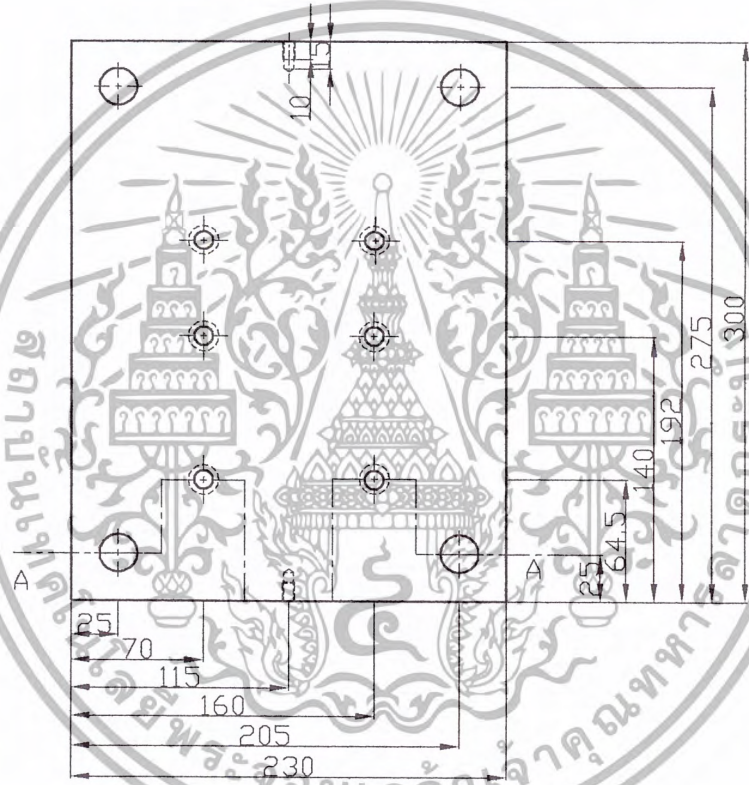


Section A-A

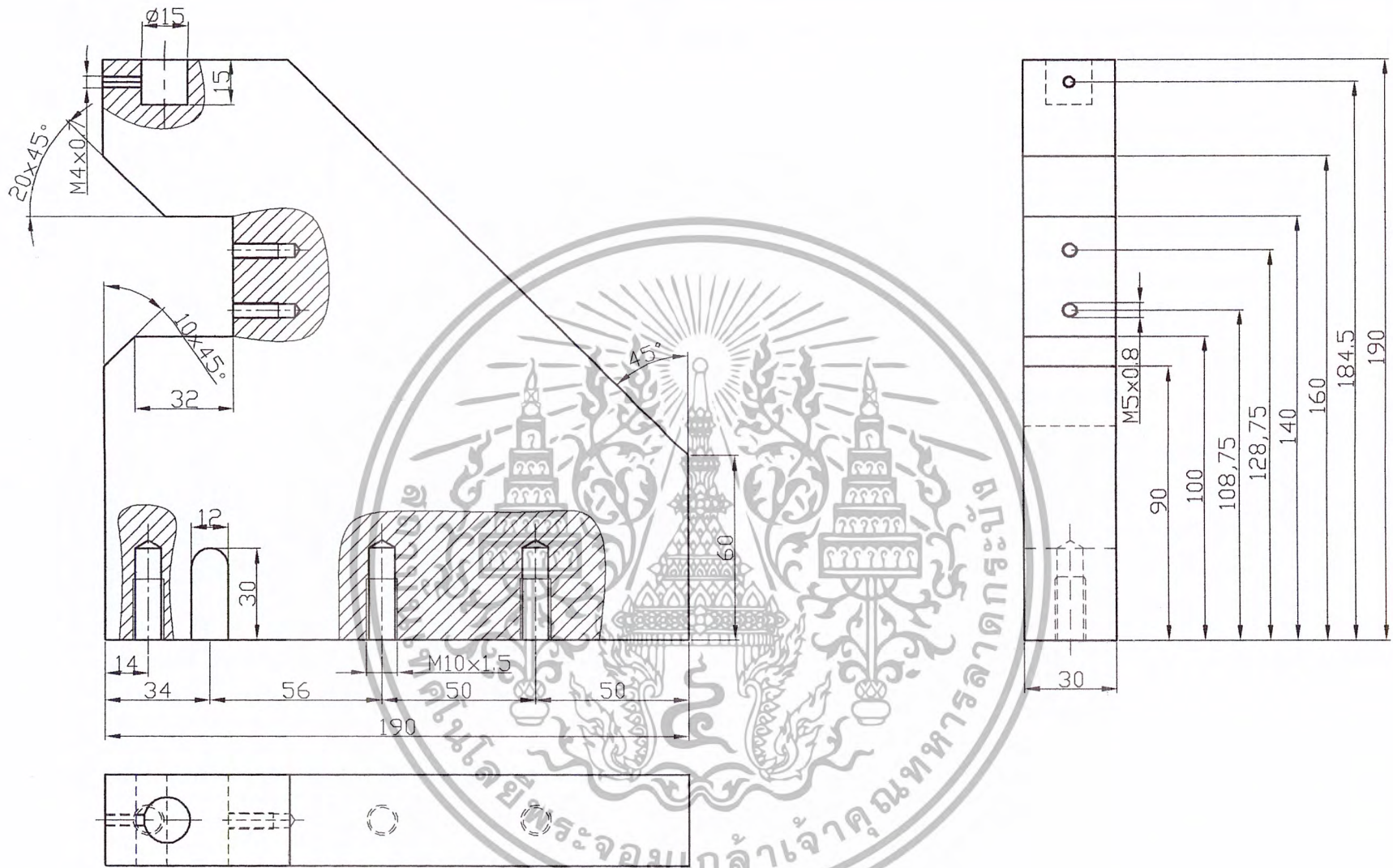
002	แผ่นเหล็กพื้นโต๊ะ	520x850x10	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:8	Drawn Sarawut Kettong		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked Kannachai				
	Date				
				Impact Tester	
				Drawing No. 002	

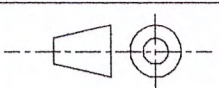


Section A-A

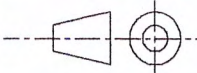


003	ฐานเครื่องทดสอบการกระแทก	230x300x20	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:4	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
				Impact Tester	
				Drawing No. 003	

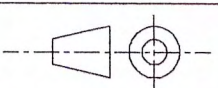


004	ฐานยึดที่วางชิ้นงาน	190x190x30	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:2	Drawn Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang			
	Checked Kannachai				
	Date				
				Impact Tester	
				Drawing No. 004	

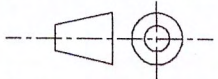


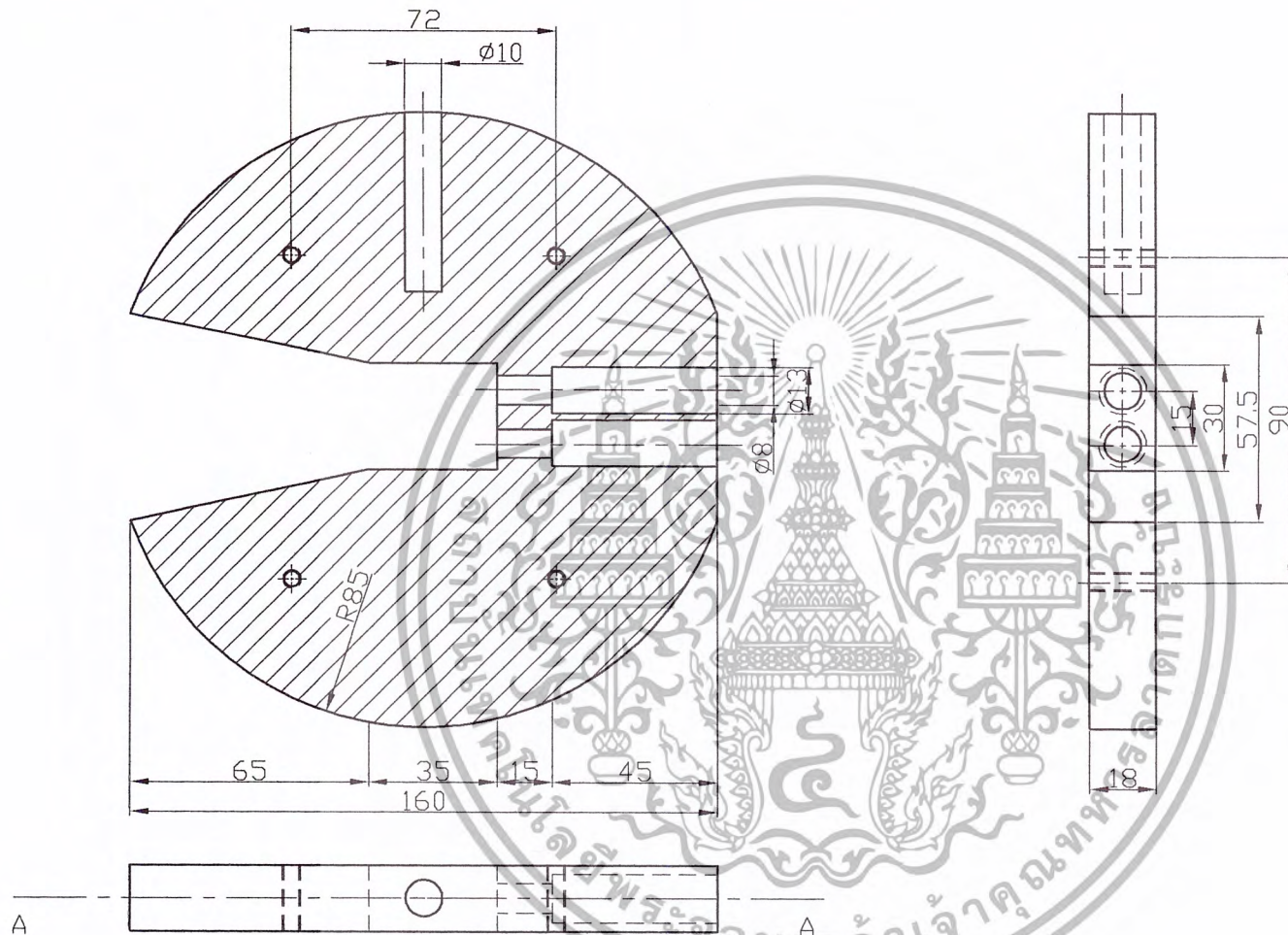
005	เข็มชั่งทดสอบ	50x225x4	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang			
	Checked Kannachai				
	Date				
	Impact Tester			Drawing No. 005	



006	สเกลวัดมุมหลังการตี	250x470x5	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:4	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
				Impact Tester	
				Drawing No. 006	

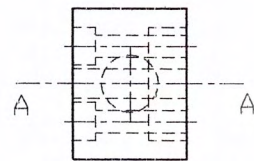
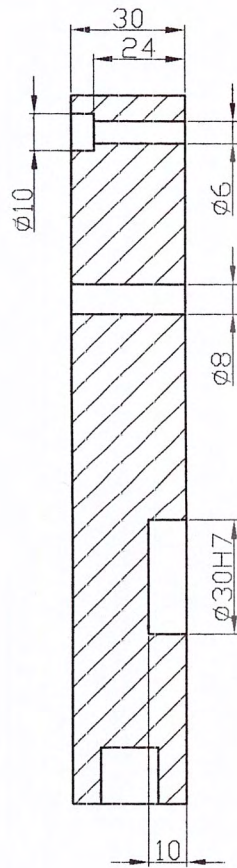


007	การ์ดป้องกัน	Ø530x5	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:10	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
	Impact Tester			Drawing No. 007	

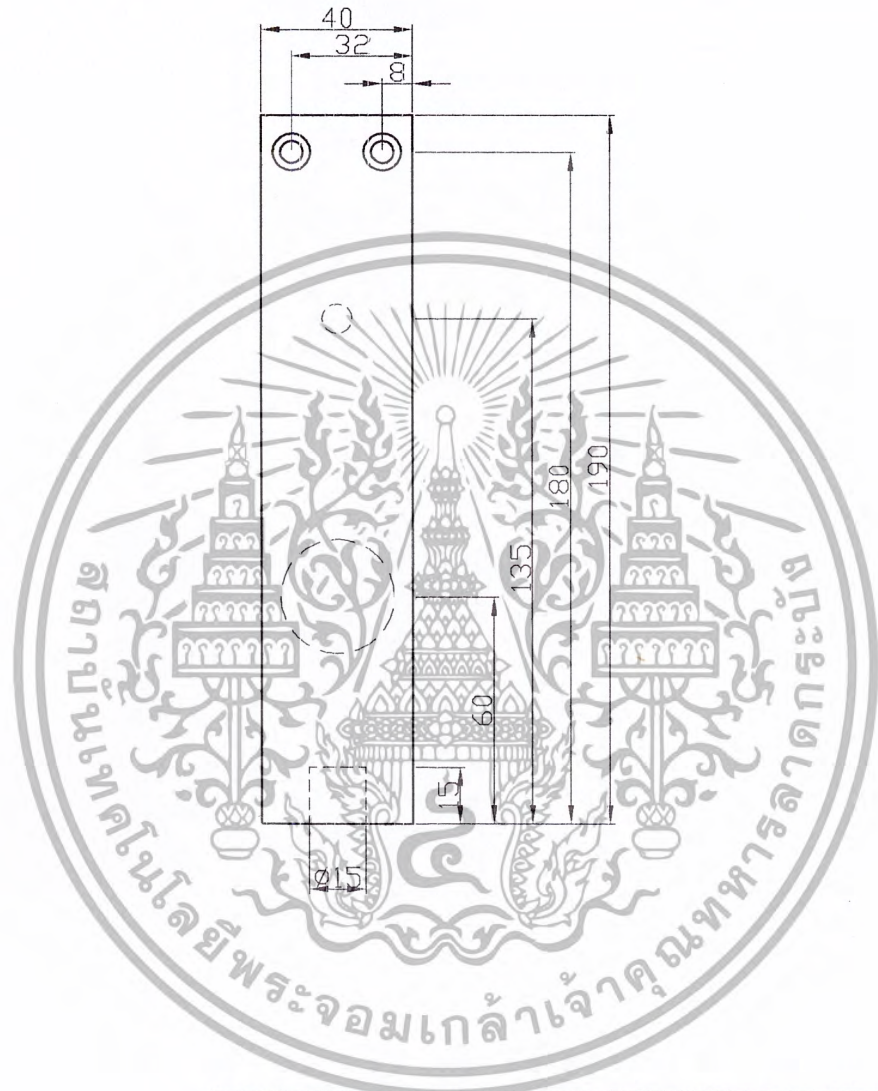


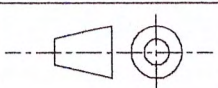
Section A-A

008	ค้อนตี	Ø85x18	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:2	Drawn Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		Drawing No. 008	
	Checked Kannachai				
	Date				
		Impact Tester			

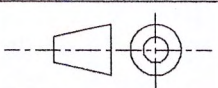


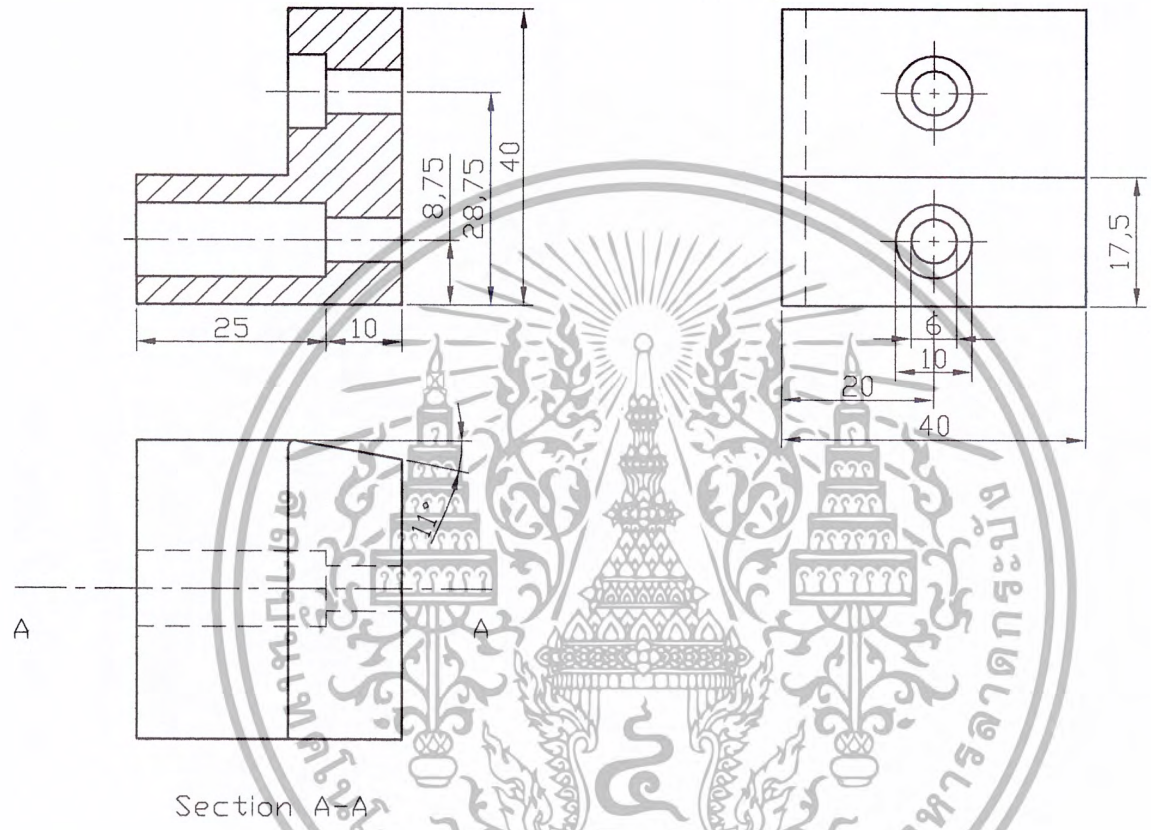
Section A-A



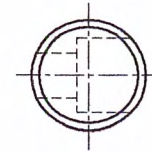
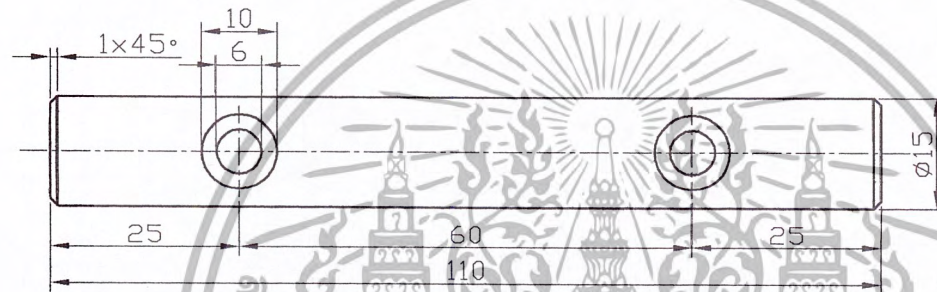
009	โครงรองรับแกนหมุน(ด้านหลัง)	40x190x30	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:2	Drawn Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang			
	Checked Kannachai				
	Date				
	Impact Tester			Drawing No. 009	



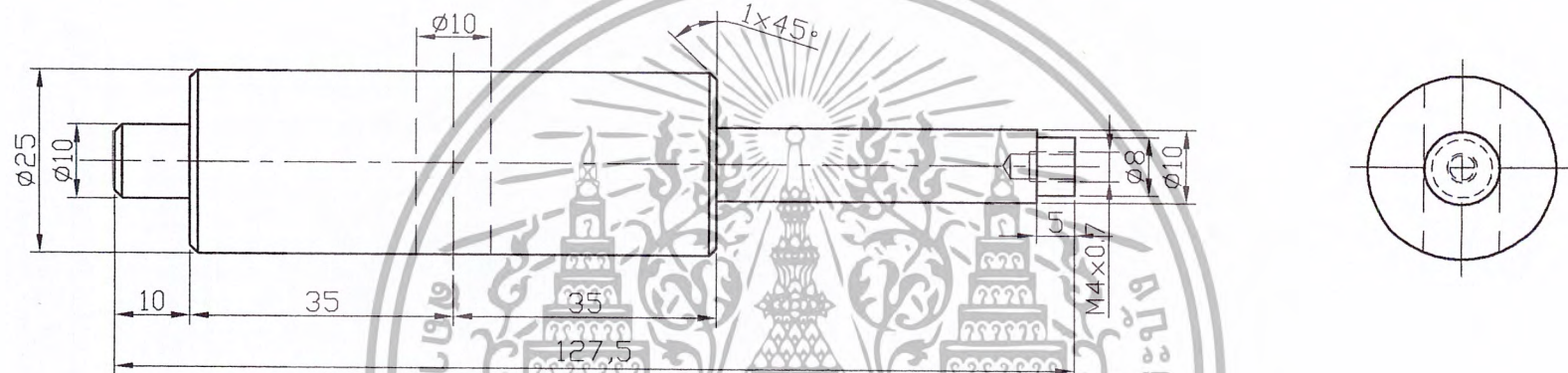
010	เสา	Ø30x320	St 37	2	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:2	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
		Impact Tester		Drawing No. 010	



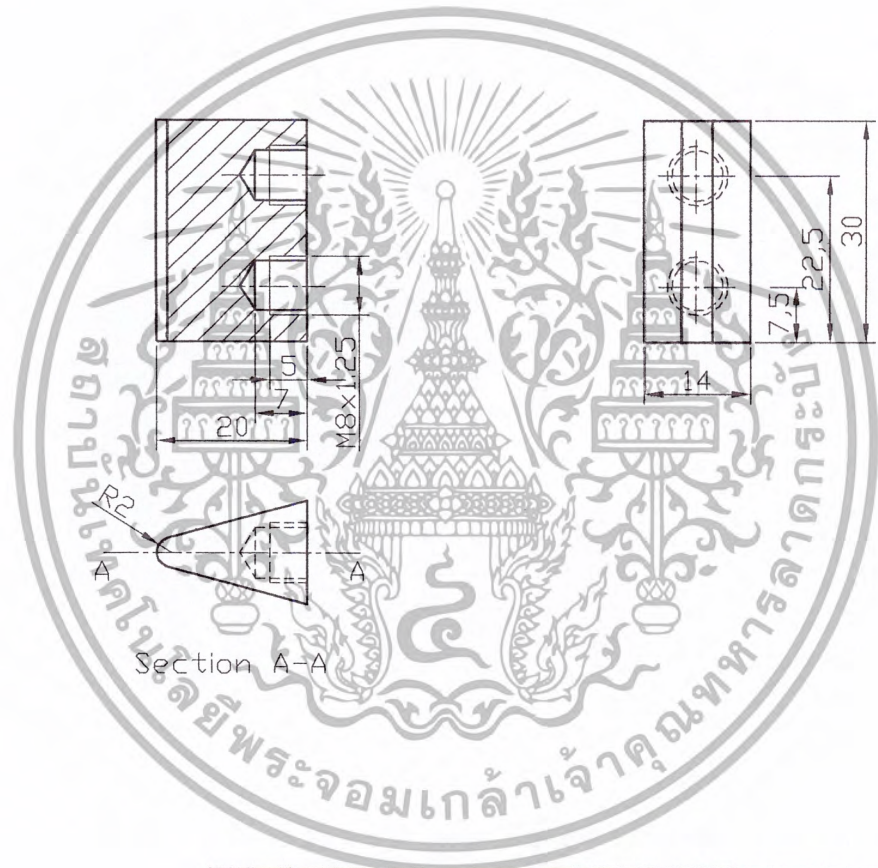
011	ที่วางชิ้นงานทดสอบ	40x30x40	DIN 2379	2	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
				Impact Tester	
					Drawing No. 011

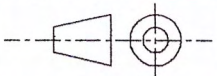


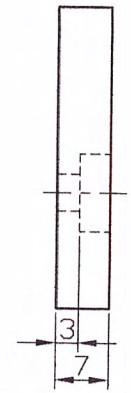
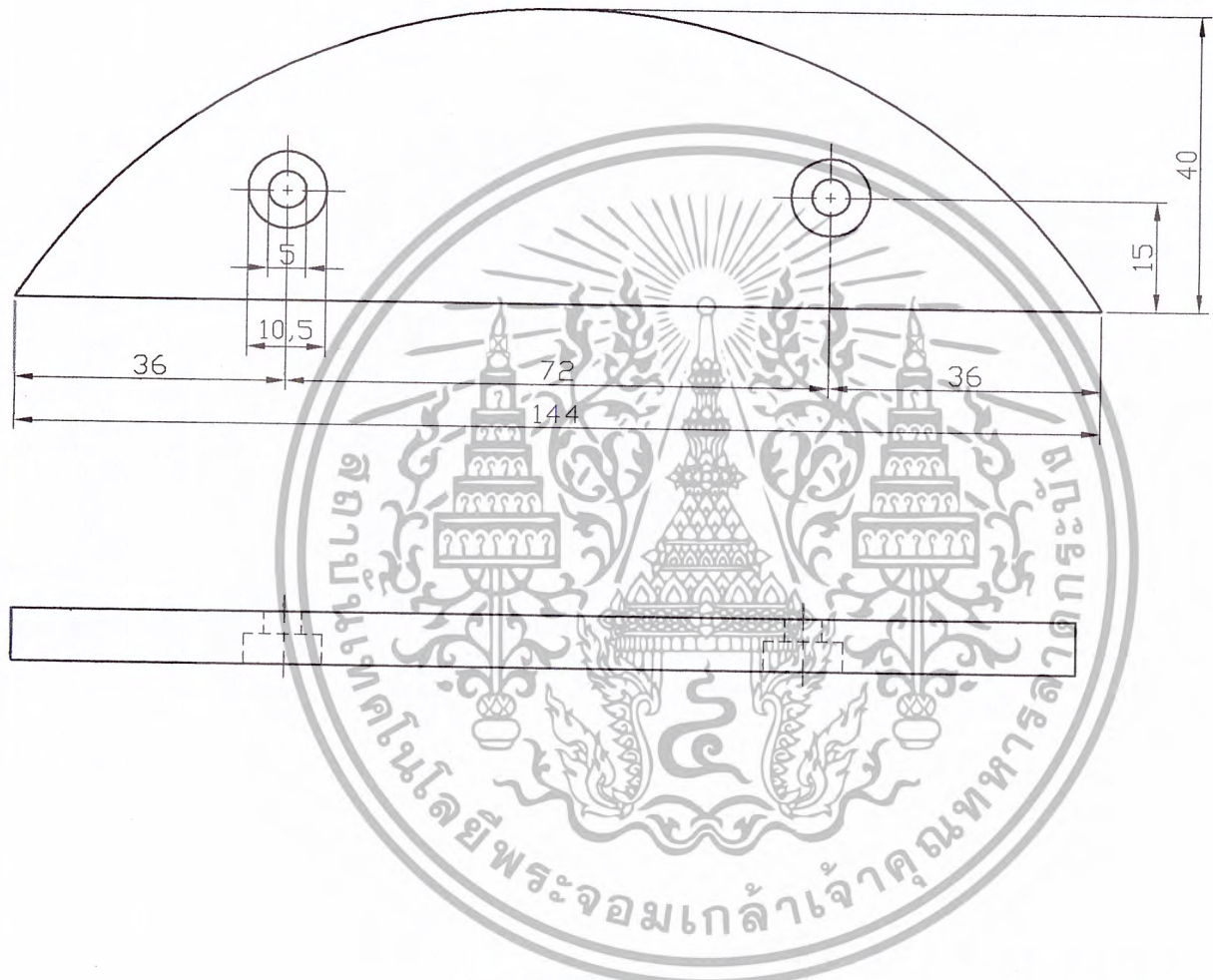
012	ตัวกดปล่อยค้อนตี	ø15x110	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
	Impact Tester			Drawing No. 012	



013	แกนหมุนค้อนตี	Ø25x130	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
		Impact Tester			Drawing No. 013



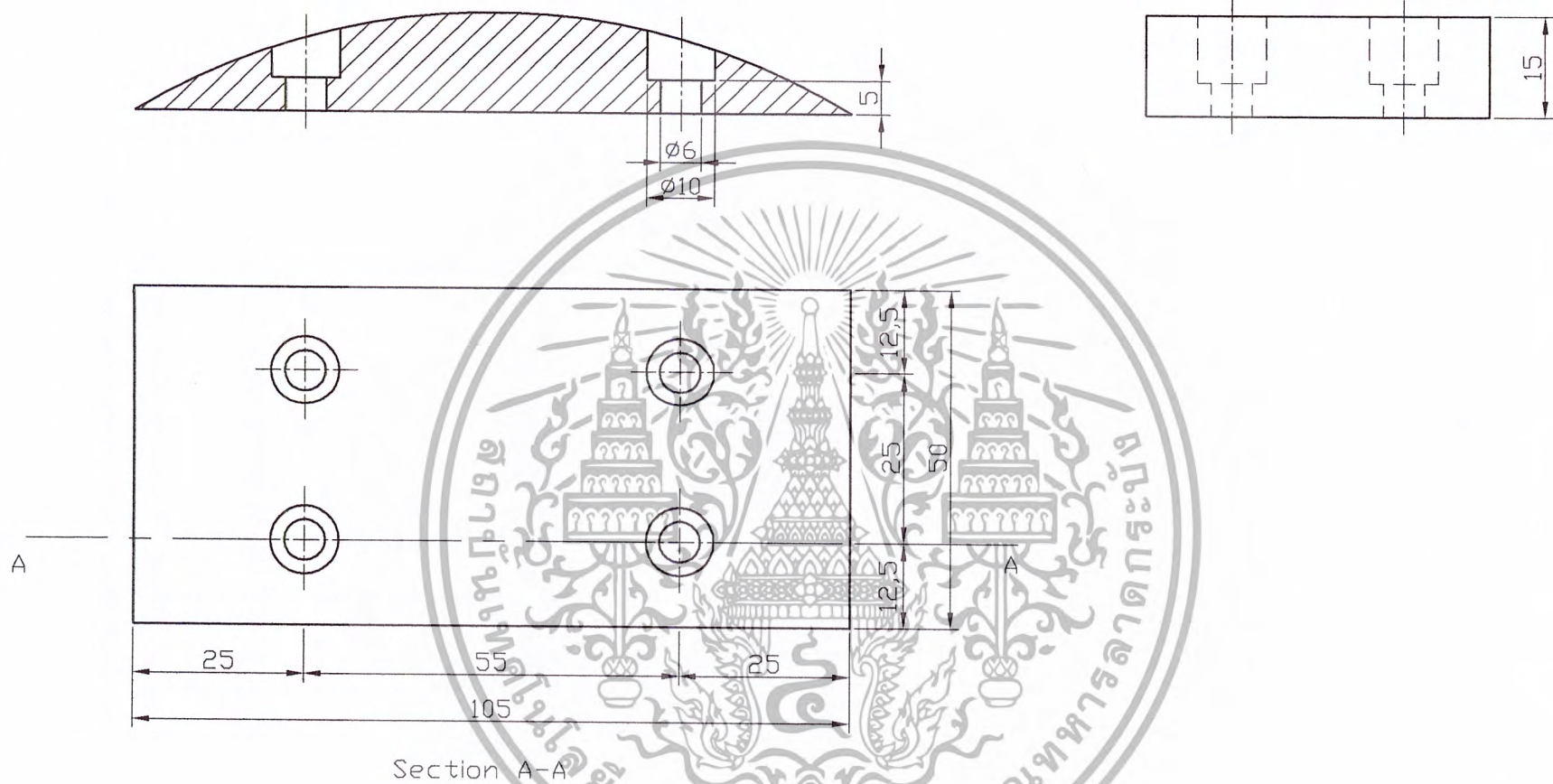
014	คมมีดกระแทกชิ้นงาน	14x20x30	DIN 2379	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
		Impact Tester		Drawing No. 014	



015	แผ่นประกบตัวน้ำหนัก	40x145x7	St 37	4	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
				Impact Tester	
				Drawing No. 015	

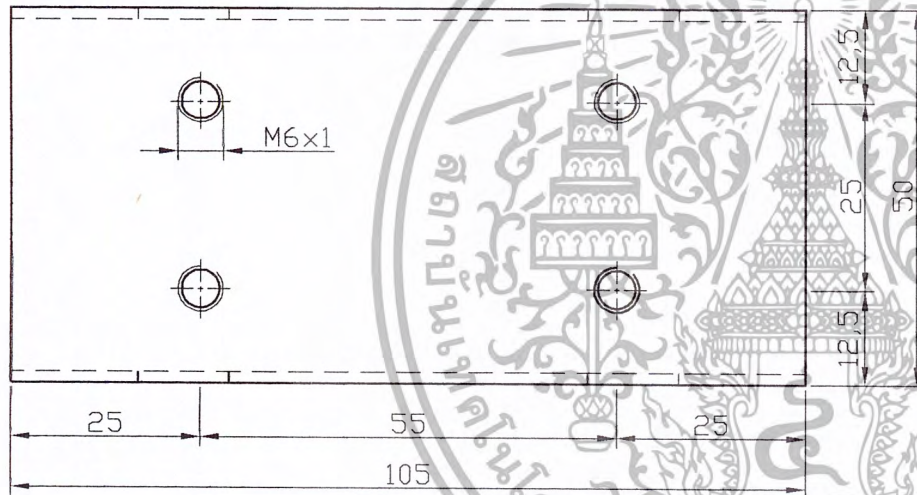
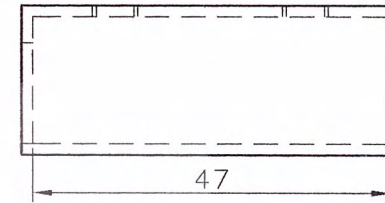
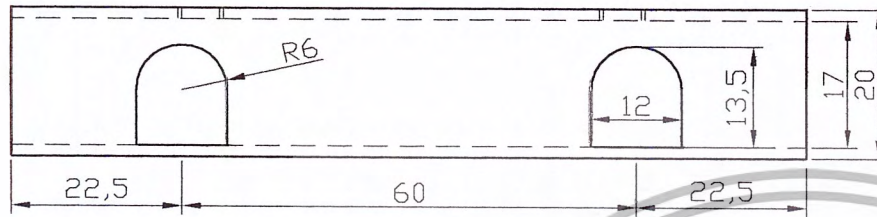


016	แขนเหียงค้อนตี	$\phi 12.5 \times 410$	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:2	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
	Impact Tester			Drawing No. 016	

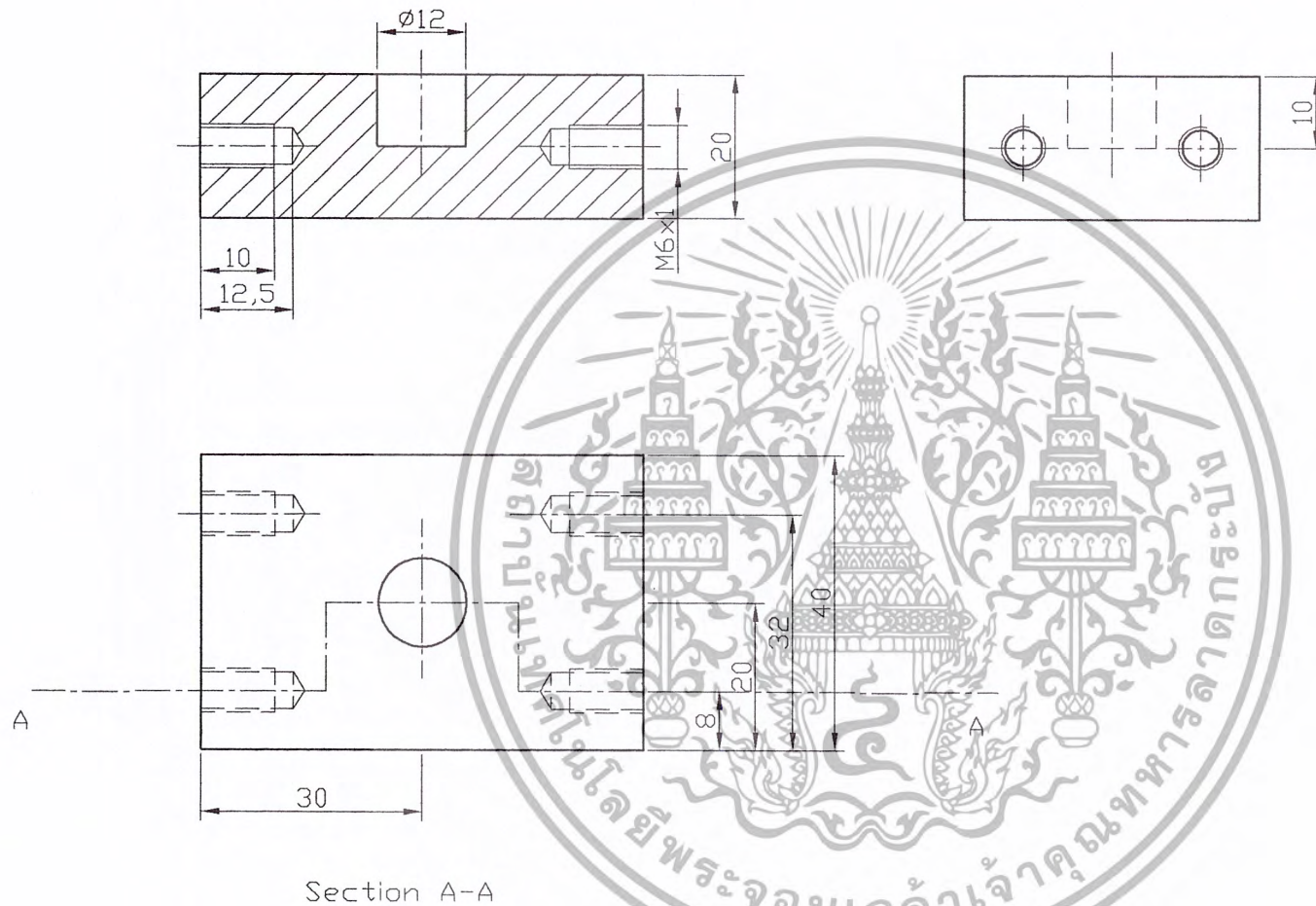


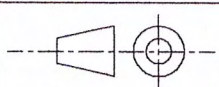
Section A-A

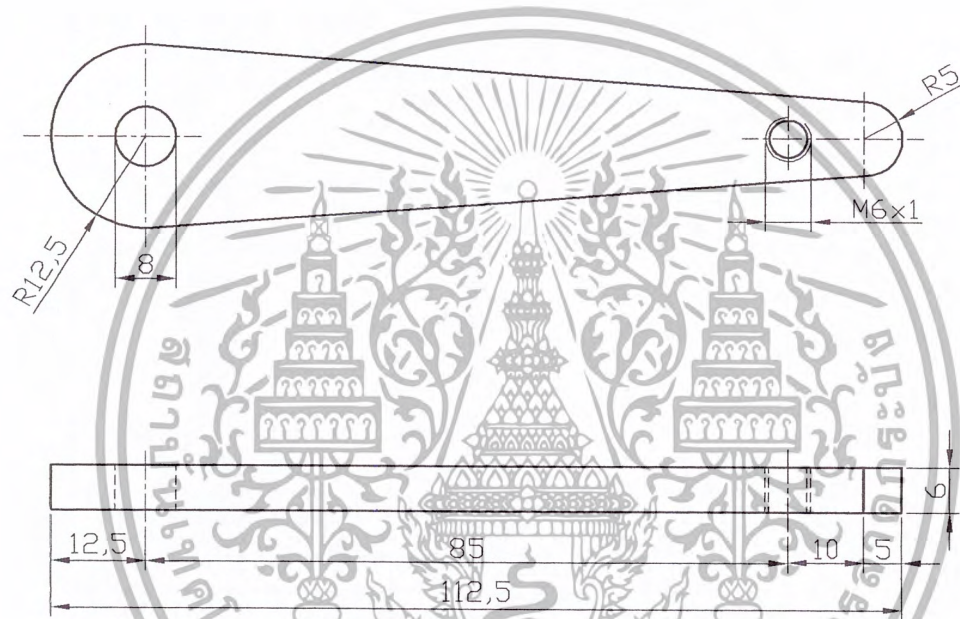
017	แผ่นยางเบรคค้อนตี	50x105x15	Rubber	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
				Impact Tester	
				Drawing No. 017	

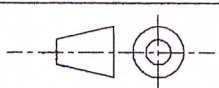


018	ชุดยึดแผ่นยางเบรคตอนตี	50x105x20	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
	Impact Tester			Drawing No. 018	



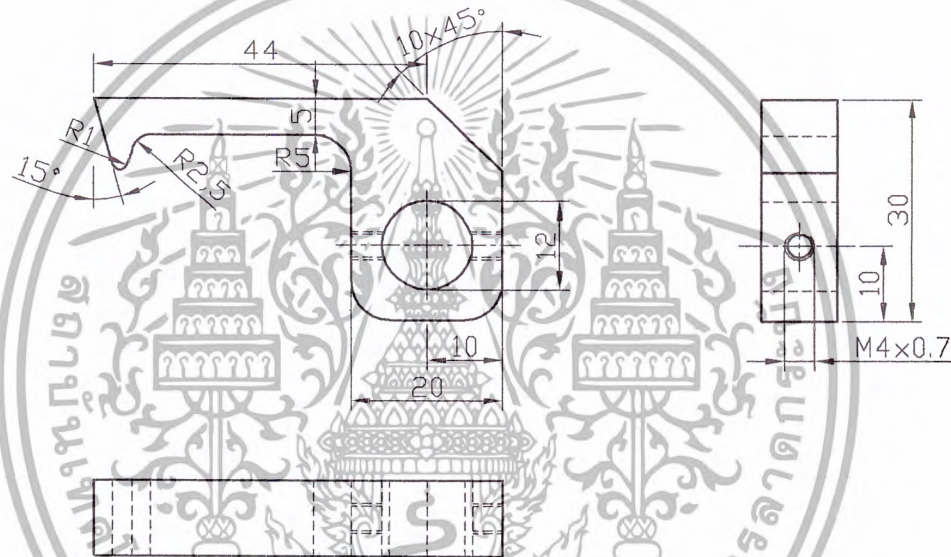
019	ตัวเชื่อมยึดโครงรองรับแกนหมุน	40x60x20	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
	Impact Tester				Drawing No. 019



020	เข็มพา	25x115x6		1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		Drawing No. 020	
	Checked Kannachai				
	Date				
	Impact Tester				



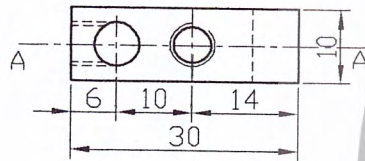
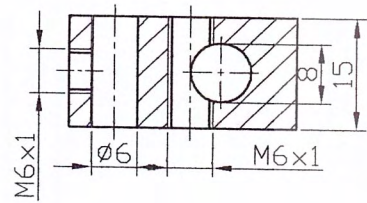
021	แกนหมุนปล่อยค้อนตี	ø12x120	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	
	Checked	Kannachai			
	Date				
	Impact Tester			Drawing No. 021	



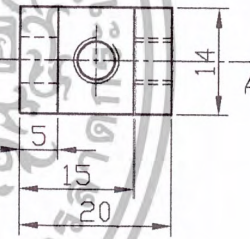
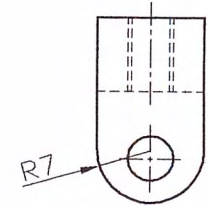
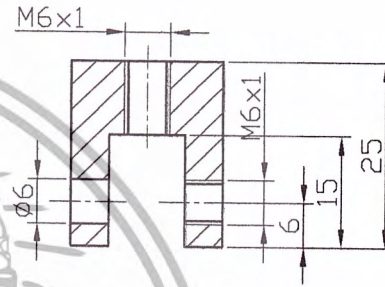
022	ตัวปล่อยค้อนตี	20x30x8	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang			
	Checked Kannachai				
	Date				
	Impact Tester				Drawing No. 022



023	ชุดลิ้ง	Ø6x580	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:4	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
	Impact Tester			Drawing No. 023	

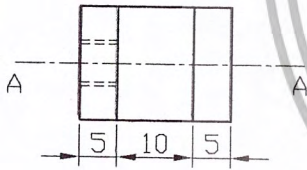
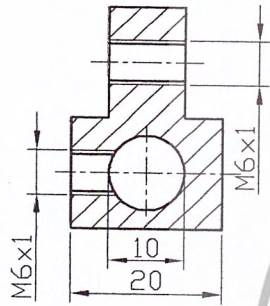


Section A-A

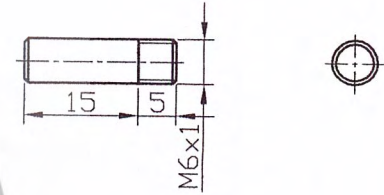
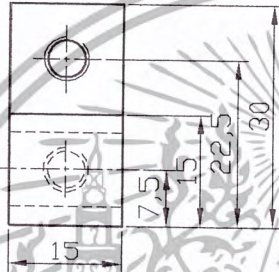


Section A-A

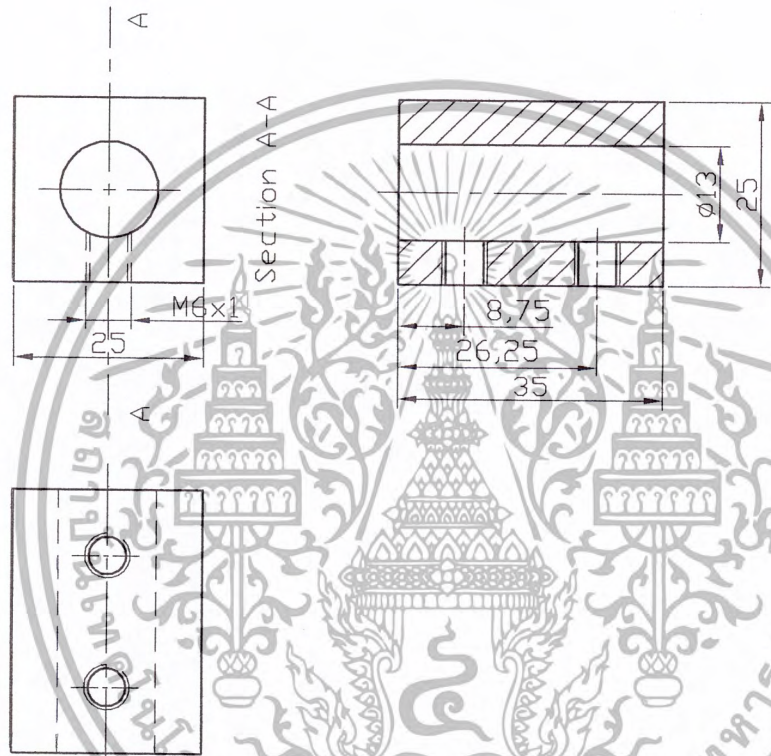
024	ชุดลิ้ง		St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn Sarawut Kettong		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked Kannachai				
	Date				
	Impact Tester				Drawing No. 024



Section A-A

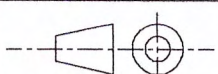


025	ชุดลิ้ง และ สลัก		St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
		Impact Tester	Drawing No. 025		



026	ขนาด	25x35x25	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang			
	Checked Kannachai				
	Date				
	Impact Tester				Drawing No. 026

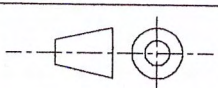


027	ชุดเบรค	Ø12.5x80	St 37	1	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
	Impact Tester			Drawing No. 027	



028	ชุดเบรค	$\phi 10 \times 215$	St 37	2	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:1	Drawn Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang			
	Checked Kannachai				
	Date				
	Impact Tester				Drawing No. 028



029	แกนยึดการ์ดป้องกัน	∅12.5x410	St 37	2	
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
Scale 1:2	Drawn	Sarawut Kettong	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Checked	Kannachai			
	Date				
				Impact Tester	
				Drawing No. 029	



ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสั่งซื้ออุปกรณ์

1. เหล็กแผ่นขนาด 305×235×20 มิลลิเมตร	1 แผ่น
2. เหล็กแผ่นขนาด 195×195×30 มิลลิเมตร	2 แผ่น
3. เหล็กแผ่นขนาด 45×195×30 มิลลิเมตร	2 แผ่น
4. เหล็กแผ่นขนาด 45×65×25 มิลลิเมตร	1 แผ่น
5. เหล็กแผ่นวงกลมขนาด \varnothing 175 มิลลิเมตร ทหนา 19 มิลลิเมตร	1 แผ่น
6. เหล็กกลมขนาด \varnothing 32 มิลลิเมตร ยาว 325 มิลลิเมตร	2 ท่อน
7. เหล็กกลมขนาด \varnothing 32 มิลลิเมตร ยาว 130 มิลลิเมตร	1 ท่อน
8. เหล็กกลมขนาด \varnothing 12 มิลลิเมตร ยาว 650 มิลลิเมตร	1 ท่อน
9. บอลเบริง \varnothing นอก 30 มิลลิเมตร \varnothing ใน 10 มิลลิเมตร	2 อัน
10. บอลเบริง \varnothing นอก 19 มิลลิเมตร \varnothing ใน 8 มิลลิเมตร	1 อัน
11. สลักเกลียว M10×1.5×15	6 ตัว
12. สลักเกลียว M6×1×20	35 ตัว
13. สลักเกลียวล็อก M6×1×5	12 ตัว
14. ริงวงกลม	1 ชิ้น
15. เหล็กแผ่นขนาด 520×850×10 มิลลิเมตร	1 ชิ้น

งบประมาณที่ใช้โดยประมาณ 4,500 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารมาตรฐานเครื่องทดสอบการกระแทก DIN EN 10 045



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **พจน** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Charpy impact test on metallic materials

Test method

DIN
EN 10 045
Part 1

Metallische Werkstoffe; Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy;
Prüfverfahren

Metals - Charpy impact tests

This standard, together with DIN 50 115, April 1991 edition, supersedes DIN 50 115, February 1975 edition.

European Standard EN 10 045-1 : 1991 has the status of a DIN Standard.

A comma is used as the decimal marker.

National foreword

This standard has been prepared by ECISS/TC 1a.

The responsible German body involved in the preparation of this standard was the *Normenausschuß Materialprüfung* (Materials Testing Standards Committee), Technical Committee *Prüfverfahren mit schlagartiger Beanspruchung für Metalle*.

This standard combines International Standards ISO 83 : 1976 and ISO 148 : 1983, with which it conforms in substance. As compared with the previous edition of DIN 50 115, it only specifies U-notch and V-notch test pieces, but not the DVM, DVMF, DVMK and small test pieces.

Standards referred to (and not included in References)

Cf. Foreword of European Standard.

Previous editions

DIN DVM A 115 = DIN 50 115: 09.37, 05.52x, 11.66, 02.75.

Amendments

In comparison with DIN 50 115, February 1975 edition, the following amendments have been made.

- The standard only specifies U-notch and V-notch test pieces but not DVM, DVMF, and DVMK test pieces.
- The test temperature has been changed.
- The standard has been editorially revised.

International Patent Classification

G 01 B 21/00

G 01 N 3/30

Continued overleaf.
EN comprises 7 pages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Editor's note

This standard reproduces the official text of the English version of EN 10 045-1 as issued by CEN. In its preparation for publication as DIN EN 10 045 Part 1 (English version), certain points have been noted which we consider to be in need of correction. These have been marked +). The suggested amendments are given below and will be forwarded to the responsible CEN Secretariat for its consideration.

In presentation, orthography, punctuation and hyphenation, the aim has been to implement the PNE Rules consistently. Obvious errors (e.g. redundancies and omissions) have been rectified without further reference.

Suggested amendment

- 1 The heading of clause 7 should preferably read 'Procedure' (as is current practice in test standards).
- 2 For ease of comprehension, in subclause 6.2, the 1st sentence is to be corrected to read '... and a test piece of standard dimensions be used.'



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UDC 669 : 620.178.746.22

Descriptors: Metal products, mechanical tests, Charpy impact test, test pieces, test conditions.

English version

Metallic materials – Charpy impact test

Part 1: Test method

Matériaux métalliques; essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy; méthode d'essai

Metallische Werkstoffe; Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy; Prüfverfahren

This European Standard was approved by CEN on 1989-11-27. CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

CEN

European Committee for Standardization

Comité Européen de Normalisation

Europäisches Komitee für Normung

Central Secretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brussels

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
1990. Copyright reserved to all CEN members. Ref. No. EN 10 045-1 : 1990 E

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา (ถ้ามี) ให้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Brief history

The proposal for this European Standard was prepared by Technical Committee ECISS/TC 1a 'Mechanical and physical tests', the Secretariat of which is held by AFNOR.

It represents the first Part of the standard 'Metallic materials — Impact test'.

This European Standard replaces EURONORMs

EU 7-55 Charpy impact test for steel

EU 45-63 Impact testing using V-notch, beam type test piece

This European Standard was adopted by CEN on 1989-11-27.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxemburg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

Foreword

The standard EN 10 045 concerns metallic materials — Charpy impact test and comprises the following Parts:

Part 1 Method of test

Part 2 Verification of pendulum impact testing machines

Part 1 of EN 10 045 is based on the following ISO Standards:

ISO 83 : 1976 Steel; Charpy impact test (U-notch)

ISO 148 : 1983 Steel; Charpy impact test (V-notch)

Contents

	Page
Foreword	2
1 Scope	2
2 Normative references	2
3 Principle	2
4 Designations	3
5 Test pieces	3
6 Testing machine	3
7 Test requirements ¹⁾	5
8 Test report	5
Annex A List of national standards corresponding to the referenced draft European Standard	7

1 Scope

1.1 This Part of this European Standard describes the Charpy impact test (U- and V-notch) for metallic materials. For certain particular metallic materials and applications, the Charpy impact test may be the subject of specific standards and particular requirements.

2 Normative references

- ISO 286-1 : 1988 ISO system of limits and fits.
Part 1: General, tolerances and deviations
- EN 10 045-2¹⁾ Metallic materials; Charpy impact test.
Part 2: Verification of pendulum impact testing machines

3 Principle

The test consists of breaking by one blow from a swinging pendulum, under conditions defined hereafter, a test piece notched in the middle and supported at each end. The energy absorbed is determined in joules. This absorbed energy is a measure of the impact strength of the material.

¹⁾ In preparation. Until this European Standard is published, reference can be made to the corresponding national or international standards, a list of which is given in annex A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. Designations

Reference (see fig.1)	Designation	Unit
1	Length of test piece	mm
2	Height of test piece	mm
3	Width of test piece	mm
4	Height below notch	mm
5	Angle of notch	Degree
6	Radius of curvature at base of notch	mm
7	Distance between anvils	mm
8	Radius of anvils	mm
9	Angle of taper of each anvil	Degree
10	Angle of taper of striker	Degree
11	Radius at tip of striker	mm
12	Width of striker	mm
—	Energy absorbed by breakage, KU or KV	Joule

4 Designations

The designations applicable to this standard are as indicated in table 1 and figures 1 and 2.

5 Test pieces

5.1 Sampling, number of test pieces and their location shall be as specified in the relevant product standard.

5.2 The standard test piece shall be 55 mm long and of square section with 10 mm sides. In the centre of the length, there shall be a notch. Two types of notch are specified.

a) V-notch of 45°, 2 mm deep, with a 0,25 mm radius of curvature at base of notch.

If standard test pieces cannot be obtained from the material, a reduced section test piece, with a width of 7,5 mm or 5 mm (see table 2) shall be used, the notch being cut in one of the narrow faces.

b) U-notch or keyhole notch, 5 mm deep, with a 1 mm radius of curvature at base of notch.

The test pieces shall be machined all over, except in the case of precision-cast foundry test pieces in which the two faces parallel to the plane of symmetry of the notch may be unmachined.

5.3 The plane of symmetry of the notch shall be perpendicular to the longitudinal axis of the test piece.

5.4 The tolerances on the specified dimensions of the test piece shall be as given in table 2.

5.5 Test pieces of widths other than those shown in table 2, for example, with the unmachined widths equal to the thickness of the product, may be used provided this is permitted in the relevant product standard. Comparison of results, however, is only of significance when made between test pieces of the same form and dimensions.

5.6 Machining shall be carried out in such a way that any alteration of the test piece, e.g. due to cold working or heating, is minimized. The notch shall be carefully prepared so that no grooves, parallel to the base of the notch, are visible to the naked eye.

The test piece may be marked on any face not in contact with the supports or anvils and at a point at least 5 mm from the notch to avoid the effects of cold working due to marking.

6 Testing machine

6.1 The testing machine shall be constructed and installed rigidly and shall be in accordance with European Standard 10 045-2.

The values of the principal characteristics of the testing machine are specified in table 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. Tolerances on specified test piece dimensions

Designation	U-notch test piece			V-notch test piece		
	Nominal dimension	Machining tolerance		Nominal dimension	Machining tolerance	
			ISO symbol ¹⁾			ISO symbol ¹⁾
Length	55 mm	± 0,60 mm	js15	55 mm	± 0,60 mm	js15
Height	10 mm	± 0,11 mm	js13	10 mm	± 0,06 mm	js12
Width:						
— standard test piece	10 mm	± 0,11 mm	js13	10 mm	± 0,11 mm	js13
— reduced section test piece	—	—	—	7,5 mm	± 0,11 mm	js13
— reduced section test piece	—	—	—	5 mm	± 0,06 mm	js12
Angle of notch	—	—	—	45°	± 2°	—
Height below notch	5 mm	± 0,09 mm	js13	8 mm	± 0,06 mm	js12
Radius of curvature at base of notch	1 mm	± 0,07 mm	js12	0,25 mm	± 0,025 mm	—
Distance of plane of symmetry of notch from ends of test piece ²⁾	27,5 mm	± 0,42 mm	js15	27,5 mm	± 0,42 mm	js15
Angle between plane of symmetry of notch and longitudinal axis of test piece	90°	± 2°	—	90°	± 2°	—
Angle between adjacent longitudinal faces of test piece	90°	± 2°	—	90°	± 2°	—

¹⁾ In accordance with ISO 286-1.

²⁾ For machines with automatic positioning of the test piece, it is recommended that the tolerance be taken as ±0,165 mm instead of ±0,42 mm.

Table 3. Characteristics of testing machine

Reference (see fig.1)	Designation	Value
7	Distance between anvils	(40 ^{+0,2} ₀) mm
8	Radius of anvils	(1 ^{+0,5} ₀) mm
9	Angle of taper of each anvil	11° ± 1°
10	Angle of taper of striker	30° ± 1°
11	Radius at tip of striker	(2 ^{+0,5} ₀) mm
12	Maximum width of striker	18 mm
—	Speed of striker at instant of impact	5 to 5,5 m/s ¹⁾
—	Angle between the support and the anvil	90° ± 0,1°

¹⁾ For machines manufactured prior to 1983, a speed of 4,5 m/s to 7 m/s is permissible by agreement.

6.2 Standard test conditions shall correspond to a nominal machine energy of (300 ± 10) J and the use of a test piece of standard dimensions^{*)}. The reported absorbed energy under these conditions shall be designated by the symbols:

— KU for a U-notch test piece

— KV for a V-notch test piece

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For example:

KV = 121 J denotes:

- nominal energy: 300 J
- standard V-notch test piece
- energy absorbed during fracture: 121 J

6.3 Testing machines with different striking energies are permitted, in which case the symbol KU or KV shall be supplemented by an index denoting the energy of the testing machine.

For example:

KV 150: available energy: 150 J

KU 100: available energy: 100 J

KU 100 = 65 J denotes:

- nominal energy: 100 J
- standard U-notch test piece
- energy absorbed during fracture: 65 J

6.4 For tests on a subsidiary V-notch test piece, the KV symbol shall be supplemented by indices denoting the first available energy of the testing machine and second the width of the test piece, e.g.

— KV 300/7,5: available energy: 300 J, width of test piece: 7,5 mm

— KV 150/5: available energy: 150 J, width of test piece: 5 mm

KV 150/7,5 = 83 J denotes:

- nominal energy: 150 J
- reduced section test piece of width 7,5 mm
- energy absorbed during fracture: 83 J

7 Test requirements*)

7.1 The test piece shall lie squarely against the anvils in such a way that the plane of symmetry of the notch is no more than 0,5 mm from the plane of symmetry of the anvils. The test piece shall lie on the supports in such a way that the tip of the striker hits the side opposite the notch of the test piece (see figure 2).

7.2 If the test temperature is not specified in the relevant product standard, it shall be equal to $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

If the temperature is specified in the relevant product standard without a tolerance, it shall be adhered to within $\pm 2 ^\circ\text{C}$.

For tests at temperatures other than ambient, the test piece shall be immersed in the cooling or heating medium for sufficient time to ensure that the required temperature is reached throughout the test piece (e.g. at least 10 min in a liquid medium or at least 30 min in a gaseous medium). The test piece shall be broken within 5 seconds of the time of removal from the medium.

The transfer device shall be designed and used in such a way that the temperature of the test piece is maintained within the temperature range permitted.

7.3 If, during the test, the test piece is deformed but not broken, the energy absorbed cannot be determined. The test report shall state that the test piece was not broken at x J.

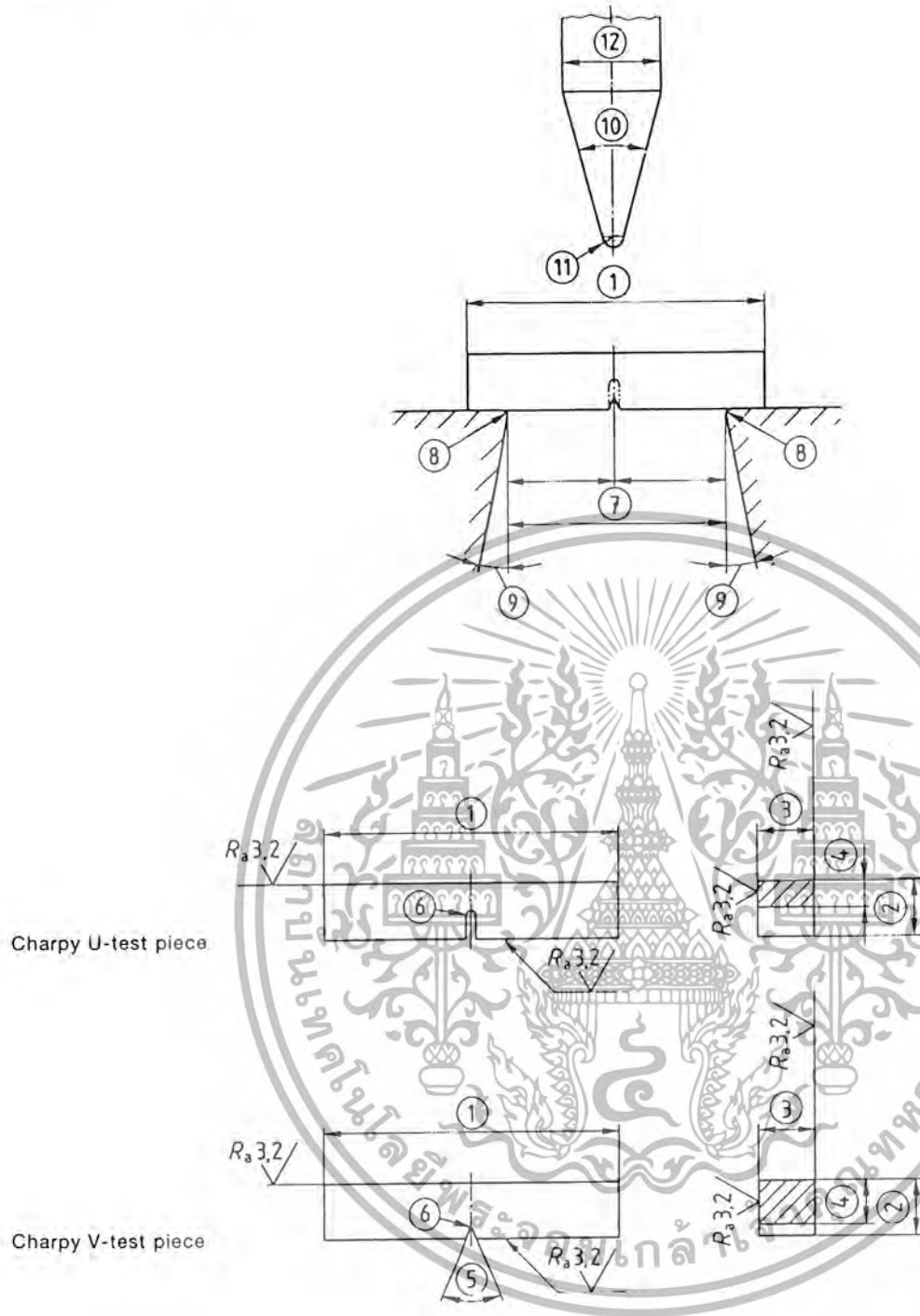
NOTE: It is emphasized that only results on test pieces of identical dimensions should be compared. There is no general method for converting the results obtained by one test method into the values which would be obtained by another test method.

8 Test report

The test report shall include the following information:

- a) reference to this standard, i.e. EN 10 045-1;
- b) the type and dimensions of the test piece;
- c) identification of the test piece (grade, cast no. ...);
- d) direction of sampling and location of sample, where known;
- e) nominal energy of the striker;
- f) test temperature, in degrees Celsius;
- g) absorbed energy, KV or KU, in joules.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ VOT จำกัด ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Charpy U-test piece

Charpy V-test piece

NOTE: See table 1 for explanation of reference numbers.

Figure 1. Charpy impact test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

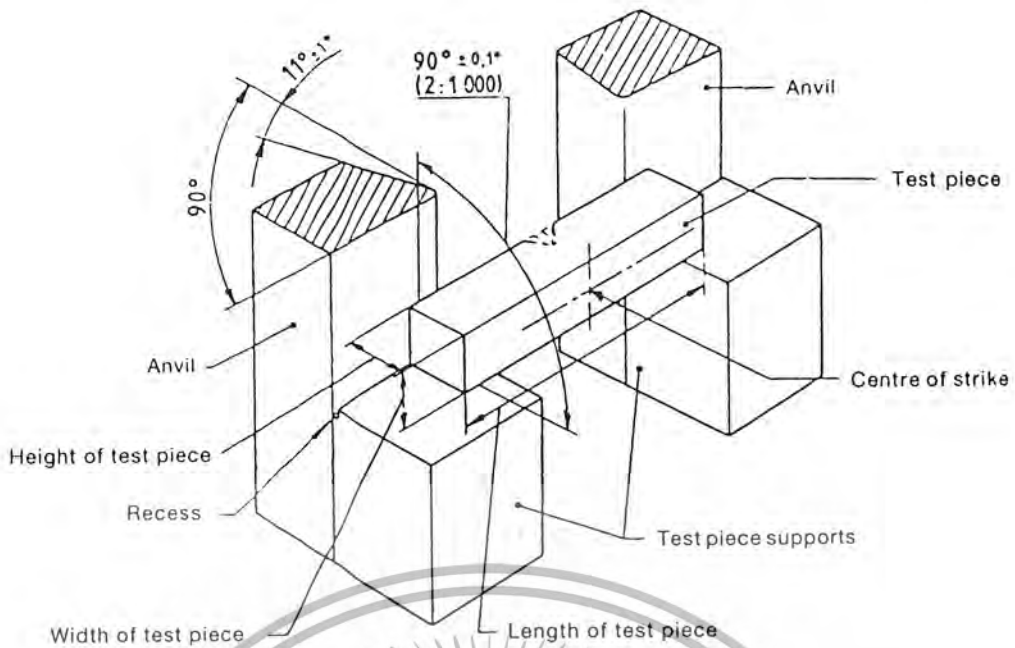


Figure 2. Configuration of test piece supports and anvils

Annex A
(normative)

List of national standards corresponding to the referenced draft European Standard

Until European Standard 10 045-2 has been prepared, it is possible to refer to the corresponding national standards, a list of which is given in table 4.

Table 4. National standards corresponding to proposed European Standard

prEN	Corresponding national standard in						ISO
	Germany	France	UK	Italy	Belgium	Sweden	
10045-2	DIN 51306	NF A 03-508	BS 131 Part 4				442
	1983	1985	1972				1965

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Charpy notched bar impact test on
metallic materialsVerification of pendulum impact testing machines
English version of EN 10 045 Part 2**DIN**
EN 10 045
Part 2Metallische Werkstoffe; Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy;
Prüfung der Prüfmaschine (Pendelschlagwerk)Supersedes DIN 51222,
January 1985 edition
and DIN 51306,
September 1983
edition.

European Standard EN 10 045-2:1992 has the status of a DIN Standard.

A comma is used as the decimal marker.

Metals - Charpy impact test

National forewordThis standard has been prepared by ECISS/TC 1A. The responsible German body involved in its preparation was the *Normenausschuß Materialprüfung* (Materials Testing Standards Committee), Technical Committee 811 *Werkstoffprüfmaschinen*.

This European Standard does not specify the distance between supports for the testing of DVM, DVMK and small test pieces, such being specified in the April 1991 edition of DIN 50 115.

Standards referred to

(and not included in Normative references)

DIN 50 115 Notched bar impact testing of metallic materials using test pieces other than ISO test pieces

Previous editions

DIN 51222: 08.54, 01.87, 11.68, 11.73, 01.79, 01.85; DIN 51306: 09.83.

Amendments

In comparison with the January 1985 edition of DIN 51222 and the September 1983 edition of DIN 51306, the following amendments have been made.

- a) The content has been completely revised
- b) An indirect method using Charpy V-notch reference test pieces is specified for the first time.

International Patent Classification

G 01 N 33/20

Continued overleaf.
EN comprises 18 pages.

Editor's note

This standard reproduces the official text of the English version of EN 10045-2 as issued by CEN. In its preparation for publication as DIN EN 10045 Part 2 (English version), certain points have been noted which we consider to be in need of correction. These have been marked (*). The suggested amendments are given below and will be forwarded to the responsible CEN Secretariat for its consideration.

In presentation, orthography, punctuation and hyphenation, the aim has been to implement the PNE Rules consistently. Obvious errors (e.g. redundancies and omissions) have been rectified without further reference.

Suggested amendments

- 1 For the sake of consistency (cf. Introduction), the subtitle of the standard should be amended to read: 'Verification of pendulum impact testing machines'.
- 2 For ease of reading, the fifth paragraph in clause 1 should be amended to read: 'Pendulum impact testing machines which have been verified in accordance with this standard shall be considered suitable for carrying out impact testing on test pieces with notches other than those specified here.'
- 3 For the sake of comprehension, the sixth paragraph of clause 1 should be amended to read: 'The apparatus used for the direct method shall be certified and permit quantities to be expressed in terms of SI base units.'
- 4 To make the sense complete, the definition given in subclause 3.6 should be amended to read: 'The point... meets the test piece horizontally at the mid-point of the width.'
- 5 For the sake of accuracy, the second sentence of subclause 3.11 should be amended to read: 'It is equal to the difference between the potential energy of the pendulum in its initial position and that at the height of rise of the centre of strike of the pendulum when the test piece is broken.'
- 6 For the sake of consistency, the title of subclause 3.15 should read: 'frame foundation'. Likewise, the words 'pedestal of the machine' should be replaced by 'frame foundation' in the first note to subclause 5.1.
- 7 To make the sense complete, the word 'torque' should be inserted after the word 'tightening' in item a) of subclause 5.1.
- 8 For ease of reading, the last sentence of the fourth paragraph of subclause 5.3 should be amended to read: 'This shall... unless a reference plane on the machine can be provided at a later time and the above requirement can be complied with.'
- 9 To facilitate comprehension in the fifth paragraph of subclause 5.3, the words 'When free' should be replaced by 'In its initial position'.
- 10 For the sake of consistency, the term 'striker contact' should be replaced by 'line of contact of the striker' in the second note to subclause 5.3.
- 11 For the sake of consistency, the term 'time of the pendulum' should be replaced by 'period of swing of the pendulum' in the first paragraph of subclause 5.6.
- 12 To facilitate comprehension, the last paragraph of subclause 5.6 should be amended to read: 'For a pendulum having a period of swing of 2 s, T may be determined with sufficient accuracy by determining the mean from three measurements of T , based on 100 swings each, provided the pendulum did not deviate from its initial position by more than 5° and the difference between T_M and T_m did not exceed 0,2 s for any one measurement.'
- 13 To make the sense complete, subclause 5.7 should be amended to read: 'The machine shall be graduated either in degrees (for rise angle measurement) or in joules (for absorbed energy measurement).'
- 14 The last paragraph of subclause 5.7.1 does not reflect the German text, which states: '... shall permit readings to be estimated in increments of 0,25% or less of the initial potential energy.'
- 15 The fifth item of clause 7 does not reflect the German text, which translates as follows: 'reference test piece designation or identification and value of the energy absorbed...'
- 16 For ease of comprehension, the first sentence of subclause 8.2 should be amended to read: 'The interval between two indirect verifications depends on the condition of the machine and its frequency of use.'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UDC 669:620.178.746.22.05

Descriptors: Metal products, mechanical tests, bend test, impact test, Charpy impact test, test equipment, verification, definitions.

English version

Metallic materials

Charpy impact test

Part 2: Verification of the testing machine
(pendulum impact)*

Matériaux métalliques; essai de flexion
par choc sur éprouvette Charpy.
Partie 2: Vérification de la machine d'essai
(mouton-pendule)

Metallische Werkstoffe; Kerbschlag-
biegeversuch nach Charpy.
Teil 2: Prüfung der Prüfmaschine
(Pendelschlagwerk)

This European Standard was approved by CEN on 1992-09-25.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

CEN

European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung

Central Secretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brussels

Contents

	Page
1 Scope	4
2 Normative references	4
3 Definitions	4
3.1 Industrial pendulum impact testing machine	4
3.2 Reference pendulum impact testing machine	4
3.3 Anvils	4
3.4 Supports	4
3.5 Striker	4
3.6 Centre of striker	4
3.7 Centre of percussion	4
3.8 Rated initial potential energy (rated energy), A_N	4
3.9 Effective initial potential energy (potential energy), A_p	4
3.10 Indicated absorbed energy (indicated energy), A_S	4
3.11 Effective energy absorbed (energy absorbed), A_v	4
3.12 Reference test piece	4
3.13 Reference value	4
3.14 Geometry of the test piece	4
3.15 Base of frame	5
4 Symbols and designations	5
5 Direct verification of pendulum impact testing machine	5
5.1 Machine framework	5
5.2 Pendulum	5
5.3 Framework/pendulum position	6
5.4 Test piece supports and anvils	6
5.5 Clearance between anvils and pendulum	6
5.6 Position of centre of percussion	6
5.7 Energy indicator	6
5.8 Potential energy	7
5.9 Indicated energy error	7
5.10 Friction losses	7
5.11 Impact velocity	8
6 Indirect verification of pendulum impact testing machine	8
6.1 Principle	8
6.2 Charpy V-notch reference test pieces	8
6.3 Procedure	8
6.4 Repeatability and error of pendulum impact testing machine	8
6.5 Evaluation	8
7 Verification report	9
8 Intervals between verification	9
8.1 Direct verification	9
8.2 Indirect verification	9
Annex A (informative) Direct method of verifying certain geometric properties of pendulum impact testing machines using a jig	12
Annex B (informative) Guide to preparation and characterization of Charpy V-notch reference test pieces	17

Foreword

This European Standard has been prepared by ECISS/TC 1A 'Mechanical physical tests', the Secretariat of which is held by AFNOR.

At its meeting on 1990-01-25/26, the technical committee agreed to publish this text as a draft Standard (prEN).

The following member bodies were represented at this meeting: Belgium, France, Germany, Italy, Luxembourg, Netherlands, Portugal, United Kingdom, and also BCR¹⁾.

At its meeting on 1991-06-20, the TC agreed to submit this document to COCOR (Coordinating Commission of ECISS) for approval.

COCOR agreed on 1991-11-27/28 to submit this draft European Standard to Formal Vote.

The document was approved by CEN and according to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the following countries are bound to implement this European Standard:

Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

Introduction

The European Standard EN 10045 concerns the Charpy impact testing of metallic materials and comprises the following Parts:

Part 1: Method of test

Part 2: Verification of pendulum impact testing machines

¹⁾ Bureau Communautaire de Référence (Community Bureau of Reference).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.15 base of the frame:*) Part of the machine frame located beneath the horizontal plane of the supports.

4 Symbols and designations

For the purposes of this European Standard, the symbols and designations given in table 1 are applicable.

5 Direct verification of pendulum impact testing machine

This verification relates to the following points:

- machine frame;
- pendulum;
- framework/pendulum position;
- test piece supports and anvils;
- position of centre of percussion;
- energy indicator;
- initial potential energy;
- indicated energy error;
- friction losses;
- impact velocity.

5.1 Machine frame

The foundation of the pendulum impact testing machine cannot normally be verified once the machine has been installed. Consequently, the documentation prepared when the machine is installed shall state that the mass of the foundation is at least 40 times that of the pendulum, which shall also be illustrated in the documentation.

NOTE: For machines manufactured after the publication of this standard, it is recommended that the mass of the pedestal of the machine*) be at least twelve times the mass of the pendulum.

Verification of the pendulum impact testing machine shall comprise the following.

- a) Verification that the tightening*) of the bolts complies with that specified by the manufacturer. This value shall be indicated in the documentation provided by the manufacturer.
- b) Verification that the pendulum impact testing machine is not subject to any external vibration transmitted by the foundation.

NOTE: This may be done, for example, by placing a container of water on the machine framework and checking that there are no ripples on the surface of the water.

5.2 Pendulum

The width of the striker shall be between 10 mm and 18 mm.

The dimensions of the striker shall be verified using jigs. The angle of the tip of the striker shall be $30^\circ \pm 1^\circ$, and the radius of curvature of the striking edge shall be $2^{+0.5}$ mm.

The angle between the line of contact of the striker and the horizontal axis of the test piece shall be $90^\circ \pm 2^\circ$.

NOTE: One possible method of verification is as follows. Wrap a test piece 55 mm long and of cross section 10 mm x 10 mm tightly in a thin sheet of paper and place the test piece on the test

Table 1: Quantities and symbols

Symbol ²⁾	Unit	Designation
A_N	J	Rated initial potential energy (rated energy)
A_p	J	Effective initial potential energy (potential energy)
A_s	J	Indicated absorbed energy (indicated energy)
A_e	J	Effective energy absorbed (energy absorbed)
F	N	Force exerted by the pendulum on the force-proving device, for distance l_2
F_1	N	Mass of pendulum
L	m	Distance between centre of striker and axis of rotation of pendulum (length of pendulum)
l	m	Distance between centre of gravity of pendulum and axis of rotation
l_1	m	Distance between centre of percussion and axis of rotation
l_2	m	Distance between point of application of force F and axis of rotation
p	J	Friction losses due to drag of pointer
p'	J	Friction losses due to air resistance and bearing friction
p_{β}	J	Correction of the energy losses for a rise angle, β
T	s	Period of swing of pendulum
T'	s	Total duration of 100 pendulum swings
T_M	s	Maximum value of T'
T_m	s	Minimum value of T'
α	°	Fall angle
β	°	Rise angle
i	J	Value of the energy absorbed from the batch of Charpy V-notch reference test pieces
E_{BCR}	J	Certified energy value from the batch of BCR ¹⁾ test pieces

For ¹⁾, see page 3.

²⁾ See figures 2 and 3.

piece holder. Also wrap the striking edge in carbon paper, the carbon side facing outwards. Move the pendulum a few degrees from its initial position and drop it on the test piece, ensuring that it does not make a second contact with the test piece. The mark by the carbon paper on the paper the test piece is wrapped in makes it possible to measure its orientation in relation to the horizontal axis of the test piece. This test may be carried out jointly with verifying the contact of the test piece over its whole length (see 5.3).

The mechanism for releasing the pendulum from its initial position shall be capable of operating freely and releasing the pendulum without any initial jerk, delay or transverse vibration. If this mechanism also includes a braking system, means shall be provided to prevent the brake from being applied accidentally.

The resolution of the indicator, r , is obtained from the ratio of the pointer thickness to the minimum distance between the centres of two adjacent graduation marks. The recommended ratio is 1:4, 1:5 or 1:10. The distance between two adjacent marks shall be at least 2,5 mm in order to estimate one-tenth of a scale division.

One scale division shall be not more than 1/100 of the initial potential energy and shall permit the energy to be estimated by an increment of at least 0,25 % of the initial potential energy.*)

5.7.2 Digital scale

The resolution of the scale is defined as one increment on the digital indicator, provided that the reading does not fluctuate by more than one increment.

If the reading fluctuates by more than one increment, the resolution is taken to be equal to half the range of the fluctuation.

The resolution shall be at least 1/400 of the initial potential energy.

5.8 Potential energy

The potential energy, A_p , shall be verified according to the following procedure and shall not differ from the nominal value, A_N , by more than $\pm 1,0\%$.

5.8.1 General

By the nature of the design of the pendulum, its centre of gravity is always very close to its striking edge, and the straight line extending along this edge is very close to the axis of rotation.

Instead of determining the mass of the pendulum, F , and the distance from its centre of gravity to the axis, it is easier to determine a force, f , such that — acting at a known distance, l_2 , from the axis — it produces the same moment relative to this axis as the mass of the pendulum.

NOTE: l_2 may be equal to l .

5.8.2 Procedure

Lift the pendulum so that its centre of gravity is in the horizontal plane of the axis of rotation to within 15/1000 (i.e. so that the striking edge is virtually aligned with the horizontal plane through the axis of rotation). Support one point of the striker at a distance, l_2 , from the axis of rotation on another horizontal striker normal to the first one and supported by a balance beam or, better, by a dynamometer. Measure the force, f , exerted by the pendulum on the dynamometer and the distance, l_2 , from the anvil to the axis, to the nearest 0,2 % (see figure 2).

The moment of the pendulum, M , is equal to $F \cdot l_2$.

Then measure the angle of rotation described by the pendulum to pass from the rest position to the 'fall' position. This measurement shall be made, using a cathetometer or an angle water level, to an accuracy of $\pm 0,065^\circ$ (see figure 3). Angle α may be greater than 90° .

The potential energy, A_p , is calculated using the following formula:

$$A_p = M(1 - \cos \alpha) = F \cdot l_2 (1 - \cos \alpha)$$

5.9 Indicated energy error

The indicated energy error shall be determined as follows. For a machine of A joules, verify the indicator graduations corresponding to 10, 20, 30, 50 or 60, 80 percent of the rated initial potential energy (A_N).

To do this, lift the pendulum in the rise direction until the indicator is on the graduation mark to be verified.

Measure the angle of rise, β , to within $\pm 0,065^\circ$ (see figure 3)

The energy absorbed is equal to:

$$A_v = M(\cos \beta - \cos \alpha)$$

The difference between the energy indicated, A_s , and the absorbed energy, A_v , calculated on the basis of the measured values, shall not exceed $\pm 1\%$ of the absorbed energy, A_v , or $\pm 0,5\%$ of the potential energy, A_p . In each case, the greater value is permitted.

This means that

$$\left| \frac{A_s - A_v}{A_v} \right| \cdot 100 \leq 1,0 \text{ (from 80\% to 50\% of the rated energy, } A_N)$$

$$\left| \frac{A_s - A_v}{A_p} \right| \cdot 100 \leq 0,5 \text{ (below 50\% of the rated energy, } A_N)$$

The accuracy required for measuring f , l_2 , α and β involves for A_v a total mean error of approximately $\pm 0,3\%$ of the maximum scale indication.

NOTE: It should be borne in mind that the accuracy of the absorbed energy reading varies inversely to A_v , which is of relevance when A_v is small compared to A_p .

Indicated energy values greater than 80% of the initial potential energy are inaccurate and shall be recorded as being approximate values.

NOTE: This requirement is to ensure that all the tests are carried out at deformation rates not varying by more than a factor of 2. The deformation rate is a function of the pendulum impact speed; for a pendulum impact testing machine, the speed decreases as the fracture progresses.

The change in the pendulum speed may be calculated by determining first the impact speed (see 5.11), then the speed after impact, using the same formula but replacing $\cos \alpha$ with $\cos \beta$ (see figure 3).

5.10 Friction losses

The breaking of the test piece involves energy absorption equal to the difference between the potential energy and the residual energy indicated by the rise of the pendulum, taking into account just the energy losses that can actually be evaluated (see 6.1), i.e.:

- the friction losses due to the drag of the pointer and the losses resulting from air resistance, and
- bearing friction.

These losses are evaluated as follows.

5.10.1 Losses due to the drag of the pointer

Move the pointer to a position corresponding to a rise angle of zero, let the pendulum fall normally (fall angle α) but without the test piece in position and read off the rise angle, β_1 , or the energy, E_1 , directly.

Then, without resetting the pointer, let the pendulum fall a second time from the position corresponding to the fall angle and read off the new rise angle, β_2 , or the energy, E_2 , directly.

The friction losses of the pointer are:

$$p = M(\cos \beta_1 - \cos \beta_2)$$

if the scale is graduated in degrees, or

$$p = E_1 - E_2$$

if the scale is graduated in energy units.

In this calculation, use the mean values of β_1 and β_2 (or E_1 and E_2) from four determinations.

5.10.2 Friction losses in the bearings and as a result of air resistance

They are calculated as follows for a half swing.

After determining β_2 or the energy, E_2 (see 5.10.1), return the pendulum to its initial position. Then, without readjusting the pointer, release the pendulum to allow ten half-swings. After the pendulum has started its eleventh half-swing, move the pointer about 5% from its maximum reach and note the value of β_3 . Friction losses in the bearings and as a result of air resistance for a half-swing are:

$$p' = 1/10 M(\cos \beta_3 - \cos \beta_2)$$

if the scale is graduated in degrees, or

$$p' = 1/10 (E_3 - E_2)$$

if the scale is graduated in energy units.

5.10.3 The total losses ($p + p'$) measured in this way shall not exceed 0,5% of the rated energy, A_N .

NOTE: The correction of losses corresponding to a rise angle, β , may be calculated by assuming the proportionality of the losses to the angles passed through, i.e.:

$$p_\beta = p \frac{\beta}{\beta_1} + p' \frac{\alpha + \beta}{\alpha + \beta_1}$$

This approximate value approaches the actual correction value more as the absorbed energy decreases.

5.11 Impact velocity

The impact velocity is equal to:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot L (1 - \cos \alpha)}$$

where

- v is the velocity, in metres per second;
- g is the acceleration of free fall (taken as 9,81 m/s²);
- α is the fall angle (see figure 3);
- L is the distance between the centre of the striker and the axis of rotation (in metres).

This velocity shall be between 5,0 and 5,5 m/s. However, for machines manufactured before 1983, values between 4,5 and 7,0 m/s are permitted, and shall be noted in the verification report.

6 Indirect verification of pendulum impact testing machine

6.1 Principle

Determination of the energy absorbed by breaking a Charpy V-notch reference test piece taken from a batch whose impact energy is known (see Annex B).

This European Standard takes into account the total energy absorbed when the test piece is fractured.

The total absorbed energy consists of:

- a) the energy required to break the test piece;
- b) the internal energy losses of the pendulum impact testing machine in making the first half-swing from its initial position.

The energy losses are due to:

- a) air resistance and bearing friction and friction due to drag of the pointer; these losses can be determined by the direct method (see 5.10);
- b) foundation impacts and vibration of the framework and pendulum for which no suitable measurement methods or apparatus have been developed.

NOTE: For the evaluation, the following energies are not taken in account:

- a) energy absorbed by the work of deformation anvils and the centre of striker.
- b) energy absorbed by friction of the test piece on the supporting surfaces, particularly the anvils.

6.2 Charpy V-notch reference test pieces

The Charpy V-notch reference test pieces to be used for indirect verification of the pendulum impact testing machine are the national test pieces traceable to the BCR¹ test pieces (see Annex B).

The reference test pieces shall be used in accordance with the instructions given by the supplier.

6.3 Procedure

Before carrying out indirect verification, it is necessary to:

- check that the anvils are in good condition as described in 5.4;
- check that the test piece is correctly centred and that the striker is in good condition;
- determine the friction losses as described in 5.10.

Indirect verification shall be carried out for at least two levels of energy within the range of application of the testing machine and for which Charpy V-notch reference test pieces exist. These two levels shall be as close as possible to the extremities of this range. If more than two energy levels are to be verified, the additional levels shall be uniformly distributed within the range of application and as a function of the available reference test pieces.

Five test pieces are broken for each level, the test being carried out with test pieces having a temperature of (20 ± 2) °C, each test piece being positioned with the tolerance indicated in table 2. Any defects determined shall be indicated in the verification report.

6.4 Repeatability and error of pendulum impact testing machine

E_1, E_2, \dots, E_5 are the values of the energy absorbed when five test pieces are broken, given in ascending order.

6.4.1 Repeatability

The repeatability of the testing machine under the specific verification conditions is characterized by the value $(E_5 - E_1)$, i.e. $(E_{\max} - E_{\min})$.

6.4.2 Error

The error of the testing machine under the specific verification conditions is characterized by the value $(\bar{E} - E)$, where

$$\bar{E} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5}{5}$$

E is the value of the absorbed energy of the batch of Charpy V-notch reference test pieces.

6.5 Evaluation

The testing machine shall only be deemed satisfactory where the repeatability and error values are less than or equal to those given in table 3.

For ¹, see page 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If the machine does not comply with the repeatability and error values specified, it is advisable to determine the cause by using the direct verification method (see clause 5).

7 Verification report

The verification report shall contain at least the following information:

- reference to this standard;
- identification of testing machine (type, mark, year of construction, serial number);
- location of the machine;
- method of verification (direct or indirect);
- reference and value of the energy absorbed when breaking reference test pieces during indirect verification;*)
- any defects observed;
- the results of verification;
- date of verification;
- name or mark of the test house responsible for verification.

8 Intervals between indirect verifications

8.1 Direct verification

Verification shall be carried out

- when the pendulum impact testing machine is installed, dismantled or moved, and
- when indirect verification produces unsatisfactory results.

A simplified direct verification concerning the geometric characteristics of the testing machine shall be carried out before every indirect verification (see 6.3).

8.2 Indirect verification

The period between two indirect verifications depends on the maintenance standard and number of times the machine is used.)

It is recommended that, under normal conditions, indirect verification be carried out at intervals not exceeding 12 months.

The testing machine shall in all cases be verified following installation and after it has undergone any major dismantling, moving, repair or adjustment operations.



Table 2: Values of geometric parameters

Geometric parameter	Unit	Value
Pendulum (5.2):		
- Angle of striker tip	°	30 ± 1
- Radius of striking edge	mm	2 ^{+0,5} ₀
Framework/pendulum position (5.3):		
- Horizontality of the axis of rotation of the pendulum: Machine with reference plane		± 2/1000 relative to reference plane
Machine without reference plane		± 4/1000
- Parallelism between the test piece axis and the axis of rotation of the pendulum		± 3/1000
- Distance between the striking edge and the centre of striker	mm	± 0,5
- Position of striking edge relative to the plane of symmetry of the anvils	mm	± 0,5
- Transverse play of bearings	mm	0,25
- Radial play of bearings	mm	0,08
Anvils (5.4):		
- Radius of curvature of anvils	mm	1 ^{+0,5} ₀
- Angle of taper of anvils	°	11 ± 1
- Angle between supports and anvils	°	90 ± 0,10
- Distance between anvil planes	mm	0,1
- Distance between support planes	mm	0,1
- Distance between anvils	m	40 ^{+0,20} ₀
Impact velocity (5.11):		
- Impact velocity	m/s	5 to 5,5

Table 3: Repeatability and error values for pendulum impact testing machine

Energy level J	Repeatability J	Error J
< 40	≤ 6	< 4
≥ 40	≤ 15% of E	< 10% of E

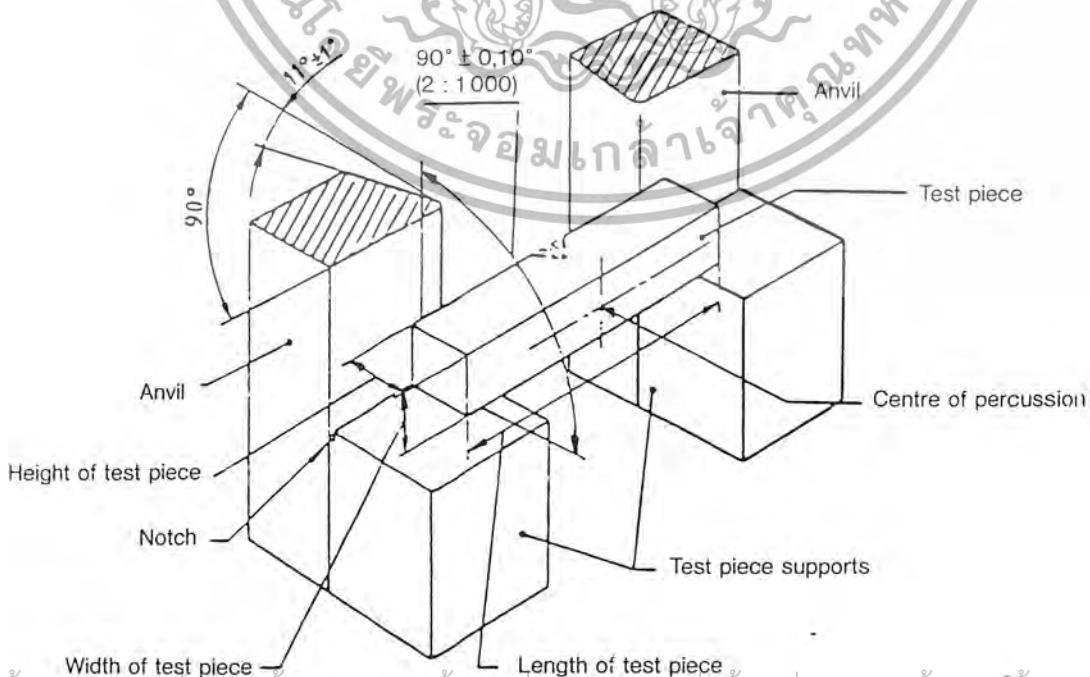


Figure 1: Test piece anvils and supports

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

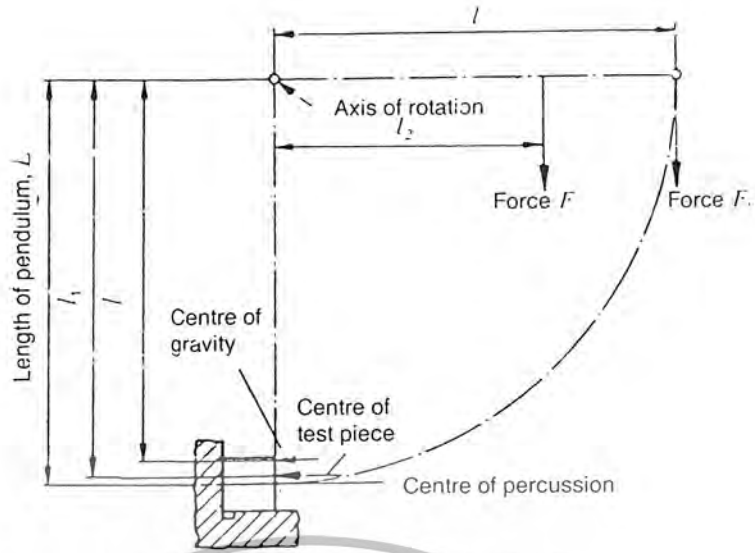
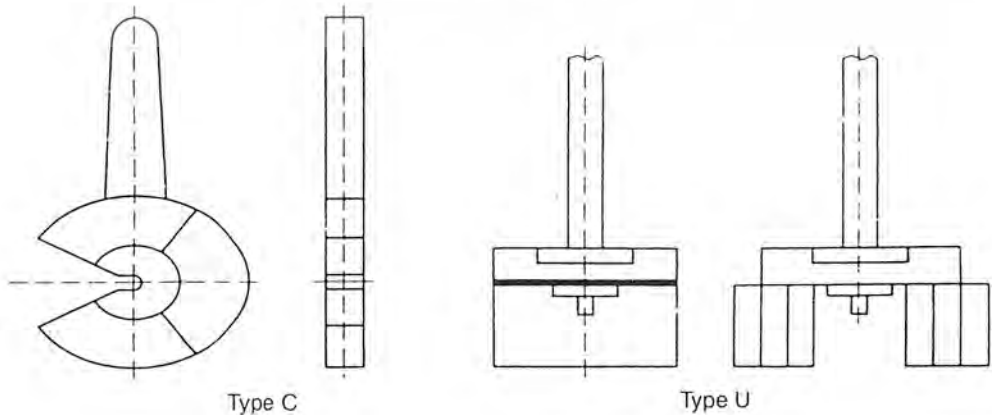


Figure 2: Pendulum geometry (notation)



Figure 3: Angles and dimensions used for the calculation of impact energy (notation)



Type C

Type U

Figure 4: Types of striker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Annex A (informative)

Direct method of verifying the geometric properties of pendulum impact testing machines using a jig

A.1 Field of application

This annex describes a direct method for verifying the geometric properties of pendulum impact testing machines using a jig.

The properties which can be verified are:

- position of the striker in the plane of symmetry of the anvils;
- horizontality of the axis of rotation of the pendulum;
- perpendicularity between the arm of the pendulum and the axis of rotation;
- alignment of the striker and the arm of the pendulum;
- perpendicularity between the plane of the striker and the test piece.

This method may be applied to all machines and, in particular, to machines without a reference plane on the framework.

A.2 Jig

The shape and the dimensions of the jig are specified in figure A.1. The jig has two ends (A and B) corresponding to two positions of use (A and B).

A.3 Procedure

Before using the jig, the following two properties shall be verified using a level:

- the horizontality of the plane of the supports;
- the perpendicularity between the plane of the anvils and the plane of the supports.

The jig shall be used in the two positions A and B. As shown in figure A.2, passing from position A to position B corresponds to the striker travelling 30 mm.

Figures A.3 and A.4 illustrate the way in which to use the jig for verifying the properties defined in A.1.



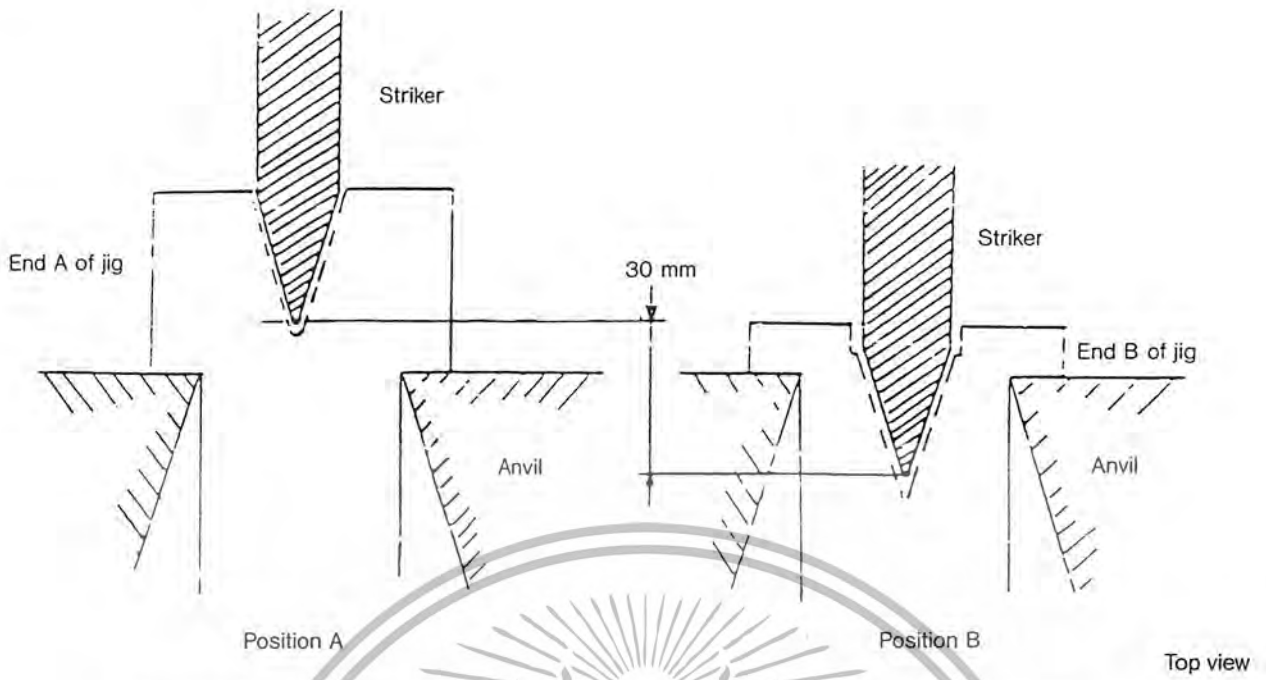


Figure A.2: Change of position from A to B corresponding to the striker travelling 30 .mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

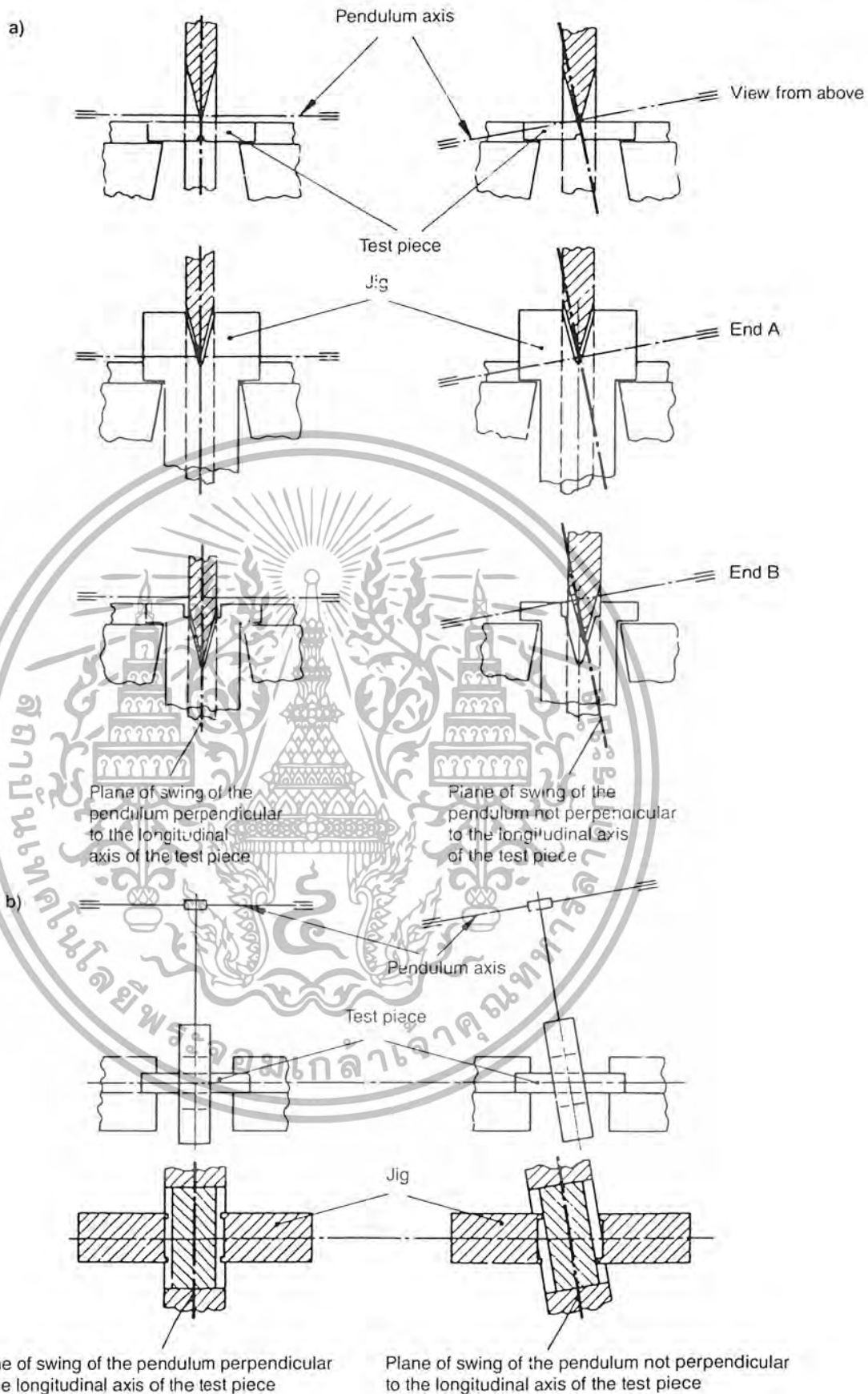


Figure A.3: Example of application of the jig illustrated in figure A.1

The plane of swing of the pendulum is not perpendicular to the longitudinal axis of the test piece (right-hand figures)

a) First insert end A of the jig. The error is detected by inserting the opposite end B of the jig.

b) The error is characterized by the fact that the striking edge is in contact with the sides of the jig top left and bottom right parts of end A the jig.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

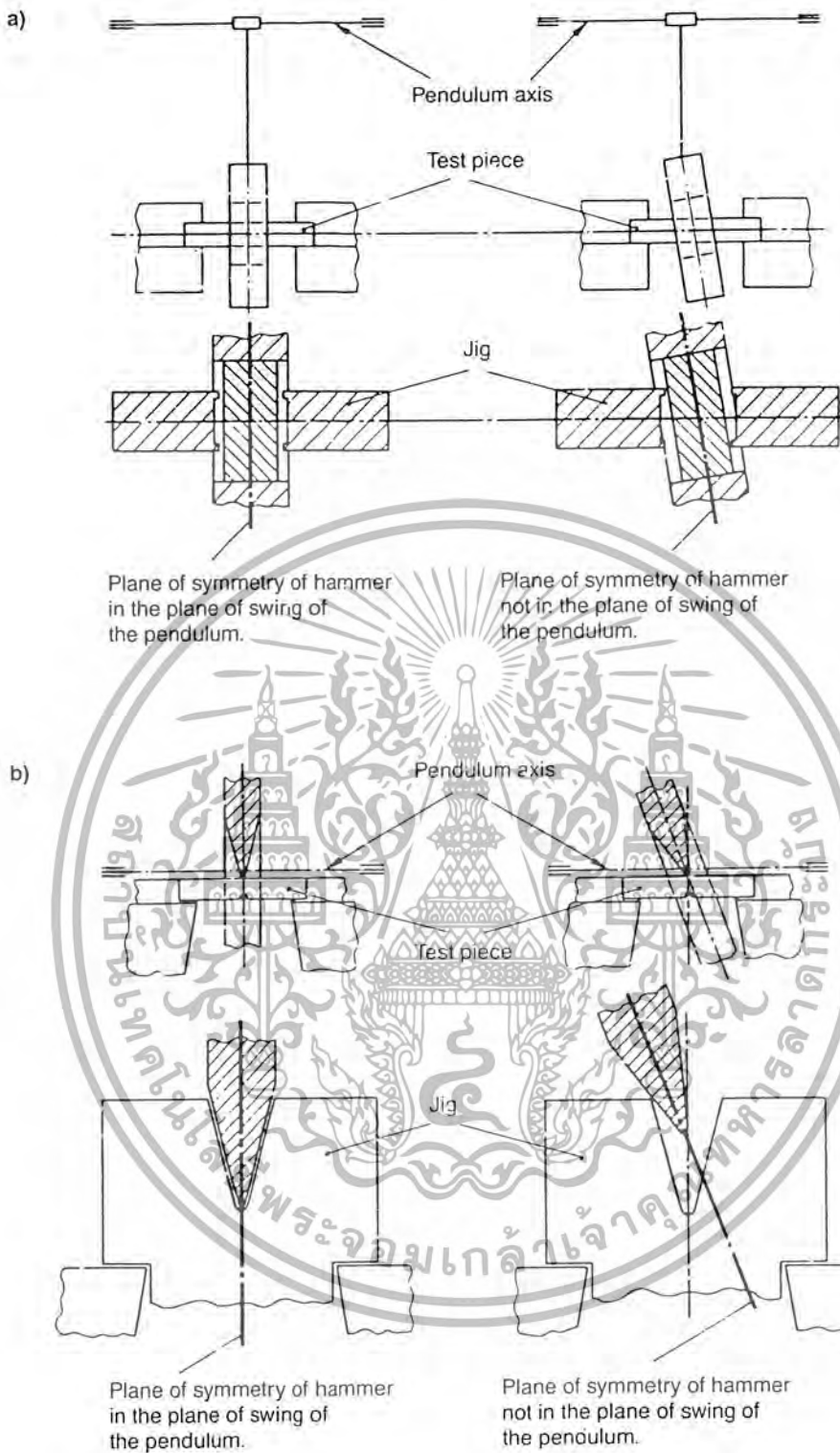


Figure A.4: Example of application of the jig illustrated in figure A.1

The plane of symmetry of the hammer is not in the plane of swing of the pendulum (right-hand figures)

- a) The error is characterized by the fact that the striking edge is in contact with the sides of the jig: top left and bottom right parts of end A of the jig.
- b) The error is characterized by the fact that the striking edge is not in contact with the bottom of the V of the jig.

Annex B (informative)

Guide to the preparation and characterization of Charpy V-notch reference test pieces

B.1 Scope

The aim of this guide is to define the preparation and characterization of Charpy V-notch reference test pieces.

B.2 Preparation of reference test pieces

All the test pieces in a single batch shall come from the same ingot or the same casting and shall have undergone the same heat treatment.

Throughout all the stages of the preparation of the test pieces, special precautions shall be taken to ensure the best possible homogeneity of the test pieces.

The test pieces shall be made from steel or other metallic materials and shall be treated in such a way as to be able to obtain the following energy levels.

- Low energy: < 30 joules
- Medium energy: 30 to 110 joules
- High energy: 10 to 220 joules
- Very high energy: > 220 joules

The dimensional characteristics are those given in the table B.1 below.

Table B.1: Dimensions of reference test pieces

Length	55 ⁰ _{-0,25} mm
Height	(10 ± 0,06) mm
Width	(10 ± 0,075) mm
Notch angle	45° ± 1°
Height remaining at notch root	(8 ± 0,06) mm
Radius of notch root	(0,25 ± 0,025) mm
Distance between the plane of symmetry of the notch and one of the ends of the test piece	(27,5 ± 0,10) mm
Angle between the plane of symmetry of the notch and the longitudinal axis of the test piece	90° ± 2°
Angle between adjacent faces	90° ± 0,10°

B.3 Characterization of Charpy reference test pieces

Characterization of Charpy reference test pieces shall be carried out using a reference pendulum impact testing machine.

B.3.1 Reference pendulum impact testing machine

A reference pendulum impact testing machine shall only be used for characterizing reference test pieces. It shall meet the requirements of table 2 in this standard except for the following parameters, for which stricter criteria shall be met.

- Radius of curvature of the anvils: 1^{+0,10}₀ mm
- Angle between supports and anvils: 90° ± 0,10°
- Distance between anvils: 40^{+0,10}₀ mm
- Position of the striking edge in relation to the plane of symmetry of the anvils: 0,25 mm

The testing machine shall be verified using certified BCR test pieces as described in this standard. In order to be considered a reference pendulum impact testing machine, it shall meet the conditions of repeatability and error given in the following table.

Table B.2: Conditions of repeatability and error for the reference pendulum impact testing machine

Energy level J	Repeatability J	Error J
< 40	≤ 3	2J
≥ 40	< 7,5 % of E	< 5 % of E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการควบคุมเท่านั้น ไม่นับว่าผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B.3.2 Characterization of batches of reference test pieces

Each batch will be characterized at the same temperature by breaking a given number of test pieces on a reference pendulum impact testing machine.

The number of test pieces for characterization of a batch is 25, irrespective of the number of test pieces in the batch.

The energy value of the batch is the average of the energy values characterizing the batch.

The standard deviation shall be calculated and shall meet the conditions defined in the following table.

Table B.3: Standard deviation for the characterization of the reference test piece batch

Energy level J	Standard deviation J
< 40	< 2,0
≥ 40	< 5% of <i>E</i>

