บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หน้ากากแอร์ (Air Grille)

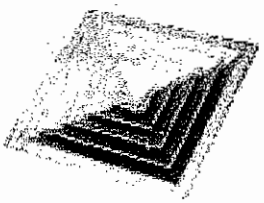
หน้ากากแอร์เป็นส่วนประกอบในระบบท่อลม มีชื่อเรียกและมีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

2.1.1 หัวจ่ายแอร์ หรือ หน้ากากลมส่ง (Supply Air Grille)

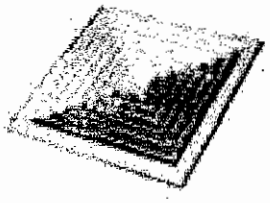
ติดตั้งตรงปากท่อลมส่ง เพื่อช่วยในการกระจายลมเย็นและเพื่อความสวยงาม โดยมีคุณสมบัติในการจ่ายลม และมีรูปร่างให้เลือกหลายแบบ เช่น แบบสี่เหลี่ยมจตุรัส (Square Diffuser) ซึ่งมีทั้งแบบเป่า 4 ทาง, 2 ทาง, 3 ทาง, แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Diffuser), แบบเป็นร่อง (Slot Diffuser) ซึ่งมีตั้งแต่ 1- 4 ร่อง (Slot) หรือมากกว่า, แบบเป่าข้าง (Register), แบบเจ็ต (Jet Diffuser) หัวจ่ายแอร์ที่ใช้กับระบบ VAV จะต้องมีความสามารถในการเป่าลมเย็นเลียดไปกับฝ้าเพดานได้ (อาศัยความเร็วลมและแรงยกตัว เช่นเดียวกับแรงยกตัวของปีกเครื่องบิน มีชื่อทางเทคนิคว่า (Coanda Effect) เพื่อไม่ให้ลมเย็นตกเมื่อมีการหรี่ลมให้น้อยลง นอกจากนี้ในระบบปรับอากาศที่ใช้ความเย็นเสริมจากระบบเก็บความเย็นในรูปของน้ำแข็ง (Ice Storage) ที่อาจ จะใช้ระบบอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature) ก็ยังมีหัวจ่ายแอร์แบบพิเศษ ที่เรียกว่า Low Temp. Diffuser ซึ่งมีความสามารถในการดึงลมข้างเคียงมาผสม (Induce Effect) ให้เกิดการหมุนเวียนของลมสูงขึ้น เนื่องจากการใช้ลมที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้ปริมาณลมส่งลดลง หากจะให้การหมุนเวียนของอากาศภายในห้องอยู่ในเกณฑ์ปกติ จำเป็นที่จะต้องใช้หัวจ่ายที่สามารถทำให้เกิดอัตราการหมุนเวียนลมภายในห้องต่อปริมาตรลมเย็นที่จ่ายสูงขึ้น หัวจ่ายดังกล่าวนี้จะต้องไม่เกิดน้ำเกาะเนื่องจากลมที่เย็นกว่าปกติด้วย

2.1.2 หัวลมกลับหรือหน้ากากลมกลับ (Return Air Grille)

ติดตั้งตรงปากทางลมกลับเพื่อความสวยงาม โดยทั่วไปความเร็วลมที่หน้ากากลมกลับจะเป็นประมาณ 300-400 ฟุต/นาที ในขณะที่ความเร็วลมที่หัวจ่ายแอร์จะใช้ความเร็วลมประมาณ 400-600 ฟุต/นาที หากติดตั้งหน้ากากลมกลับใกล้กับหัวจ่ายแอร์ จะต้องใช้ความเร็วลมไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของความเร็วหัวจ่าย เพื่อป้องกันการลัดวงจรของลมส่งกลับมาที่ทางลมกลับ เราจะสังเกตได้ว่าเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง หรือแบบ Wall Type จะมีหน้ากากลมกลับใหญ่กว่าหน้ากากลมจ่ายแอร์มาก เนื่องจากเหตุผลเดียวกันนี้

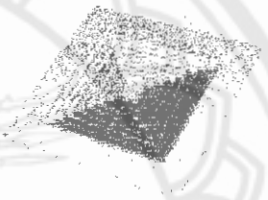


รูปที่ 2.1 Ceiling Diffuser (WCD - 4)
(ที่มา : www.CFM Per Cool .com)

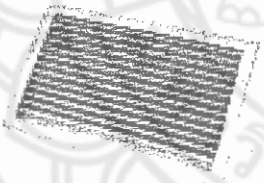


รูปที่ 2.2 Ceiling Diffuser (SCD - 4)
(ที่มา : www.CFM Per Cool .com)

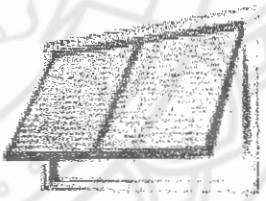
รูปที่ 2.3 Round Diffuser
(ที่มา : www.CFM Per Cool .com)



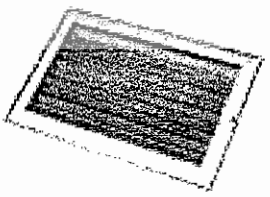
รูปที่ 2.4 Ceiling Diffuser (VWCD - 4)
(ที่มา : www.CFM Per Cool .com)



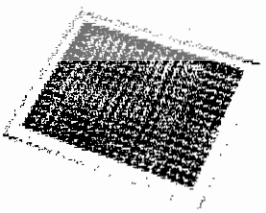
รูปที่ 2.5 Return Air Grille (RAG - 1)
(ที่มา : www.CFM Per Cool .com)



รูปที่ 2.6 Removable return air grille (Hinge Type)
(ที่มา : www.CFM Per Cool .com)

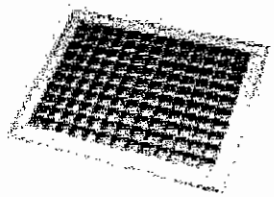


รูปที่ 2.7 Fresh Air Grilledouble
(ที่มา : www.CFM Per Cool .com)



รูปที่ 2.8 Deflection & Single deflection Air Grille
(ที่มา : www.CFM Per Cool .com)

รูปที่ 2.9 Linear Slot
(ที่มา : www.CFM Per Cool .com)



รูปที่ 2.10 Egg Crate Air Grille
(ที่มา : www.CFM Per Cool .com)

2.1.3 **หัวระบายอากาศหรือหน้ากากระบายอากาศ** (Exhaust Air Grille)

ทำหน้าที่ดูดอากาศทิ้ง รูปร่างลักษณะเดียวกับหน้ากากลมกลับแต่มีขนาดเล็กกว่ามากหน้ากากระบายอากาศตรงทางที่จะเป่าอากาศออกสู่ภายนอก จะต้องพิจารณาเรื่องการกันฝน การกันลมปะทะ และการป้องกันแมลงด้วย

2.1.4 **หน้ากากอากาศบริสุทธิ์** (Fresh Air Grille)

เป็นหน้ากากที่ติดตั้งอยู่ที่ผนังหรือเพดานภายนอกอาคารเพื่อรับอากาศจากภายนอกอาคารเข้ามา ซึ่งก็ต้องพิจารณาเรื่องการกันฝน และแมลงด้วยเช่นกันตำแหน่งที่ติดตั้งจะต้องไม่อยู่ใกล้บริ-เวณที่มีอากาศเสียหรือมีกลิ่น

2.1.5 **แดมเพอร์** (Air Damper)

เป็นอุปกรณ์ประกอบในระบบท่อลม เพื่อควบคุมปริมาณลม ได้แก่

1) Volume Damper

ทำหน้าที่ปรับปริมาณลม อาจจะติดตั้งตรงบริเวณท่อทางแยกต่างๆ ในระบบท่อลม

2) Motorized Damper

ทำหน้าที่ปรับปริมาณลมโดยมีมอเตอร์ขับให้ตัวใบปรับลมเปิดมากหรือน้อยตามที่ต้องการ

3) Fire Damper

ทำหน้าที่ปิดระบบท่อลมไม่ให้ลมหรือเปลวไฟผ่านได้หากเกิดเพลิงไหม้ โดยการทำงาน

อาศัยตัวเชื่อมต่อที่จะละลายเมื่อโดนไฟเผา (Fusible Link) และเมื่อสลายจะปล่อยให้ใบที่เป็นลิ้นกันไฟปิดลงโดยอาศัยน้ำหนักตัวเอง

4) Smoke Damper

ทำหน้าที่เหมือน Fire Damper แต่มักจะเป็นชนิดที่ใช้มอเตอร์ขับ และจะทำงานร่วมกับระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ โดยจะปิดเมื่อพบว่าเกิดควันไฟเกิดขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้ควันไฟผ่านไปในระบบท่อลม

5) Gravity Damper

ทำหน้าที่เหมือนวาล์วทางเดียว คือ จะให้ลมไหลได้ทางเดียว หากลมหยุดไหลก็จะปิดเอง โดยอาศัยน้ำหนักถ่วงแดมเพอร์ที่มีคุณภาพจะต้องไม่ค้าง จะต้องสามารถปรับลมได้ตามต้องการ และเมื่อปิดจะต้องปิดได้ค่อนข้างสนิท (Low Leakage) ลักษณะใบปรับลมอาจจะเป็นแบบหลายใบปิดเข้าหากัน (Opposed Blade) และแบบปีกผีเสื้อ (Butterfly) ที่มักจะใช้กับท่อลมขนาดเล็ก หรือใช้ใน VAV Box เนื่องจากสร้างง่าย และควบคุมปริมาณลมได้ดี โดยที่ปลายใบอาจจะมีแผ่นยางช่วยให้ปิดลมได้สนิทขึ้นพวกแดมเพอร์ต่างๆ ไม่นิยมใช้ในท่อที่มีอากาศสกปรก เช่น ท่อระบายอากาศจากครัว หรือห้องซักรีด เพราะไขมันหรือสิ่งสกปรกจะไปจับแกนใบปรับลมทำให้ค้าง ถ้าจะได้ประโยชน์ก็เฉพาะช่วงปรับลมเมื่อตอนติดตั้งเสร็จใหม่ๆ เท่านั้น

2.1.6 **แผงกรองอากาศ** (Air Filter)

แผงกรองอากาศมีหน้าที่กรองฝุ่นละอองในอากาศ เพื่อทำให้คุณภาพอากาศภายในห้องปรับอากาศดีขึ้น ในปัจจุบันมีผู้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับเรื่องคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality, IAQ) กันมากขึ้น เนื่องจากพบว่าสุขภาพของคนทำงานขึ้นกับคุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นอย่างมาก และฝุ่นละอองในอากาศเป็นสาเหตุของอาการป่วย โรคภูมิแพ้ต่างๆในกรณีที่ต้องการการกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แผงกรองอากาศมักจะทำจากกระดาษมีความลึกของตัวชั้นแผงกรองอากาศตั้งแต่ 2-24 นิ้ว ขนาดมักจะเป็น 2 ฟุต x 2 ฟุต (หน่วยยังเป็น นิ้ว-ฟุต เพราะใช้ตามระบบอเมริกัน) และมีประสิทธิภาพตั้งแต่ 70-99.99% ในกรณีที่ใช้แผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง มักจะต้องมีแผงกรองอากาศประสิทธิภาพต่ำ และปานกลาง เป็นตัวดักหน้าไว้ก่อน จะได้ไม่ตันเร็ว เพราะแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง จะมีราคาแพง นอกจากนี้ยังมีแรงเสียดทานสูงอีกด้วย [4]

2.2 คุณสมบัติทั่วไปของอะลูมิเนียม

สมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียม อะลูมิเนียมประกอบด้วยสมบัติต่าง ๆ มากมายที่เป็นประโยชน์ต่องานด้านวิศวกรรมอย่างมาก อะลูมิเนียมมีความหนาแน่นต่ำ (2.70 g/cm^3) จึงทำให้อะลูมิเนียมมีประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมทางด้านคมนาคม นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังมีความทนทานต่อการกัดกร่อนในทุกสภาวะแวดล้อมได้ดี แม้ว่าอะลูมิเนียมที่บริสุทธิ์จะมีความแข็งแรงต่ำ แต่มันสามารถทำให้มีความแข็งแรงสูง อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ไม่มีพิษ ดังนั้นจึงมักถูกมาใช้เป็นถาชนะบรรจุอาหาร นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังมีสมบัติการนำไฟฟ้าได้ดี จึงเหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้า จากการที่อะลูมิเนียมมีสมบัติต่าง ๆ มากมายเช่นนี้ และราคาถูก จึงทำให้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุโลหะที่สำคัญมากต่ออุตสาหกรรม

2.2.1 ความหมายของระบบเลข 4 หลัก มีดังนี้

เลขหลักที่หนึ่งเป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญที่สุดในการแสดงกลุ่มของโลหะผสม ซึ่งมีอยู่ 8 กลุ่มตามตาราง เช่น 1XXX แทนโลหะที่มีอะลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เป็นต้น

เลขหลักที่สองใช้สำหรับกำกับเมื่อมีการดัดแปลงส่วนผสมของโลหะให้ผิดไปจากโลหะผสมดั้งเดิม ตัวเลข 0 แสดงว่าเป็นโลหะผสมดั้งเดิม ตัวเลข 1-9 แสดงว่าเป็นส่วนที่ได้จากการดัดแปลงให้ผิดไปจากเดิม เช่น 2024 (4.5 Cu, 1.5Mg, 0.5Si, 0.1 Cr) เทียบกับ 2218 (4.0 Cu, 2.0 Ni, 1.5 Mg, 0.2 Si) ซึ่งสังเกตได้ว่าโลหะ 2218 มีนิกเกิลผสมเพิ่มเติมเข้าไป

ตัวเลขหลักที่สามและหลักที่สี่ใช้แสดงชนิดย่อย ๆ ของโลหะผสมที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ความแตกต่างนี้มักจะเป็นส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น 2014 (4.4 Cu, 0.8 Si, 0.8 Mn, 0.4 Mg) และ 2017 (4.0 Cu, 0.8 Si, 0.5 Mn, 0.5 Mg, 0.1 Cr) เป็นต้น

เฉพาะอะลูมิเนียมในกลุ่ม 1XXX ตัวหลักที่สามและหลักที่สี่จะแสดงปริมาณของอะลูมิเนียมที่เป็นจุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ที่ปรากฏภายหลัง 99 เปอร์เซ็นต์ เช่น 1060 และ 1080 หมายถึงอะลูมิเนียมขึ้นรูปที่มีอะลูมิเนียมอยู่ 99.60 เปอร์เซ็นต์ และ 99.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 กลุ่มโลหะผสม Wrought aluminium

สัญลักษณ์	ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักในอะลูมิเนียม
1XXX	**อะลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.0%**
2XXX	ทองแดง
3XXX	แมงกานีส
4XXX	ซิลิคอน
5XXX	แมกนีเซียม
6XXX	แมกนีเซียม กับ ซิลิคอน
7XXX	สังกะสี
8XXX	ธาตุอื่น ๆ
9XXX	ยังไม่มีที่ใช้

หมายเหตุ สัญลักษณ์ตัวเลข 4 หลักนี้ ไม่มีความเกี่ยวข้องกับสัญลักษณ์ตัวเลข 4 หลัก ที่ใช้ในโลหะผสมของเหล็กโดยสิ้นเชิง

2.2.2 **โลหะผสม** Wrought aluminium สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่**ไม่**สามารถผ่านกรรมวิธีให้ความร้อน (Non-heat-treatable) และกลุ่มที่สามารถผ่านกรรมวิธีให้ความร้อน (Heat-treatable)

1) **โลหะผสม** Wrought aluminium แบบไม่สามารถผ่านกรรมวิธีให้ความร้อนมี 3 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ 1XXX ,3XXX และ5XXX

1.1 **โลหะผสม** 1XXX ประกอบด้วยอะลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.0% **มี**เหล็กและซิลิกอนเป็นสิ่งเจือปนหลัก ถ้ามีการเติมทองแดง 0.12 % จะทำให้โลหะผสมชนิด**นี้มี**ความแข็งแรงเป็นพิเศษ และโลหะผสมชนิดนี้มักถูกใช้ทำโลหะที่มีลักษณะเป็นแผ่น ใช้ทำภา**ชนะเครื่องครัว ภาชนะใส่อาหาร** Aluminium foil **ที่บริสุทธิ์มาก เกรด** EC (Electrical conductivity grade) **ใช้ทำสายไฟฟ้าเปลือย (สายไฟแรงสูง) และ** bus bar**ชิ้นงาน**

1.2 โลหะผสม 3XXX แมงกานีสจะเป็นธาตุอัลลอยด์หลักในโลหะผสมกลุ่มนี้ โลหะผสมที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ 3003 ซึ่งเป็นโลหะผสม 1100 ที่ถูกเติมแมงกานีส 1.25 %โลหะผสม 3003 จะถูกใช้งานทั่ว ๆ ไป ใช้กับงานขึ้นรูป ไม่นิยมทำงานหล่อเพราะกำลังวัสดุไม่สูงนัก ใช้ทำ**เครื่องครัว ภาชนะอะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมอาหาร และคิ้วรถยนต์**

1.3 โลหะผสม 5XXX แมกนีเซียมจะเป็นธาตุอัลลอยด์หลักในโลหะผสมกลุ่มนี้ โลหะผสมในกลุ่มนี้ที่มีความสำคัญกับอุตสาหกรรม คือ 5052 ซึ่งประกอบด้วยแมกนีเซียม 2.5 % และโครเมียม 0.2 % โลหะผสมชนิดนี้จะถูกใช้เป็นโลหะแผ่นในงานอุตสาหกรรมรถยนต์ รถบรรทุก และเรือ มีน้ำหนักเบา กำลังวัสดุปานกลาง ทน Corrosion ในบรรยากาศทั่วไปได้ดีเลิศ พวกนี้ใช้ทำหมุดย้ำ (Rivet) ปลอกหุ้มสายไฟฟ้า ล้อแม็ก และ Aluminium frame

2) **โลหะผสม** Wrought aluminium แบบสามารถผ่านกรรมวิธีให้ความร้อนมี โลหะในกลุ่มนี้ ได้แก่ 2XXX 6XXX และ7XXX

2.1 **โลหะผสม** 2XXX ธาตุอัลลอยด์หลักในโลหะผสมกลุ่มนี้ คือ ทองแดง แต่แมกนีเซียมจะถูกเติมลงไปด้วย นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่น ๆ บางชนิดที่อาจถูกเติมลงไปด้วยเล็กน้อย โลหะผสมที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ 2024 ประกอบด้วยทองแดง 4.5 % แมกนีเซียม 1.5 %และแมงกานีส 0.6 % โลหะผสมชนิดนี้จะถูกใช้ทำโครงสร้างของเครื่องบิน ใช้ทำกระทะล้อรถยนต์ (ล้อ-แม็ก)

2.2 **โลหะผสม** 6XXX ธาตุอัลลอยด์หลักในโลหะผสมกลุ่มนี้ คือ แมกนีเซียม และซิลิกอน โลหะผสมที่สำคัญในกลุ่มนี้ คือ 6061 ซึ่งประกอบไปด้วยแมกนีเซียม 1.0 % ซิลิกอน 0.6 % ทองแดง 0.3 % และโครเมียม 0.2 % โลหะผสมชนิดนี้จะถูกใช้ในงานโครงสร้าง ใช้ทำกรอบประตูหน้าต่างกระจก

2.3 **โลหะผสม** 7XXX ธาตุอัลลอยด์หลักในโลหะผสมกลุ่มนี้ คือ สังกะสี แมกนีเซียม และทองแดง โลหะผสมที่สำคัญในกลุ่มนี้ คือ 7075 ซึ่งมักประกอบไปด้วย สังกะสี 5.6 % แมกนีเซียม 2.5 %ทองแดง 1.6 % และโครเมียม 0.5 % โลหะผสมมักถูกใช้ในงานโครงสร้างของเครื่องบิน สำหรับทำโครงสร้างในอากาศยาน สำหรับหล่อทำแบริ่งสำหรับโรงรีดขนาดใหญ่ [3]

2.3 ชนิดของฟิกเจอร์

2.3.1 จิ๊กและฟิกเจอร์

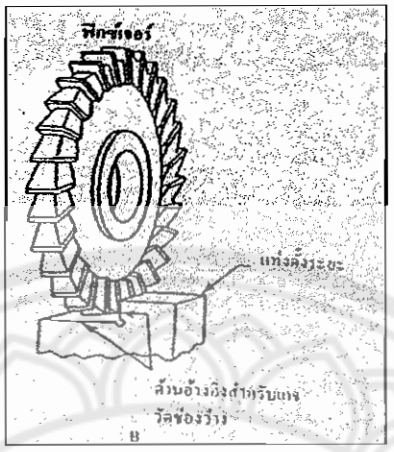
จิ๊กและฟิกเจอร์ เป็นเครื่องมือสำหรับงานในอุตสาหกรรมซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับการผลิต ชิ้นงานที่เที่ยงตรงเหมือนกันทุกๆ ชิ้น ความสัมพันธ์และตำแหน่งที่ถูกต้องระหว่างจิ๊กหรือฟิกเจอร์ ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อทำการยึดจับ รองรับ และกำหนดตำแหน่งชิ้นงานทุกๆชิ้นเพื่อให้แน่ใจในการเจาะรูหรือการตกแต่งด้วยวิธีอื่นๆ จะได้ตรงตำแหน่งเดิมหรือขนาดตามรายละเอียดที่กำหนดมาทุกประการ

จิ๊กและฟิกเจอร์นี้จะมีความหมายที่เกี่ยวพันใกล้เคียงกันมาก บางทีก็อาจจะเกิดสับสนในกานนำไปใช้ได้บ้างอย่างไรก็ตามความแตกต่างระหว่างจิ๊กและฟิกเจอร์ก็ขึ้นอยู่กับแนวทางของเครื่องมือที่จะนำไปใช้กับชิ้นงาน

2.3.2 ฟิกเจอร์

ฟิกเจอร์เป็นเครื่องมือสำหรับการผลิตที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งยึดจับ และรองรับชิ้นงานให้อยู่คงที่ในขณะเครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ สำหรับฟิกเจอร์นี้จะมีแท่งตั้งระยะและแผ่นเกจเป็นตัวช่วยให้ตั้งระยะของเครื่องมือตัดอยู่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้องที่จะกระทำต่อชิ้นงาน ฟิกเจอร์นี้จะต้องถูกยึดให้ติดแน่นอยู่กับเทเบิลของเครื่องจักรในระหว่างที่ชิ้นงานกำลังถูกกระทำอยู่ และแม้ว่าสำหรับงานใหญ่ๆ เช่น ใช้กับเครื่องกัด (Milling Machine) ฟิกเจอร์ก็จะถูกออกแบบให้จับยึดชิ้นงานได้แปรเปลี่ยนไปตามการทำงานแบบต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องจักรที่เป็นมาตรฐานต่างๆ เช่น เครื่องกัด เครื่องไส เครื่องกลึง ฯลฯ

ฟิกเจอร์ จะแปรเปลี่ยนไปตามการออกแบบให้สัมพันธ์กับเครื่องมือต่างๆ ตั้งแต่แบบธรรมดา ไปจนถึงแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาแพง ในรูป 2.11 ฟิกเจอร์ช่วยให้การทำงานด้านงานโลหะต่างๆ มีความง่ายขึ้นและสามารถใช้งานได้กับเครื่องมือพิเศษเป็นอย่างดี เหมือนดังเช่นการทำงานกันเครื่องจักรที่เป็นมาตรฐาน



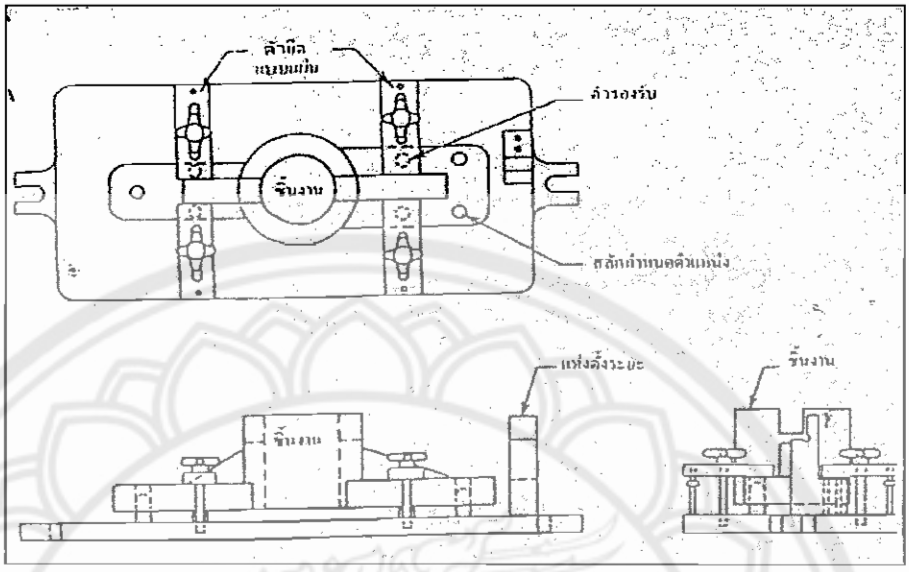
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์กันของเครื่องมือตัดกับฟิกเจอร์
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 14)

2.3.3 **ชนิดของฟิกเจอร์**

สำหรับชื่อต่างๆที่ใช้เรียกฟิกเจอร์แต่ละชนิดนั้นโดยหลักใหญ่แล้วจะพิจารณาดูจากที่ฟิกเจอร์เหล่านั้นถูกสร้างมาอย่างไร ตามพื้นฐานทั่วๆ ไปแล้วจิ๊กและฟิกเจอร์จะถูกสร้างขึ้นมาตามแนวทางอย่างเดียวกันถือเป็นตัวสำหรับกำหนดตำแหน่งตามที่เราต้องการ ส่วนความแตกต่างกันที่สำคัญก็คือมวลของโครงสร้าง เพราะเนื่องจากว่าฟิกเจอร์จะต้องรับแรงในการตัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นฟิกเจอร์จึงถูกสร้างให้มีความแข็งแรงมากกว่าจิ๊ก สำหรับชิ้นงานแบบเดียวกัน และต่อไปนี้เป็นฟิกเจอร์ชนิดต่างๆ

1) **ฟิกเจอร์แบบแผ่น**

เป็นฟิกเจอร์ที่เป็นแบบธรรมดาที่สุด ดังแสดงในรูป 2.12 โดยพื้นฐานแล้วฟิกเจอร์ชนิดนี้จะถูกสร้างมาจากแผ่นเรียบๆ ซึ่งมีตัวจับยึด (Champs) ชนิดต่างๆ กันติดอยู่ และยังมีตัวกำหนดตำแหน่ง (Locators) อยู่ด้วย ซึ่งจะทำหน้าที่ในการจับยึดและกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานความที่เป็นฟิกเจอร์แบบธรรมดาและง่ายๆ เช่นนี้ทำให้ฟิกเจอร์แบบแผ่นเป็นฟิกเจอร์ที่มีประโยชน์สำหรับการทำงานของเครื่องจักรทั่วๆไปอย่างมาก และเป็นฟิกเจอร์ที่มีผู้นิยมใช้มากที่สุดชนิดหนึ่ง

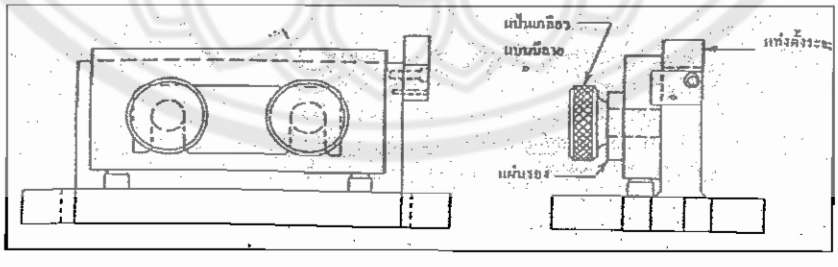


รูปที่ 2.12 ฟิกเจอร์แบบแผ่น (Plate Fixture)

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 23)

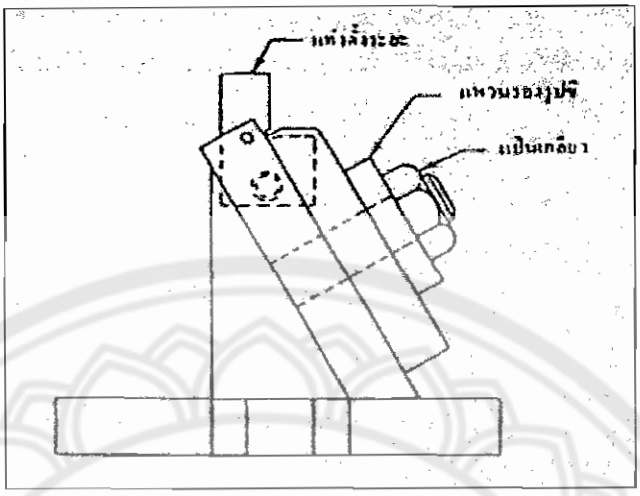
2) ฟิกเจอร์แบบแผ่นตั้งฉาก

เป็นฟิกเจอร์แบบหนึ่งของฟิกเจอร์แบบแผ่น ดังแสดงในรูป 2.13 การทำงานของฟิกเจอร์ชนิดนี้ก็ คือ ชิ้นงานจะถูกกระทำในทิศทางตั้งฉากกับตัวกำหนดตำแหน่ง(Locator) ของฟิกเจอร์ปกติแล้วฟิกเจอร์แบบแผ่นตั้งฉากจะถูกทำให้เป็นมุม 90 องศา แต่ก็มีบางครั้งที่ต้องใช้มุมอื่นที่ไม่ใช่ 90 องศา ซึ่งในกรณีนี้ต้องเปลี่ยนมาใช้ฟิกเจอร์แบบแผ่นปรับมุมดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 ฟิกเจอร์แบบแผ่นตั้งฉาก (Angle-plate fixture)

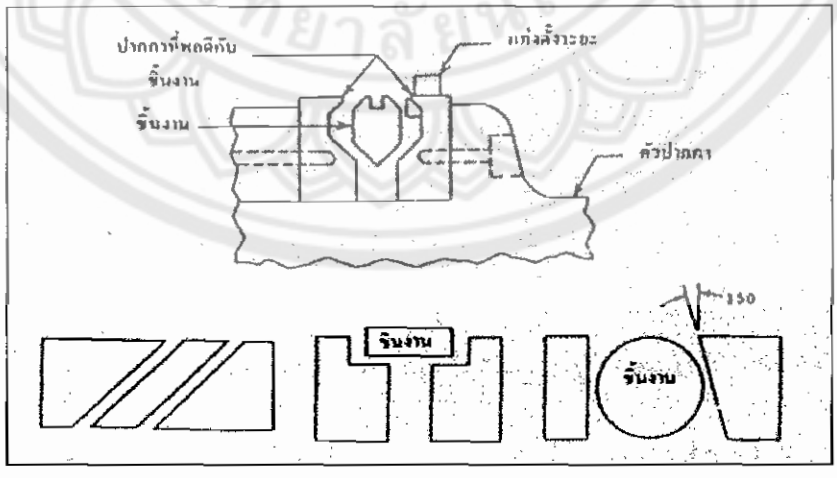
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 24)



รูปที่ 2.14 ฟิกเจอร์แบบแผ่นปรับมุม (Modified Angle-plate fixture)
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 24)

3) **ฟิกเจอร์แบบปากกา**

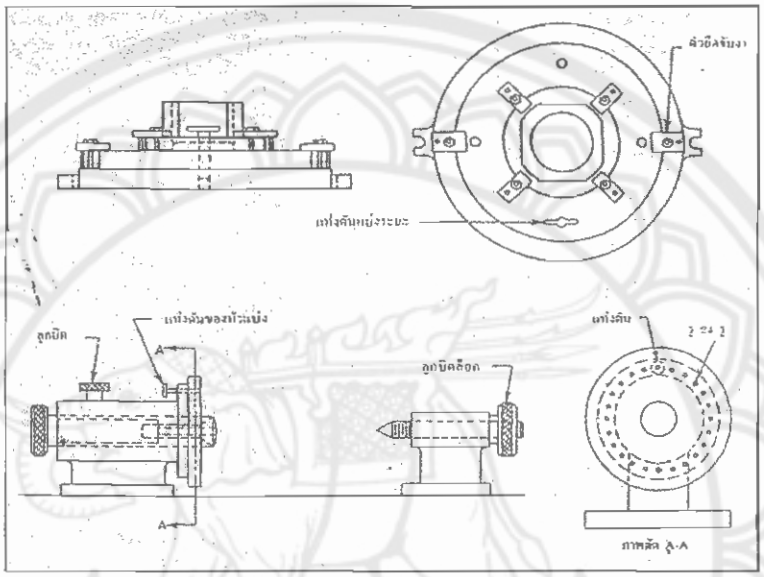
เป็นฟิกเจอร์ที่ใช้สำหรับการทำงานกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.15 สำหรับฟิกเจอร์ชนิดนี้จะมีปากสำหรับจับชิ้นงาน (Vise Jaw) ที่เป็นมาตรฐาน ดังนั้นจึงสามารถที่จะเปลี่ยนปากสำหรับจับชิ้นงานได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ฟิกเจอร์แบบปากกานี้เป็นฟิกเจอร์ที่มีราคาถูกที่สุดในบรรดาฟิกเจอร์ทั้งหลายที่ถูกทำขึ้นมา การใช้งานของมันจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะที่ขนาดของปากกาจับชิ้นงานที่จะแปรเปลี่ยนไปได้ขนาดไหน



รูปที่ 2.15 **ฟิกเจอร์แบบปากกา** (Vise-Jaw fixture)
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 24)

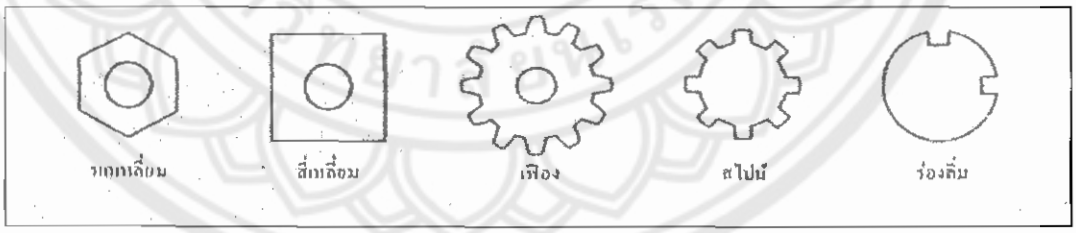
4) ฟิกเจอร์แบบหัวแบ่ง

เป็นฟิกเจอร์ที่มีลักษณะคล้ายกับจิ๊กแบบหัวแบ่งเป็นอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ฟิกเจอร์แบบหัวแบ่งเหล่านี้จะถูกใช้สำหรับการทำงานที่จะต้องมีการตกแต่งให้มีช่องว่าง หรือระยะห่างเท่าๆ กันและสำหรับตัวอย่างชิ้นงานที่ถูกทำบนฟิกเจอร์แบบนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 ฟิกเจอร์แบบหัวแบ่ง (Indexing Fixture)

(ที่มา : **วชิระ มีทอง**,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 25)



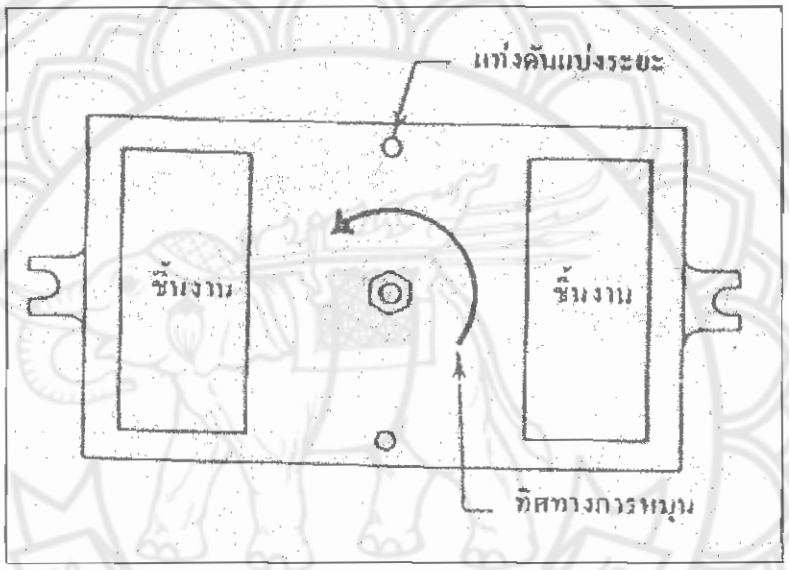
รูปที่ 2.17 ชิ้นงานที่ถูกกระทำโดยใช้ฟิกเจอร์แบบหัวแบ่ง

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 25)

5) ฟิกเจอร์แบบหลายตำแหน่ง

เป็นฟิกเจอร์ที่ถูกนำมาใช้เมื่อต้องการความรวดเร็วและมีปริมาณมากๆ ในขณะที่การทำงานของเครื่องจักรจะต้องทำงานเป็นจังหวะต่อเนื่องกันไปตลอด สำหรับดูเพล็กฟิกเจอร์เป็นแบบหนึ่งของฟิกเจอร์แบบหลายตำแหน่ง แบบที่ธรรมดาที่สุดโดยมีการทำงานเพียง 2 ตำแหน่งเท่านั้น

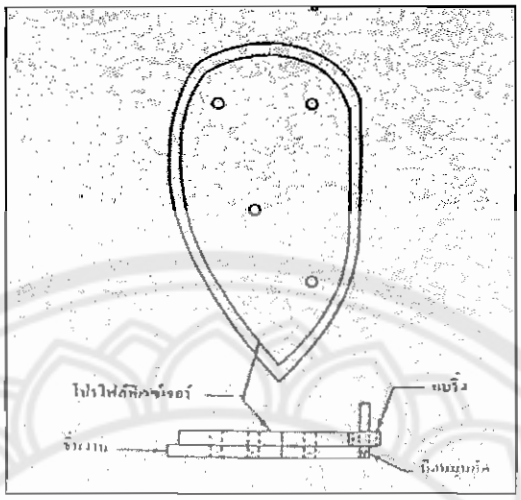
ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ฟิกเจอร์แบบนี้อนุญาตในการทำงานในขั้นตอนที่ถอดชิ้นงานออก และการใส่ชิ้นงานเข้าไปถูกกระทำในขณะที่การทำงานของเครื่องจักรกำลังเดินเครื่องอยู่ ดังแสดงในตัวอย่างเช่น ในตำแหน่งที่หนึ่งการทำงานได้สำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์แล้วก็หมุนฟิกเจอร์ให้ตำแหน่งที่สองซึ่งมีชิ้นงานอยู่แล้วไปถูกกระทำแทนที่ตำแหน่งที่หนึ่งเดิม ในขณะเดียวกันเราก็เอาชิ้นงานที่ทำเสร็จแล้วออกจากตำแหน่งที่หนึ่งพร้อมทั้งใส่ชิ้นงานเข้าไปใหม่ ซึ่งระหว่างนี้เครื่องจักรก็กำลังกระทำต่อชิ้นงานในตำแหน่งที่สองเช่นกัน



รูปที่ 2.18 ฟิกเจอร์แบบหลายตำแหน่ง (Duplex Fixture)
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 26)

6) **ฟิกเจอร์แบบโปรไฟล์**

เป็นฟิกเจอร์ที่ถูกใช้เป็นตัวนำทางสำหรับการทำงานที่กระทำตามเส้นรอบรูปที่เครื่องจักรไม่สามารถไปตามทิศทางปกติได้ สำหรับเส้นรอบรูป (Contours) นี้อาจจะเป็นเส้นรอบรูปภายในหรือภายนอกก็ได้ ในรูปที่ 2.19 แสดงการทำลูกเบี้ยว (Cam) โดยลูกเบี้ยวถูกตัดอย่างเที่ยงตรงโดยการทำงาน การสัมผัสอย่างคงที่ระหว่างฟิกเจอร์แบบนี้กับแบริ่งของเครื่องมือตัด สำหรับแบริ่งนี้จะเป็นส่วนใหญ่ที่สำคัญในการทำงานและต้องถูกนำมาใช้อยู่เสมอ



รูปที่ 2.19 ฟิกเจอร์แบบโปรไฟล์ (Profiling Fixture)
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 26)

2.3.4 ประเภทของฟิกเจอร์

โดยปกติแล้วฟิกเจอร์จะถูกแบ่งตามชนิดของเครื่องจักรที่ฟิกซ์เจอร์นั้นๆ ถูกนำมาใช้งานด้วย และสามารถที่จะเรียกชนิดเฉพาะเจาะจงไปตามการใช้งานย่อยๆ ไปอีกก็ได้ ดังตัวอย่างเช่นฟิกเจอร์ถูกออกแบบมาให้ใช้กับเครื่องกัดมันถูกเรียกว่าฟิกเจอร์เครื่องกัด และชี้เฉพาะว่าใช้กับเครื่องกัดแบบคร่อมมันก็จะถูกเรียกว่าฟิกเจอร์แบบคร่อม และในกรณีใช้กับเครื่องกลึงซึ่งถูกออกแบบสำหรับงานกลึงต่างๆ มันก็จะถูกเรียกว่าฟิกเจอร์เครื่องกลึง เป็นต้น

สำหรับรายการต่อไปนี้เป็นการทำงานการผลิตที่ใช้ฟิกเจอร์ ด้วยดังนี้คือ

- งานประกอบ
- งานคว้าน
- งานทำร่อง
- งานเจาะรู
- งานขึ้นรูป
- งานทำเกจ
- งานเจียรนัย
- งานอบชุบ
- งานทำมุมเรียบ
- งานตรวจสอบ

- งานแลปปิ้ง
- งานกัด
- งานเพลนนิ่ง
- งานเลื่อย
- งานไส
- งานปั้ม
- งานทำเกลียว
- งานทดสอบ
- งานกลึง
- งานเชื่อม

2.4 หลักการสร้างจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ขั้นพื้นฐาน

2.4.1 โครงสร้างลำตัวของจิ๊กและฟิกซ์เจอร์

ส่วนของลำตัวที่จะนำไปใช้งานจะต้องถูกนำขึ้นมาให้มีความแข็งแรงมั่นคงเพื่อให้ถูกติดตั้งโดยสิ่งต่างๆได้เป็นอย่างดีคือ ตัวกำหนดตำแหน่ง (Locators), ตัวรองรับ(supports), ตัวจับยึดชิ้นงาน(Clamps) และชิ้นส่วนประกอบอื่นๆที่ต้องการจะอ้างอิง กำหนดตำแหน่ง และจับยึดชิ้นงานขณะที่กำลังอยู่ในระหว่างการทำงาน สำหรับขนาด รูปร่าง วัสดุและกระบวนการที่ใช้ในการทำส่วนของลำตัว เบื้องต้นนี้จะถูกพิจารณาโดยดูจากชิ้นงานที่จะถูกกระทำ

โดยทั่วๆไปแล้วขนาดและรูปร่างของส่วนที่เป็นลำตัวจะถูกนำมาพิจารณาโดยดูจากขนาดของชิ้นงานและวิธีการที่จะกระทำต่อชิ้นงาน ส่วนที่เกี่ยวกับวัสดุและกระบวนการที่ใช้ในการทำส่วนของลำตัวนั้นจะขึ้นอยู่กับความประหยัด ความแข็งแรงมั่นคง ความเที่ยงตรง และอายุการใช้งาน

ปกติแล้วส่วนที่เป็นลำตัวจะถูกทำขึ้นมาจาก 3 วิธีด้วยกัน จากงานหล่อ งานเชื่อมประสานและงนสร้างประกอบ ส่วนวัสดุที่ใช้ในการทำส่วนของลำตัวได้แก่ เหล็กเหนียว เหล็กหล่อ อะลูมินัม แมกนีเซียม ยางอีป๊อกซี และไม้ เป็นต้น

1) ลำตัวของงานหล่อ

เป็นส่วนที่เป็นลำตัวที่เป็นงานหล่อโดยจะถูกทำมาจากเหล็กหล่อ อลูมินัมหล่อ หรือพวกเรซินหล่อ เป็นต้น ซึ่งข้อดีของการใช้ส่วนที่เป็นลำตัวแบบงานหล่อนี้ก็คือ ตัวของจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์จะมีความมั่นคงดีประหยัดเวลาในการตกแต่งและเนื้อวัสดุกระจายได้อย่างดี นอกจากนี้ลำตัว

งานหล่อยังมีคุณสมบัติที่ดีที่สุดในด้านการรองรับชิ้นงานและรับแรงสั่นสะเทือนได้เป็นอย่างดี สำหรับข้อเสียส่วนใหญ่จะได้แก่ การที่มีราคาสูงมากกว่าแบบอื่นๆเนื่องจากจะต้องมีแบบหล่อ (Pattern)และใช้เวลามากในการออกแบบกับการผลิตและประกอบเป็นต้น

2) ลำตัวงานเชื่อม

เป็นส่วนของลำตัวที่ใช้งานเชื่อมประกอบซึ่งส่วนมากจะทำมาจากเหล็ก อลูมิเนียม หรือแมกนีเซียม สำหรับข้อดีในการใช้ส่วนของลำตัวแบบนี้ก็คือจะมีความแข็งแรงสูง สามารถออกแบบได้อย่างคล่องตัว และปรับปรุงได้หลายแบบเวลาที่ใช้ในการผลิตหรือทำส่วนของลำตัวก็ไม่เสียเวลามากนัก ส่วนข้อเสียก็คือ จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับแต่งใหม่หลังจากการเชื่อมแล้วเพราะความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมจะทำให้งานเกิดการบิดตัวไปจากตำแหน่งเดิม

3) ลำตัวงานสร้างประกอบ

เป็นส่วนของลำตัวแบบที่ต้องใช้งานสร้างประกอบขึ้นมาโดยยึดให้ติดกันระหว่างชิ้นส่วนต่างๆด้วยน็อตและสกรูส่วนของลำตัวแบบนี้จะเป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด และสามารถใช้ได้กับวัสดุแทบทุกชนิด เช่น เหล็กเหนียว อะลูมินัม แมกนีเซียม และไม้เป็นต้น ข้อดีของการใช้ส่วนของลำตัวแบบนี้ ก็คือความสามารถในการปรับตัวดี ออกแบบได้อย่างคล่องตัว ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้อย่างสะดวกง่ายดาย ใช้เวลาในการทำน้อย และที่สำคัญคือสามารถใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานมาทำได้เป็นอย่างดี สำหรับส่วนของลำตัวแบบนี้จะใช้เวลาในการออกแบบและประกอบมากกว่าส่วนของลำตัว แบบใช้การเชื่อมเล็กน้อยเพราะว่าลำตัวงานสร้างประกอบจำเป็นจะต้องใช้เวลาในการเจาะรูการทำเกลียวและตรวจสอบความฟิตของชิ้นส่วนต่างๆก่อนที่จะนำไปใช้งาน

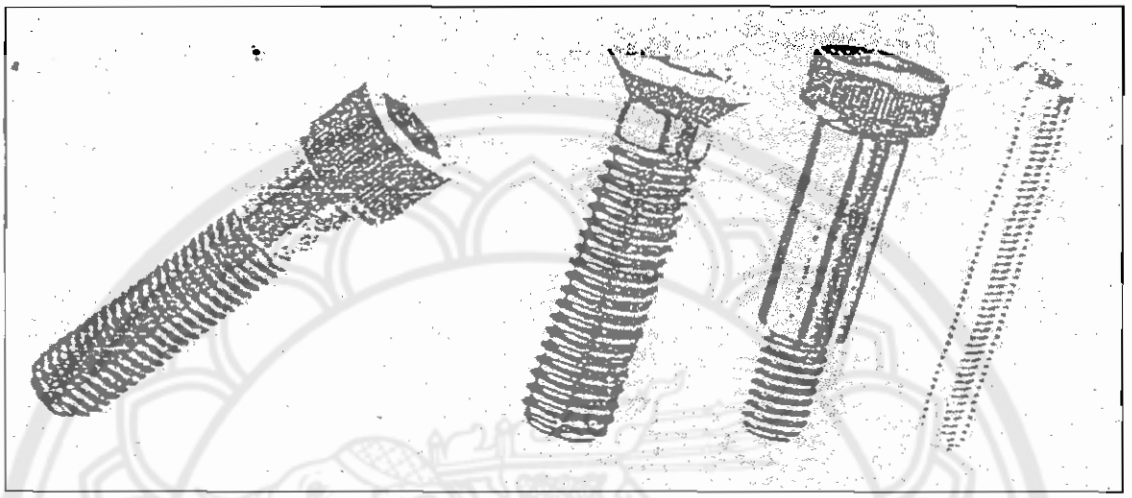
2.4.2 อุปกรณ์สำหรับการจับยึดงาน

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ยึดงานติดแน่นเข้าด้วยกันจะมีอยู่หลายชนิดที่ใช้สำหรับในการทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ เช่น สกรู (Screws),น็อต(Nuts),สลักเกลียว(Bolts) และสลัก(Pins) มีจุดหนึ่งที่ควรจะจำไว้ก็คือในการออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ควรที่จะใช้อุปกรณ์ที่เป็นมาตรฐาน เพราะถ้าใช้อุปกรณ์พิเศษหรือเฉพาะอย่างแล้วจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงไม่คุ้มค่ากับผลดีที่ได้เพียงเล็กน้อย สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับยึดงานที่นิยมใช้กันทั่วๆไปมีดังต่อไปนี้

1) สกรูหัวรูปหมวก

ในการทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์นิยมใช้สกรูแบบ Sockes-Head Cap Screws (สกรูหัวจมหกเหลี่ยม) มากที่สุดเพราะว่าสกรูแบบนี้ให้แรงในการยึดจับดีมาก อีกทั้งยังง่ายต่อการติดตั้งและไม่จำเป็นต้องใช้เนื้อที่มากด้วยดังรูปที่ 2.20เป็นลักษณะของสกรูหัวรูปหมวกและยังมีอีกหลายชนิด

ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ซึ่งสกรูพวกนี้จะมีประโยชน์มาก เพราะใช้ได้ง่ายและเป็นแบบที่ล็อคด้วยตัวเอง (Salf-Locking)

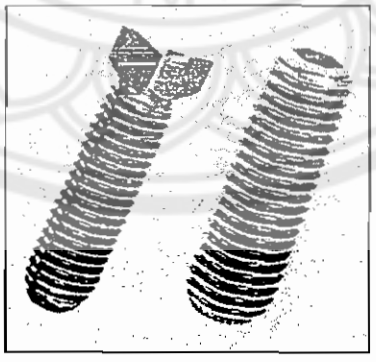


รูปที่ 2.20 สกรูหัวรูปหมวก **รูปที่** 2.21 ลักษณะต่าง ๆ ของสกรูหัวรูปหมวก

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 86)

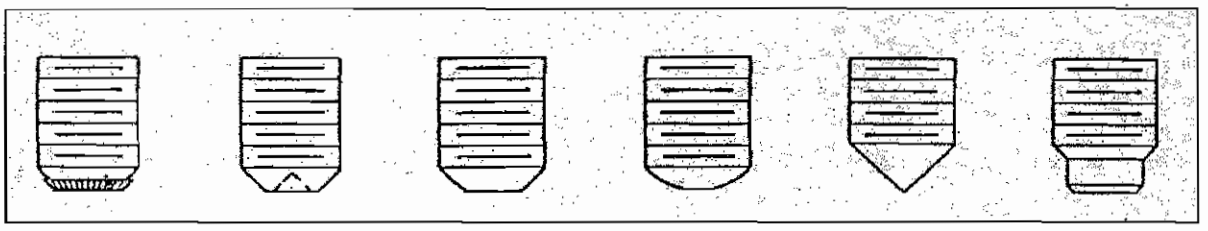
2) **สกรูสำหรับตั้งระยะ**

เป็นสกรูอีกแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากในการทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ สำหรับสกรูตั้งระยะที่เป็นมาตรฐานจะถูกผลิตออกมามีหลายขนาดและที่ปลายจะมีหลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.22 และ 2.23



รูปที่ 2.22 สกรูสำหรับตั้งระยะ

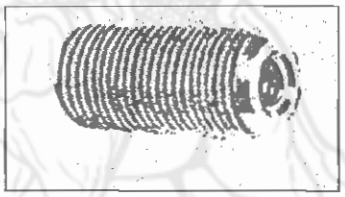
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 87)



รูปที่ 2.23 รูปแบบต่าง ๆ ของสกรูสำหรับตั้งระยะ
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 87)

3) **สกรูแบบมีเกลียวสอดใส่**

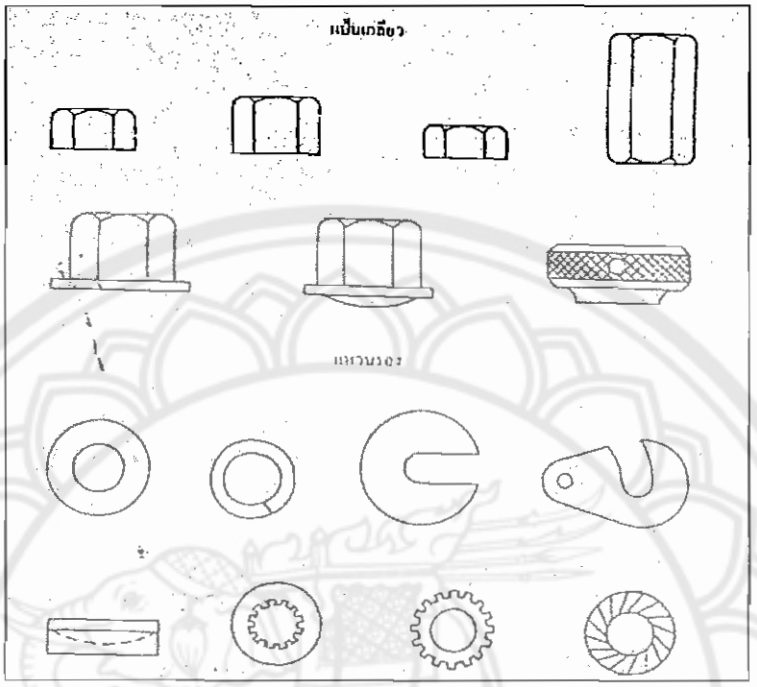
สำหรับสกรูแบบนี้มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.31 โดยจะถูกใช้ทำเป็นเกลียวภายในวัสดุที่ไม่สามารถจะทำเป็นเกลียวได้เช่น อีป๊อกซี เรซิน (Epoxy Resin) หรืออลูมินัมอ่อนเป็นต้นและสกรูแบบนี้ยังใช้ได้กับวัสดุอื่นๆที่มีการสึกหรอเนื่องจากการใช้งานหนักและถูกใช้เป็นเวลานานๆ



รูปที่ 2.24 สกรูแบบมีเกลียวสอดใส่
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 87)

4) **แป้นเกลียวและแหวนรอง**

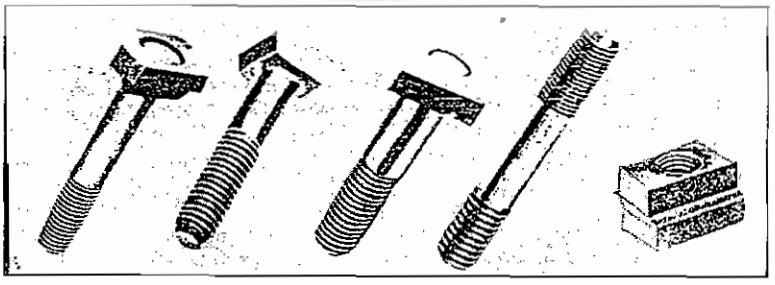
ในท้องตลาดทั่วๆไปจะมีแป้นเกลียวและแหวนรองผลิตออกมาขายหลายชนิด หลายๆแบบ ทำให้สะดวกสำหรับนักออกแบบ จิ๊กและฟิกซ์เจอร์จะเลือกใช้ได้อย่างสะดวกสำหรับแบบที่นิยมใช้กันอย่างมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แป้นเกลียวและแหวนรองแบบต่าง ๆ
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 88)

5) **สลักเกลียวและแป้นเกลียว**

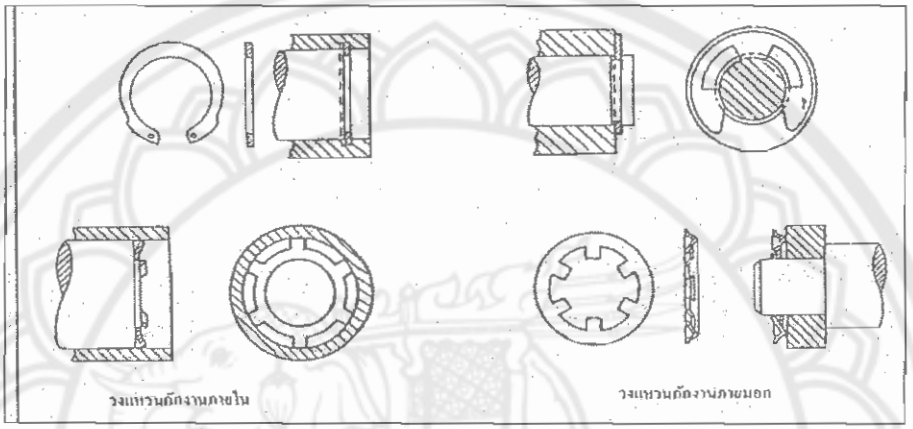
สลักเกลียวและแป้นเกลียวสำหรับใช้งานพิเศษเฉพาะอย่างในงานด้านการผลิตจิ๊กและฟิกซ์เจอร์นั้นปกติแล้วการออกแบบต่างๆจะพิจารณาจากสิ่งที่เป็นมาตรฐานทั่วๆไปแต่ก็มีบางครั้งบางคราวจำเป็นที่จะต้องใช้สิ่งที่พิเศษออกไปจากมาตรฐานเช่น แบบตัวที แบบสล็อตและสตัด ซึ่งส่วนมากมักจะถูกใช้งานในการยึดจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ให้ติดแน่นกับฐานของเครื่องจักร และได้ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานหลายๆขนาด เพื่อให้ใช้ได้กับเครื่องจักรนั้นๆ ลักษณะของสลักเกลียวและแป้นเกลียวสำหรับงานดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 สลักเกลียวและแป้นเกลียวแบบใช้งานพิเศษ
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 89)

6) วงแหวนกักงาน

อุปกรณ์การยึดงานอีกแบบหนึ่งซึ่งสามารถที่จะลดเวลาการทำงานลงได้ก็คือ วงแหวนกักงาน (Retaining Rings) และวงแหวนที่นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์เหล่านี้มีอยู่ 2 แบบคือ แบบภายในและแบบภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.27

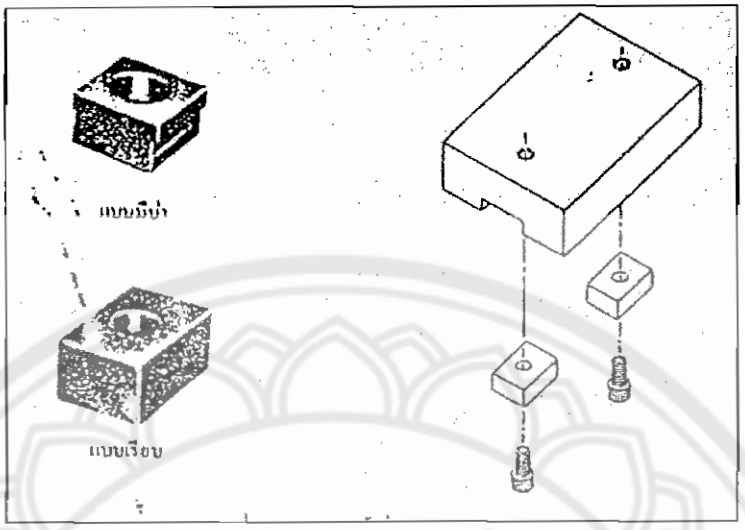


รูปที่ 2.27 วงแหวนกักงาน

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 89)

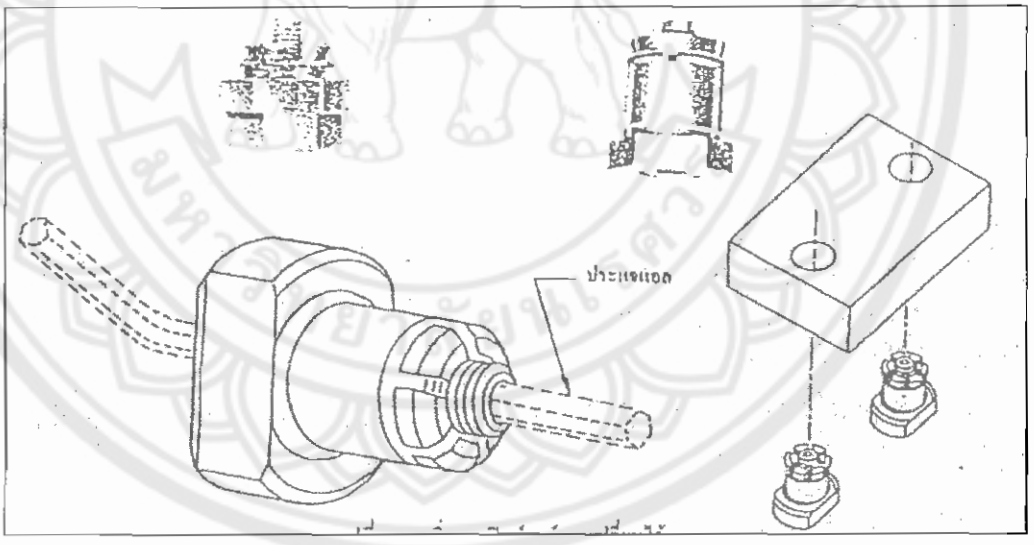
7) **ลิ่มแบบสามารถเปลี่ยนได้**

สำหรับลิ่มแบบนี้เป็นสิ่งที่ทำขึ้นมาเป็นพิเศษซึ่งสามารถจะประหยัดเวลาในการทำงานไปได้มากโดยที่ลิ่มนี้จะถูกใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนของฟิกซ์เจอร์นั้นๆคือตัวลิ่มจะถูกใส่อยู่ในร่องตัวที (T) ของฐานที่รองรับเครื่องมือนั้นๆและตัวลิ่มจะติดกับฟิกซ์เจอร์โดยใช้สกรูรูปหัวหมวกดังแสดงในรูปที่ 2.39 ทำให้สามารถดัดแปลงลิ่มเป็นรูปร่างตามที่เราต้องการได้ ส่วนรูป 2.28 เป็นการใช้ลิ่มแบบที่เปลี่ยนได้อีกอย่างหนึ่ง โดยลิ่มแบบนี้ต้องการเพียงรู 2 รูที่ผ่านการเจาะและคว้านเรียบด้วยริมเมอร์มาแล้ว และการติดตั้งลิ่มภายในรูปนั้นก็ใช้ Allen Wrench (ประแจตัวแอล) การทำขันล็อคให้แน่นตรงตำแหน่งนั้นๆ



รูปที่ 2.28 การติดตั้งลิ่มของฟิกซ์เจอร์

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 90)



รูปที่ 2.29 ลิ่มของฟิกซ์เจอร์แบบเปลี่ยนได้

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 90)

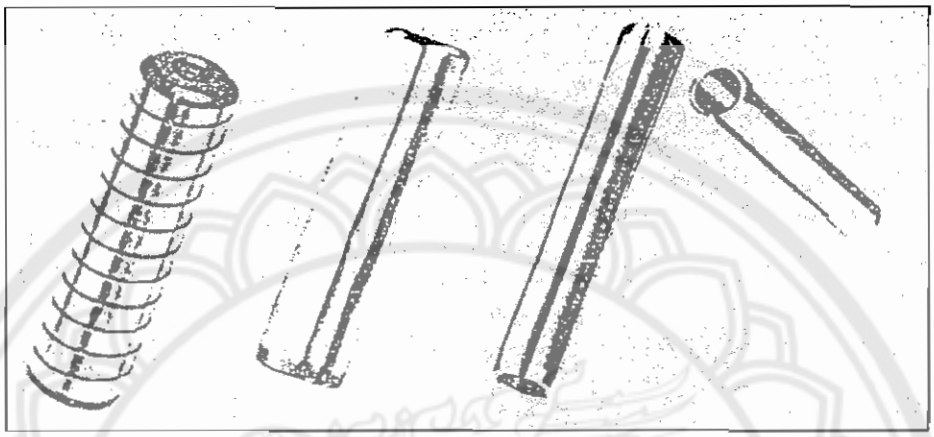
8) สลักเดือยของจิ๊ก

โดยปกติแล้วสลักเดือย (Dowel Pins) จะถูกใช้คู่กับสกรูเพื่อช่วยให้งานแต่ละชิ้นอยู่ในตำแหน่งตรงกันไม่ว่าจะถอดชิ้นส่วนของจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ออกแล้วนำมาประกอบใหม่อีกครั้งก็ตาม สำหรับสลักเดือยนี้จะมีอยู่ 5 แบบคือ แบบตรง (Plain), แบบหมุนเอียง(Tapered), แบบใช้ดึงขึ้น

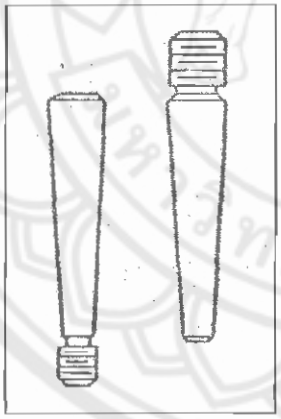
ป TH
ว๓๓
ด๒๒๐
2550

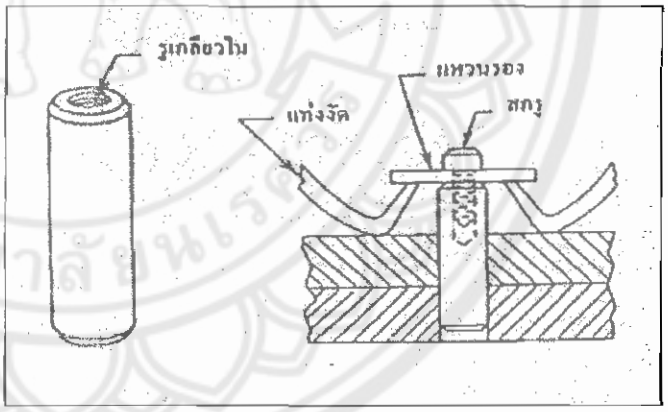
i 4304573
22 ก.ค. 2551
สำนักหอสมุด

(Pull), แบบมีร่อง(Trooved) และ แบบสปริง(Spring) ดังแสดงในรูปที่ 2.30 สำหรับสลักเดือยแบบมุมเอียงบางทีก็มีเกลียวอยู่ที่ปลายข้างหนึ่งเพื่อช่วยให้มีความสะดวกในการติดตั้งและถอดออก ดังแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.30 สลักเดือยแบบธรรมดา
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 91)





รูปที่ 2.31สลักเดือยแบบมุมเอียง **รูปที่** 2.32 การถอดสลักเดือย
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 91)

สำหรับสลักเดือยแบบใช้ดึงนี้จะถูกใช้งานเมื่อรูที่จะใส่สลักเดือยเป็นรูที่ไม่ทะลุตลอดซึ่งมีอยู่ 2 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.32 ซึ่งเป็น สลักเดือยใช้ดึงแบบตรง(Strainght Pull-Dower) ส่วนในรูปที่ 2.31 เป็นสลักเดือยใช้ดึงแบบมุมเอียง (Tapered Pull-Dower) ตามรูปจะมีทั้งวิธีการใส่สลัก

เดือยและถอดสลักเดือย ดังคำอธิบายต่อไปนี้ (1-3 เป็นการใส่ ส่วนข้อ 4-7 เป็นการถอด) ดังรูป 2.32

1. ใส่ปลอก (Sleeve) เข้าไปในรูของงานเพื่อใช้สำหรับตั้งแนวตรง สำหรับสลักเดือย
2. ใส่สลักเดือยแบบมุมเอียงลงไปในปลอก
3. ใช้ค้อนตีสลักเดือยเบาๆจนกระทั่งสลักเดือยเข้าไปอยู่ในตำแหน่งในปลอกตามต้องการ
4. ใช้สกรูเกลียวสำหรับดึงขันเกลียวให้เข้ากับเกลียวของสลักเดือยที่โผล่มานิดหน่อย
5. ทำการขันสกรูจนกระทั่งสลักเกลียวหลุดออกมา
6. ใช้เครื่องดึงปลอกซึ่งมีตะขอที่ปลายทำการใส่เข้าไปในรูนั้น และเกี่ยวที่ฐานของปลอก
7. ดึงปลอกให้หลุดออกมา

ส่วนสลักเดือยแบบตรง แบบสปริง และแบบมีร่องจะเป็นแบบที่ใช้งานทั่วๆไปความแตกต่างของทั้ง 3 แบบนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งานว่าจะใช้กับงานที่ละเอียดเที่ยงตรงมากน้อยแค่ไหน ถ้าสลักแบบตรงจะต้องมีรูที่เที่ยงตรงและต้องผ่านการคว้านรูเรียบมาด้วย สำหรับในการติดตั้งสลักเดือยแบบนี้ แต่ถ้าจะใช้สลักเดือยแบบสปริงหรือแบบมีร่องแล้วก้ไม่จำเป็นต้องใช้รูที่ผ่านการคว้านรูเรียบมา ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย

สำหรับสลักของจิ๊กจะถูกใช้งานสำหรับยึดจับเครื่องหรือส่วนของจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ ตั้งแต่สองชิ้นขึ้นไปให้อยู่ในแนวเดียวกันตลอด โดยปกติแล้วสลักของจิ๊กจะมีรูปร่างแบบตัวที (T) หรือตัวแอล (L) หรือแบบที่ล็อคด้วยตัวเอง และเมื่อสลักของจิ๊กต้องถูกเอาออกจากตำแหน่งของมันบ่อยๆ ก็ควรจะมีสายเคเบิลเล็กๆ ผูกสลักของจิ๊กให้ติดไว้กับตัวของเครื่องมือด้วย [2]

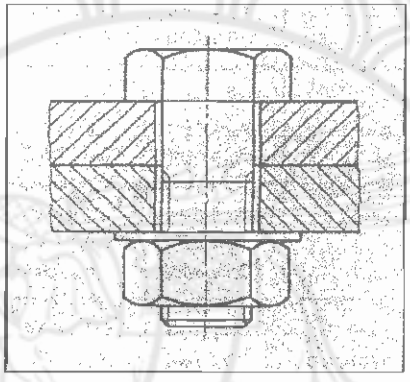
2.4.3 ชนิดของอุปกรณ์ยึดด้วยเกลียว

การแบ่งชนิดของอุปกรณ์ยึดด้วยเกลียวแบ่งตามวิธีการที่ใช้จับยึด มิใช่แบ่งตามลักษณะจำเพาะที่ใช้งาน และอาจจำแนกได้ดังนี้

1) สลักเกลียวและแป้นเกลียว (Bolt and nut)
2) หมุดเกลียว (Cap screw)
3) สลักเกลียวสตัด (Spud bolt)
4) หมุดเกลียวจักรกล (Machine screw)
5) หมุดเกลียวปรับ (Set screw)

1) สลักเกลียวและแป้นเกลียว

สลักเกลียวเป็นแท่งทรงกระบอก ปลายข้างหนึ่งมีเกลียวและอีกข้างหนึ่งมีหัวสี่เหลี่ยมหรือหกเหลี่ยม หัวนี้มีไว้สำหรับจับเพื่อหมุนสลักเกลียว หรือยึดสลักเกลียวไว้เพื่อหมุนแป้นเกลียวให้ยึดชิ้นงานดังรูปที่ 2.33 การยึดด้วยสลักเกลียวและแป้นเกลียวนี้ใช้กับบริเวณที่สามารถหมุนหัวของสลักเกลียวและแป้นเกลียวได้สะดวกเช่น รอยต่อด้วยหน้าแปลน นิยมใช้ยึดด้วยสลักเกลียวเพราะเมื่อขันแน่นลำตัวของสลักเกลียวอยู่ภายใต้แรงดึงเพียงอย่างเดียวเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนใหม่ได้ง่ายถ้าสลักเกลียวขาดหรือเกลียวขาด

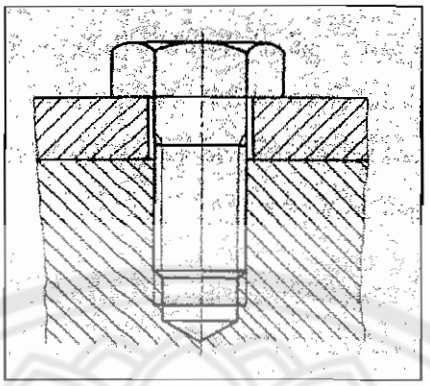


รูปที่ 2.33 สลักเกลียวและแป้นเกลียว

(ที่มา : ชาญ ถนัดงาน,วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล,พ.ศ.2545,หน้า 21)

2) หมุดเกลียว

หมุดเกลียวแตกต่างไปจากสลักเกลียวคือ ใช้ขันเข้าไปในชิ้นงานชิ้นหนึ่งที่ต้องการยึดโดยมิต้องใช้แป้นเกลียว ดังรูปที่ 2.34 ใช้กับงานที่ไม่อาจใช้สลักเกลียวได้ เนื่องจากมีเนื้อที่ไม่พอหรือใช้กับรอยต่อที่ไม่มีการถอดปล่อยนักเพราะจะทำให้เกลียวตัวเมียบนชิ้นงานเสียหายได้ การยึดที่แน่นอนโดยใช้หมุนเกลียวจะต้องขันเกลียวเข้าไปในชิ้นงานไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าครึ่งของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระบบของหมุดเกลียวเมื่อชิ้นงานเป็นเหล็กกล้า แต่ถ้าชิ้นงานเป็นเหล็กหล่อก็ใช้เป็น 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุของหมุดเกลียด

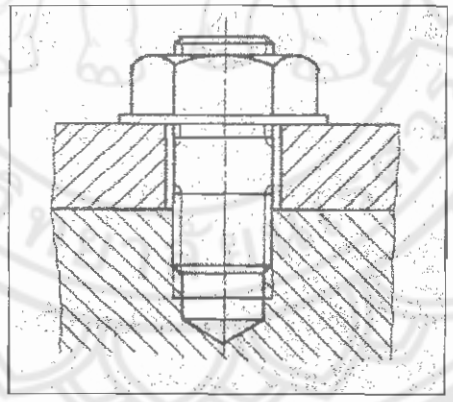


รูปที่ 2.34 หมุดเกลียว

(ที่มา : ชาญ ถนัดงาน,วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล,พ.ศ.2545,หน้า 22)

3) สลักเกลียวสตัด

สลัดเกลียวสตัดมักเรียกย่อๆ ว่า สตัด เป็นแท่งทรงกรับอกมีเกลียวที่ปลายทั้ง 2 ข้าง การยึดด้วยสตัดทำโดยขันสตัดเข้าไปในชิ้นงานชิ้นหนึ่งซึ่งมีเกลียวขันที่ปลายอีกข้างหนึ่งการยึดด้วยสตัดใช้แทนการยึดด้วยสลักเกลียว ในงานที่มีลักษณะต่อไปนี้



รูปที่ 2.35 สลักเกลียวสตัด

(ที่มา : ชาญ ถนัดงาน,วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล,พ.ศ.2545,หน้า 22)

1.1 เมื่อไม่สามารถสอดสลักเกลียวผ่านชิ้นงานได้ เนื่องจากชิ้นงานหนามากหรือสลักเกลียวจะทะลุผ่านชิ้นงานอื่นที่ไม่ต้องการ

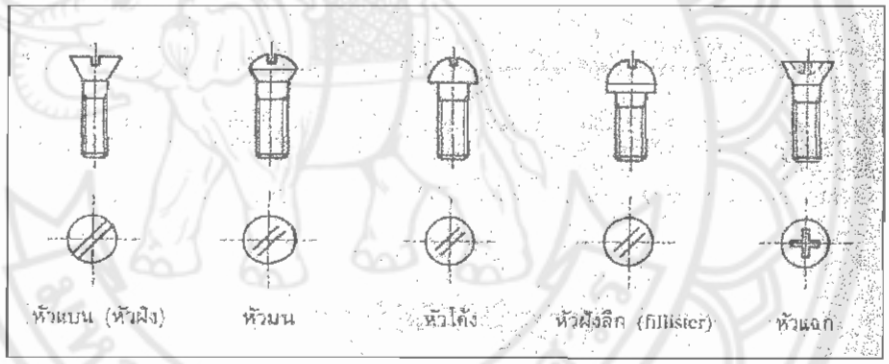
1.2 เมื่อรอยต่อนั้นต้องมีการถอดบ่อยๆและถ้าหมุนเกลียวเข้าออกผ่านชิ้นงานที่ทำด้วยเหล็กหล่อหรือโลหะเบาผสม จะทำให้เกลียวเสียหาย

1.3 ถ้าการยึดรอยต่อหลายๆจุด เมื่อใช้สตัดจะทำให้ง่ายต่อการประกอบให้ตรงศูนย์ เช่น การยึดฝาสูบ เป็นต้น

โดยปกติถ้าขันสตัดเขาไปในเหล็กกล้ามักขันให้ลึกไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระบุของเกลียว แต่ถ้าเป็นเหล็กหล่อก็ให้ใช้ไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าครึ่ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันและทำให้มีความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสเพียงพอขณะหมุนแป้นเกลียวสตัด เหมาะสำหรับใช้ยึดฝาสูบของเครื่องยนต์ให้ติดกับเสื้อสูบของเครื่องยนต์

2.4.3.4 **หมุนเกลียวจักรกล**

เป็นหมุดเกลียวขนาดเล็กมีรูปร่างต่างๆกัน ส่วนมากที่หัวมักจะมีร่างเพื่อใช้ไขควงขันได้ โดยทั่วไปจะใช้กับงานประกอบชิ้นงานขนาดเล็ก เช่น พิมพ์ดีด หมุดเกลียวจักรกลลักษณะต่างๆ



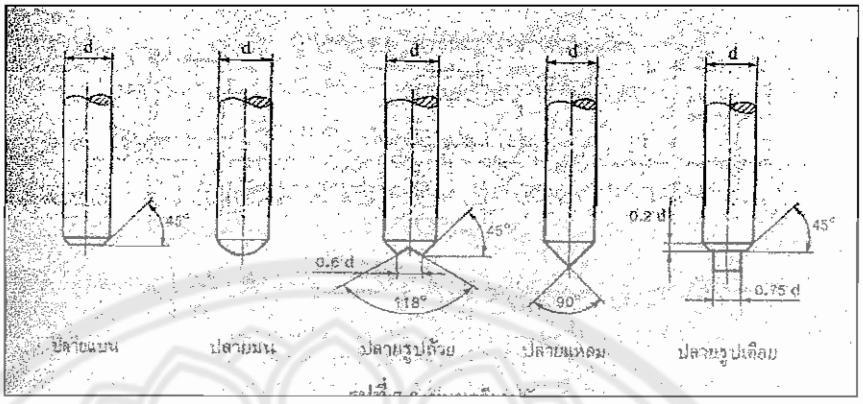
รูปที่ 2.36 หมุนเกลียวจักรกล

(ที่มา : ชาญ ถนัดงาน,วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล,พ.ศ. 2545,หน้า 23)

2.4.3.5 **หมุดเกลียวปรับ**

เป็นหมุนเกลียวชนิดกึ่ง ใช้ป้องกันการเกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผิวเลื่อนสองสีที่อยู่ติดกันโดนใช้ผลจากความเสียดทาน เช่น ยึดปลอกเพลาให้ติดกับเพลายึดดุมล้อสายพานให้ติดกับเพลา เป็นต้น หมุนเกลียวปรับมีหัวและปลายต่างกัน ปลายของหมุดเกลียวปรับจะต้องทำให้แข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอและมักใช้กับการส่งแรงน้อยๆขนาดของหมุดเกลียวปรับ d ที่เหมาะสมกับเพลาขนาด D หาได้จากสมการที่ได้จากประสบการณ์ของผู้ที่ชำนาญการออกแบบคือ

$$D = 0.125d + 8 \text{ mm} \qquad \text{สมการที่ (1)}$$



รูปที่ 2.37 หมุดเกลียวปรับ

(ที่มา : ชาญ ถนัดงาน,วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล,พ.ศ.2545,หน้า 23)

2.4.4 **อุปกรณ์ล็อค**

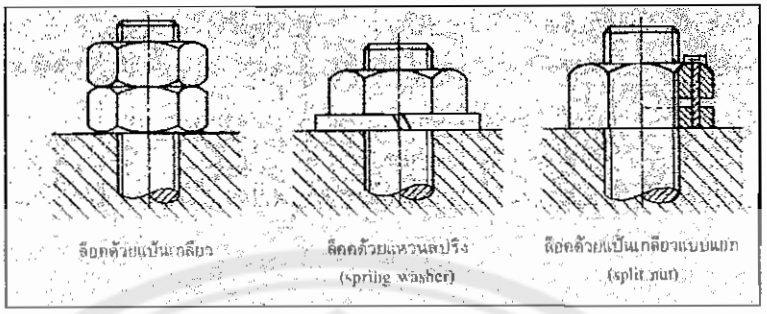
ในการยึดชิ้นงานให้ติดกันด้วยเกลียวทั่วไปจะต้องคิดถึงแรง 2 ชนิด ซึ่งจะส่งผลตรงข้ามกัน คือ

1. แรงที่ทำให้รอยต่อหลวม ซึ่งเกิดจากแรงในแนวแกน พยายามทำให้เกลียวคลายตันหรือเกิดจากการแรงที่เกิดการสั่นสะเทือน

2. แรงที่เกิดจากความเสียดทานซึ่งต้านทานการคล้ายตัวของเกลียว

การออกแบบรอยต่อด้วยเกลียวจะออกแบบให้มีแรงเสียดทานเพื่อป้องกันการคลายตัว ปกติรอยต่อจะต้องแน่นเมื่ออยู่ภายใต้แรงนิ่ง แต่อย่างไรก็ตามรอยต่อส่วนมากจะอยู่ภายใต้แรงเปลี่ยน แปลง หรือมีการสั่นสะเทือนทำให้รอยต่อหลวมได้ดังนั้นรอยต่อประเภทนี้จึงต้องมีอุปกรณ์เพื่อเติม เพื่อต่อต้านการคลายตัวแทนที่จะใช้ความเสียดทานจากเกลียวแต่เพียงอย่างเดียว อุปกรณีล็อคมีใช้กันอยู่มากซึ่งได้แบบออกเป็น 2 ชนิด ใหญ่ คือ

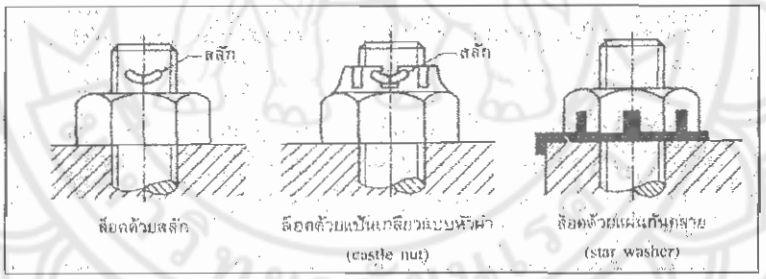
2.4.4.1 **อุปกรณ์ล็อคโดยอาศัยความเสียดทาน** ใช้ป้องกันการคลายของแป้นเกลียวจากสลักเกลียวหรือสตัด โดยเพิ่มความเสียดทานที่เกลียวให้มากขึ้นดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 อุปกรณ์ล็อคโดยอาศัยความเสียดทาน

(ที่มา : ชาญ ถนัดงาน,วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล,พ.ศ.2545,หน้า 24)

2.4.4.2 **อุปกรณ์ล็อคการเคลื่อนที่โดยตรง** ใช้ป้องกันการคลายตัวของแป้นเกลียวโดยใช้สปลิตพิน (Split pin) คอตเตอร์พิน (Cotter pin) แหวนสปริง หรืออุปกรณ์ล็อคอย่างอื่นๆ ดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 อุปกรณ์ล็อคการเคลื่อนที่โดยตรง

(ที่มา : ชาญ ถนัดงาน,วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล,พ.ศ.2545,หน้า 24)

2.4.5 **คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว**

กระทรวงอุตสาหกรรม โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐาน **คุณสมบัติของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตัดใน มอก. 171-2519 ตามมาตรฐานระหว่างประเทศ** ISO/R898/I-1968 (E) **ซึ่งทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมโลหะอื่น โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุของเกลียวจะต้องไม่โตกว่า** 39 mm.

การให้ชื่อของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตัด บอกโดยใช้ตัวเลขสองตัวซึ่งมีความหมายดังนี้

- **เลขตัวแรกบอกค่า** 1/100 **ของค่าตัวต้านแรงดึงต่ำสุด มีหน่วยเป็น** N/mm^2

- ตัวที่สองบอกค่าประมาณ 1/10 ของอัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงครากต่ำสุดกับค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำสุด

ค่าความต้านแรงดึงครากโดยประมาณ อาจหาได้จากผลคูณของเลขตัวแรกกับตัวที่สองแล้วคูณด้วยสิบเช่น

- สลักเกลียวที่มีชั้นคุณสมบัติ 4.6 มีความต้านแรงดึงต่ำสุดคือ 4*100= 400 N/mm^2

- อัตราส่วนระหว่างความต้านแรงดึงครากต่ำสุดกับความต้านแรงดึงต่ำสุดคือ 6*10 = 60%

- มีความต้านแรงดึงครากโดยปราณ 4*6*10 = 240 N/mm^2 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตัดชั้นคุณสมบัติ (Property class) ต่างๆดูได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียว และสตัด

คุณสมบัติทางกล	ชั้นคุณสมบัติ											
	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9
แรงต้านแรงดึงต่ำสุด(N/mm^2)	340	400		500		600			800	1000	1200	1400
สูงสุด(N/mm^2)	490	550		700		800			1000	1200	1400	1600
ความต้านแรงดึงครากต่ำสุด (N/mm^2)	200	240	320	300	400	360	480	-	-	-	-	-
ความเค้นพิสูจน์ 0.2%ต่ำสุด (N/mm^2)	-	-	-	-	-	-	-	540	640	900	1080	1250
การยืดหลังจากขาด%	25	25	14	20	10	16	8	12	12	9	87	7

การระบุคุณสมบัติทางกลของแป้นเกลียวทำโดยใช้ตัวเลขหนึ่งตัว ซึ่งความหมายของเลขตัวนี้จะบอกค่า 1/100 ของความเค้นพิสูจน์ (proof load stress) เป็น N/mm^2

ตัวอย่างเช่น แป้นเกลียวชั้นคุณสมบัติ 4 มีค่าความเค้นพิสูจน์เท่ากับ 4 *100 = 400N/mm^2

ค่าความเค้นพิสูจน์จะสอดคล้องกับค่าความต้านแรงดึงของสลักเกลียวและสตัดที่ใช้ประกอบดังตารางที่ 2.3

ตาราง 2.3 **ความเค้นวิสูจน์ของแป้นเกลียว**

ขั้นคุณสมบัติ	4	5	6	8	10	12	14
ความเค้นพิสูจน์(N/mm^2)	400	500	600	800	1000	1200	1400

การแสดงคุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียว สตัด และแป้นเกลียว จะแสดงไว้ที่หัวข้อของสลักเกลียว หมุดเกลียว สตัด และที่ตัวของแป้นเกลียว โดยบอกตัวเลขตามขั้นคุณสมบัติดังที่ได้กล่าวมาแล้ว [1]

2.5 หลักการจับยึดชิ้นงาน

2.5.1 ตัวจับยึดชิ้นงาน

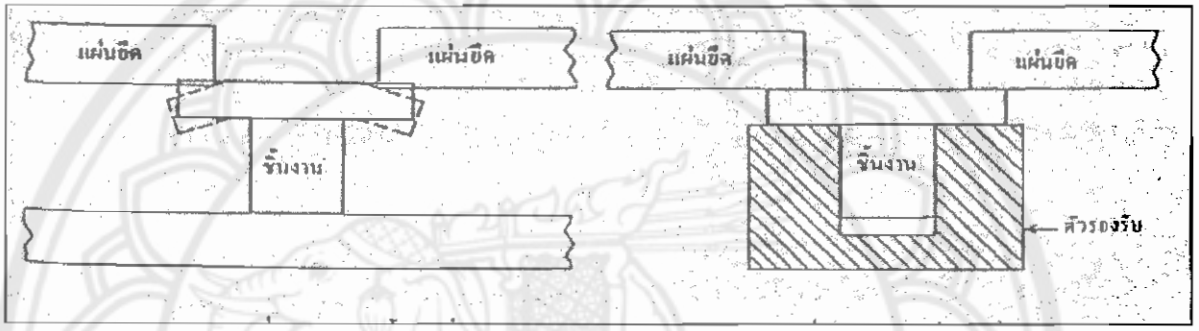
คำว่า ตัวจับยึดชิ้นงานจะถูกนำมาใช้สำหรับอธิบายถึงชิ้นส่วนของจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ที่ทำหน้าที่ในการจับยึดจับชิ้นงานไม่ว่าจะเป็นแผ่นยึด , ตัวจับและแนบหนีบยึดชิ้นงานให้ติดแน่นอยู่กับจิ๊กและฟิกเจอร์ ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการเที่ยงตรง และอยู่ตำแหน่งดังกล่าวโดยสามารถต่อต้านแรงที่เกิดจากการตัดของเครื่องมือที่กระทำต่อชิ้นงานได้เป็นอย่างดี ในกรณีเช่นนี้ตัวจับยึดชิ้นงานจะต้องถูกทำให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงที่เกิดจากการตัดได้ แต่ก็จะไม่มากพอที่จะทำให้แรงในการยึดจับชิ้นงานบุบสลายหรือแตกหัก ตัวยึดจับชิ้นงานจะคล้ายกับการกำหนดตำแหน่ง คือจะต้องทำให้การใส่ชิ้นงานเข้าหรือถอดชิ้นงานออกจากจิ๊กหรือฟิกเจอร์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ตัวยึดจับชิ้นงานที่จำเป็นจะต้องใช้เวลาอย่างมากในการทำงานจะทำให้ผลผลิตตกต่ำและราคาของชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นดังนั้นที่จะนำตัวยึดจับชิ้นงานมาใช้ได้ประโยชน์มากที่สุดต่อการทำงานของจิ๊กและฟิกเจอร์ ตัวนักออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์จึงต้องเรียนรู้เกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นของการจับยึดชิ้นงานเป็นอย่างดีเช่นเดียวกับปากกาธรรมดาที่ใช้จับชิ้นงาน

2.5.2 กฎเกณฑ์ขั้นพื้นฐานของการยึดจับชิ้นงาน

การทำงานของปากกาหรือตัวยึดจับชิ้นงานในการที่จะยึดจับชิ้นงานให้ติดแน่นกับจิ๊กและฟิกเจอร์ในระหว่างที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่จะต้องให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมั่นคงเพื่อให้ได้ผลงานมาอย่างดีและถูกต้อง ดังนั้นตัวยึดจับชิ้นงานจึงต้องมีการคิดวางแผนให้ดีที่สุดในระหว่างการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ ซึ่งนักออกแบบจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) ตำแหน่งของปากกาหรือตัวจับยึดชิ้นงาน

ตัวยึดจับชิ้นงานจะต้องสัมผัสกับชิ้นงานที่ชิ้นงานตรงจุดที่ชิ้นงานมีความแข็งแกร่งที่สุดเสมอ ทั้งไปนี้เพื่อป้องกันไม่ให้แรงเกิดจากการจับยึดนั้นไปทำให้งานเกิดการแอ่นโค้งหรือทำให้ชิ้นงานเสียหายชิ้นงานจะต้องถูกรองรับไว้ด้วยถ้าตรงจุดที่จะถูกยึดจับนั้นด้วยอาจจะถูกแรงของการยึดจับทำให้ชิ้นงานชิ้นงานเกิดการแอ่นโค้งขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.40 ดังนั้นถ้าจะทำการยึดจับชิ้นงานดังกล่าวจึงต้องมีตับชิ้นรองรับชิ้นงานด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.41



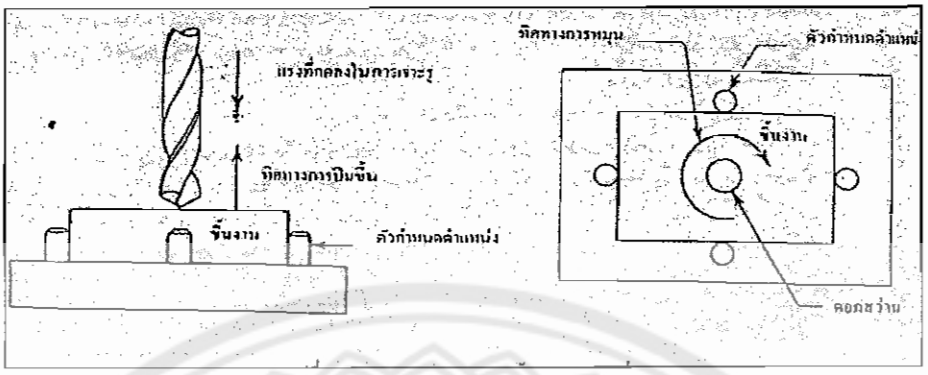
รูปที่ 2.40 การยึดชิ้นงานที่ผิด **รูปที่** 2.41 การยึดชิ้นงานที่ถูก

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 49)

นอกจากนี้ตัวยึดจับชิ้นงานต้องไม่ถูกวางไว้ในตำแหน่งที่จะไปขัดขวางการทำงานของเครื่องมือตัดให้การทำงานของเครื่องจักรต่อชิ้นงานเป็นอย่างยากลำบาก ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อการที่จะต้องกำหนดตำแหน่งตัวยึดจับชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่จะทำงานต่างๆได้อย่างง่ายและปลอดภัย

2) **แรงจากเครื่องมือตัด**

แรงแบบนี้เป็นแรงที่เกิดจากการตัดชิ้นงานของเครื่องตัด แรงเหล่านี้จะถูกตัดหรือเฉือน (Sheared) ที่อยู่ภายในจิ๊กและฟิกเจอร์ ดังนั้นเพื่อที่ยึดจับชิ้นงานให้ถูกต้องนักออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์จำเป็นที่จะต้องรู้ว่าเครื่องมือ (Tool) คืออะไร ชนิดของการตัดเป็นอย่างไรบ้างและมีทิศทางในการตัดอย่างไร การออกแบบให้ได้ผลดีจะต้องสามารถใช้แรงที่เกิดจากการตัดมาใช้ประโยชน์ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.42 ซึ่งเป็นรูปจิ๊กเจาะรูแสดงให้เห็นว่าแรงในการเจาะมีอย่างไรบ้างและมีการยึดจับชิ้นงานไว้อย่างไร

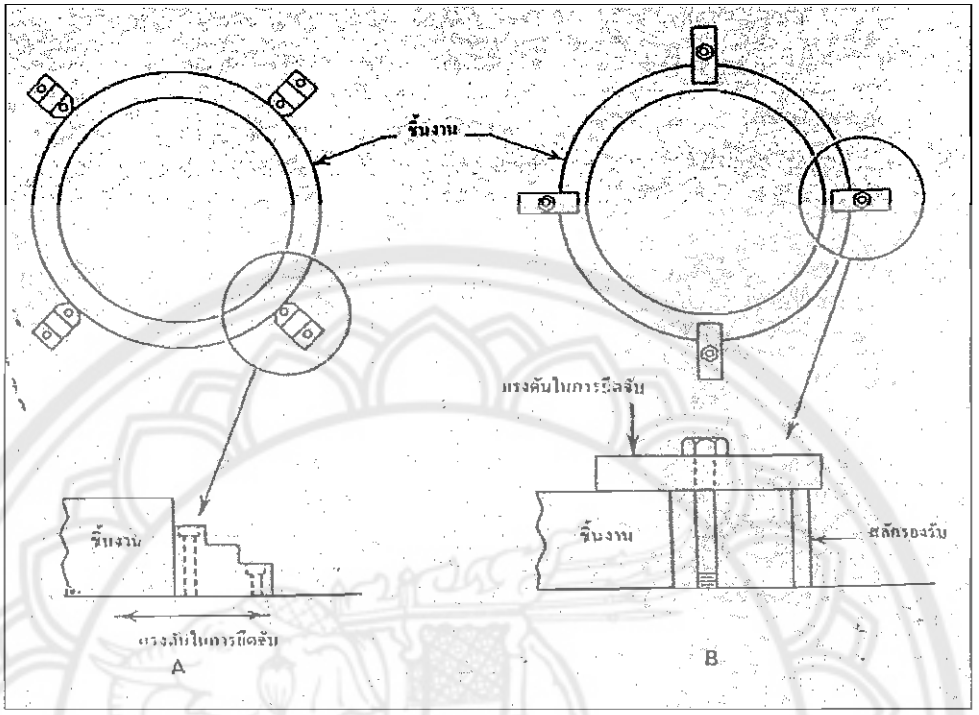


รูปที่ 2.42 **แรงในการเจาะช่วยยึดชิ้นงานให้อยู่กับที่**
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 50)

แรงในการตัดส่วนมากจะเป็นแบบทิศทางแรงกดลงและถกด้านทานโดยฐานของจิ๊กและฟิกเจอร์ นอกจากนี้แรงบิดที่เกิดขึ้นก็จะทำให้ชิ้นงานที่ถูกตัดหรือถูกเจาะหมุนรอบแกนของดอกสว่าน และอีกแรงหนึ่งคือแรงที่ทำให้เกิดการปืนขึ้นของชิ้นงานระหว่างการเจาะเมื่อดอกสว่านเจาะทะลุอีกด้านหนึ่งของชิ้นงาน สำหรับจิ๊กเจาะรูในรูปที่ 4-3 แรงที่ทำให้ชิ้นงานหมุนรอบดอกสว่านจะถูกต่อต้านโดยตัวกำหนดตำแหน่ง (Locators) ที่อยู่รอบชิ้นงานที่ทำการยึดให้ชิ้นงานติดแน่นอยู่ในตำแหน่งเดิม และสำหรับแรงที่ทำให้ชิ้นงานปืนขึ้นนั้นการใส่ตัวยึดจับ (Clamp) ให้ยึดชิ้นงานก็จะเป็นการช่วยให้ชิ้นงานติดแน่นอยู่ตำแหน่งนั้นโดยไม่เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นข้างบน

3) **แรงในการยึดจับชิ้นงาน**

แรงในการยึดจับชิ้นงานนี้เป็นแรงที่จำเป็นจะต้องมีเพื่อสำหรับยึดจับชิ้นงานให้อยู่ตรงตำแหน่งที่กำหนดไว้ในระหว่างที่เครื่องจักรกำลังทำงานและแรงนี้จะถูกต้านโดยตัวกำหนดตำแหน่ง (Locators) การยึดจับชิ้นงานจะช่วยป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิม หรือถูกดึงออกจากจิ๊กหรือฟิกเจอร์ในระหว่างที่ชิ้นงานถูกกระทำอยู่ สำหรับชนิดของตัวยึดจับชิ้นงานและปริมาณของแรงที่จำเป็นใช้ในการยึดจับชิ้นงานนั้นจะถูกพิจารณาแรงของเครื่องมือตัดที่กระทำต่อชิ้นงานและตำแหน่งของชิ้นงานที่ถูกกำหนดไว้ให้อยู่อย่างไรในจิ๊กหรือฟิกเจอร์ดังเช่นในกรณีของชิ้นงานรูปวงแหวนที่แสดงในรูปที่ 2.43 ถ้าวงแหวนถูกจับยึด ดังในรูป A แล้วชิ้นงานวงแหวนก็อาจจะเกิดการโค้งงอขึ้น แต่ถ้าชิ้นงานถูกยึดจับดังในรูป B แล้วการโค้งงอก็ไม่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.43 การจับยึดชิ้นงานรูปวงแหวน

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 51)

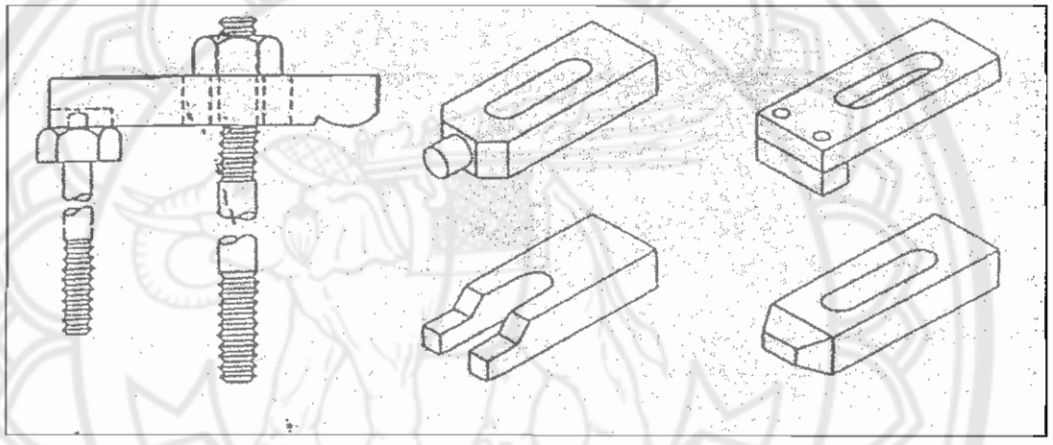
ตามกฎทั่วๆไปแรงที่ใช้ในการยึดจับชิ้นงานควรจะใช้เป็นปริมาณที่เพียงพอแค่ยึดจับชิ้นงานและต้านทานกับตัวยึดตำแหน่งเท่านั้น ตัวกำหนดตำแหน่งควรจะต่อต้านแรงกดลงได้เป็นอย่างดี ถ้าชิ้นงานต้องถูกยึดจับด้วยปริมาณมากๆ แล้วจิ๊กหรือฟิกเจอร์จะต้องได้รับการออกแบบใหม่เพื่อให้แรงกดนั้นกระทำหรือกดลงโดยตรงไปยังตัวกำหนดตำแหน่งหรือตัวของจิกหรือฟิกเจอร์เลยทีเดียวซึ่งนั้นก็คือตัวจับยึดชิ้นงานจะต้องไม่ถูกนำมาพิจารณาให้ใช้ยึดจับชิ้นงานเพื่อรับแรงกดทั้งหมด

2.5.3 ชนิดของตัวยึดจับชิ้นงาน

วิธีกรณียึดจับชิ้นงานทั้งในจิ๊กหรือฟิกเจอร์อยู่หลายวิธีการด้วยกันนักออกแบบเครื่องมือจะเลือกตัวยึดจับชิ้นงานชนิดนั้นก็จะต้องพิจารณาดูจากรูปร่างและขนาดของชิ้นงานชนิดของตัวจิ๊กและฟิกเจอร์ที่นำมากใช้งานและต้องดูว่างานที่จะทำนั้นจะทำอย่างไงนักออกแบบจิ๊กหรือฟิกเจอร์จะต้องตัวยึดจับชิ้นงานที่มีลักษณะธรรมดาที่สุดใช้งานได้ง่ายที่สุดและมีประสิทธิที่สุดด้วย ต่อไปนี้เป็นตัวยึดจับชิ้นงานแบบต่าง ๆ

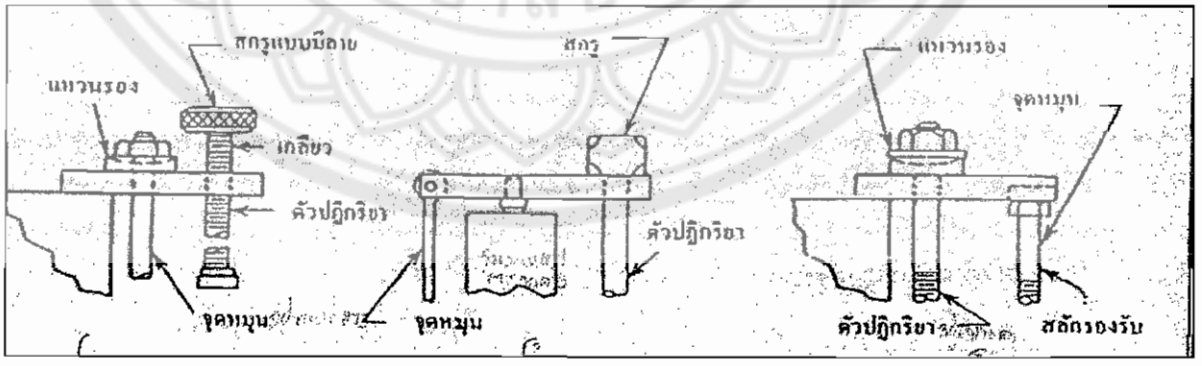
1) ตัวยึดแบบแผ่น

เป็นตัวยึดจับชิ้นงานแบบที่ธรรมดาที่สุดที่ใช้จิ๊กและฟิกเจอร์ ดังแสดงในรูป 2.44 สำหรับการทำงานเบื้องต้นของตัวยึดจับชิ้นงานแบบนี้ก็เป็นแบบเดียวที่ระบบคานงัดนั่นเอง ตัวยึดจับแบบนี้สามารถแบ่งออกได้ตามชนิดของการทำงานของคานงัดออกเป็น 3 กลุ่ม ดังแสดงในรูป 2.45 แสดงตัวยึดจับชิ้นงานกลุ่มแรกที่การทำงานจะมีจุดหมุน (Fulcrm) อยู่ระหว่างชิ้นงานที่ทำปฏิกิริยา (Effort) สำหรับกลุ่มที่ 2 **รูปที่** 2.44 **จะมีการทำงานของตัวยึดจับชิ้นงานโดยที่ชิ้นงานจะอยู่ระหว่าง** จุดหมุน กับจุดปฏิกิริยา และกลุ่ม 3 ดังแสดงในรูปที่ 2.45 จะมีการทำงานโดยจุดปฏิกิริยาอยู่กลางชิ้นงานกับจุดหมุน



รูปที่ 2.44 การจับยึดชิ้นงานแบบแผ่น

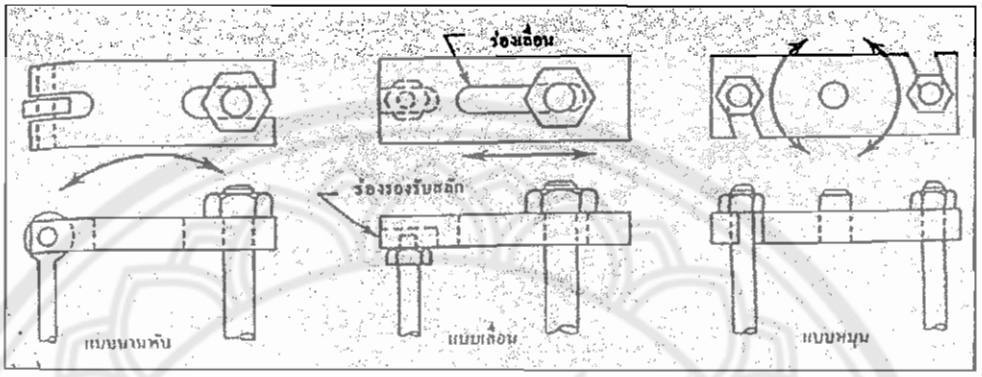
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 52)



รูปที่ 2.45 การทำงานของการยึดชิ้นงานระบบคานงัด

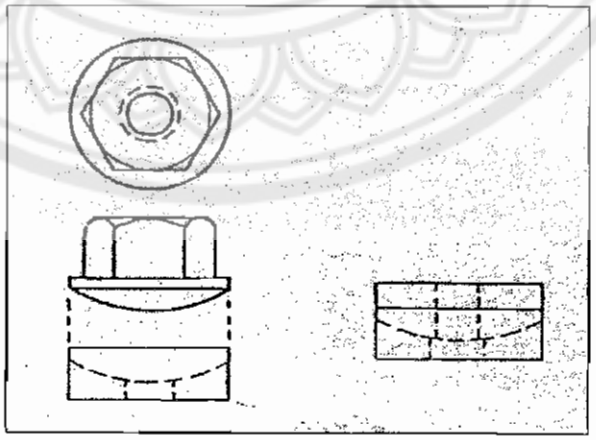
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 52)

ตัวยึดจับแบบแผ่นนี้จะถูกใช้งานเป็นส่วนมากในทุกๆพื้นที่ของจิ๊กและฟิกเจอร์ ยังมีแบบอื่นๆ ของตัวยึดแบบแผ่นอีกคือ แบบบานพับแบบเลื่อน และแบบหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2.46



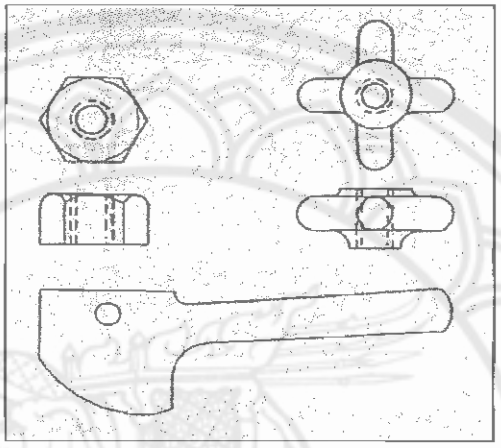
รูปที่ 2.46 ชนิดต่าง ๆของตัวยึดชิ้นงานแบบแผ่น
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 53)

ในการทำงานของตัวยึดแบบแผ่น จุดหมุน(Fulcrm)จะถูกกำหนดตำแหน่งไว้โดยใช้แผ่นประกบ(Clamp Bar) จะต้องขนานกับฐานของจิ๊กหรือฟิกเจอร์ตลอดเวลา แต่ในบางครั้งชิ้นงานอาจจะมีความหนาแตกต่างกันบ้างซึ่งก็ไม่เสมอไปนัก แต่ก็อาจเป็นไปได้เพื่อที่จะแก้ไขผลของการที่ชิ้นงานมีความแตกต่างกันเล็กน้อยนี้ ซึ่งจะทำให้แผ่นประกบไม่ขนานกับฐานของจิ๊กและฟิกเจอร์และจะเกิดแรงเครียด(Stresses) ขึ้นที่เกลียวที่ยึดได้ดังนั้นในกรณีนี้เราจึงใช้แหวนและน็อตที่มีรูปทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.47 เพื่อที่จะลดแรงเครียดที่เกิดขึ้นมาดังกล่าว



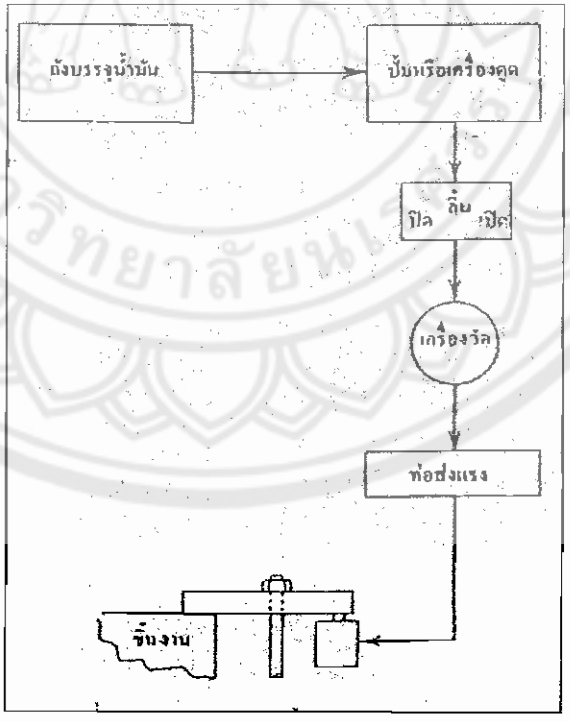
รูปที่ 2.47 แป้นเกลียวแบบกลมและแหวนรอง
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 53)

ตัวยึดแบบแผ่นสามารถที่จะถูกนำมาใช้งานแรงคนหรือใช้สิ่งประดิษฐ์อย่างอื่นช่วย สำหรับสิ่งที่ต้องใช้แรงคนช่วยได้แก่ น็อตหกเหลี่ยม(Hex Nuts) ลูกบิด(Hand Knob) และลูกเบี้ยว (Cam) ดังแสดงในรูปที่ 2.48 ส่วนรูปที่ 2.49 เป็นแบบที่ใช้ส่งกำลังโดยไฮดรอลิค(Hydraulic) หรือ ระบบอัดลม (Pneumatic System)



รูปที่ 2.48 ตัวส่งกำลังแบบใช้แรงกล

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 54)



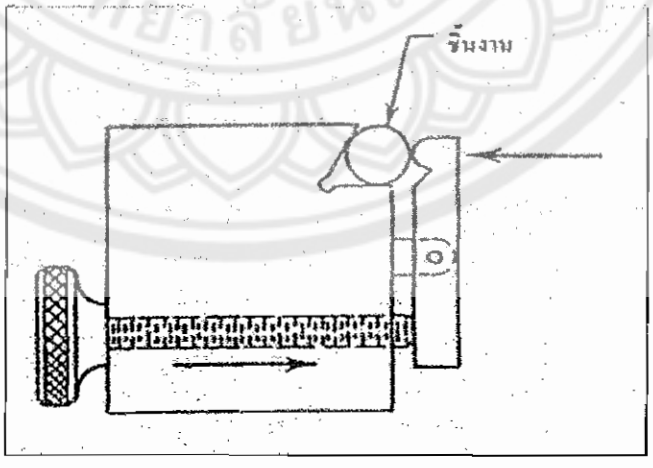
รูปที่ 2.49 ระบบการจับยึดชิ้นงานโดยใช้ไฮดรอลิคหรือลมอัด

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 49)

กำลัง (Power) ในการยึดจับชิ้นงานของตัวยึดแบบแผ่นจะถูกพิจารณาจากขนาดของเกลียวที่ใช้ยึดแบบแผ่น จะแสดงค่าของแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการยึดแบบแผ่น เมื่อใช้สกรูขนานต่างๆ กันและในนี้จะเป็นสกรูที่นิยมใช้กันมากที่สุด 6 ขนาด ทั้งในระบบอังกฤษและระบบเมตริก และค่าที่แสดงนี้มีพื้นฐานมากจากสลักเกลียว (Bolts) มาตรฐานมีค่าความความแข็งแรงทางดึงต่ำสด 50,000 psi. (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) สำหรับสลักเกลียวที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่ว ๆไปจะมีค่าความความแข็งแรงทางดึงต่ำสุดอยู่ระหว่าง 75,000 ถึง 100,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2) **ตัวยึดจับแบบใช้สกรู**

เป็นตัวยึดจับชิ้นงานซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง สำหรับใช้จิ๊กและฟิกเจอร์ซึ่งใช้กับจิ๊กและฟิกเจอร์ซึ่งตัวยึดจับแบบใช้สกรู (Screw Clamps) จะทำให้นักออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากโดยลดความยุ่งยากในการออกแบบ , ค่าใช้จ่ายและใช้ได้หลาย ๆ กรณี แต่ตัวยึดแบบใช้สกรูนี้ก็มีข้อเสียอยู่อย่างหนึ่งก็คือ ในการใช้งานด้วยตัวยึดแบบใช้สกรูจะทำงานได้ช้ากว่าตัวยึดจับแบบอื่น ๆ สำหรับพื้นฐานของตัวยึดจับแบบนี้จะใช้แรงจากเกลียวในการยึดจับชิ้นงานให้อยู่ตามตำแหน่งของมันซึ่งอาจจะกระทำโดยตรงหรือกระทำคู่กับตัวยึดจับชิ้นงานแบบอื่นดังแสดงในรูปที่ 2.50 ตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้สกรูนี้มีอยู่หลายแบบด้วยกันและได้มีการผลิตออกมาอยู่ในขายในท้องตลาดโดยได้มีการปรับปรุงการทำงานให้มีผลดีมากที่สุดและลดข้อเสียต่าง ๆ ลงไป สำหรับต่อไปนี้จะกล่าวถึงตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้สกรูที่มีขายอยู่ในท้องตลาดและได้ปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน

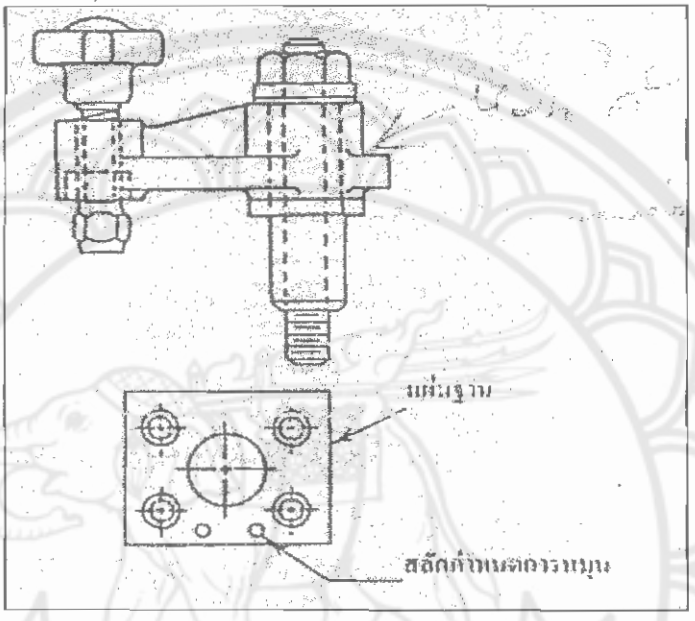


รูปที่ 2.50 การใช้เกลียวจับยึดชิ้นงานทางอ้อม

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 55)

3) ตัวยึดจับแบบสวิง

เป็นตัวยึดจับชิ้นงานแบบที่ใช้การทำงานร่วมกันระหว่างตัวยึดจับชิ้นงานแบบสกรูกับแขนสำหรับหมุน (Swinging arm) ซึ่งหมุนอยู่บนเดือย (Stud) โดยที่แรงยึดชิ้นงานนี้จะกระทำโดยใช้สกรูและมีการกระทำในที่ต่าง ๆที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วก็ได้การใช้แขนสำหรับหมุน ดังรูปที่ 2.51

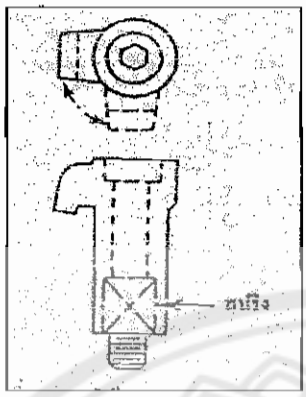


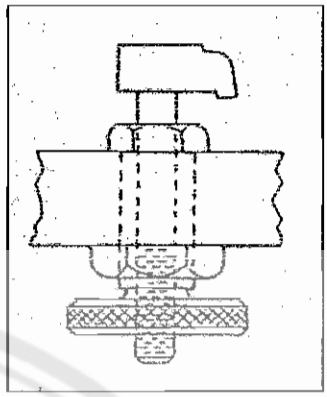
รูปที่ 2.51 **ตัวยึดจับแบบสวิง**

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 56)

4) **ตัวยึดจับแบบตะขอ**

ตัวยึดจับแบบตะขอสำหรับยึดจับชิ้นงานแบบตะขอนี้จะมีลักษณะคล้าย ๆ แบบสวิงแต่ว่าจะเล็กกว่ามาก ดังรูปที่ 2.52 สำหรับตัวยึดจับชิ้นงานแบบตะขอนี้จะมีประโยชน์สำหรับการยึดจับชิ้นงานในที่ที่ต้องการใช้ตัวยึดจับชิ้นงานเล็กหลาย ๆ อัน แทนการใช้อันใหญ่เพียงอันเดียว และสำหรับรูปที่ 2.53 คือตัวยึดจับชิ้นงานแบบตะขอที่ถูกดัดแปลงแล้ว (Modified Clamp) ซึ่งจะถูกใช้งานสำหรับยึดจับชิ้นงานที่จะถูกกระทำจากด้านที่อยู่ตรงข้ามกับจิ๊กและฟิกเจอร์นั้น



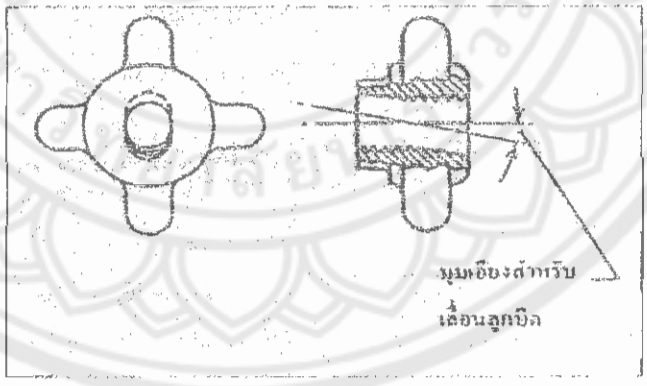


รูปที่ 2.52 ตัวยึดจับแบบตะขอ **รูปที่** 2.53 ตัวยึดจับแบบตะขอแบบพิเศษ

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 56)

5) **ตัวยึดจับแบบใช้ลูกบิดเร็วพิเศษ**

จะมีประโยชน์มากในการใช้งานทำได้รวดเร็วเป็นการลดใช้จ่ายลง ลูกแบบนี้จะถูกทำขึ้นมาโดยทำให้เมื่อแรงดันหรือแรงกดที่กระทำต่อลูกบิดลดลงแล้วก็สามารถที่จะเอียงลูกบิดและเลื่อนลูกบิดออกมาจากสลักเกลียวได้เลย ดังแสดงในรูปที่รูป 2.54 ลูกบิดลดลงเร็วพิเศษนี้จะถูกเอียงและเลื่อนเข้าไปตามสลักเกลียวจนกระทั่งไปสัมผัสกับชิ้นงานจากนั้นก็หมุนลูกบิดให้เข้ากับเกลียวของสลักเกลียวจนกระทั่งลูกบิดหมุนติดแน่นอยู่กับชิ้นงาน

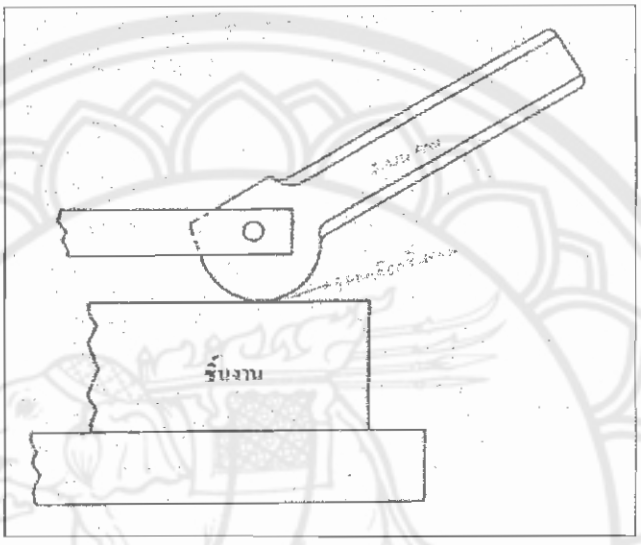


รูปที่ 2.54 ตัวยึดจับแบบใช้ลูกบิดเร็วพิเศษ

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 57)

6) ตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้ลูกเบี้ยว

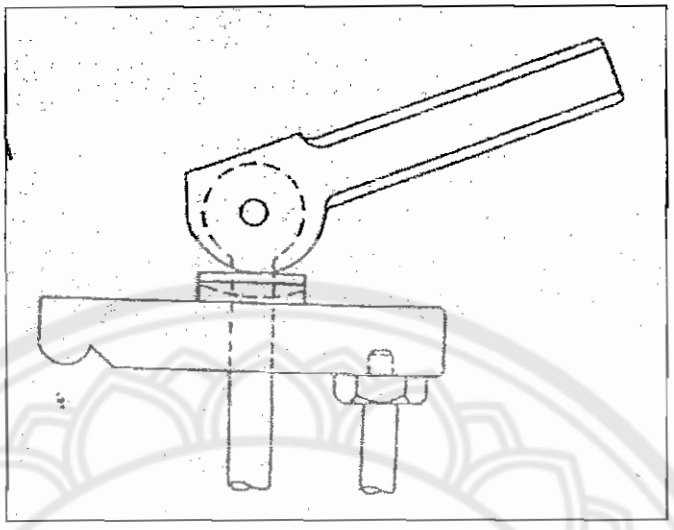
ตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้ลูกเบี้ยวนี้จะถูกนำมาใช้งานในกรณีที่ต้องการความรวดเร็วมีประสิทธิภาพและยึดจับงานแบบธรรมดา ๆ ในรูปที่ 2.55 จะแสดงโครงสร้างและหลักการทำงานของลูกเบี้ยวที่ยึดจับชิ้นงานและการใช้งานของลูกเบี้ยวนี้จะถูกให้ใช้กับงานบางอย่างเท่านั้น



รูปที่ 2.55 การทำงานของลูกเบี้ยวแบบส่งแรงโดยตรง
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 57)

ตัวยึดจับงานแบบลูกเบี้ยวซึ่งส่งแรงกดโดยตรงไปยังชิ้นงานเลยนั้นจะไม่ถูกนำไปใช้กับงานที่มีการสั่นสะเทือนอย่างมากเพราะว่าการสั่นสะเทือนอย่างแรงนี้อาจทำให้ตัวจับชิ้นงานเลื่อนหลุดไปได้ซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากนอกจากนี้ต้องระมัดระวังเวลาที่จะใช้ตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้ลูกเบี้ยวที่กดลงโดยตรงกับชิ้นงาน เนื่องจากอาจจะทำให้ชิ้นงานเลื่อนหรือเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องป้องกันเหตุการณ์อย่างนี้โดยทำให้ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่รองรับด้วยตัวกำหนดตำแหน่งในขณะที่กำลังยึดจับชิ้นงาน

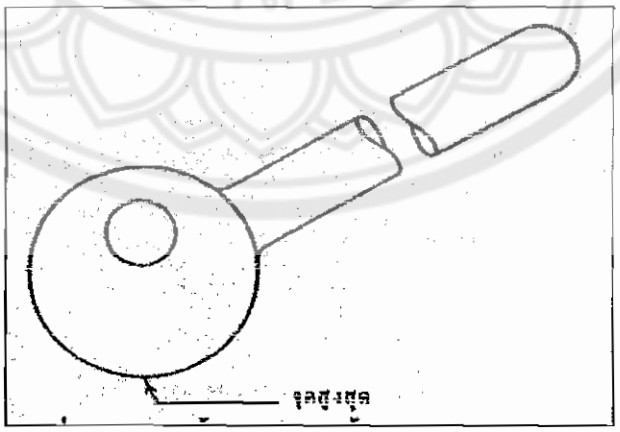
ตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้ลูกเบี้ยวที่ถูกทำขายตามท้องตลาดนี้ส่วนมากจะใช้งานคู่กับตัวยึดแบบแผ่นดังแสดงในรูปที่ 2.56 ซึ่งในการยึดจับแบบลูกเบี้ยว(Cam Clamp) ร่วมกับตัวยึดชิ้นงานแบบแผ่นเรียบ (Strap Clamp) นี้จะทำให้เกิดผลดีในการยึดจับชิ้นงานคือจะช่วยลดการเลื่อนหรือเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมของชิ้นงานในขณะที่ทำการยึดจับชิ้นงานสำหรับการทำงานลูกเบี้ยวในการยึดจับชิ้นงานของจิ๊กและฟิกเจอร์จะมีการใช้ลูกเบี้ยวอยู่ 3 แบบด้วยกันคือ แบบแผ่นเยื้องศูนย์ แบบแผ่นสไปรัล และแบบทรงกระบอก ดังมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.56 การทำงานของลูกเบี้ยวแบบส่งแรงโดยอ้อม
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 58)

6.1 ลูกเบี้ยวแบบแผ่นเยื้องศูนย์

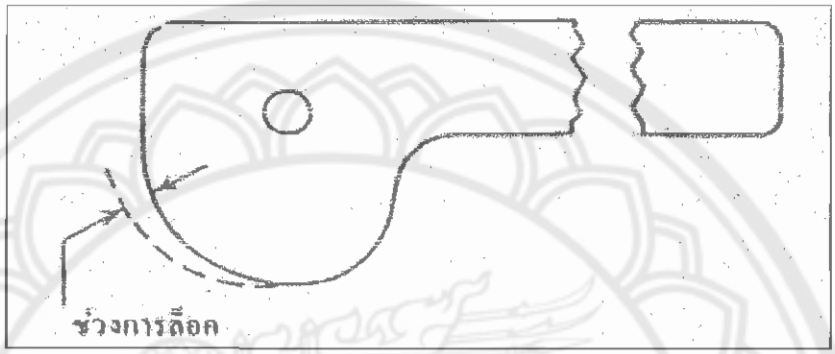
เป็นลูกเบี้ยวที่ทำได้ง่ายที่สุด และสามารถที่จะทำงานได้หลายทิศทางจากศูนย์กลางของลูกเบี้ยวเองการทำงานของลูกเบี้ยวแบบนี้ก็คือลูกเบี้ยวจะทำการล็อคหรือทำการยึดชิ้นงานให้แน่นเมื่อลูกเบี้ยวเคลื่อนที่มาอยู่ตรงตำแหน่งสูงสุดวัดจากตำแหน่งศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.57 อย่างไรก็ตามการใช้งานของลูกเบี้ยวแบบเยื้องศูนย์นี้ก็มีข้อจำกัดก็คือ จะทำการจับยึดชิ้นงานให้แน่นเต็มที่นั้นมีช่วงการยึดแน่นน้อยมากถ้าลูกเบี้ยวไม่เคลื่อนที่ถึงจุดสูงสุดแล้วก็อาจจะเลื่อนหลุดได้ ซึ่งจากเหตุผลนี้ทำให้ลูกเบี้ยวแบบเยื้องศูนย์นี้ยึดจับชิ้นงานได้ไม่ดีเท่าลูกเบี้ยวแบบสไปรัส



รูปที่ 2.57 ลูกเบี้ยวแบบแผ่นเยื้องศูนย์
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 59)

6.2 ลูกเบี้ยวแบบแผ่นสไปรัส

เป็นลูกเบี้ยวแบบที่นิยมใช้กันมากสุดในจิ๊กและฟิกเจอร์ ซึ่งในท้องตลาดมีการทำลูกเบี้ยวแบบสไปรัสออกมาขายมากกว่าแบบเยื้องศูนย์เยื้องจากแบบสไปรัสนี้ตะมีคุณสมบัติยึดจับชิ้นงานได้ดีกว่า และมีพื้นที่หรือช่วงในการจับยึดมากกว่านี้เองดังแสดงในรูปที่ 2.58

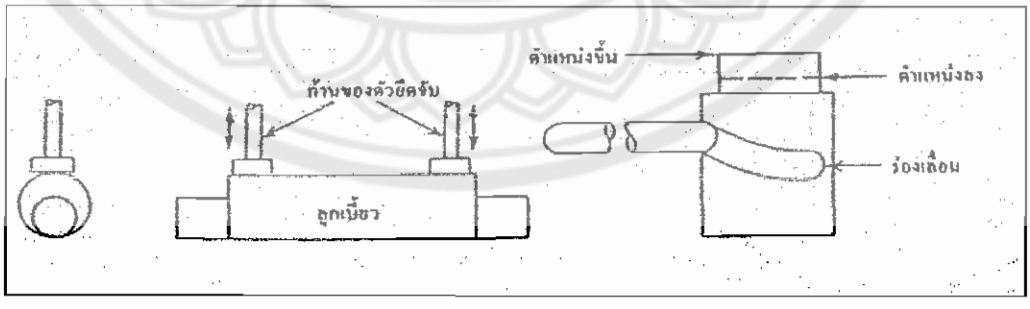


รูปที่ 2.58 ลูกเบี้ยวแบบแผ่นสไปรัส

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 59)

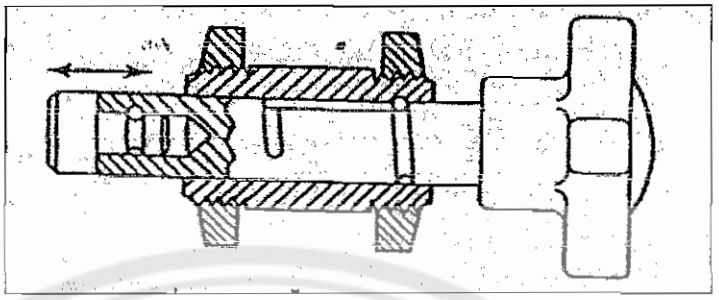
3. **ลูกเบี้ยวแบบทรงกระบอก**

เป็นลูกเบี้ยวที่นิยมใช้ในจิ๊กและฟิกเจอร์เช่นกันของการทำงานของลูกเบี้ยวแบบทรงกระบอกนี้ดังในรูปที่ 2.59 ส่วนรูปที่ 2.60 เป็นลูกเบี้ยวแบบเร็วพิเศษที่ทำขายในท้องตลาดซึ่งใช้หลักการทำงานของลูกเบี้ยวแบบทรงกระบอกกับวิธีการทำงานให้รวดเร็วในการยึดจับและคลายชิ้นงานหลักซึ่งเป็นที่นิยมกันทั่วไป



รูปที่ 2.59 ลูกเบี้ยวแบบทรงกระบอก

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 59)



รูปที่ 2.60 ลูกเบี้ยวแบบทำงานเร็วพิเศษ

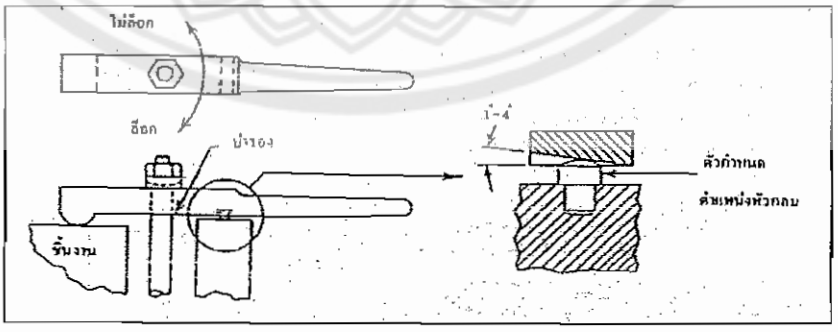
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 60)

7) **ตัวยึดจับชิ้นงานแบบลิ่ม**

การใช้ยึดจับชิ้นงานแบบลิ่มเป็นการนำหลักการจากการใช้ผิวเอียงยึดชิ้นงานให้แน่นคลาย ๆ กับการใช้ลูกเบี้ยว สำหรับตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้ลิ่มที่พบอยู่ทั่ว ๆ ไป นี้จะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบลิ่มแผ่นเรียบ (Flat Wedge)และแบบรูปกรวย (Conical Wedge)

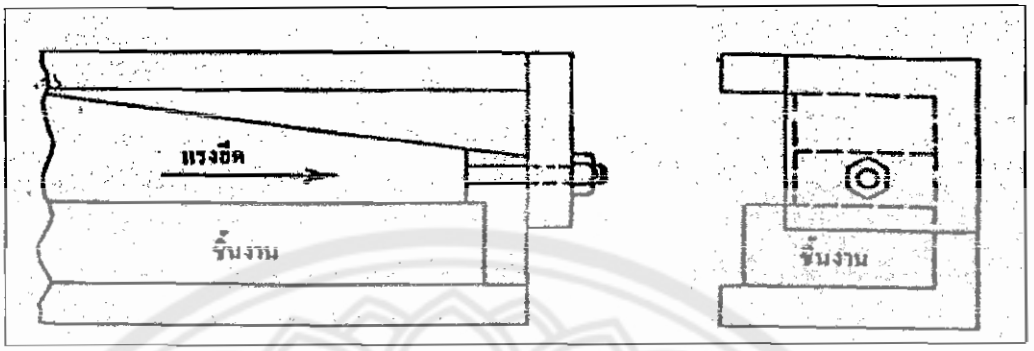
7.1 **ลิ่มแบบแผ่นเรียบ**

ลิ่มแบบแผ่นเรียบนี้จะยึดชิ้นงานให้ติดแน่นโดยการใช้การกระทำที่เกี่ยวพันระหว่างลิ่มกับส่วนหนึ่งของจิ๊กหรือฟิกเจอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.61 ลิ่มที่ใช้จะมีมุมเอียงเพียงเล็กน้อยประมาณ 1-4 องศา ปกติแล้วลิ่มแบบจะทำการยึดจับชิ้นงานได้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องสร้างอะไรเพิ่มเติม แต่สำหรับลิ่มที่มีมุมขนาดใหญ่หรือที่ยึดชิ้นงานไม่ได้ด้วยตัวเองจะถูกนำมาใช้งานเมื่อมีการเคลื่อนที่ในระยะทางที่มากกว่าดังแสดงในรูปที่ 2.62 และเนื่องจากลิ่มแบบนี้ไม่สามารถยึดชิ้นงานด้วยตัวของมันเองได้ดังนั้นต้องใช้ลูกเบี้ยวหรือสกรูช่วยยึดด้วย



รูปที่ 2.61 ลิ่มแบบยึดด้วยตัวเอง

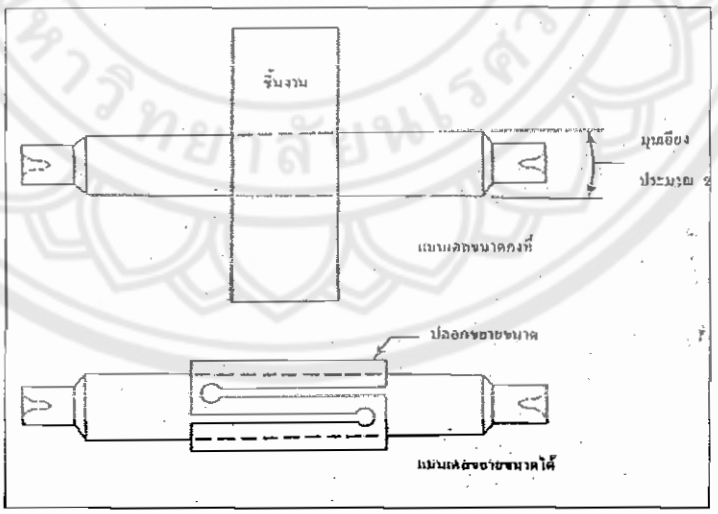
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 60)



รูปที่ 2.62 ลิ่มแบบใช้สกรูยึด
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 61)

2. ลิ่มรูปกรวย

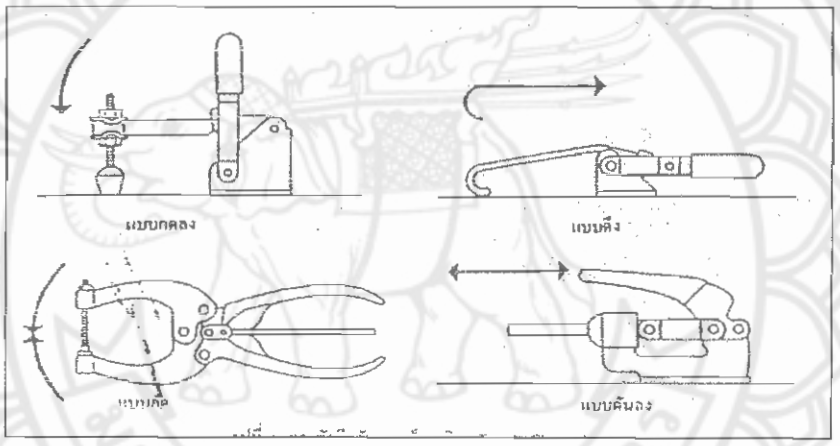
ลิ่มรูปกรวยหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แมนเดล (Mandrel) ลิ่มแบบรูปกรวยนี้จะถูกนำมาใช้กับชิ้นงานที่มีรูเพื่อที่อัดหรือใส่แมนเดลเข้าไปในรูปนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.63 แมนเดลนี้จะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบที่ขยายขนาดได้และแบบที่มีขนาดแน่นอน สำหรับแมนเดลที่มีขนาดแน่นอนนั้นจะใช้ได้กับชิ้นงานเพียงขนาดเดียวเท่านั้น ส่วนแมนเดลที่ขยายขนาดได้นั้นจะใช้ได้กับชิ้นงานที่มีขนาดอยู่ในที่กำหนดช่วงหนึ่งๆที่มีความฟิตเดียวกัน



รูปที่ 2.63 ลิ่มแบบรูปกรวย
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 61)

8) ตัวยึดจับชิ้นงานแบบท็อกเกิล

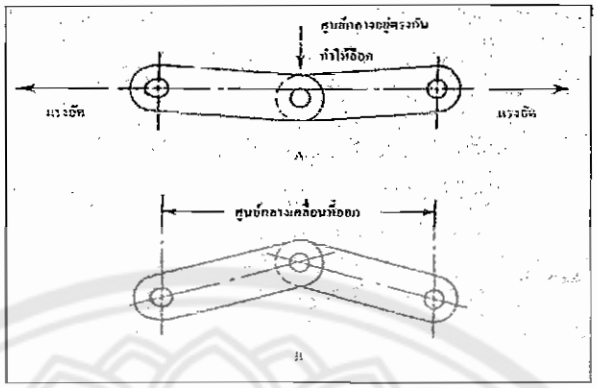
ตัวยึดจับชิ้นงานแบบท็อกเกิลที่ใช้กันอยู่เสมอนี้จะมีการทำงานเพื่อยึดจับชิ้นงานอยู่ 4 แบบ คือ Hold Down (แบบกดลง) ,Squeeze (แบบอัดกลาง), Pull (แบบดึงกลับ) Straight Line (แบบดันไปข้างหน้า) ดังที่แสดงตามรูปที่ 2.64 สำหรับตัวยึดจับชิ้นงานแบบท็อกเกิลนี้มีการเคลื่อนไหวทำงานที่รวดเร็วมาก สามารถที่จะยึดชิ้นงานและคลายชิ้นงานออกได้รวดเร็วจึงทำให้การสับเปลี่ยนชิ้นงานทำได้รวดเร็วมาก และข้อดีอีกอย่างหนึ่งของตัวยึดจับชิ้นงานแบบท็อกเกิลก็คือ มีอัตราส่วนระหว่างแรงที่ได้จากการยึดจับชิ้นงาน (Holding Force)ต่อแรงที่ใช้ไป (Application Force) จะมีค่าสูงมาก



รูปที่ 2.64 ตัวยึดจับชิ้นงานแบบท็อกเกิล

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 62)

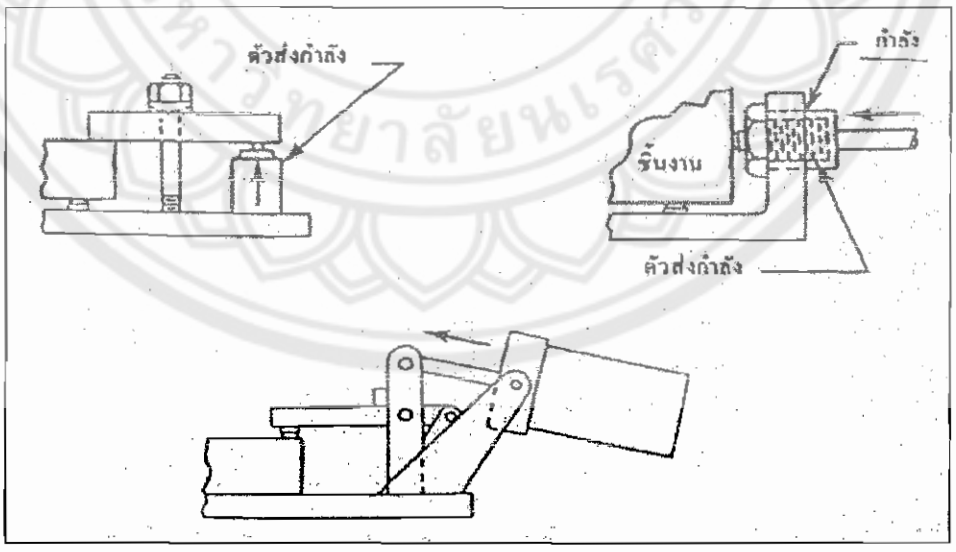
การทำงานของตัวยึดจับชิ้นงานแบบท็อกเกิลนี้จะใช้ระบบของคันโยกและจุดหมุนบนเดือย 3 จุด คือเมื่อตัวจับยึดชิ้นงานกำลังทำงานอยู่หรือกำลังล็อคชิ้นงาน เดือยทั้ง 3 อันนั้นจะอยู่ในตำแหน่งเส้นตรงเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.65 A และเมื่อทำการถอนออกหรือคลายล็อคเดือยและคันโยกก็จะอยู่ในตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.65 B



รูปที่ 2.65 การทำงานของทอกเกิล
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 62)

9) **ตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้กำลัง**

ตัวยึดจับชิ้นงานแบบนี้จะถูกดัดแปลงมาจากตัวยึดจับชิ้นงานแบบที่ใช้การทำงานจากแรงลม โดยเปลี่ยนมาใช้การทำงานด้วยกำลังอย่างอื่นแทน เช่น ใช้ไฮโดรลิค (Hydraulic Power) กำลังลม (Pneumatic Power) หรือตัวเพิ่มกำลังโดยใช้อากาศและไฮโดรลิค (Air to Hydraulic Booster) ระบบที่ใช้เหล่านี้จะถูกพิจารณาโดยชนิดของกำลังที่สามารถให้ประโยชน์ได้ดี สำหรับระบบที่ใช้ตัวเพิ่มกำลังโดยใช้อากาศและไฮโดรลิคจะถูกนำมาใช้งานมากที่สุด แบบต่างๆของตัวยึดจับชิ้นงานโดยใช้กำลังจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.66

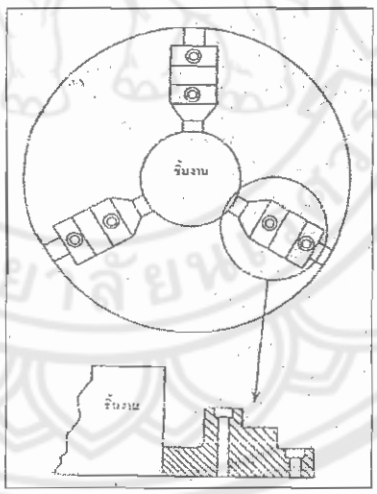


รูปที่ 2.66 ตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้กำลัง
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 63)

สำหรับการใช้ตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้กำลังนี้จะมีข้อดีก็คือ ทำให้สามารถควบคุมแรงที่ใช้ในการยึดจับชิ้นงานได้ดีและจะมีการสึกหรอของชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ของตัวยึดจับชิ้นงานน้อยมาก และในการทำงานเป็น (Cycles) จะทำได้อย่างรวดเร็ว ส่วนข้อเสียก็คือราคาจะสูงมาก แต่ก็คุ้มค่ากับการใช้เพราะจะมีคนผลิตเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งประสิทธิภาพก็สูงขึ้นด้วย

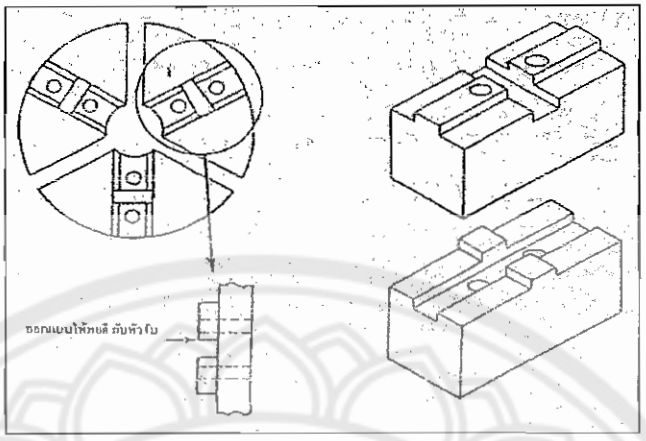
10) หัวจับงานและปากกา (Chucks and Vised)

สำหรับหัวจับงานและปากกาที่ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อจำหน่ายทั่วๆไปนั้นจะถูกผลิตขึ้นมาให้สามารถใช้ได้กับจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์หลายๆชนิด หรือหลายๆขนาด ทั้งนี้เพื่อให้เป็นการลดค่าใช้จ่ายลงไป นักออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์จึงได้ดัดแปลงให้ปาก (Jaws) ของหัวจับให้ใช้ได้กับงานหลายๆชนิด หลายๆขนาด โดยให้เลื่อนเข้าออกเพื่อจับชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 2.67 ส่วนรูปที่ 2.68 เป็นปากกาของหัวจับแผ่นกลมที่ถูกดัดแปลงอย่างง่ายๆเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน สำหรับตัวยึดจับชิ้นงานแบบต่างๆ และสำหรับรูปที่ 2.69 เป็นปากกาที่ถูกปรับปรุงดัดแปลงให้สามารถยึดจับชิ้นงานที่มีรูปร่างต่างๆตามที่ต้องการ การใช้หัวจับงานและปากกาที่เป็นมาตรฐานสำหรับเครื่องมือพิเศษต่างๆจะช่วยให้นักออกแบบจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในขณะที่ประสิทธิภาพของงานก็จะเพิ่มสูงขึ้น

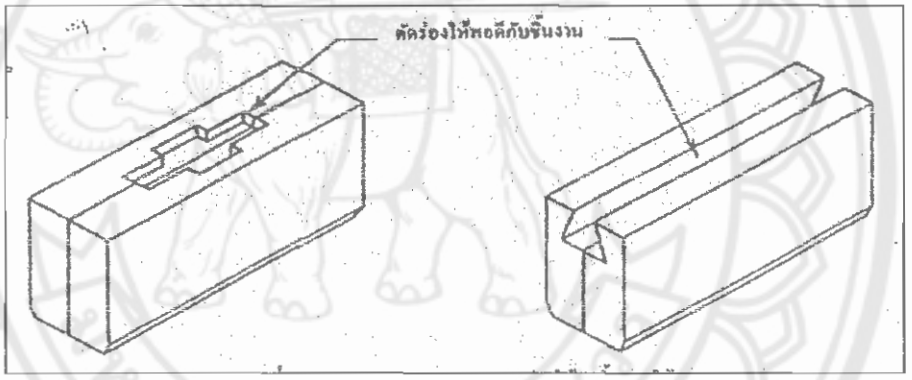


รูปที่ 2.67 ปากกาจับงานแบบพิเศษ

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 64)



รูปที่ 2.68 ปากกาจับงานแบบที่เป็นวงกลม
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 64)



รูปที่ 2.69 ปากกาจับงานแบบปรับปรุงให้จับชิ้นงานได้
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 65)

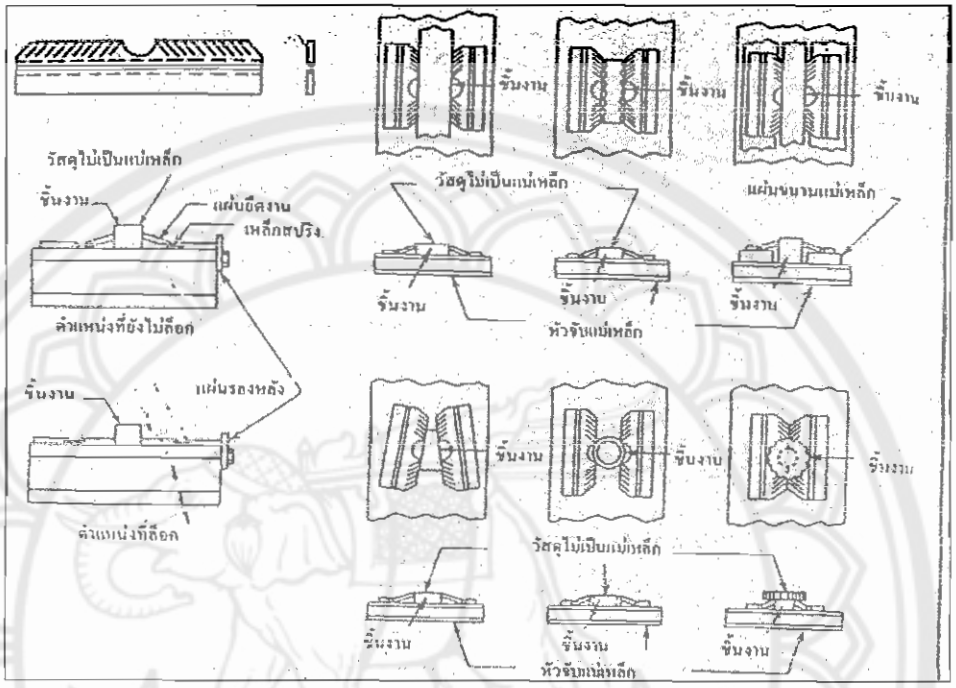
11) **การยึดจับชิ้นงานแบบไม่ใช่ทางกล**

การยึดจับชิ้นงานแบบนี้จะถูกนำมาใช้เมื่อชิ้นงานไม่สามารถที่จะถูกยึดจับโดยวิธีทางกลตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะขนาด รูปร่าง หรือการบิดตัวของชิ้นงาน สำหรับขนิดใหญ่ๆของการยึดจับชิ้นงานแบบไม่ใช่คุณสมบัติทางกลที่ใช้กันอยู่ในงานอุตสาหกรรมจะมีอยู่ 2 อย่างคือ แบบที่ใช้แม่เหล็ก (Magnetic) และสูญญากาศ (Vacuum) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

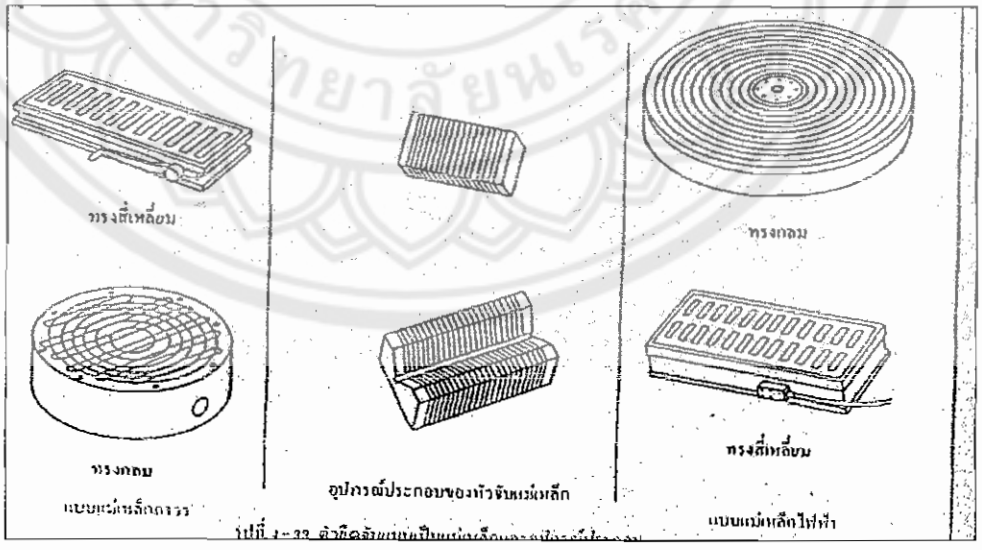
11.1 หัวจับแบบแม่เหล็ก

สำหรับการยึดจับชิ้นงานโดยใช้แม่เหล็กนี้จะถูกจำกัดว่าจะต้องใช้กับชิ้นงานที่เป็นเหล็กเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามด้วยสิ่งประดิษฐ์ทางกล ดังแสดงในรูปที่ 2.70 จะเห็นว่าวัสดุเกือบทุกชนิด

สามารถที่จะถูกยึดจับโดยการใช้แม่เหล็กได้เช่นกัน และสำหรับรูปที่ 2.71 แสดงหัวจับแบบแม่เหล็กและอุปกรณ์ที่ใช้ด้วยกันหลายๆแบบที่นิยมใช้กันทั่วไป



รูปที่ 2.70 การจับชิ้นงานที่ไม่มีอำนาจแม่เหล็ก
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 66)



รูปที่ 2.71 ตัวจับยึดแบบป็นแม่เหล็กและอุปกรณ์ประกอบ
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 66)

11.2 หัวจับแบบสูญญากาศ

การยึดจับชิ้นงานแบบใช้สูญญากาศนี้จะถูกใช้สำหรับงานที่ไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก (แม่เหล็กดูดไม่ติด) หรืองานที่ต้องถูกจับยึดเสมอกัน การทำงานของหัวจับแบบนี้จะคล้ายกันกับการทำงานของหัวจับแบบแม่เหล็ก และหัวจับแบบสูญญากาศนี้สามารถที่จะใช้ได้กับวิธีการทำงาน ของเครื่องจักรเกือบทุกชนิด

2.5.4 **การยึดจับชิ้นงานแบบพิเศษ**

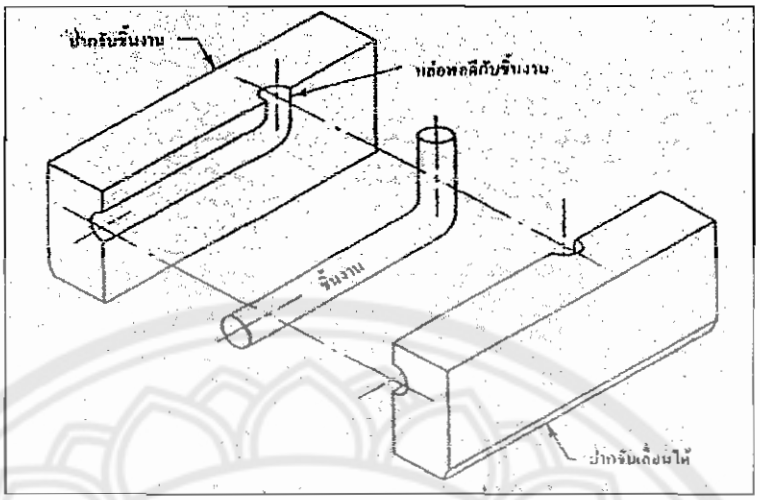
เครื่องมือสำหรับการยึดจับชิ้นงานที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นโดยทั่วๆไปจะยึดจับชิ้นงานโดยที่ชิ้นงานจะมีรูปร่างส่วนสับเหมือนๆกันทุกด้าน (Symmetrical Shapes) หรือชิ้นงานที่ให้ความสะดวกในการยึดจับ แต่ก็มีการทำงานบางอย่างที่นักออกแบบจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์จะต้องพบในระหว่างคิดค้นการจับยึดชิ้นงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือการยึดจับชิ้นงานที่มีรูปร่างแปลกๆและการยึดจับชิ้นงานที่ทำการยึดจับครั้งละหลายๆชิ้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) **การยึดจับชิ้นงานที่มีรูปร่างพิเศษ**

มีอยู่หลายวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการยึดจับชิ้นงานที่มีรูปร่างลักษณะเป็นรูปร่างพิเศษสำหรับวิธีที่ดีที่สุดก็คือการทำตัวยึดจับชิ้นงานและตัวกำหนดตำแหน่งให้มีเหมือนกับรูปร่างของชิ้นงานเลย โดยใช้วิธีหล่อ (Casting) ให้เป็นรูปร่างพิเศษสำหรับชิ้นงานนั้นและสำหรับส่วนผสมที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการใช้หล่อให้เป็นรูปร่างพิเศษก็คือ อีป็อกซี เรซิน (Epoxy Resin) และโลหะผสมหลอมอุณหภูมิต่ำ (Low-Melt Alloy)

1.1 **อีป็อกซี เรซิน**

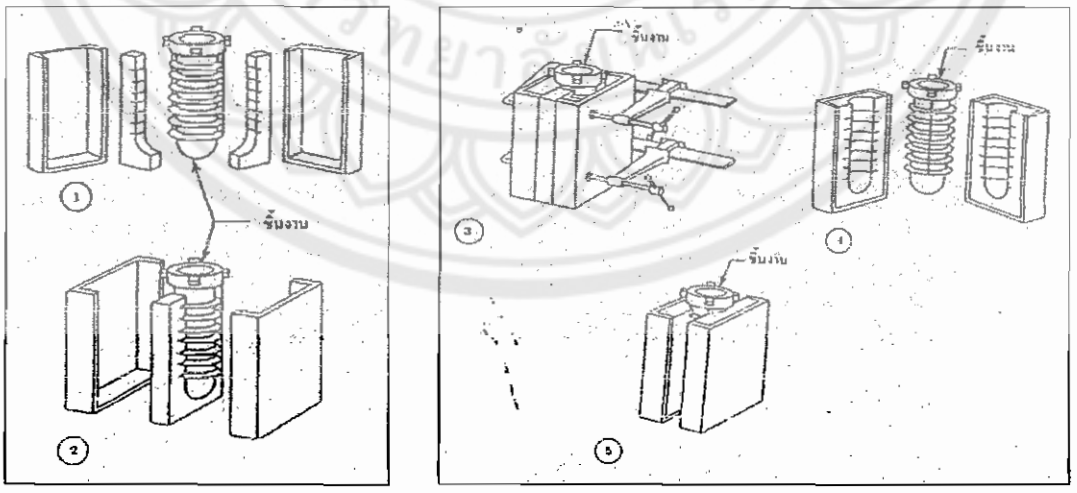
สำหรับอีป็อกซี เรซินนี้จะถูกใช้หล่อเป็นปากกาพิเศษ หรือปากกาของหัวจับ โดยใช้อีป็อกซี เรซินนี้สามารถจะถูกนำมาใช้ได้ทันที หรือจะนำมาผสมกับวัสดุอย่างอื่น เช่น ทรายหรือแก้ว ก็ได้ อีป็อกซี เรซิน นี้สามารถทำให้เป็นรูปร่างได้ง่าย โดยการนำชิ้นงานไว้ในแบบแล้วจึงใส่อีป็อกซี เรซิน ลงไป ดังแสดงในรูปที่ 2.72 และเมื่ออีป็อกซี เรซินแข็งตัวแล้วก็สามารถเอาชิ้นงานออกและนำส่วนที่หลอมไว้ไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.72 ปากกาจับชิ้นงานแบบหล่อที่ใช้อีอีป๊อกซี
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 69)

1.2 โลหะผสมจุดละลายต่ำ

การใช้โลหะหลอมจุดละลายต่ำมีโลหะผสมอยู่หลายอย่างที่นิยมใช้กันเป็นส่วนมาก ได้แก่ตะกั่ว (Lead) ,ดีบุก (Tin) ,บิสมัส (Bismuth) ,และอันติโมนี (Antimony) โดยใช้การหล่อเป็นรูปร่างพิเศษ ดังแสดงในรูปที่ 2.73 โดยวิธีการนี้ชิ้นงานจะถูกวางตั้งไว้บนแผ่นรองรับในแบบที่ทำไว้ และก็เทโลหะผสมที่หลอมละลายเป็นโลหะเหลวลงไปในแบบที่เตรียมไว้โดยเทไปให้รอบๆชิ้นงาน และเมื่อถอดแบบออกแล้วก็สามารถนำส่วนที่หล่อไว้จนแข็งตัวไปใช้งานได้ตามต้องการ

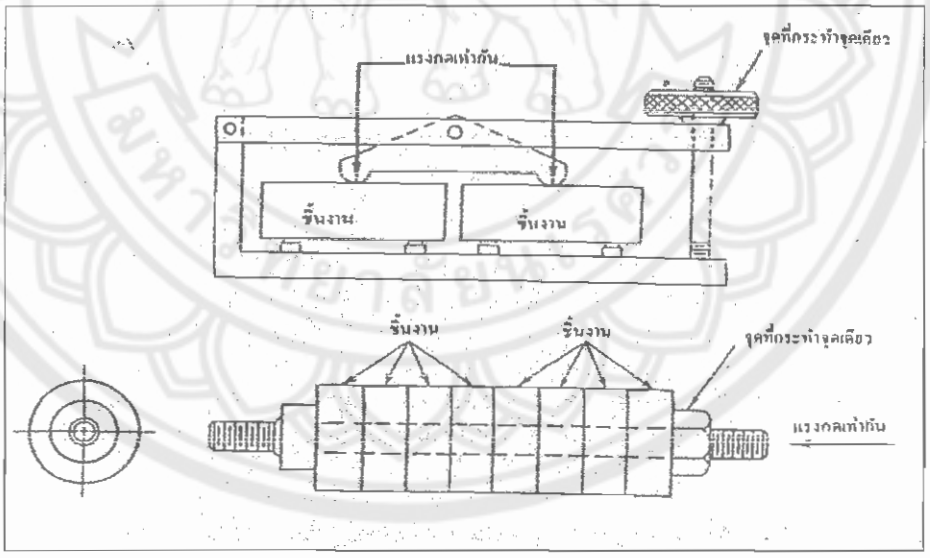


รูปที่ 2.73 การใช้โลหะผสมจุดละลายต่ำ
(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 70)

2) การยึดจับชิ้นงานครั้งละหลาย ๆชิ้น

มีการทำงานหลายอย่างที่มีความจำเป็นจะต้องกระทำกับชิ้นงานขณะเดียวกันมากกว่า 1 ชิ้นขึ้นไป ดังนั้นนักออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์จึงจำเป็นต้องรู้วิธีการออกแบบตัวยึดจับชิ้นงานที่สามารถยึดจับชิ้นงานได้หลายๆชิ้นในครั้งเดียวกัน

ในการออกแบบตัวจับยึดชิ้นงานที่ต้องจับชิ้นงานมากกว่าหนึ่งชิ้นในคราวเดียวกัน จำเป็นต้องอาศัยจินตนาการพอสมควร ก่อนอื่นก็ต้องใช้ความคิดและกฎเบื้องต้นของการยึดจับชิ้นงานเพียงชิ้นเดียว นักออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ก็สามารถที่จะออกแบบตัวยึดจับชิ้นงานที่สามารถยึดจับชิ้นงานในจำนวนใดก็ได้ จุดสำคัญที่นักออกแบบจะต้องจำไว้ก็คือตรงที่ยึดจับชิ้นงานที่กระทำต่อชิ้นงานด้วยแรงที่เท่ากันทุกชิ้น และตัวยึดจับชิ้นงานจะต้องมีการทำงานเพียงหนึ่งครั้งหรือทำการล็อคเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ตัวยึดจับชิ้นงานที่ไม่สามารถกระทำให้มีแรงกระทำต่อชิ้นงานทุกชิ้นเท่าๆกัน แล้วจะทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียหายในระหว่างการทำวาน และจะเป็นอันตรายอย่างมากถ้าชิ้นงานหลุดออกมาจากตัวจับยึดชิ้นงานในระหว่างที่อยู่ในช่วงของการทำงานที่เครื่องจักรกำลังเดินเครื่องอยู่ สำหรับตัวอย่างของตัวจับยึดชิ้นงานแบบนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.74 [2]



รูปที่ 2.74 การยึดจับชิ้นงานครั้งละหลายๆชิ้น

(ที่มา : วชิระ มีทอง,การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์,หน้า 71)

2.6 คุณสมบัติทางโลหะวิทยา

2.6.1 เหล็กเหนียว

เหล็กเหนียว(Wrought iron) ประกอบด้วยเหล็กบริสุทธิ์สแล็ก(Slag) 1%ถึง 3%นอกจากนั้นยังประกอบด้วยคาร์บอน แมงกานีส ซิลิคอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เหล็กเหนียวทำโดยเทสแล็กที่หลอมละลายจากเตาหลอมลงไปในเบ้าที่มีเนื้อเหล็กอยู่แล้วผสมกัน จากนั้นจึงนำมาอัดรีด(Rolling)หรือ(Hammering) ให้เป็นแท่งเพื่อลดสแล็กส่วนเกินออก แท่งเหล็กนี้จะนำไปขึ้นรูปร้อนให้เป็นท่อน ท่อ แผ่น หรือรูปพรรณต่างๆได้ เหล็กเหนียวมาความเหนียวและอ่อนซึ่งตีอัดขึ้นรูปได้และตีอัดให้ติดกัน(Forge welded) ได้นอกจากนั้นยังทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าเหล็กกล้าเนื่องจากจะเกิดออกไซด์ (Oxide) ปกคลุมผิวได้อย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีการกัดกร่อน เหล็กเหนียวที่ผ่านการรีดมีคุณสมบัติทางกลในแนวยาว(แนวที่ผ่านการรีด)ดีกว่าในแนวขวางเหล็กเหนียวจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกถ้าได้ใส่โลหะผสมลงไปในเนื้อเหล็กเหนียวเช่นนิกเกิล 1.5%ถึง 3.5% ความต้านแรงดึงอัลติเมต(Ultimate strength) ของเหล็กเหนียวเพิ่มขึ้นถ้าได้แผ่นการขึ้นรูปเย็นแล้วบ่มอย่างเหมาะสม

ตัวอย่างคุณสมบัติเหล็กเหนียวและเหล็กเหนียวผสมนิกเกิล 3.25% ดูได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเหนียวแล้วเหล็กเหนียวผสมนิกเกิล

คุณสมบัติทางกล, หน่วย	เหล็กเหนียว(คุณสมบัติในแนวยาว)	เหล็กเหนียวผสมนิกเกิล3.25%
แรงดึง,N/mm^2	290-360	380-415
จุดคราก,N/mm^2	180-240	310-345
การยืดตัว(200 mm),%	25-40	25-30
พื้นที่หน้าตัดลดลง,%	40-55	35-45

2.6.2 เหล็กหล่อ

เหล็กหล่อ(Cast iron)ที่ใช้งานทั่วไปมีคาร์บอนผสมอยู่ 2.5%ถึง 4.0%เป็นที่ทราบกันว่ามีคาร์บอนผสมอยู่มากเหล็กจะเปราะและมีความเหนียวน้อยลง เพราะฉะนั้นเหล็กหล่อจึงขึ้นรูปเย็นไม่ได้ แต่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วจะไหลได้ง่ายจึงสามารถจะหล่อเป็นรูปทรงต่างๆได้ดีเมื่อเย็นตัวลง แล้วทำการบ่มจะทำให้สามารถตัดกลึงได้ เหล็กหล่อมีความต้านแรงดึงต่ำกว่าความต้านแรงกด (Compressive strength) จึงเหมาะกับชิ้นงานที่รับแรงกด นอกจากนั้นคุณสมบัติของเหล็กหล่อยังเปลี่ยนแปลงไปได้มากเมื่อผสมโลหะผสมชนิดต่างๆแล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อนต่างกันเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานเหล็กหล่อเดิมแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ เหล็กหล่อสีขาว(White cast

iron) เหล็กหล่อเหนียว(Malleable cast iron) เหล็กหล่อสีเทา(Gray cast iron)และเหล็กหล่อเหนียวพิเศษ(Nodular cast iron) นอกจากนี้ยังมีอีก 2 แบบคือ เหล็กหล่อเย็น(Chilled cast iron) และเหล็กหล่อผสม(Alloy cast iron)

2.6.2.1 **เหล็กหล่อสีขาว** เป็นเหล็กหล่อที่มีเนื้อละเอียดสีขาวเพราะไม่มีแกรไฟต์ คาร์บอนที่มีอยู่ในเนื้อเหล็กทั้งหมดจะรวมกับเหล็กในรูปของซีเมนไตต์(Cementite) ซึ่งมีแรงด้านสูงและแข็งมากแต่เปราะแตกง่ายจึงไม่นิยมนำมาใช้ตัดกลึง

เหล็กหล่อสีขาวมีการใช้งานอยู่ในวงจำกัด แม้ว่าจะมีใช้อยู่บ้างในงานที่ต้องการความทนทานต่อการสึกหรอ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการกด แบบผลักดันโลหะ(Extrusion dies) แล้วผิวของถังผสมซีเมนต์ เป็นต้น

2.6.2.2 **เหล็กหล่อเหนียว** เป็นเหล็กหล่อสีขาวที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้วเมื่อนำเอาเหล็กหล่อสีขาวไปเผาให้มีอุณหภูมิประมาณ 880 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ช่วงเวลาหนึ่งแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ (คล้ายกับการเทมเปอริ่ง) คาร์บอนในเนื้อเหล็กที่อยู่ในรูปของซีเมนไตต์จะค่อยๆแยกตัวออกเมื่อเย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิปกติคาร์บอนที่เหลืออยู่จะจับตัวกันเป็นกลุ่มในรูปเกือบกลม

เหล็กหล่อเหนียวมีคุณสมบัติดีกว่าเหล็กหล่อสีเทา ยกเว้นคุณสมบัติทางด้านการทนต่อการสึกหรอ เหล็กหล่อเหนียวตัดกลึงได้สะดวก หล่อเป็นชิ้นบาง เช่น (12 mm ถึง 50 mm) จึงนิยมให้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมรถยนต์ น้ำมัน การเกษตร และรถไฟโดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ทำห้องเฟื่อง (gear box) จานเบรกในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถไถเป็นต้น

เหล็กหล่อเหนียวเมื่อผสมโลหะผสมลงไปจะทำให้คุณสมบัติทางกลเปลี่ยนแปลง โลหะผสมที่นิยมใช้ได้แก่ ทองแดง หรือทองแดงกับโมลิบดีนัม ทองแดงช่วยให้เหล็กหล่อเหนียวทนต่อการกัดกร่อนได้ดีขึ้น ความต้านแรงดึงและความต้านแรงดึงคราก (Yield strength) ดีขึ้น แต่ความเหนียวจะลดลง

2.6.2.3 **เหล็กหล่อสีเทา** เป็นเหล็กหล่อที่ใช้งานกันมากที่สุดในกระบวนเหล็กหล่อทั้งหมด ดังนั้นจึงมักเรียกเหล็กสีเทาว่า เหล็กหล่อ เหล็กหล่อสีเทามีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 2.5% ถึง 4.0% และมักจะมีซิลิกอนผสมอยู่มากกว่า 2% คาร์บอนจะรวมตัวเป็นสารประกอบกับเหล็กเรียกว่า ซีเมนไตต์ บางส่วนและส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปของคาร์บอนบริสุทธิ์ หรือที่เรียกว่าแกรไฟต์ เป็นแถบยาวๆแทรกอยู่ในเนื้อเหล็กจึงทำให้มองเห็นเนื้อเหล็กเป็นสีเทา ถ้ามีซิลิกอนผสมอยู่มากกว่าจะทำให้ความต้านทานของเหล็กหล่อสีเทาลดลง เหล็กหล่อสีเทาที่แข็งที่สุดและ

แข็งแรงที่สุดจะมีโครงสร้างแบบเพอร์ไลต์ (Perlite) ส่วนที่นิ่มที่สุดจะมีโครงสร้างผสมระหว่างแกรไฟต์กับเฟอร์ไรต์ (Ferrite) และมีคาร์บอนผสมอยู่น้อย ความแข็งแรงและความต้านแรงของเหล็กหล่อสีเทาเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มคาร์บอน

ASTM A48-46 จัดจำพวกเหล็กหล่อสีเทาออกเป็นเจ็ดชั้นคุณภาพ โดยใช้หมายเลข 20,25,30,35,40,50 และ 60 หมายเลขนี้จะบอกถึงความต้านแรงดึงต่ำสุดเป็น ksi (kip per in ,1 kip = 1000 lb) ตัวอย่างเช่น เหล็กหล่อสีเทาชั้นคุณภาพ 20 มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด 20 ksi หรือ 20,000 psi เป็นต้น คุณสมบัติทางกลอย่างอื่นของเหล็กหล่อสีเทาดู

เหล็กหล่อสีเทามักนำมาใช้ทำฐานของเครื่องจักรกล และโครงสร้างที่ต้องการความต้านแรงกดสูง หรือมีการสั่นสะเทือนมาก เช่น เพลาข้อเหวี่ยงของรถยนต์ เนื่องจากหล่อได้ง่ายและทนต่อการสึกหรอได้ดี จึงนิยมใช้ในการผลิตเสื้อสูบ จานเบรก รางแท่นไส เฟือง ห้องเฟือง เป็นต้น

เหล็กหล่อทุกชนิดเชื่อมได้ยาก แต่ก็สามารถเชื่อมได้ถ้ามีการปฏิบัติอย่างเหมาะสม เช่น อุ่นชิ้นงานก่อนเชื่อม เตรียมผิวที่จะเชื่อม เลือกวิธีการเชื่อมและลวดเชื่อม ข้อควรระวังก็คือการให้ความร้อนและการลดความร้อนจากเหล็กหล่อ อาจทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นได้

2.6.2.4 **เหล็กหล่อเหนียวพิเศษ** เป็นเหล็กที่มีแกรไฟต์รูปทรงกลมแทรกอยู่ในเนื้อเหล็ก ซึ่งเกิดจากการผสมแมกนีเซียมหรือซีเรียม(Cerium) ลงในเหล็กหล่อสีเทาขณะหลอมละลายก่อนเทลงในแบบหล่อ ข้อแตกต่างจากเหล็กหล่อเหนียวก็คือ เหล็กหล่อเหนียวพิเศษจะเกิดแกรไฟต์รูปทรงกลมขณะแข็งตัว และไม่ต้องทำเทมเปอริ่ง

เมื่อผสมโลหะผสมบางชนิดลงไปจะทำให้เหล็กหล่อเหนียวพิเศษทนต่อการกัดกร่อนได้ดีและทนต่อการคืบ (Creep)ที่อุณหภูมิสูง

เหล็กหล่อเหนียวพิเศษมีความต้านแรง ความเหนียว ความเหนียวนุ่มสูงกว่า เหล็กหล่อสีเทาและมีรูพรุนน้อยกว่า จึงมักใช้ในการขึ้นรูปเป็นเพลาข้อเหวี่ยง ลูกสูบ ฝาสูบ ลูกกลิ้ง ล้อสายพานแบบขึ้นรูป เป็นต้น

2.6.2.5 **เหล็กหล่อเย็น** เป็นเหล็กหล่อที่มีผิวนอกเป็นเหล็กหล่อสีขาว มีซีเมนไตต์เป็นหลัก ดังนั้นจึงแข็งมาก แต่ผิวในจะมีเนื้อเป็นเหล็กหล่อสีเทา ทำได้โดยใส่แผนโลหะเย็นในแบบหล่อใกล้ผิวแบบ เมื่อเทโลหะที่หลอมเหลวลงไป น้ำโลหะที่สัมผัสกับแท่งโลหะเย็นจะลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วจึงทำให้มีโครงสร้างเป็นซีเมนไตต์ดังกล่าว เหล็กหล่อเย็นตัดกลึงได้โดยการเจียระไน

อย่างเดียวเท่านั้น และมักใช้ในการทำแบบตอก (Punching die) ชิ้นส่วนสำหรับการบด ล้อรถไฟ เป็นต้น

2.6.2.6 เหล็กหล่อผสม เป็นเหล็กหล่อที่ผสมโลหะผสมต่างๆ ทำให้คุณสมบัติทางกลดีขึ้น ทนความร้อนดีขึ้น ทนต่อการกัดกร่อนและสึกหรอดีขึ้น หรืออาจทำให้หล่อได้ง่ายขึ้น และตัดกลึงได้ง่ายขึ้น โลหะผสมทั่วไปที่ใช้ได้แก่ นิกเกิล ทองแดง โครเมียม โมลิบดีนัม และวานาเดียม

2.6.3 **โลหะผสมระหว่างเหล็กกล้า**

โลหะผสมที่เจตนาจะผสมลงไปในโลหะก็เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของโลหะ เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (Plain carbon steel) ซึ่งมีปริมาณแมงกานีส ฟอสฟอรัส และซิลิกอน อยู่น้อย และไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ที่เนื่องมาจากคาร์บอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่โลหะผสมชนิดต่างๆลงไปในเหล็กกล้าคาร์บอนจำนวนมากหรือน้อยตามความต้องการเพื่อให้เกิดผลอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างดังต่อไปนี้คือ

1. เพิ่มความต้านแรง
2. ปรับปรุงคุณสมบัติในการชุบแข็ง
3. ปรับปรุงคุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำหรือสูง
4. เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน
5. ปรับปรุงคุณสมบัติในการตัดกลึง
6. ปรับปรุงคุณสมบัติต้านทานต่อการสึกหรอ
7. เพิ่มความเหนียวนุ่ม

1) **ผลของโลหะผสมที่สำคัญบางชนิดในเหล็กกล้า** มีดังต่อไปนี้

1.1 **โคบอลต์** ทำให้มีความแข็งขณะที่อุณหภูมิสูง โดยทำให้เฟอร์ไรต์แข็งขึ้น

1.2 **โครเมียม** เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนและการเกิดออกไซด์ เพิ่มคุณสมบัติในการชุบแข็ง เพิ่มความต้านทานแรงที่อุณหภูมิสูง ทนต่อการขูดขีดและสึกหรอ (ถ้ามีคาร์บอนสูง)

1.3 **ซิลิกอน** โดยทั่วไปใช้ในการลดออกซิเจนในเนื้อโลหะ ทำให้แผ่นเหล็กมีคุณสมบัติแม่เหล็ก เพื่อใช้งานทางด้านไฟฟ้า (ทำแกนหม้อแปลงไฟฟ้า) เพิ่มความต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ เพิ่มคุณสมบัติการชุบแข็งของเหล็กกล้า

2.6.4 เหล็กกล้า เหล็กกล้าอาจจะแบ่งออกได้เป็น

1) เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ **เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ** (Low carbon steel) **มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง**0.05%-0.30% **เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง** (Medium carbon steel) **มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง** 0.30%-0.50% **และ** เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High carbon steel) มีคาร์บอนผสมอยู่มากกว่า 0.5 % ขึ้นไป

1.1 **เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ** มีใช้งานมากทางด้านผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและในงาน โครงสร้าง เช่น ใช้ทำท่อโครงสร้าง ถัง รถไฟ ตัวถังรถยนต์ สลักเกลียว แป้นเกลียว แผ่นเหล็กชุบสังกะสี ถ้าเหล็กกล้าชนิดนี้มีกัมมะถันผสมอยู่มากเรียกว่าเหล็กกลึงเสรี (Free cutting steel) ซึ่งนิยมใช้อย่างมากในเครื่องทำเกลียวอัตโนมัติ ในอุตสาหกรรมส่วนมากใช้เหล็กกล้าชนิดนี้ทั้งรีดร้อนและรีดเย็น เหล็กกล้าที่ผ่านการรีดเย็นจะมีความต้านแรงดัดกลึงได้ดีและมีขนาดแน่นอน ถ้าต้องการให้ผิวเหล็กทนต่อการสึกหรอก็ทำได้โดยการชุบผิวแข็ง

1.2 **เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง** สามารถนำมาชุบหรือเทมเปอร์ได้โดยกรรมวิธีทางความร้อนโดยทั่วไป ดังนั้นจึงมักใช้งานที่ต้องการความต้านแรง และทนต่อการสึกหรอ ผลิตภัณฑ์จากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางคือ เพลา แกน เพลาข้อเหวี่ยง ก้านสูบ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความต้านแรงสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

1.3 **เหล็กกล้าคาร์บอนสูง** ใช้มากเมื่อผลิตภัณฑ์ต้องมีความแข็งและความต้านแรงสูง พร้อมกันนั้นก็ทนต่อการสึกหรอได้ดีด้วย เหล็กกล้าชนิดนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนก่อนจึงจะมีคุณสมบัติตามต้องการ โดยปกติที่หาซื้อตามท้องตลาดจะอยู่ในสภาพที่ผ่านการแอนนีลมาแล้ว ดังนั้นเมื่อขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วต้องทำกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความแข็งแรงตามต้องการ เหล็กกล้าชนิดนี้ใช้ทำเครื่องมือชนิดต่างๆเช่น ดอกสว่าน อุปกรณ์ตัดเกลียวใน ดอกคว้านรู แบบพิมพ์ และเครื่องมือต่างๆ และมักใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคมเช่น มีด สกัด กรรไกร เป็นต้น นอกจากนั้นยังทำลวดสปริงและลวดสลิงอีกด้วย

การใช้เหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีข้อควรระวังคือ ความแข็งและความต้านแรงจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปใช้ทำเครื่องมือตัดบางชนิดที่ทำงานด้วยอุณหภูมิสูง และถ้านำไปชุบอาจเกิดการบิดเบี้ยวและแตกร้าวได้ ประการสุดท้าย เหล็กกล้าคาร์บอนสูง มีข้อเสียคือเมื่อชุบแข็งจะได้ผิวแข็งที่ตื้น นอกเสียจากเป็นชิ้นงานบาง ดังนั้นจึงหวังผลจากการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ได้ไม่มากนัก

2) เหล็กกล้าผสมต่ำ ความต้านแรงสูง เป็นเหล็กกล้าผสมต่ำความต้านแรงสูงถูกนำไปใช้งานในลักษณะที่ผลิตออกมาโดยตรงเป็นส่วนมาก หรืออาจจะใช้กรรมวิธีความร้อนในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลขึ้นอีกก็ได้ สำหรับการนำไปใช้งานโดยตรงโลหะผสมที่ใส่เข้าไปก็เพื่อทำให้พวกเฟอร์ไรต์แข็งตัวขึ้นแต่คุณสมบัติทางกลยังมิได้แสดงออกมาอย่างเต็มที่ เมื่อนำไปผ่านกรรมวิธีความร้อนเหล็กกล้าชนิดนี้จะได้รับการปรับปรุงให้มีความต้านแรงดึง ความเหนียว ความแข็ง ความเหนียวนุ่มขึ้นไปอีก

3) เหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำ เหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำใช้กันมากในงานทางด้านการขนส่งและการก่อสร้าง เหล็กกล้าชนิดนี้มิได้ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ฉะนั้นคุณสมบัติต่างๆ จึงขึ้นอยู่กับการผสมโลหะผสมลงไปอย่างเหมาะสมกับปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ ตัวอย่างหนึ่งของเหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำมีความต้านแรงดึงครากประมาณ 345 N/mm^2 และความต้านแรงดึงอัลติเมตประมาณ 485 N/mm^2 เหล็กเหล่านี้เชื่อมได้ง่ายและชุบแข็งในอากาศไม่ได้ เพื่อให้เหล็กกล้าชนิดนี้มีความต้านแรงเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ความสูงประมาณ 0.30% แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีความต้านแรงเพิ่มขึ้นคุณสมบัติทางด้านความเหนียว การขึ้นรูป และการเชื่อม จะลดลง

4) **เหล็กกล้าหล่อ** เหล็กกล้าหล่อมีส่วนประกอบทางเคมีคล้ายกับเหล็กเหนียว (Wrought steel) แต่ว่าได้เพิ่มให้มีซิลิคอน และแมงกานีสมากกว่า และได้ลดก๊าซออกซิเจนและก๊าซอย่างอื่นในเนื้อเหล็ก เหล็กกล้าหล่อใช้ทำชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนซึ่งต้องการให้มีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับเหล็กกล้าเหนียว ด้วยราคาถูกกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่น นอกจากนั้นเหล็กกล้าหล่อยังมีคุณสมบัติทางกลดีกว่าเหล็กหล่อ กรรมวิธีทางความร้อนยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลบางประการของเหล็กกล้าหล่อได้อีกด้วย

5) เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าไร้สนิมมีอยู่ 3 แบบคือ

5.1 ออสตินิติก (Austenitic)

5.2 **เฟอร์ริติก** (Ferritic)

5.3 **มาร์เทนซิติก**(Martensitic)

เหล็กกล้าประเภทนี้มีคุณสมบัติต่อการกัดกร่อนต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมที่ผสมอยู่ เหล็กกล้าไรสนิมแบบออสตินิติกขัดมันได้เป็นเงางาม จึงมักใช้ในงานตกแต่งเป็นส่วนมาก นอกจากนั้นยังใช้งานทางด้านที่ต้องการให้ทนความร้อน

เหล็กกล้าไร้สนิมแบ่งออกเป็นชนิดโดยระบบเลขจำนวนของ AISI(American Iron and Steel Institute) และ (Society of Automotive Engineers)ระบบของ SAE ใช้ตัวเลข 5 ตัว ส่วนของ AISI ใช้ตัวเลข 3 ตัวในระบบของ AISI เลขตัวเลขบอกอนุกรม (Series) ของเหล็กกล้าไร้สนิม เลขสองตัวสุดท้ายบอกชนิดของเหล็กกล้า ตัวอักษรที่ตามหลังเลขตัวที่ 3 บอกถึงการดัดแปลงในอนุกรมนั้น อนุกรมการให้ชื่อเหล็กกล้าไร้สนิมดูได้จากตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การให้ชื่อเหล็กกล้าไร้สนิมของ AISI และ SAE

AISI	SAE	การแบ่งจำพวกทั่วไป
2xx	203xx	เหล็กกล้าเหนียวออสตินิติกผสมโครเมียม – นิกเกิล – แมงกานีส ไม่มีคุณสมบัติแม่เหล็ก ชุบแข็งไม่ได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน
3xx	303xx	เหล็กกล้าเหนียวออสตินิติกผสมโครเมียม – นิกเกิล ชุบแข็งไม่ได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน
4xx	514xx	เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกผสมโครเมียม – เหล็กเหนียว มีคุณสมบัติแม่เหล็ก และชุบแข็งได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน
4xx	514xx	เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกผสมโครเมียม – เหล็กเหนียว มีคุณสมบัติแม่เหล็ก ชุบแข็งไม่ได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน

5.1 **เหล็กกล้าไร้สนิม แบบออสตินิติก** เป็นกลุ่มของโครเมียม – นิกเกิล อยู่ในอนุกรม 300 กลุ่มของโครเมียม – นิกเกิล – แมงกานีส ประกอบด้วยชนิด 201 และ 202

อนุกรม 300 โดยทั่วไปแล้วมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าแบบมาร์เทนซิติกและเฟอร์ริติกเหล็กกล้าไร้สนิมทุกชนิดมีความคงทนต่อการตกสะเก็ด(Scaling) และมีความต้านแรงที่อุณหภูมิสูงดี ชนิด 302 เป็นชนิดที่ใช้งานทั่วๆไป และมักเรียกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 18 – 8 ซึ่ง

ใช้มากในอุสาหกรรม ทางด้านอาหาร อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ เครื่องใช้ในครัว เครื่องประดับทางด้านสถาปัตยกรรม โรงงานนม โรงทอผ้า เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิมมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ขึ้นรูปได้ดี มีความเหนียวที่อุณหภูมิสูงและต่ำ หาได้ง่ายและราคาพอสมควร ชนิดที่ใช้กันมากในอนุกรมนี้คือ 304,316,346 **และ**347

เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสตินิติกชุบแข็งไม่ได้ และจะแข็งในขณะขึ้นรูปเย็นแล้วตามด้วยการแอนนิสอย่างรวดเร็วหลังจากการขึ้นรูปเย็น เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสินิติกตัดกลึงได้ยาก เพราะจะแข็งขึ้นจากการขึ้นรูปเย็น ดังนั้นจึงมีอัตราการตัดกลึง 50 % ของเหล็กกล้า B1112 ที่**ใช้**เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ อนุกรม 300 นี้มีความเหนียวมากแต่จะแข็งเมื่อขึ้นรูปเย็น จึง**มี**คุณสมบัติทางด้านการขึ้นรูปไม่ดีนัก

เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสตินิติกดีอัดขึ้นรูปได้ และเชื่อมได้โดยวิธีการเชื่อมหลอมเหลว (Fusionweld) ภายหลังการเชื่อมควรทำการแอนอีลด้วย

5.2 **เหล็กกล้าไร้สนิมแบบเฟอริติก** (บางส่วนของอนุกรม 400) ชุบแข็งไม่**ได้**ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน ละไม่สามารถทำให้แข็งมากนักโดยการขึ้นรูปเย็น มีความเหนียวจึงรีดดัดทอได้ เมื่อขึ้นรูปเย็นความต้านแรงดึงครากจะเพิ่มขึ้นปริมาณ 30% แต่ความต้านแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้นเหล็กกล้าไร้สนิมแบบเฟอร์ริติกดีอัดขึ้นรูปและรีดได้สะดวกแต่คุณสมบัติทางด้านการตัดกลึงไม่ดีนัก ดังนั้นในการตัดกลึงจึงต้องใช้เครื่องมือตัดที่มีความคมอยู่เสมอ

เหล็กกล้าชนิดนี้เชื่อมไฟฟ้าและเชื่อมโดยใช้ความต้านทานได้(Resistance Welding) แต่จะต้องทำแอนนีลเพื่อลดความเปราะและเพิ่มความเหนียวนุ่ม ในการที่จะให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงที่สุดจะต้องใช้ลวดเชื่อมแบบออสตินิติก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเหล็กกล้าเฟอร์ริติกจะมีความเหนียวนุ่มลดลง คุณสมบัติทางด้านการคืบเลวลง และความต้านแรงดึงแตกหัก(Breaking strength) ลดลง

5.3 **เหล็กกล้าไร้สนิมแบบบาร์เทนซิติก** คล้ายกับแบบเฟอร์ริติกคือ อยู่ในกลุ่มโครเมียม เหล็กและเป็นส่วนหนึ่งของอนุกรม 400 เหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาร์เทนซิติกที่ใช้ทั่วไปคือ 410 ซึ่งมีราคาแพงที่สุด เหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาร์เทนซิติกรับแรงกระแทกได้ดี และชุบแข็งได้โดยเผาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 982 องศาแล้วชุบในน้ำมัน จากนั้นจึงทำการเทมเปอร์

การใช้งานของเหล็กกล้ามาเทนซิติกอนุกรม 400 มีอยู่มากมาย เช่น ชนิด 410 ใช้ทำวาล์วกระแกรงกองผง เพลาเครื่องสูบ ใบมีด สลักเกลียว แป้นเกลียว และชิ้นส่วนต่างๆใน

อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ชนิด 403 ใช้ทำใบของกังหันไอน้ำ ใบเครื่องอัดลมของเครื่องยนต์เจ็ต และชิ้นส่วนที่รับความเค้นสูง ชนิด 416 ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนของคาร์บูเรเตอร์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ วาล์ว เพลา แล้วด้ามกอล์ฟ ชนิด 420 เมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อนจะมีความแข็งสูงจึงใช้ในการผลิตใบมีด อุปกรณ์การผ่าตัด เป็นต้น ชนิด 440 มีความทนทานต่อการสึกหรอ จึงใช้ในการผลิตลูกปืนในแบริ่ง บุชิ่ง (bushing) ชิ้นส่วนของวาล์ว บ่าวาล์ว และมีดราคาแพง

ถ้ามีคาร์บอนผสมอยู่มากจะต้องตัดกลึงกลางด้วยความเร็วตัดต่ำและป้อนที่ละน้อย ชนิดที่เหมาะกับการขึ้นรูปเย็นคือ 403 และ 410 เหล็กกล้ามาร์เทนซิติกดีอัดขณะร้อน และรีดได้อุณหภูมิระหว่าง 1035 องศา ถึง 1232 องศา

เหล็กกล้ามาร์เทนซิติกที่เชื่อมไฟฟ้าและเชื่อมโดยใช้ความด้านทานได้คือ ชนิด 403 , 410 และ 416 เพื่อให้การเชื่อมได้ผลดี (คือไม่เปราะและแตกร้าว) ควรทำการเผางานก่อนที่จะเชื่อมให้มีอุณหภูมิระหว่าง 65 องศาถึง 130 องศาเสียก่อน ภายหลังการเชื่อมจึงปล่อยให้เย็นตัวลงในอากาศจนถึงอุณหภูมิระหว่าง 650 องศา ถึง 732 องศา

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติมีคุณสมบัติดีเลิศทางด้านการคืบและการแตกหักที่อุณหภูมิสูงถึง 540 องศา

เหล็กไร้สนิมทั้งสามแบบนี้บัดกรีอ่อน(Soft soldered) และบัดกรีแข็ง(Hard soldered)ได้ การบัดกรีอ่อน(ใช้ลวดบัดกรีเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุก – ตะกั่ว) ไม่มีปัญหาแต่อย่างใด เพราะใช้อุณหภูมิต่ำจึงไม่ทำให้เกิดคาร์ไบด์(Carbide) ที่ไม่ต้องการ แต่การบัดกรีแข็ง(ใช้รวดบัดกรีเป็นทองเหลืองหรือเงิน) ต้องใช้อุณหภูมิสูง (อย่างต่ำที่สุด 620 องศา)จึงอาจทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสสินิติกคาร์ไบด์ที่ไม่ต้องการขึ้นได้ เพราะฉะนั้นถ้าต้องการบัดกรีแข็งจะต้องใช้เหล็กกล้าที่มีขนิดคาร์บอนต่ำหรืออาจใช้ลวดทองแดงในการบัดกรีได้(Copper braze) แต่ต้องใช้ทองแดงทองมีความบริสุทธิ์มากและต้องมีวิธีปกป้องผิวขณะบัดกรีด้วย นอกจากนั้นในการบัดกรีต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 1095 องศาซึ่งอาจมีผลต่อกรรมวิธีทางความร้อนที่ได้กระทำกับเหล็กกล้าไร้สนิมมาก่อนแล้ว ดังนั้นวิธีการบัดกรีเช่นนี้จึงมักใช้กับรอยเล็กเท่านั้น

2.6.5 เหล็กเครื่องมือ

เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของเหล็กเครื่องมือทำให้เหล็กเครื่องมือชุบแข็งได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน จึงมีคุณสมบัติพิเศษเหมาะกับการนำไปทำเป็นเครื่องมือตัด เครื่องมือเฉือน แบบขึ้นรูป (forming die) ดอกสว่าน อุปกรณ์ (punches) เป็นต้น

1) ยังคงมีความแข็งและความต้านแรงสูงในขณะที่อุณหภูมิจากกันตัดกลึงสูงขึ้น

2) สามารถรับแรงกระตุก แรงกระแทกได้ โดยไม่บิ่นหรือแตกหัก (นั่นเพื่อความเหนียวนุ่ม)

3) สามารถทนต่อการสึกหรอและการขูดขีดเมื่อใช้งานอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำให้ไม่ต้องรับเครื่องมือหรือเปลี่ยนเครื่องมือบ่อยครั้ง

ปรากฏว่าไม่มีวัสดุเครื่องมือชนิดใดที่มีลักษณะน่าพึงพอใจดังกล่าวทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องการดัดแปลงปรับปรุง ให้มีคุณลักษณะเหมาะสมตามความต้องการของชิ้นงาน เหล็กเครื่องมือแบ่งประเภทโดยลักษณะจำเพาะตามระบบของ AISI และSAE รวมทั้งวิธีการชุบ การใช้งาน คุณสมบัติพิเศษ และชนิดที่นิยมกันมากในอุสาหกรรม

2.6.6 **เหล็กกล้าพิเศษ**

เหล็กกล้าพิเศษใช้งานเมื่อต้องการวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นพิเศษ บางครั้งจำเป็นต้องใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำ โดยไม่ต้องการความต้านแรงสูงมากนัก ดังจะแบ่งได้ตามรายละเอียดต่อไปนี้

1) **การใช้งานที่อุณหภูมิสูง** อุปกรณ์ในโรงต้นกำลัง กังหันก๊าซ เครื่องยนต์เจ็ต โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานเคมี และงานอื่นๆ ต้องการใช้เหล็กกล้าที่ต้านทานการเกิดออกไซด์และมีคุณสมบัติทางการคืบดีที่อุณหภูมิสูง เหล็กกล้าชนิดนี้จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกหรอเปราะเมื่ออยู่ภายในได้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสติทินิติกบางชนิด ตัวอย่างเช่น 302,309,310,316,312 และ 327 ใช้งานอย่างต่อเนื่องได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 925 องศา ถึง 109 องศา แต่ความต้านการคืบจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 595 องศาเหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาร์เทนซิติกและเฟอร์ริติก บางชนิด ตัวอย่างเช่น 405 , 410, 418 , 430 และ 446 ก็สามารถใช้งานอย่างต่อเนื่องภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 705 องศา ถึง 1095 องศาได้ แต่ความต้านการคืบลดลงที่อุณหภูมิ 540 องศา และมีค่าลดลงเกือบเป็น 0 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นจึงจะนำมาใช้งานไม่ได้ถ้าความต้านแรงที่อุณหภูมิสูงเป็นตัวประกอบสำคัญในการออกแบบ เหล็กกล้าไร้สนิมมีความต้านทานต่อการตกสะเก็ดเป็นอย่างดี ตัวอย่างเช่น ชนิด 440 ต้านทานต่อการตกสะเก็ดเมื่อใช้งานอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 760 องศา ส่วนชนิดอื่นๆก็ทนต่อการตกสะเก็ดที่อุณหภูมิสูงกว่า 760 องศา

2) **การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ** คุณสมบัติของเหล็กกล้าเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิต่ำ เริ่มมีความสำคัญมากขึ้นในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมน้ำมัน การทำก๊าซเหลว การผลิตยางสังเคราะห์(Syntheticrubber) การผลิตพวกคาร์บอน เครื่องบินที่บินระดับสูง อุปกรณ์ทางทหาร และอื่นๆที่ต้องการใช้เหล็กกล้าที่อุณภูมิต่ำ แต่ทางด้านอุตสาหกรรมยังมีใช้น้อยมาก

เหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติเหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำคือ เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสตินิติก

3) เหล็กกล้าความต้านทานแรงสูงมาก (Ultrahigh strength steel) **มีความต้านทานแรงดึงครากและความต้านแรงดึงอัลติเมตสูงมาก ตารางที่** 2.4 **เป็นตัวอย่างของเหล็กกล้าความ**ต้านแรงสูงมาก 8 ชนิด [1]

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างความต้านแรงดึงของเหล็กกล้าความต้านแรงสูงมาก

ชนิดของเหล็กกล้า	ความต้านแรงดึงคราก (N/mm^2)	ความต้านแรงดึง (N/mm^2)
เหล็กกล้าผสมที่มีคาร์บอนปานกลาง	1725	2070
เหล็กเครื่องมือขึ้นรูปร้อน	1655	2000
เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก	1620	1690
เหล็กกล้าไร้สนิมออสตินิติกรีดเย็น	1240	1380
เหล็กกล้าไร้สนิมออสตินิติก	1515	1620
เหล็กกล้าผสมต่ำ ความต้านแรงสูง ชุบแข็งได้	1690	1965
เหล็กกล้าผสมสูงชุบและเทมเปอร์	2000	2415
ลวดเหล็กกล้าคาร์บอนสูง	4000	4135

2.7 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

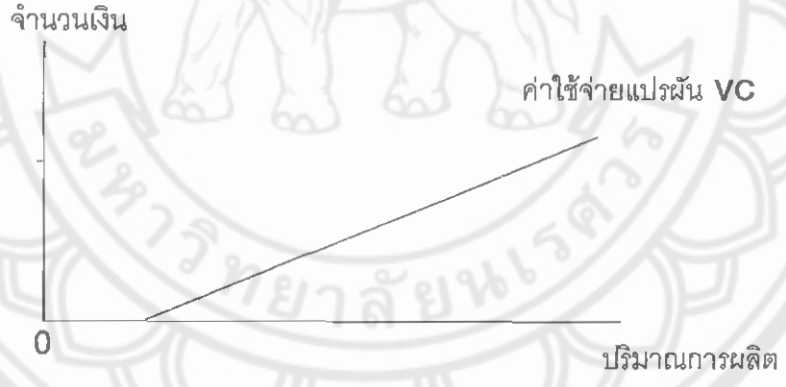
2.7.1 ส่วนของค่าใช้จ่าย (Total Cost; TC)

1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost; FC) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรผันตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าที่ดิน ค่าเช่า เงินลงทุนเริ่มต้น ค่าใช่จ่ายรายปี เป็นต้น

รูปที่ 2.75 ค่าใช้จ่ายคงที่รวม ณ ปริมาณการผลิตต่างๆ
(ที่มา: กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, 2549)

จากรูปที่ 2.76 จะเห็นว่า ไม่ว่าจะทำการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าไร ค่าใช้จ่ายก็ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณการผลิต

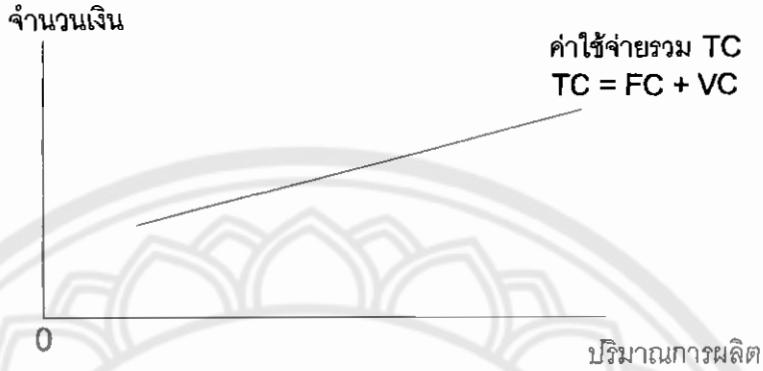
2) ค่าใช้จ่ายแปรผัน(Variable Cost; VC) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่แปรผันตามปริมาณการผลิต เช่น ค่ากระดาษ ค่าถ่ายเอกสาร หรือค่าโสหุ้ยต่างๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.76 ค่าใช้จ่ายแปรผันรวม ณ ปริมาณการผลิตต่างๆ
(ที่มา: กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, 2549)

จากรูปที่ 2.76 จะเห็นว่า กราฟเริ่มที่จุด 0 หมายความว่า เมื่อยังไม่มีการผลิตเกิดขึ้น ค่าใช้จ่ายส่วนนี้ก็ยังไม่มี และเมื่อเพิ่มปริมาณการผลิต ค่าใช้จ่ายก็จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นนั้น

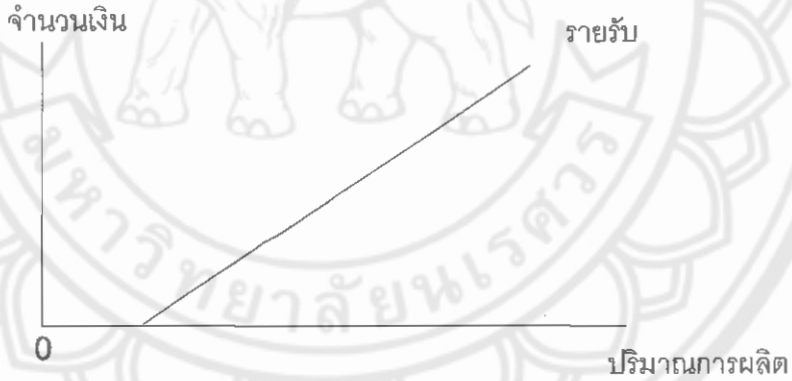
สมการค่าใช้จ่าย TC=FC+VC



รูปที่ 2.77 ค่าใช้จ่ายรวม ณ ปริมาณการผลิตต่างๆ

(ที่มา: กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, 2549)

2.7.2 **ส่วนของรายได้**(Revenue; R) หมายถึง ส่วนที่เป็นรายรับหรือรายได้จากการขาย จะได้จากราคาขายคูณปริมาณการผลิต



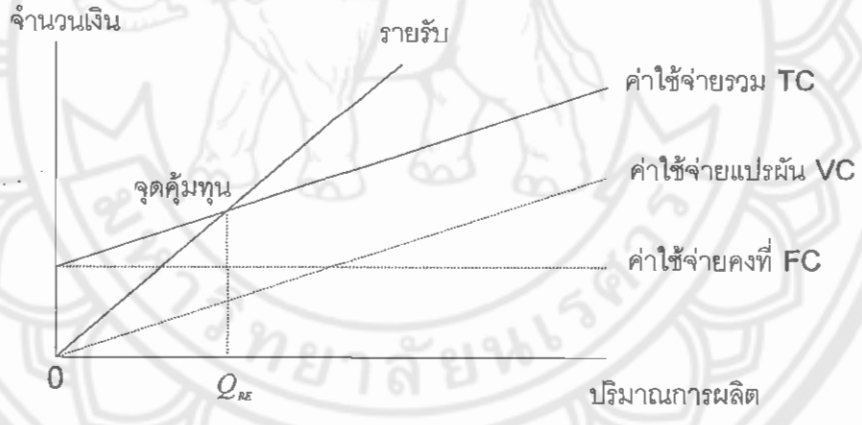
รูปที่ 2.78 รายรับรวม ณ ปริมาณการผลิตต่างๆ

(ที่มา: กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, 2549)

จากรูปที่ 2.78 จะเห็นว่า ว่า กราฟเริ่มที่จุด 0 หมายความว่าเมื่อยังไม่มีการผลิตเกิดขึ้น **ก็ยังไม่มีการขายสินค้า และเมื่อปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นก็มีการขายสินค้าตามปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นนั้น**

2.7.3 แผนภูมิจุดคุ้มทุน

แผนภูมิจุดคุ้มทุน เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรายรับและค่าใช้จ่าย กับปริมาณการผลิต โดยมีแกนในแกนอนแทนปริมาณการผลิต ส่วนแกนในแนวตั้งแทนค่าใช้จ่าย และรายได้โดยส่วนของค่าใช้จ่าย จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนคงที่และส่วนของต้นทุนแปรผัน ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนคงที่จะเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต หมายความว่าจะเป็นค่าใช้จ่ายที่คงที่ไม่ว่าจะผลิตมากน้อยเพียงใด ในแผนภูมิส่วนของต้นทุนคงที่นี้จะเป็นเส้นตรงในแนวนอนหรือแนวแกนขึ้นมาตามจำนวนต้นทุน ส่วนค่าใช้จ่ายแปรผันจะเป็นค่าใช้จ่ายที่เป็นสัดส่วนโดยตรงตามปริมาณการผลิต และจะเขียนเส้นตรงมีแนวสูงขึ้นตามปริมาณที่มากขึ้นในแนวนอน ส่วนเส้นรายได้จะแปรผันตามสัดส่วนปริมาณการขาย โดย จะเขียนเส้นตรงมีแนวสูงขึ้นตามปริมาณการผลิตที่มากขึ้น และจุดตัดระหว่างเส้นตรงของรายได้และเส้นตรงค่าใช้จ่ายรวมจะเรียกว่า "จุดคุ้มทุน"(Breakeven Point; Q_{BE})



รูปที่ 2.79 แสดงจุดคุ้มทุนเชิงเส้นตรง

(ที่มา: กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, 2549)

จากรูปที่ 2.79 จุดที่อยู่เส้นรายรับรวม (R) ตัดกับเส้นค่าใช้จ่ายรวม (TC) คือ จุดคุ้มทุน หมายความว่า ถ้าปริมาณการผลิตต่ำกว่าจุดคุ้มทุน (Q_{BE}) จะเกิดการขาดทุน (เส้นรายรับรวม R ต่ำกว่าเส้นค่าใช้จ่ายรวม TC) และถ้าปริมาณการผลิตสูงกว่าจุดคุ้มทุน (Q_{BE}) จะเกิดกำไร (เส้นรายรับรวม R สูงกว่าเส้นค่าใช้จ่ายรวม TC)

2.7.4 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนกรณีโครงการเดียว

กรณีโครงการเดียว จุดคุ้มทุนจะเกิดจากเส้นรายรับ(R) ตัดกับเส้นค่าใช้จ่ายรวม TC) ซึ่งจุดนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

ค่าใช้จ่าย(Total Cost; TC) = รายได้ (Revenue; R)

โดยที่ ค่าใช้จ่ายรวม TC=ค่าใช้จ่ายคงที่ FC+ ค่าใช้จ่ายแปรผัน VC

2.7.5 คำอธิบายเพิ่มเติม

1) จุดคุ้มทุน (Brekeven point ; Q_{BE})

จุดคุ้มทุน หมายถึง จุดที่รายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายหรือหหมายถึงจุดที่ไม่ก่อให้เกิดกำไรและไม่ขาดทุน ในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางเศรษฐศาสตร์ของสถานะต่างๆ ในระยะสั้น และข้อมูลจะต้องค่อนข้างแน่นอน เพื่อการตัดสินใจที่ถูกต้อง

2) อัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่พึงพอใจ (Minimum Attractive Rate of Return; MARR%)

อัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่พึงพอใจ หมายถึง อัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่เราพอใจ ซึ่งเป็นอัตราผลตอบแทนที่ประเมินขึ้นหรือตั้งขึ้นมา ทั้งนี้จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับนโยบายของแต่ละโครงการว่าหวังผลตอบแทนจากโครงการมากน้อยแค่ไหน

3) มูลค่าเทียบเท่า ณ ช่วงเวลาต่างๆ

a. มูลค่าเทียบเท่าปีปัจจุบัน (Present Worth;PW) หมายถึง มูลค่าเทียบเท่าของเงินทั้งระบบ ณ ปีที่ 0
b. มูลค่าเทียบเท่าอนาคต (FutureWorth;FW) หมายถึง มูลค่าเทียบเท่าของเงิน . ทั้งระบบ ณ ปีที่ n (ปีสุดท้ายของแผนผังการไหลของเงิน)
c. มูลค่าเทียบเท่ารายปี (Annual Worth;AW) หมายถึง มูลค่าเทียบเท่าของเงินทั้งระบบกระจายในปีต่างๆ ด้วยจำนวนที่เท่าๆ กัน ในแผนผังกระแสเงินสดตั้งแต่ปีที่ 1 ถึงปีที่ n